

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS NATURAIS E
MATEMÁTICA

MIDIÃ MEDEIROS MONTEIRO

Inércia e Natureza da Ciência no Ensino de Física: uma sequência didática
centrada no desenvolvimento histórico do conceito de inércia

NATAL-RN
2014

MIDIÃ MEDEIROS MONTEIRO

Inércia e Natureza da Ciência no Ensino de Física: uma sequência didática
centrada no desenvolvimento histórico do conceito de inércia

Dissertação de Mestrado apresentado à
Universidade Federal do Rio Grande do Norte,
como requisito para o título de Mestre em
Ensino de Ciências Naturais e Matemática.

Orientador: Prof. Dr. André Ferrer P. Martins.

NATAL-RN
2014

MIDIÃ MEDEIROS MONTEIRO

Inércia e Natureza da Ciência no Ensino de Física: uma sequência didática centrada no desenvolvimento histórico do conceito de inércia

Dissertação de Mestrado apresentado à Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito para o título de Mestre em Ensino de Ciências Naturais e Matemática.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. André Ferrer Pinto Martins - Orientador
Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN

Prof. Dr. Breno Arsioli Moura - Examinador
Universidade Federal do ABC

Prof. Dr. Gilvan Luiz Borba - Examinador
Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me permitir chegar até aqui e por suprir todas as minhas necessidades.

Aos meus pais, que me educaram e ensinaram o valor da educação. Minha mãe, pelas constantes cobranças e incentivos à conquista da independência profissional. A meu pai, pelo exemplo à valorização do conhecimento - difícil não recordar as inúmeras vezes que o vi lendo algo.

A Gilmison, pelo seu amor, dedicação, companheirismo e paciência. Por compreender as ausências, por dividir o tempo com os diversos personagens dessa história.

A minha filha Maria Eduarda, que ainda não pode compreender a necessidade de minha constante atenção à dissertação, e reclamava: “a senhora só quer ficar com esse computador”.

Aos meus familiares. Maria José, Girlene, Gilmária, Maya, Eduardo, Gustavo pelo incentivo e principalmente, por ajudar nos cuidados com Maria Eduarda.

Ao professor André Ferrer P. Martins, por me orientar, não apenas durante esse período do mestrado, mas desde 2006, quando me convidou para participar do grupo de História e Filosofia da Ciência, ainda na graduação. Por me apresentar as áreas de Ensino de Ciências e História e Filosofia da Ciência, pelas discussões e ensinamentos, e por querer me “matar” às vezes.

Aos amigos do Grupo de História e Filosofia da Ciência: os que compõem o grupo atualmente (Giulliano, Sílvia, Potyra, Thaise, Laysa, Xênia), aos que já passaram por ele (Arimater, Marsílvio, Márcia, Anderson, Jonhkat, Boniek, Rose...). Pelas dúvidas e conhecimentos compartilhados. E nos últimos tempos pelas sugestões e críticas.

A prof. Midori Hijioka Camelo, por ceder uma de suas aulas para aplicação do questionário teste.

A prof. Auta Stella de Medeiros Germano e ao prof. Ciclamio Leite Barreto por cedem, gentilmente, um espaço para aplicação da pesquisa em suas turmas.

Aos alunos do curso de Física Licenciatura e Geofísica Bacharelado que participaram da pesquisa, sem os quais não seria possível.

Ao prof. Gilvan Luiz Borba pelas valiosas contribuições desde o início deste trabalho. Que esteve presente no processo de seleção (entrevista), na apresentação do projeto de dissertação, na qualificação e que compõe a banca desta dissertação. É sempre um prazer ouvi-lo falar, com entusiasmo, tanto sobre a física quanto sobre o ensino de física.

Ao professor Alexandre Campos por responder com gentileza aos meus e-mails e por me enviar cópia de uma tese (que solicitei) mesmo que rasurada com suas anotações pessoais.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais e Matemática pela oportunidade de desenvolver este trabalho.

Aos colegas e professores das diversas disciplinas do mestrado, pelas trocas de ideias, pelos seminários de pesquisas, que nos permitem crescer com os diversos olhares para o ensino.

A CAPES, pelo apoio financeiro.

A linearização é responsável por uma imagem de ciência como algo não humano, muito superior às possibilidades dos mortais. A linearização da história apresenta a ciência como um produto a ser venerado, admirado à distância, fazendo com que estudantes adquiram um sentimento de inferioridade. Esse sentimento sugere a eles ser difícil demais a participação no desenvolvimento da ciência; nós somos os derrotados. Esse estado de coisas somente pode ser alterado se a história da física passar a fazer parte integrante e orgânica do seu ensino.
(Robilotta)¹

¹ Citação retirada de Peduzzi, Zylbersztajn, Moreira, 1992, p. 241.

Inércia e Natureza da Ciência no Ensino de Física: uma sequência didática centrada no desenvolvimento histórico do conceito de inércia

RESUMO

Durante as últimas décadas a área de ensino de ciências tem discutido questões relativas à inserção da história e da filosofia da ciência (HFC) no ensino. Dentre os argumentos apresentados em defesa dessa abordagem aponta-se a possível contribuição à aprendizagem de conteúdos científicos e à compreensão de aspectos relativos à natureza da ciência (NdC). Apesar de tais considerações, ainda temos um número muito reduzido de trabalhos de pesquisa relatando resultados de intervenções práticas que se utilizam da abordagem histórica, além disso, há carência de materiais didáticos nessa perspectiva. Nosso trabalho procurou contribuir com a área no que se refere a esses dois aspectos: de um lado, com a produção de material didático, ao elaborarmos textos sobre a história da inércia para alunos da graduação. De outro lado, procuramos investigar se os argumentos mencionados acima em relação ao uso didático da HFC se sustentam, em um contexto particular. Elaboramos e aplicamos uma sequência didática, utilizando os textos que construímos, para ensinar o conceito de inércia e discutir conteúdos selecionados de NdC. A sequência didática foi aplicada em duas turmas da graduação, uma do curso de geofísica bacharelado e outra do curso de física licenciatura, ambas da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Um questionário inicial mostrou que os estudantes, mesmo havendo abordado o conceito de inércia na educação básica, apresentavam concepções de senso comum no tocante à relação entre força e movimento. O questionário também nos permitiu identificar a existência de elementos de concepções consideradas inadequadas quanto à NdC. Ao final, nossos dados evidenciaram um número maior de acertos nas questões relativas ao conceito de inércia. No que se refere aos aspectos de NdC, pudemos identificar, em alguns poucos casos, um movimento no sentido de aproximação a uma visão mais adequada, no entanto, determinadas distorções persistiram, evidenciando limitações da abordagem utilizada.

Palavras-chave: Ensino de Ciências, História da Inércia, Natureza da Ciência.

Inertia and Nature of Science in Physics Teaching: A Didactic Sequence Centered on the Historical Development of the Concept of Inertia.

ABSTRACT

During the last decades the area of science education has discussed issues related to the inclusion of the History and Philosophy of Science (HFS) in the practice of science teaching. Among the arguments put forward in favour of this approach, it is pointed out the possible enhancement of scientific content learning and the understanding of the nature of Science (NoS). In spite of such considerations, we still have a very small number of research papers reporting results of practical interventions that utilize the historical approach, moreover, there is a lack of teaching materials in this perspective. Our work has sought to contribute to this area with regard to two aspects: on the one hand, with the production of didactic material, by drawing up texts on the history of inertia for graduate students. On the other hand, we investigate whether the arguments mentioned above in relation to the didactic use of HFS sustain themselves, in a particular context. We developed and applied a didactic sequence, using the texts that we built, to teach the concept of inertia and discuss selected contents of NoS. The didactic sequence was applied in two graduate classes, one from a course of Geophysics (BSc.) and another from the Physics (teaching formation), both from the Federal University of Rio Grande do Norte (UFRN). An initial survey exposed that students, even having approached the concept of inertia in basic education, presented conceptions of common sense regarding the relationship between force and motion. The questionnaire also allowed us to identify the existence of elements of concepts considered inadequate as regards to NoS. At the end of our research, our data indicated a greater number of positive hits on the issues concerning the concept of inertia. Regarding the aspects of NoS, we were able to identify, in a few cases, a move towards a more appropriate understanding, however, certain distortions persisted, highlighting the limitations of the approach used.

Keywords: Science teaching; history of inertia; nature of science.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Estátua de Aristóteles _____	35
Figura 2 – Cristo entrando em Jerusalém, de Duccio de Siena e, entrada de Jesus em Jerusalém, de Pietro Lorenzetti _____	37
Figura 3 – Representação do cosmos aristotélico _____	38
Figura 4 – Representação do movimento violento para Aristóteles _____	43
Figura 5 – Mapa que mostra expansão do domínio árabe _____	46
Figura 6 – Imagem de Hiparcos de Nicéia e Plutarco _____	48
Figura 7 – Imagem de Avicena _____	55
Figura 8 – imagem de Avempace e Averroes _____	56
Figura 9 – <i>Última Ceia</i> , de Ugolino da Siena _____	62
Figura 10 – <i>O casamento da virgem</i> , de Rafael Sanzio _____	63
Figura 11 – <i>Galileu Galileu florentino</i> , de Ottavio Leoni _____	64
Figura 12 – Imagem de Giordano Bruno _____	65
Figura 13 – <i>Conversa com Deus</i> , de Jan Matejko _____	67
Figura 14 – Representação do sistema copernicano _____	67
Figura 15 – “Demonstrações” de Galileu _____	72
Figura 16 – Imagem de Descartes _____	75
Figura 17 – Mapa apontando as rotas das primeiras grandes navegações _____	75
Figura 18 – Imagem de Newton _____	79
Figura 19 – Frontispício dos <i>Principia</i> _____	81
Figura 20 – Imagem de Halley, Hooke e Wren _____	82
Figura 21 – Representação da “Experiência do Balde” de Newton _____	86
Gráfico 1 – Alunos, quanto ao gênero _____	101
Gráfico 2 – Alunos, quanto a faixa etária _____	101
Gráfico 3 – Alunos que tiveram contato com a HF no ensino médio _____	103
Gráfico 4 – Resposta à questão 3 (parte III quest. Inicial) _____	119
Gráfico 5 – Resposta à questão 7 (parte III quest. Inicial) _____	123
Gráfico 6 – Resposta à questão 4 (parte III quest. Inicial) _____	125
Gráfico 7 – Resposta à questão 5 (parte III quest. Inicial) _____	128
Gráfico 8 - Resposta à questão 5 subitem <i>b</i> (parte III quest. inicial) _____	129
Gráfico 9 - Resposta à questão 6 (parte III quest. inicial) _____	132
Gráfico 10 - Resposta à questão 2 (quest. do texto I) _____	138
Gráfico 11 - Resposta à questão 5 subitem <i>a</i> (quest. do texto I) _____	143
Gráfico 12 - Resposta à questão 5 subitem <i>c</i> (quest. do texto I) _____	147
Gráfico 13 - Resposta à questão 3 subitem <i>a</i> (quest. do texto II) _____	154
Gráfico 14 - Resposta à questão 3 subitem <i>b</i> (quest. do texto II) _____	156
Gráfico 15 – Comparando acertos antes e depois – Bloco I _____	163
Gráfico 16 - Comparando acertos antes e depois – Bloco II _____	165
Gráfico 17 - Comparando acertos antes e depois – questão 8 _____	167
Gráfico 18 - Comparando acertos antes e depois – questão 9 _____	169
Gráfico 19 - Comparando acertos antes e depois – questão 3 _____	171
Gráfico 20 - Comparando acertos antes e depois – questão 7 _____	173
Gráfico 21 - Comparando acertos antes e depois – questão 4 _____	174
Gráfico 22 - Comparando acertos antes e depois – questão 5 subitem <i>a</i> _____	175
Gráfico 23 - Comparando acertos antes e depois – questão 5 subitem <i>b</i> _____	176
Gráfico 24 - Comparando acertos antes e depois – questão 6 _____	178

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relação entre os conteúdos de NdC e os episódios históricos	92
Tabela 2 – Características gerais dos questionários	94
Tabela 3 – Dinâmica do primeiro encontro	96
Tabela 4 – Dinâmica do segundo encontro	97
Tabela 5 – Dinâmica do terceiro encontro	98
Tabela 6 - Dinâmica do quarto encontro	99
Tabela 7 – Perfil dos alunos quanto a gênero e faixa etária	100
Tabela 8 – Sobre o contato com a HF	102
Tabela 9 – Respostas à questão 1 - parte II (quest. inicial)	105
Tabela 10 - Respostas à questão 2 - parte II (quest. inicial)	105
Tabela 11 - Respostas à questão 3 - parte II (quest. inicial)	106
Tabela 12 - Respostas à questão 4 - parte II (quest. inicial)	106
Tabela 13 - Respostas à questão 5 - parte II (quest. inicial)	107
Tabela 14 - Respostas à questão 6 - parte II (quest. inicial)	108
Tabela 15 - Respostas à questão 7 - parte II (quest. inicial)	109
Tabela 16 - Respostas à questão 8, subitem <i>a</i> - parte II (quest. inicial)	109
Tabela 17 - Respostas à questão 8, subitem <i>b</i> primeiro plano – parte II (quest. inicial)	110
Tabela 18 - Respostas à questão 8, subitem <i>b</i> segundo plano – parte II (quest. inicial)	110
Tabela 19 - Justificativas à questão 8, subitem <i>b</i> – parte II (quest. inicial)	111
Tabela 20 - Respostas à questão 8, subitem <i>c</i> – parte II (quest. inicial)	112
Tabela 21 - Respostas à questão 9 – parte II (quest. inicial)	114
Tabela 22 – Sobre os tópicos de NdC	115
Tabela 23 - Respostas à questão 1 – parte III (quest. inicial)	116
Tabela 24 - Respostas à questão 2 – parte III (quest. inicial)	117
Tabela 25 - Justificativas à questão 3 – parte III (quest. inicial)	120
Tabela 26 - Justificativas à questão 7 – parte III (quest. inicial)	123
Tabela 27 - Justificativas à questão 4 – parte III (quest. inicial)	126
Tabela 28 - Justificativas à questão 5, subitem <i>b</i> – parte III (quest. inicial)	130
Tabela 29 - Justificativas à questão 6 – parte III (quest. inicial)	132
Tabela 30 - Justificativas à questão 1 (quest. texto I)	135
Tabela 31 – Respostas à questão 3, subitem <i>a</i> (quest. texto I)	140
Tabela 32 - Respostas à questão 3, subitem <i>b</i> (quest. texto I)	140
Tabela 33 - Respostas à questão 4 (quest. texto I)	141
Tabela 34 - Respostas à questão 5, subitem <i>a</i> (quest. texto I)	143
Tabela 35 - Respostas à questão 5, subitem <i>b</i> (quest. texto I)	145
Tabela 36 – Justificativas não esperadas a questão 5, subitem <i>b</i> (quest. texto I)	146
Tabela 37 - Justificativas à questão 5, subitem <i>c</i> (quest. texto I)	147
Tabela 38 - Respostas à questão 1, primeira parte (quest. texto II)	149
Tabela 39 - Respostas à questão 1, segunda parte (quest. texto II)	150
Tabela 40 - Respostas à questão 2 (quest. texto II)	152
Tabela 41 - Justificativas à questão 3, subitem <i>a</i> (quest. texto I)	155
Tabela 42 - Justificativas à questão 3, subitem <i>b</i> (quest. texto I)	157
Tabela 43 - Respostas à questão 4 (quest. texto II)	158
Tabela 44 – Respostas destacadas em relação à questão 4 (quest. final)	166
Tabela 45 - Respostas à questão 1 – parte I (quest. final)	161
Tabela 46 - Respostas à questão 2 – parte I (quest. final)	161

Tabela 47 - Respostas à questão 3 – parte I (quest. final)	162
Tabela 48 - Respostas à questão 4 – parte I (quest. final)	162
Tabela 99 - Respostas à questão 5 – parte I (quest. final)	163
Tabela 50 - Respostas à questão 6 – parte I (quest. final)	164
Tabela 51 - Respostas à questão 7 – parte I (quest. final)	164
Tabela 52 - Respostas à questão 8, subitem <i>a</i> – parte I (quest. final)	165
Tabela 53 - Respostas à questão 8, subitem <i>b</i> primeiro plano – parte I (quest. final)	166
Tabela 54 - Respostas à questão 8, subitem <i>b</i> segundo plano – parte I (quest. final)	166
Tabela 55 - Justificativas à questão 8, subitem <i>b</i> – parte I (quest. final)	167
Tabela 56 - Justificativas à questão 8, subitem <i>c</i> – parte I (quest. final)	168
Tabela 57 - Respostas à questão 9 – parte I (quest. final)	168
Tabela 58 – Respostas à questão 1 – parte II (quest. final)	170
Tabela 59 - Respostas à questão 2 – parte II (quest. final)	170
Tabela 60 – Justificativas à questão 3 – parte II (quest. final)	172
Tabela 61 - Justificativas à questão 7 – parte II (quest. final)	173
Tabela 62 - Justificativas à questão 4 – parte II (quest. final)	174
Tabela 63 - Justificativas à questão 5, subitem <i>b</i> – parte II (quest. final)	177
Tabela 64 - Justificativas à questão 6 – parte I (quest. final)	178
Tabela 65 - Justificativas à questão 8, subitem <i>a</i> – parte II (quest. final)	179
Tabela 66 - Justificativas à questão 8, subitem <i>b</i> – parte II (quest. final)	180

LISTA DE ANEXOS

Anexo I - Texto de apoio ao aluno I _____	195
Anexo II - Texto de apoio ao aluno II _____	208
Anexo III - Questionário inicial _____	219
Anexo IV - Questionário do texto I _____	224
Anexo V - Questionário do texto II _____	225
Anexo VI - Questionário final _____	226

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	14
CAPÍTULO 1	
A HISTÓRIA DA CIÊNCIA E A NATUREZA DA CIÊNCIA.....	19
1.1 A História da Ciência e a Filosofia da Ciência no Ensino de Física.....	19
1.2 Outras Reflexões Quanto à Utilização Didática da HFC.....	22
1.3 Uma Questão Especial: A Natureza da Ciência.....	30
CAPÍTULO 2	
UMA HISTÓRIA DA INÉRCIA.....	35
2.1 Aristóteles e o Movimento Local.....	35
2.2 Filopono e Alguns Comentadores da Alta Idade Média.....	46
2.3 O <i>Impetus</i> de Jean Buridan e Nicolas Oresme.....	58
2.4 Galileu entre Continuidades e Rupturas.....	62
2.5 Descartes e as Leis da Natureza.....	75
2.6 A Primeira lei de Newton nos <i>Principia</i>	80
2.7 Descartes <i>versus</i> Newton: um Debate Teológico.....	86
CAPÍTULO 3	
A SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	90
3.1 Planejamento e Aplicação.....	90
3.1.1 O texto do aluno.....	90
3.1.2 Os questionários.....	93
3.1.3 A sequência de aulas.....	95
3.2 Coleta e Análise de Dados.....	100
3.2.1 O contexto da pesquisa.....	100
3.2.2 O questionário inicial.....	102
3.2.3 O questionário do texto I.....	134
3.2.4 O questionário do texto II.....	149
3.2.5 O questionário final.....	161
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	182
REFERÊNCIAS	189
ANEXOS.....	197

INTRODUÇÃO

No relatório da comissão internacional sobre a educação para o século XXI, a Unesco aponta quatro premissas que devem estruturar e orientar a educação na sociedade contemporânea (DELORS, 2012). A primeira delas é *aprender a conhecer*, que se caracteriza como uma educação geral que possibilite ao aluno autonomia sobre seus próprios instrumentos de conhecimento, permitindo uma educação permanente. Depois, *aprender a fazer*, que está ligada a formação cujo principal objetivo é privilegiar a relação teoria-prática tornando o indivíduo capaz de enfrentar novas situações que se colocam diante dele. Outro ponto sugerido é *aprender a viver*, este consiste na relação com o outro, tanto na realização de projetos comuns quanto na gestão de conflitos possíveis. Por último, *aprender a ser*, este, por sua vez, busca desenvolver pensamentos autônomos e críticos e que possibilitem ao estudante elaborar seus próprios julgamentos de valores e, ser capaz de tomar decisões por si mesmo. Observando estes princípios, podemos identificar uma preocupação com uma formação mais humana, voltada ao exercício da cidadania.

Em função do modelo social atual, marcado pelo acelerado progresso científico e tecnológico e das contribuições advindas das pesquisas na área de ensino de ciências, reflexões acerca da educação científica tem ganhado bastante espaço. As questões relativas ao ensino de ciências vêm assumindo um papel significativo para a educação e diversas pesquisas têm sido elaboradas, a fim de permitir reflexões acerca deste campo, consolidando, desta forma, essa área como de pesquisa. Frente a essas transformações, a educação científica deve colocar o sujeito em posição de atender às novas demandas propostas pelo desenvolvimento científico, tecnológico e por uma formação mais consciente e humanizada.

Hodson (1998 apud Cachapuz, 2005) aponta três dimensões necessárias à educação de sujeitos “cientificamente cultos”: *aprender ciências* (que envolve aquisição de conhecimento conceitual), *aprender sobre ciências* (que abrange aspectos relacionados aos métodos, sua evolução e história, além de relações com a sociedade e meio ambiente) e *aprender a fazer ciências* (aprendizagem na perspectiva de desenvolver competências que permitam realizar pesquisas e resolver problemas).

Destacamos ainda a necessidade de que o estudante tenha conhecimentos cada vez mais amplos, sendo capaz de articular os conhecimentos das diversas disciplinas científicas. A educação científica deve garantir que aluno adquirira competência para compreender conceitos, linguagem, métodos e limites da ciência para que o conhecimento científico não se

torne apenas uma crença, pois, como nos adverte Martins (2006a), é importante conhecer como ele é justificado e é fundamentado.

No que se refere à educação básica, diversas ações têm sido pensadas a fim de minimizar alguns problemas, tais como, a descontextualização, o ensino propedêutico e essencialmente disciplinar, que se apresentam como entraves à aprendizagem dos conteúdos científicos. No Brasil uma importante contribuição foi posta a partir da Lei nº 9.394 promulgada em 20 de dezembro de 1996, Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB/96) – Lei Darcy Ribeiro, que ao constituir o ensino médio como etapa final da educação básica, traz um novo olhar sobre os objetivos educacionais desse nível.

A lei Darcy Ribeiro torna mais flexível o currículo educacional, além de primar pela contextualização e interdisciplinaridade. Em consonância com essa perspectiva, foram elaborados alguns documentos a fim de subsidiar a implementação das novas concepções para educação brasileira. Nas Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (DCNEM) encontramos os pressupostos filosóficos e pedagógicos da LDB/96, e nos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio - PCN, 2000 e PCN+, 2002 - orientações aos docentes (RICARDO, 2001).

O Ensino Médio no Brasil está mudando. A consolidação do Estado democrático, as novas tecnologias e as mudanças na produção de bens, serviços e conhecimentos exigem que a escola possibilite aos alunos integrarem-se ao mundo contemporâneo nas dimensões fundamentais da cidadania e do trabalho. (...). Tínhamos um ensino descontextualizado, compartimentalizado e baseado no acúmulo de informações. Ao contrário disso, buscamos dar significado ao conhecimento escolar, mediante a contextualização; evitar a compartimentalização, mediante a interdisciplinaridade; e incentivar o raciocínio e a capacidade de aprender. (BRASIL, 2000, p. 4)

Para a educação superior, entendemos que os aspectos mencionados acima são igualmente importantes. Além disso, problemas como alto índice de reprovação, notas baixas, desistências e desinteresse por parte dos alunos também acontecem no ensino universitário.

O elevado índice de reprovação e a falta de motivação para o ensino da Física, em nível universitário básico, tem sido motivo de constante preocupação por parte dos professores, estudantes e administradores não só de Universidades como de todas as Instituições de Ensino Superior do país com conteúdos de Física em seus currículos. (PEDUZZI, ZYLBERSZTAJN, MOREIRA, 1992, p. 239)

As diretrizes curriculares para o curso de graduação em física² (bacharelado e licenciatura) apontam como competências necessárias a este profissional:

Desenvolver uma ética de atuação profissional e a consequente responsabilidade social, compreendendo a Ciência como conhecimento histórico, desenvolvido em diferentes contextos sociopolíticos, culturais e econômicos. (BRASIL, 2001b, p.4 - Parecer CNE/CES 1.304)

Neste sentido, pesquisas em ensino de ciências, especificamente sobre ensino de física, tem apontado a necessidade de se ensinar como se constroi o conhecimento científico, não que se pretenda uma resposta a essa questão, mas que o aluno possa compreender o quão complexo e sinuoso, cheio de controvérsias, avanços e limitações é o desenvolvimento das ciências. Um possível caminho para discutir tais questões é abordar a história e a filosofia da ciência no ensino de física.

O PCN, por exemplo, aponta três dimensões de competências e habilidades a serem desenvolvidas: *Representação e comunicação, Investigação e compreensão, e Contextualização sociocultural*. Ao tratar de aspectos da contextualização sociocultural, o PCN deixa clara a necessidade da dimensão histórica e filosófica da física estar presente no ensino da física.

Espera-se que o ensino de Física, na escola média, contribua para a formação de uma cultura científica efetiva, que permita ao indivíduo a interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais, situando e dimensionando a interação do ser humano com a natureza como parte da própria natureza em transformação. Para tanto, é essencial que o conhecimento físico seja explicitado como um *processo histórico*, objeto de contínua transformação e associado às outras formas de expressão e produção humanas. É necessário também que essa *cultura em Física* inclua a compreensão do conjunto de equipamentos e procedimentos, técnicos ou tecnológicos, do cotidiano doméstico, social e profissional. (BRASIL, 2000, p.22) (grifo nosso)

Embora cada uma das disciplinas da área de ciência da natureza e suas tecnologias devam contribuir para a formação do terceiro eixo de competências (Contextualização sociocultural) nos parâmetros (PCN+), são apontados os seguintes objetivos correspondentes ao ensino de física (BRASIL, 2002, p. 67,68):

- Compreender o conhecimento científico e o tecnológico como resultados de uma construção humana, inseridos em um processo histórico e social;

² Estamos especificando o curso de Física por ser o curso de formação da pesquisadora, por compor uma das turmas onde a pesquisa se aplicou, além da inviabilidade de citarmos as diversas disciplinas científicas. O curso de Geofísica (onde a pesquisa também se aplicou) ainda não possui diretrizes específicas, propostas pelo MEC.

- Compreender a ciência e a tecnologia como partes integrantes da cultura humana contemporânea;
- Reconhecer e avaliar o desenvolvimento tecnológico contemporâneo, suas relações com as ciências, seu papel na vida humana, sua presença no mundo cotidiano e seus impactos na vida social;
- Reconhecer e avaliar o caráter ético do conhecimento científico e tecnológico e utilizar esses conhecimentos no exercício da cidadania;

Em cada um dos itens apontados acima, podemos identificar que um bom trabalho de cunho histórico-filosófico é capaz de contemplar esses aspectos. Contudo, no trecho abaixo, o PCN sugere claramente a inserção da HFC no ensino:

Um tratamento didático apropriado é a utilização da história e filosofia da ciência para contextualizar o problema, sua origem e as tentativas de solução que levaram à proposição de modelos teóricos, a fim de que o aluno tenha noção de que houve um caminho percorrido para se chegar a esse saber. (BRASIL, 2000, p. 50)

Como mencionado, o PCN é um documento destinado a orientar a construção curricular e as ações docentes, e nele podemos observar a valorização da abordagem da HFC na educação, apontado para o fato de que ela pode contribuir para uma melhor compreensão dos conceitos científicos, assim como para uma visão mais adequada do desenvolvimento da ciência.

Até aqui, colocamos que há na área de ensino de ciências uma reflexão sobre *o que* ensinar, dentre outros aspectos. Neste sentido, aponta-se a necessidade de compreensão *da* ciência e *sobre* a ciência, e a HFC aparece como uma abordagem favorável ao ensino.

Posto tal cenário, esta dissertação insere-se na área de pesquisa em *Ensino de Ciências*³, pensando em um conteúdo comum ao ensino de física. Este trabalho busca contribuir com o ensino do conceito de inércia por meio de uma abordagem histórico-filosófica⁴.

³Queremos explicitar que ao nos referirmos ao ensino de Ciências, ao longo de todo o trabalho, estamos nos reportando às Ciências Naturais, sem que seja atribuído apenas a ela o status de Ciência, por estarmos trabalhando com o ensino de um conteúdo da Física e por tomarmos como referência estudos em que são discutidos aspectos inerentes às Ciências Naturais.

⁴Embora seja possível considerar a História da Ciência e a Filosofia da Ciência, separadamente, decidimos optar pelo uso do termo histórico-filosófica por entender que a história e a filosofia da Ciência estão coesas assim como aponta Imre Lakatos: “A Filosofia da Ciência está vazia sem História da Ciência; a História da Ciência está cega sem Filosofia da Ciência”.

Nessa perspectiva, a história da inércia é extremamente importante tanto para compreensão de determinados conceitos da física clássica, pois se trata de uma consideração fundamental, quanto possui o potencial para discutir saberes *sobre* a ciência.

Nosso trabalho teve como objetivo principal, elaborar, aplicar e avaliar uma sequência didática acerca do desenvolvimento histórico do conceito de inércia abordando aspectos selecionados da Natureza da Ciência (NdC).

Com o intuito de desenvolver esta pesquisa estabelecemos como objetivos específicos:

- Construir um texto sobre o desenvolvimento histórico do conceito de inércia, voltado preferencialmente para estudantes de graduação que cursem disciplina de Mecânica Clássica ou equivalente;
- Identificar elementos de natureza da ciência (NdC) a serem explorados na sequência didática, a partir do estudo histórico do conceito de inércia e da literatura de pesquisa da área de ensino de ciências;
- Investigar se a metodologia utilizada colaborou com a aprendizagem do conceito de inércia;
- Investigar se a sequência didática colaborou com a aprendizagem dos conteúdos específicos de natureza da ciência que serão contemplados;
- Investigar a receptividade dos alunos em relação à abordagem histórico-filosófica para o ensino de um conteúdo de física (o conceito de inércia).

A dissertação está dividida em três capítulos. No primeiro discutimos os fundamentos teóricos da inserção da história e da filosofia da ciência no ensino. Já o segundo compreende o processo de reconstrução da história da inércia a fim de subsidiar a construção do material de apoio ao aluno, utilizado na aplicação da sequência didática proposta. O capítulo três contempla a parte empírica da pesquisa; nele descrevemos o processo construção, aplicação e avaliação da sequência didática.

CAPÍTULO 1

A HISTÓRIA DA CIÊNCIA E A NATUREZA DA CIÊNCIA

Ter conhecimento científico sobre um assunto significa conhecer os resultados científicos, aceitar esse conhecimento e ter o direito de aceitá-lo, conhecendo de fato (não através de invenções de pseudo-histórias) como esse conhecimento é justificado e fundamentado. Crença científica, por outro lado, corresponde ao conhecimento apenas dos resultados científicos e sua aceitação baseada na crença na autoridade do professor ou do “cientista”.

Roberto de Andrade Martins

A matriz teórica do estudo será construída a partir dos campos: Ensino de Ciências / História e Filosofia da Ciência (HFC) no ensino e Natureza da Ciência (NdC).

Neste capítulo serão analisados os fundamentos teóricos que estão presentes na temática HFC no ensino de ciências. Embora nossa pretensão seja discutir a NdC via história da inércia, os aspectos teóricos apontados podem ser ampliados para outros conteúdos das ciências da natureza, em princípio.

1.1 A HISTÓRIA DA CIÊNCIA E A FILOSOFIA DA CIÊNCIA NO ENSINO DE FÍSICA

Não são raras as pesquisas que apontam problemas em relação ao ensino de ciências, em especial, o ensino de física. Este aparece descontextualizado, imerso em equações e problemas quase sempre incompreendidos pelos alunos. Como reflexo, notas baixas, desinteresse e, como mostram os indicadores, um alto índice de analfabetismo científico.

Zanetic (1989) já apontava, há duas décadas, alguns problemas sem relação ao ensino de física, a saber: I) É praticada apenas uma operacionalização muito pobre dos conceitos e leis da física clássica; II) Foi suprimida a prática experimental, que era básica para a compreensão de conceitos, teorias e métodos; III) Não se contempla a mudança epistemológica, por que passou a física desde a sua estruturação clássica a partir do século XVII; IV) Está ausente a história da física tanto a internalista quanto a externalista; V) A física é apresentada como um ramo do conhecimento neutro, apolítico e desligado do

cotidiano; VI) O conteúdo da física se restringe aos diferentes ramos consagrados da física clássica, com total ausência dos desenvolvimentos por que passou a física contemporânea após o advento da relatividade e da mecânica quântica e VII) Forte rejeição em relação ao ensino de física (ZANETIC, 1989, p. 15-16).

Muito embora a pesquisa em didática das ciências tenha avançado, muitos dos problemas apontados por Zanetic (1989) ainda estão presentes no ensino de física e refletem também os aspectos pelos quais há um grande desinteresse e até mesmo intensa aversão ao ensino da física.

Uma das questões apontadas por Zanetic diz respeito ao uso da história e da filosofia da ciência no ensino. O ensino de ciência (EC) é uma área já consolidada, que atualmente conta com uma diversidade de linhas de pesquisa⁵. Dentre as pesquisas realizadas em ensino de ciências, os trabalhos cuja temática é a história e filosofia da ciência (HFC) tem aparecido, segundo Dias (2009), desde o surgimento da pesquisa em EC mantendo-se sempre presente como temática desta área. Como exemplos, a autora cita a valorização da HFC no Projeto Harvard, na década de 1960, no início do processo de consolidação da área de pesquisa em EC; a presença, desde a primeira edição do Caderno Catarinense de Ensino de Física, hoje, Caderno Brasileiro de Ensino de Física, em 1984, de uma seção intitulada “História e Filosofia da Física (HFF)” com edições especiais em 1988, 1989, 1990, (mais recentemente, que não foi citado por Dias (2009) temos as edições especiais de 2002); a inauguração, no ano de 1993, na Revista Brasileira de Ensino de Física, de uma seção “Epistemologia e História da Física”.

A partir da análise de 9 encontros científicos sobre ensino de física, realizados nos quatro primeiros anos da década de 1990, Carvalho e Vannucchi (1996), com o objetivo de traçar as tendências para o currículo de física, apontam que a HFC foi uma prioridade nos estudos, tanto nos eventos nacionais como nos internacionais, ficando atrás somente do ensino cognitivista.

Na direção de minimizar alguns dos problemas identificados no ensino de ciências, como por exemplo, a questão do ensino descontextualizado, muitos trabalhos defendem a utilização didática da HFC. Vários autores apontam suas potencialidades: contribuir para aprendizagem dos conceitos científicos, e, de certa forma, constituir-se numa alternativa à matematização pura e simples; aproximar os alunos das ciências exatas, como motivador e até mesmo como termo de conhecimento das concepções alternativas, a história da física, por

⁵ Para um maior aprofundamento sobre o desenvolvimento do ensino de ciências enquanto área de pesquisa ver: CARVALHO E VANNUCCHI, 1996; MOREIRA, 2000 e NARDI, 2005.

exemplo, mostra que certas concepções científicas do passado têm paralelos com as concepções de alunos hoje (para a mecânica aristotélica, que perdurou muito tempo, pensava-se que a condição de movimento implicava existência de uma força); discutir questões pertinentes à natureza científica, tais como o caráter temporal de conceitos científicos, a desmistificação do gênio (a ciência é feita em colaboração), a influência de fatores sociais, políticos, religiosos no desenvolvimento de teorias; contribuir para o entendimento da relação ciência, tecnologia e sociedade (ZANETIC, 1989; MATTHEWS, 1995; VANNUCCHI, 1996; PEDUZZI, 2001; EL-HANI 2006; MARTINS, 2000; MARTINS, 2006a; MARTINS 2007; SILVA e MOURA, 2008; SILVA, 2010).

Para Martins (2006a) um estudo adequado da HFC permite apresentar uma visão mais completa da construção do conhecimento científico, uma visão que não é comumente presente nos livros didáticos, pois, em geral, a ênfase dos manuais está nos resultados da ciência, deixando de lado questões como problemas que motivaram as pesquisas, suas relações com outros acontecimentos de sua época, seus embates, suas dificuldades e limitações.

Silva e Pagliarini defendem o uso da HFC argumentando que:

Uma grande contribuição que a história traz ao ensino de ciências é estabelecer aspectos obscuros em certas teorias científicas e derrubar certos dogmas impostos em livros e textos didáticos presentes em salas de aula. Isso, pois a HFC confronta concepções equivocadas que se tem da ciência, tais como o empiricismo e o indutivismo científico. (SILVA; PAGLIARINI, 2008, p. 3)

A necessidade de contextualização histórica e de uma abordagem da física enquanto cultura já se fazia presente na tese de doutorado de Zanetic (1989) intitulada *Física também é cultura*:

A física também é cultura. A física também tem seu romance intrincado e misterioso. (...). O que desejo é fornecer substância cultural para esses cálculos, para que essas fórmulas ganhem realidade científica e que se compreenda a interligação da física com a vida intelectual e social em geral. (ZANETIC, 1989, p.5)

É preciso que o ensino de física desenvolva conhecimentos significativos e que seu estudo permita ao estudante uma visão ampla do conhecimento científico. Assim sendo, consideramos que um importante instrumento é a utilização da história e filosofia da ciência no ensino da física. No trecho citado abaixo, Matthews afirma que a HFC pode contribuir para que o ensino de ciências possa ser mais bem compreendido e aponta para o possível aspecto motivador dessa abordagem:

A história e a filosofia podem dar às idealizações em ciência uma dimensão mais humana e compreensível e podem explicá-las como artefatos dignos de serem apreciados por si mesmos. Isto é importante para os estudantes que estão sendo apresentados ao mundo da ciência. A incapacidade de apreciar o que exatamente é a idealização, e o que não é, tem sido à base de muita crítica anti-científica. (MATTHEWS, 1995, p. 184)

Fleck (2010), em sua análise do desenvolvimento do conhecimento, mostra a relevância da história para compreensão da gênese e desenvolvimento de um determinado conceito. Embora sua análise tenha como objetivo investigar como se constrói um conceito histórico é possível identificar como uma abordagem histórica pode colaborar para a compreensão de conceitos científicos. Para ele, conhecer de fato, passa pela compreensão da história:

É uma ilusão acreditar que a história do conhecimento tenha tão pouco a ver com o conteúdo da ciência, quanto digamos a história do telefone com o conteúdo das conversas telefônicas: pelo menos três quartos, talvez a totalidade, do conteúdo das ciências são condicionados pela história do pensamento, pela psicologia e pela sociologia do pensamento. (FLECK, 2010, p. 62)

Até aqui traçamos, brevemente, a importância da temática HFC para a área de pesquisa em ensino de ciências e nos referimos a aspectos que são apontados como positivos no que tange a utilização didática da HFC. Na próxima seção, vamos considerar as objeções em relação a essa abordagem.

1.2 OUTRAS REFLEXÕES QUANTO À UTILIZAÇÃO DIDÁTICA DA HFC

Devemos considerar que não há uma unanimidade no que se refere à utilização da HFC no ensino, e também mostraremos pontos que designam problemas nessa perspectiva.

Matthews (1995) aponta Martin Klein como um dos críticos à utilização da HFC no ensino. Em uma conferência no MIT (*Massachusetts Institute of Technology*), em 1970, Klein coloca-se em oposição à utilização da história da Ciência no ensino. Para ele, a única história possível nos cursos de ciência seria uma pseudo-história, em virtude das aproximações e simplificações didáticas e pedagógicas feitas pelos professores.

Estamos, em outras palavras, planejando selecionar, organizar e apresentar esses materiais históricos, de forma, definitivamente, não histórica, ou até talvez, anti-histórica. Isto é bastante temerário, se estamos tão preocupados com a integridade e a qualidade da história que ensinamos quanto estamos preocupados com a física. (KLEIN 1972, p. 12 apud MATTHEWS, 1995)

Ele prossegue em seu argumento:

Uma razão pela qual é difícil fazer-se com que a história da física atenda as necessidades do ensino da física é a diferença fundamental que há entre a perspectiva do físico e a do historiador. (...) É tão difícil imaginar-se a combinação da riqueza de complexidade do fato, por que anseia o historiador, com o simples corte agudo do fenômeno que a física procura. (KLEIN, 1972, p. 16 apud MATHEWS, 1995)

Entendemos que um trabalho de caráter historiográfico deve ser realizado por especialistas, historiadores da ciência. Como aponta Martins (2001a) não basta conhecer sobre física para escrever com competência sobre história da física.

E por que apenas uma pessoa com um conhecimento e treino adequado nas técnicas de trabalho de história da ciência deveria poder escrever sobre história da ciência? Para evitar a divulgação de erros a leitores incautos. (MARTINS, 2001a, p.114)

No entanto, devemos considerar que qualquer que seja a área de formação do estudante, ele deveria compreender alguns aspectos históricos do seu campo de conhecimento. Infelizmente há deficiência na formação básica e na graduação nesse aspecto. Vale também considerar que os trabalhos historiográficos em geral, são realizados para um público especializado, não sendo pensados para a aplicação didática, sobretudo no nível da educação básica. Acreditamos que o professor possa se apropriar das pesquisas historiográficas e do campo da história das ciências (sem que necessariamente se torne um historiador) e reelaborá-los a fim de que conteúdos de história das ciências possam ser inseridos em sala de aula de maneira mais pedagógica.

Outro autor apontado por Matthews que aborda problemas em relação aos aspectos históricos no ensino seria Whitaker. Para ele existiriam não só inadequações históricas em função das aproximações pedagógicas mais também em virtudes de compreensões epistemológicas e/ou ideologias científicas, o que denominou de *quasi-história*.

Na *quasi-história*, tem-se uma falsificação da história com aspecto de história genuína, semelhante ao que Lakatos chamava de reconstruções racionais da história (1978), onde a história é escrita para sustentar uma determinada versão de metodologia científica e onde as figuras históricas são retratadas à luz da metodologia ortodoxa atual. (MATTHEWS, 1995, p. 174)

Ainda de acordo com Matthews, haveria outro problema em relação aos conteúdos históricos para o ensino, desta vez ancorada em Thomas Kuhn, dentre outros. Para Kuhn uma “exposição à história da ciência enfraquecia as convicções científicas necessárias à conclusão bem sucedida da aprendizagem da ciência” (MATTHEWS, 1995, p.173). Nas palavras kuhnianas:

O traço peculiar mais impressionante desse tipo de ensino é que, num grau absolutamente inexistente em outros ramos criativos, ele é conduzido inteiramente através de livros-texto (...) e os estudantes de ciências não são encorajados a lerem os clássicos históricos de suas áreas - obras onde eles poderiam descobrir outras formas de considerar os problemas discutidos em seus livros-texto (...) esse ensino permanece uma mera iniciação dogmática a uma tradição pré-estabelecida (KUHN 1959/1977, p.228-229).

Kuhn aponta que um progresso científico jamais acontece antes que essa educação seja convergente, ou seja, sem que haja uma doutrinação no paradigma vigente. “Essa distorção tem como meta fazer com que o cientista em formação sinta-se parte integrante de uma tradição bem sucedida na busca da verdade” (MATTHEWS, 1995, p. 177). Vale acentuar que na obra de Kuhn ele faz uma análise epistemológica da ciência, ele não defende ou ataca o uso da história no ensino das ciências. Seus estudos apontam que em um período de ciência normal, o ensino tende a ser dogmático para formar especialistas em um determinado paradigma, nesse sentido o estudo da história não contribuiria para esse objetivo.

Apesar dos problemas apresentados por aqueles que não apoiam o uso na HFC no ensino, segundo Matthews, isso não inviabiliza a utilização da mesma. Em relação a simplificações pedagógicas, ele rebate: “a tarefa da pedagogia é, então, a de produzir uma história simplificada que lance uma luz sobre a matéria, mas que não seja uma mera caricatura do processo histórico” (MATTHEWS, 1995, p. 177). Já no que diz respeito às restrições apontadas por Whitaker, ele defende:

O problema hermenêutico de interpretação na história da ciência, longe de dificultar ou impedir o uso da história, pode tornar-se uma boa ocasião para que os alunos sejam apresentados a importantes questões de como lemos textos e interpretamos os fatos, isto é, ao complexo problema do significado: a partir de seu dia a dia, os alunos sabem que as pessoas vêem as coisas de formas diferentes; portanto, a história da ciência constitui-se num veículo natural para se demonstrar como esta subjetividade afeta a própria ciência. (MATTHEWS, 1995, p. 177)

E no que se refere ao enfraquecimento das convicções científicas, quanto confrontados (os alunos) com a HFC, Matthews afirma que “não há evidências de que tais abordagens diminuam o entendimento científico; elas podem abalar uma certa convicção pseudocientífica, o que não é de todo mal”.(MATTHEWS, 1995, p.178)

Ainda sobre os problemas na abordagem histórica no ensino, Martins (2006a) aponta três aspectos negativos que aparecem comumente em publicações de caráter histórico. Para ele, tais histórias acentuam concepções inadequadas sobre a natureza da ciência:

- a) *Redução da história da ciência a nomes, datas e anedotas*: Esse tipo de história é muito comum nos livros didáticos, apresentam poucos nomes e datas, principalmente do que “deu certo” na ciência, o que contribui para fortalecer ideias como, a ciência é feita por grandes “gênios”; a ciência é fruto de “descobertas” marcantes; o desenvolvimento científico acontece em datas determinadas, ou seja, é excluída toda a complexidade de um processo; e que os acontecimentos são isolados, isto é, não possuem relação com aspectos sociais, políticos, econômicos, crenças, imaginação, reafirmando o ideal de neutralidade científica.

- b) *Concepções errôneas sobre o método científico*: Outro aspecto presentes em muitos textos e *boxes* históricos é a ideia de que o conhecimento é obtido por meio da aplicação de um método científico, com ênfase no método experimental, dando ideia de neutralidade e verdade.

- c) *Uso de argumentos de autoridade*: O argumento de autoridade é utilizado para afirmar a validade de uma teoria, esse tipo de abordagem fortalece as crenças e a ideia de que a ciência é superior a outras formas de conhecimento.

Tantos os argumentos contrários ao uso da HFC na educação apresentados no trabalho de Matthews (1995), quanto as considerações levantadas por Martins (2006a) sinalizam para a complexidade da tarefa de adotar essa abordagem no ensino de ciências; no entanto, concordamos com Martins (2006a, p. XXVII) que “é necessário, por isso, um trabalho de pesquisa para fundamentar um adequado uso da história da ciência no processo educacional”.

Outro fator que devemos considerar que minimizam esses problemas, é que avançamos, no que se refere a bases teóricas que fundamentam a aplicação didática da HFC, além de aumento na quantidade de trabalhos históricos que podem subsidiar a inserção da HFC no ensino e pesquisas aplicadas desse tipo de abordagem.

Um trabalho de pesquisa recente que discute a aplicação didática da história e filosofia da ciência no ensino de física é o de Teixeira, Greca e Freire Jr (2012), intitulado: *Uma revisão sistemática das pesquisas publicadas no Brasil sobre o uso didático de história e filosofia da ciência no ensino de física*. A pesquisa desenvolvida por esses autores, através de uma revisão sistemática de trabalhos publicados em seis revistas (sendo 5 nacionais e 1 internacional), mapeou os trabalhos cuja temática encontrava-se centrada na história e filosofia da ciência, para disciplina de física, foram encontrados 160 trabalhos nessa

perspectiva, dos anos de 1980 até meados do ano de 2011. Dentre esses trabalhos os autores selecionaram 14, cujo objetivo foi desenvolver algum tipo de inserção em sala de aula para análise. Notemos que de 160 sobre a temática HFC apenas 14 desenvolveram algum tipo de aplicação didática.

Embora possamos considerar essa quantidade de artigos um número ainda pequeno (160 trabalhos sobre o uso didático a HFC em aproximadamente 30 anos), sobretudo quando olhamos para a quantidade de trabalhos de natureza aplicada (apenas 14), é possível antever que esses números possam se tornar cada vez maiores. Os autores, ao analisarem o total de trabalhos (160) em HFC para o ensino de física e comparem a quantidade de artigos publicados em cada década, verificam um considerável aumento. Na década de 1980, foram identificados 12 artigos, na década de 1990, 26 artigos, entre 2000 e 2009, 101 artigos e nos anos 2010 e meados de 2011 (até onde a pesquisa se estendeu) foram encontrados 21 artigos.

O panorama geral mostrou que há uma comunidade relativamente numerosa de pesquisadores trabalhando com o uso didático da HFC no Ensino de Ciências (em particular, de Física), no cenário brasileiro, e que o número de trabalhos publicados que foram encontrados no minucioso processo de seleção não difere largamente do número encontrado na seleção dos trabalhos internacionais apresentados por Teixeira et al. (2009) e, em ambos os cenários, há um crescimento substancial dessa publicação. Em contrapartida, o número de trabalhos que se ocupam de fato em investigar intervenções didáticas em salas de aula de Física com uso de HFC é, significativamente, pequeno, também nos dois cenários. (TEIXEIRA; GRECA; FREIRE JR, 2012, p. 32)

Outro trabalho que podemos citar que identifica pesquisas em HFC que se materializaram em intervenções didáticas é o de Oliveira e Silva (2012), porém o campo de investigação se dá através da análise de alguns eventos de ensino de física (SNEF – Simpósio Nacional de Ensino de Física e EPEF – Encontro de Pesquisa em Ensino de Física), dos anos de 2000 a 2009 (com exceção do SNEF 2001 – por não conter trabalhos completos). Foram encontrados 125 trabalhos que tratavam da HFC no ensino de física, dentre esses, segundo as autoras, apenas 8 descreviam propostas didáticas aplicadas. O objetivo deste levantamento era o de identificar que tipo de abordagem histórica prevalecia no tratamento da HFC aplicadas em sala de aula, se do tipo internalista ou externalista. Dentre os aspectos observados nesse artigo, as autoras afirmaram que dos trabalhos observados grande parte deles tratam apenas das vantagens e desvantagens da HFC no ensino e poucos fazem algum tipo de intervenção didática, desses há uma tendência à abordagem do tipo externalista da história da ciência.

Acreditamos que atualmente haja razoável consenso no que se refere à validade do uso didático da HFC no ensino. Contudo, as pesquisas citadas acima mostram que os trabalhos

que se utilizam dessa abordagem em aplicações em salas de aula ainda são escassas. Além dos trabalhos mencionados, o que Dias (2009) afirma vai ao encontro do que as pesquisas apontadas acima identificaram:

No quadro geral a HFC pareceu-nos reveladora de uma característica preocupante das pesquisas sobre EC e suas aplicações: a distância entre os resultados das pesquisas e a sala de aula. Como pudemos constatar, enquanto tema de pesquisa, a HFC estava presente desde o início da área, mas poucos trabalhos enfocavam experiências concretas de sua aplicação no ensino. (DIAS, 2009, p. 4)

Devemos salientar que a inserção de aspectos da HFC para o ensino não implica uma substituição do conteúdo conceitual de física pelo uso da HFC. Entendemos que ambos os aspectos devem estar presentes no ensino de física e que uma abordagem HFC pode subsidiar o aprendizado dos conteúdos científicos. Martins (2006a) aponta para esses aspectos:

A história das ciências não pode substituir o ensino comum das ciências, mas pode complementá-lo de várias formas. O estudo adequado de alguns episódios históricos permite compreender as inter-relações entre ciência, tecnologia e sociedade, mostrando que a ciência não é uma coisa isolada de todas as outras, mas sim faz parte de um desenvolvimento histórico, de uma cultura, de um mundo humano, sofrendo influências e influenciando por sua vez muitos aspectos da sociedade. (MARTINS, 2006a, p. XVII)

Acreditamos que a HFC é um campo frutífero, capaz tanto de colaborar com a aprendizagem de conceitos físicos como de viabilizar a inserção de elementos da natureza da ciência no ensino. Dessa forma, propomos desenvolver uma sequência didática para ensinar o conceito de inércia, além de discutir certos aspectos da natureza da ciência a partir de uma abordagem histórica.

Optamos por trabalhar a história da inércia pelos seguintes fatores:

- I) Por entender a relevância dessa temática no campo da física. Historicamente, esteve fortemente relacionado ao fim do paradigma aristotélico;
- II) Por considerar o potencial dessa temática para inserir conteúdos de NdC no ensino;
- III) Como forma de contraponto a uma visão simplista do conceito de inércia tradicionalmente ensinado na escola e apresentado em livros didáticos;
- IV) Pelo fato de que há bibliografia produzida de temas históricos sobre os conteúdos de Mecânica Clássica.
- V) Trata-se de um conceito de difícil aprendizado, fato evidenciado pelas pesquisas de concepções alternativas.

Com relação às concepções alternativas em mecânica, alguns trabalhos apontam a existência de padrões de raciocínio que se constituem em obstáculos à aprendizagem dos conceitos científicos (Valadares, 1995; Peduzzi, 1996; Peduzzi, 2005; Pietrocola, 2005; Martins, 2007).

As principais características das concepções alternativas de acordo com Peduzzi, Zylbersztajn e Moreira (1992, p.240) são:

- a) Encontradas em um grande número de estudantes, em qualquer nível de escolaridade;
- b) Constituem um esquema conceitual coerente, com um amplo poder explicativo;
- c) Diferem das ideias expressam através dos conceitos, leis e teorias que os alunos tem que aprender;
- d) São muito persistentes e resistem ao ensino de conceitos que conflitam com elas;
- e) Não se debilitam mesmo frente a evidências experimentais que as contrariam;
- f) Interferem no aprendizado da física, sendo responsáveis, em parte, pelas dificuldades que os alunos encontram em disciplinas dessa matéria, acarretando nestas um baixo rendimento quando comparado com disciplinas de outras áreas;
- g) Apresentam semelhança com esquemas de pensamento historicamente superados.

Em tese de doutoramento, Valadares (1995) procurou estabelecer relação entre as concepções alternativas em física e visões da filosofia da ciência. No capítulo IV o pesquisador faz uma digressão histórica sobre a investigação em concepções alternativas no ensino da física. Destacaremos alguns pontos que mostram algumas das concepções alternativas encontradas em mecânica, relacionadas ao conceito de inércia. Segundo Valadares (1995, p. 303), com base nos trabalhos pesquisados ele organizou as concepções comum (relativas ao movimento) da seguinte maneira:

- I) Se um corpo se move num dado sentido, é porque está atuado por uma força nesse sentido.
- II) Sob a ação de uma força constante, um corpo move-se com velocidade constante.
- III) O valor da velocidade de um corpo é proporcional à intensidade da força que o atua.
- IV) A aceleração de um corpo é devida a um aumento da força que o atua.
- V) Na ausência de força, um corpo, ou está em repouso, ou então, se está a mover-se acaba por parar.
- VI) O corpo move-se na ausência de força até parar porque armazenou uma espécie de "ímpeto" durante a atuação de uma força.
- VII) As forças que não produzem ou tendem a produzir movimentos no seu sentido não existem. É o caso da reação de uma mesa sobre um corpo que não existe porque o corpo não se move para cima.

VIII) A ação que um corpo exerce noutro e a reação que este exerce no primeiro dependem de aspectos figurativos tais como a forma e posição dos corpos, a massa dos mesmos, o seu tamanho, o estado cinético em que se encontram etc.

IX) A força é uma propriedade de um corpo.

Podemos notar que tais concepções vão de encontro ao conceito de inércia aceito atualmente; nesse sentido, é possível identificar o porquê desse conceito ser de difícil aprendizagem.

Tradicionalmente, os conteúdos de Mecânica seguem listas intermináveis de equações e gráficos, em uma abordagem quantitativa. Em geral, de acordo com a maioria dos livros didáticos, os movimentos são discutidos separadamente: MRU, MRUV, queda livre, lançamentos vertical, horizontal e oblíquo. As Leis de Newton, tratadas na Dinâmica, não parecem ter ligação alguma com os movimentos tratados na cinemática. As questões sobre energia e conservação seguem a mesma estrutura, não dispõem de uma construção com caráter histórico e social. Encontram-se, no mais das vezes, destituídas de significação e contextualização e da forma como são apresentados esses conteúdos, não são capazes de mostrar qualquer relação entre si, tampouco, com outros assuntos como, por exemplo, com a astronomia ou com outras áreas de conhecimento.

Menezes (2009), tratando sobre a fossilização dos conteúdos clássicos, aponta para os problemas em relação aos conteúdos de mecânica tratados nos livros didáticos, por conseguinte, abordados em salas de aula:

(...) Não é assim que se inicia o estudo da mecânica, pois a síntese na forma de “leis de Newton” não é sequer cotejada com compreensões anteriores do significado do movimento. As formulações gerais e abstratas da mecânica são tratadas como se fossem simples resultados de uma percepção natural dos fenômenos, resultantes da “descoberta da experimentação”, como parte de um famoso método científico. E não é uma questão de falta de tempo, mas sim falta de cultura, pois em uma única aula ou uma só página de texto, caberia um diálogo de Galileu questionando os postulados aristotélicos, mas essa aula e essa página geralmente não existem (MENEZES, 2009, p. 29-30).

E segue criticando a falta de contextualização prática dos conteúdos:

Mas não pense que a falta dessa história se compense com a exploração de uma compreensão prática, por exemplo, dos movimentos de veículos e de sua segurança, dos limites teóricos dos movimentos em esportes olímpicos, ou de qualquer outro sentido pragmático da mecânica, como a operação de máquinas e ferramentas. Essas dimensões práticas da mecânica são ignoradas por serem consideradas exclusivas do mundo do trabalho e, em decorrência, impróprias para a educação de base. Em lugar delas, entendiam-

se estudantes com frases em um triste jargão, como “a inércia de corpos na ausência de forças”, que lembram corpos inertes sobre lajes num instituto médico legal, para, logo em seguida, despejar-se sobre os alunos uma álgebra mal digerida de equações de movimento para ser memorizada em algoritmos ociosos (MENEZES, 2009, p.30).

Vimos que algumas críticas são direcionadas à utilização didática da história da ciência, no entanto, tais fatores não inviabilizam a utilização da mesma no ensino, apenas apontam para determinados cuidados e atenções que devem seguir aqueles que se enveredam por esse caminho. Salientamos que a história da ciência é um caminho possível para ensinar conteúdos científicos além de conteúdos sobre a ciência, nas pesquisas em ensino de ciências tem esse tema (uso da HFC na educação) tem sido recorrente, mas trabalhos com intervenções em sala de aula são ainda escassos. Destacamos que o conteúdo por nós selecionado (inércia) é de difícil aprendizado e alguns trabalhos sobre concepções alternativas apontam que os alunos apresentam ideias sobre o movimento que se distanciam das explicações científicas atualmente aceitas, que encontram similaridade com obstáculos que apareceram ao longo da história da ciência.

Na próxima seção discutiremos a viabilidade de inserir no ensino de física conteúdos de NdC por meio da história da ciência, no nosso caso, de episódios da história da inércia.

1.3 UMA QUESTÃO ESPECIAL: A NATUREZA DA CIÊNCIA

Como se constrói o conhecimento? O que caracteriza a ciência? Como se dá o processo de substituição de uma teoria por outra? Quais fatores exercem influências sobre a ciência? Estas são algumas das questões que a Filosofia da Ciência busca responder. É com um olhar crítico sobre os ideais do positivismo lógico que pensadores como Koyré, Fleck, Kuhn, Feyerabend, Bachelard, Popper, Lakatos, Toulmin e Laudan passaram a analisar o desenvolvimento da ciência e propor novas teorias do conhecimento científico. Embora cada um dos autores citados tenha suas especificidades, podemos identificar entre eles algumas convergências, principalmente no que se refere à crítica à fragilidade da indução, à ciência como verdade e a existência de um método científico rígido.

Segundo Roberto Martins, um dos grandes trabalhos em história da ciência foi realizado por Koyré (filósofo e historiador), que traz uma nova orientação para fatores que influenciam o desenvolvimento científico (como questões filosóficas, religiosas e culturais) e

desmistifica o caráter individualista da pesquisa quando analisa e compara trabalhos de cientistas conhecidos a pesquisadores “desconhecidos”. Vejamos o que nos diz Martins:

Através de uma análise crítica e detalhada de alguns dos textos emblemáticos da revolução científica, Koyré foi capaz de mostrar que os “grandes cientistas” não eram tão infalíveis quanto se pensava, e não utilizavam de modo sistemático o próprio método experimental que apregoavam. Apontando os pontos fracos da obra de Galileu, Koyré rompeu com a visão tradicional ingênua sobre os grandes “gênios”. Por outro lado, estudando trabalhos de alguns “desconhecidos”, mostrou que a capacidade de produzir trabalhos com valor científico estava distribuída pela humanidade de um modo muito mais democrático do que se pensava antes. (MARTINS, 2001b, p. 26)

É, com maior intensidade, a partir dos anos 1960, com a publicação da obra de Thomas Kuhn, *A Estrutura das Revoluções Científicas* (1962), que fatores sociais passam a ser considerados aspectos marcantes e muitas vezes determinantes na construção do conhecimento científico.

Na área de ensino de ciências, surgiram recentemente muitos trabalhos preocupados com a inserção curricular da NdC. Essa temática, em si mesma não é nova na área e se articula historicamente, com o campo do uso didático da história e da filosofia da ciência.

Lederman, (1992 apud HARRES, 1999, p.1) identificou quatro focos nas pesquisas em NdC: *concepções de estudantes; concepções de currículos; concepções de professores; e, implicações entre as concepções dos professores, sua práxis em sala de aula e as concepções dos estudantes*. Harres (1999, p.2) revisou mais de vinte trabalhos que investigam concepções sobre a natureza da ciência (CNC) em estudantes e todos os trabalhos detectaram a presença de concepções científicas inadequadas:

As CNC inadequadas dos estudantes mais comuns encontradas incluem, entre outros aspectos: a consideração do conhecimento científico como absoluto; a ideia de que o principal objetivo dos cientistas é descobrir leis naturais e verdades; lacunas para entender o papel da criatividade na produção do conhecimento; lacunas para entender o papel das teorias e sua relação com a pesquisa; incompreensão da relação entre experiências, modelos e teorias (HARRES, 1999, p. 2).

Ainda de acordo com Lederman (1992, apud HARRES, 1999) mesmo após o ensino os estudantes continuam com concepções inadequadas, o que para esse autor pode estar relacionado à ineficiência dos currículos de ciências.

Gil Pérez et al. (2001) apresentam sete aspectos identificados como visões deformadas do trabalho científico, a saber: 1) concepção empírico-indutivista e atórica; 2) visão rígida (algorítmica, exata, infalível); 3) visão aproblemática e ahistórica (dogmática e fechada); 4)

visão exclusivamente analítica; 5) visão acumulativa de crescimento linear; 6) visão individualista e elitista e 7) imagem socialmente neutra de ciência.

A análise filosófica a respeito do conhecimento científico é extremamente extensa e muitas vezes, segue por caminhos nada consensuais, principalmente quando o objetivo é definir o que seria ou deveria ser uma visão ou imagem adequada do fazer científico. Martins (1999, p. 6-7) aponta para a possibilidade da questão sobre a natureza da ciência ser respondida sob três pontos de vista distintos: de *tipo empírico* (o que tem sido, historicamente, a ciência?), de *tipo normativo* (o que deveria ser a ciência?) e de *tipo analítico* (o que poderia ser a ciência?). No entanto, este autor defende o *Princípio de Impotência da Epistemologia*, ou seja, a epistemologia jamais vai chegar a uma resposta a essa pergunta (O que é ciência?), mas pode-se determinar o que não pode ser ciência. Exemplo: *a ciência não pode ser uma teoria verdadeira, provada através de observações e experimentos*. Neste sentido, podemos identificar questões que não caracterizam a postura científica.

Alguns autores organizaram uma lista de tópicos relevantes sobre a NdC que apresentam um caráter mais condizente com o fazer científico (MCCOMAS; ALMAZROA; CLOUGH, 1998, p.513). Apresentaremos alguns tópicos:

- O conhecimento científico, enquanto durável tem caráter provisório;
- O conhecimento científico se apoia fortemente, mas não inteiramente, em observações, evidências experimentais, argumentos racionais e no ceticismo;
- Não há uma única forma de fazer ciência;
- Leis e teorias exercem diferentes papéis na ciência;
- Pessoas de todas as culturas contribuem para a ciência;
- Observações são dependentes da teoria;
- A História da Ciência revela um caráter tanto evolucionário quanto revolucionário;
- As ideias científicas são afetadas pelo contexto social e histórico.

Forato, Pietrocola e Martins (2011) apresenta algumas recomendações que são defendidas atualmente, no que diz respeito à temática NdC. Tais recomendações encontram-se em consonância com os tópicos listados acima e que correspondem a uma imagem menos ingênua a respeito da construção do conhecimento em ciências. São descritas abaixo tais recomendações:

- A compreensão da ciência como uma atividade humana, historicamente construída, imersa no contexto cultural de cada época e de cada povo, e não como uma construção puramente racional, desenvolvida por um suposto “método científico” único e

universal a partir apenas de observações, experimentos, deduções e induções logicamente fundados.

- Entender a Ciência se desenvolvendo em um contexto cultural de relações humanas, dilemas profissionais e necessidades econômicas revela uma ciência parcial e falível, contestável, influenciada também por fatores extracientíficos.
- Conhecer sobre as ciências e não apenas os conteúdos científicos, mas também alguns de seus pressupostos e limites de validade, permite criticar o dogmatismo geralmente presente no ensino de ciências, além de promover o pensamento reflexivo e crítico.
- Possibilitar certo conhecimento metodológico como um antídoto à interpretação empírico-indutivista da ciência permite refletir sobre as relações e diferenças entre observação e hipóteses, leis e explicações e, principalmente, resultados experimentais e explicação teórica.

Como já evidenciado anteriormente, as já diagnosticadas visões inadequadas da ciência devem ser abordadas no ensino de ciências. A escola deve ser capaz, também, de ressaltar a importância do saber *sobre* ciência e permitir a problematização das visões consideradas inadequadas. Desta forma, defendemos que as questões relativas à NdC devam estar presentes devem ser discutidas de forma explícita e no decurso dos conceitos físicos a serem trabalhados.

Uma pergunta se faz então necessária: Como ensinar sobre a NdC? É claro que não pretendemos uma resposta única e verdadeira para essa questão. Entretanto, as pesquisas têm apontado a possibilidade de se trabalhar questões de NdC através da HFC (MATTHEWS, 1995; VANNUCCHI, 1996; MARTINS, 2001; PEDUZZI, 2001; MARTINS, 2006a; MARTINS, 2007a; SILVA e MOURA, 2008).

Na literatura especializada podemos encontrar exemplos de trabalhos na perspectiva de lidar com NdC através de episódios históricos ou desenvolvimentos de conceitos abordados através da história da ciência. (SILVA e MOURA, 2008; FORATO, 2009; SILVA, 2010; OLIVEIRA, 2013)

Em seu trabalho de dissertação *Uma discussão sobre natureza da ciência no ensino médio: um exemplo com a teoria da relatividade restrita*, Köhnlein (2003) apresenta um módulo didático centrado em aspectos históricos e filosóficos da Teoria da Relatividade Restrita, problematizando a visão empírico-indutivista, ainda presente nos livros didáticos, e a questão do “Método Científico”.

Silva e Moura (2008) buscam discutir aspectos da NdC através do episódio histórico da aceitação e propagação da teoria newtoniana sobre luz e cores ao longo do século XVIII.

Este episódio foi capaz de mostrar que muitas vezes, fatores como o prestígio do cientista fazem com que a comunidade científica aceite uma teoria. No caso específico deste trabalho, os autores evidenciaram que o prestígio de Newton (1642-1727), no século XVIII, colaborou para a aceitação de sua concepção corpuscular para natureza da luz em detrimento da concepção ondulatória de Christiaan Huygens (1629-1695), ignorada pela maioria dos filósofos dessa época. De acordo com os autores: “a fama e o reconhecimento de Newton (...) contribuiu para que muitos aspectos problemáticos de suas ideias não fossem analisados criticamente e, muitas vezes, relevados” (SILVA e MOURA, 2008, p.8). Pode-se também identificar os processos de transformações que ocorrem nas teorias para mantê-las.

Forato (2009), em tese de doutoramento, defende a NdC enquanto saber escolar. Utilizou-se de três episódios da história da luz para problematizar principalmente a visão empírico-indutivista da ciência.

Através da construção histórica do conceito moderno de galáxia, Henrique et al. (2010) propõem discutir a NdC em um curso de astronomia. Em todos os casos citados, os autores afirmam que os trabalhos apresentaram resultados positivos.

Posicionamos-nos em conformidade com o que defende Forato (2009) em sua tese: de que a NdC deve ser constituída como um saber escolar que além de pertinente é necessário, uma vez que é possível detectarmos a carência de textos nessa perspectiva.

Uma pesquisa semelhante a que propomos foi realizada por Souza (2008) intitulada *Uma abordagem histórica para o ensino da inércia*. Neste trabalho foram desenvolvidos três textos de caráter históricos para ensinar o Princípio da Inércia no Ensino Médio. No entanto, não foram abordadas explicitamente questões relativas à NdC.

Como mencionamos na seção 1.1 desse capítulo, uma adequada apresentação da história da física pode contribuir para reflexão sobre conteúdos de NdC (saber *sobre* ciência). Assumindo esse pressuposto propomo-nos a discutir elementos de NdC a partir da história conceitual da inércia.

Ao longo desse capítulo apresentamos razões para discutir a inércia, para utilizar a história da ciência e conteúdos de natureza da ciência no ensino. Partindo de tais fundamentos teóricos, pretendemos ver se com o uso da abordagem histórica os alunos podem compreender melhor tanto o conceito em si, quanto os aspectos de NdC que selecionamos.

No próximo capítulo apresentamos uma breve história da inércia.

CAPÍTULO 2

UMA HISTÓRIA DA INÉRCIA

Mede-se a grandeza de uma ideia pela
resistência que ela provoca.
Anaxágoras

Este capítulo é resultado de pesquisa bibliográfica sobre o desenvolvimento histórico do conceito de inércia. Trata-se de uma reconstrução histórica que objetiva nos fornecer subsídios para construir o texto histórico do aluno (para sequência didática que será apresentada no capítulo 3).

2.1 ARISTÓTELES E O MOVIMENTO LOCAL

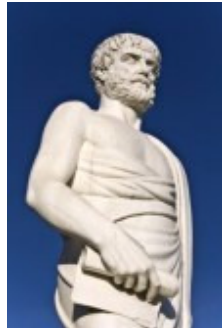


Figura 1 - Estátua de Aristóteles (384-322 a.C.), localizada na Grécia.

Fonte: http://es.123rf.com/photo_16329518_aristoteles-estatua-ubicada-en-stageira-de-grecia.html

Aristóteles, de Estagira (384-322 a.C.), é um dos personagens da antiguidade grega mais importantes na história da filosofia natural. Este personagem deixou um impressionante corpo de conhecimento sistematizado e seus estudos abrangeram diversas áreas, como a Lógica, Ética, Física, Astronomia, etc. Porém, o que nós iremos tratar neste trabalho é a contribuição dada por esse filósofo à física, através de suas concepções sobre o movimento local.

Na visão aristotélica, todos os corpos do universo são dotados de movimento, para que a *matéria* e a *forma*, constituintes indissociáveis dos corpos, atinjam sua finalidade, seu potencial. Aristóteles acredita que todo objeto é dotado de potencialidade, que se manifesta com o tempo, na mudança, no movimento. Ele adota os conceitos de *Ato* e *Potência*. Para ele, o movimento nada mais é do que a atualização do ato em potência, ou vice-versa, em função da sua condição de imperfeição, na busca pela perfeição. Assim, uma semente, por exemplo, é semente em ato, mas uma árvore em potência.

A forma de um ser é ato ou atualidade; é a *enérgia*, a essência da coisa tal como ela é aqui e agora. A matéria de um ser é potência ou potencialidade, a *dýnamis*, a aptidão ou a capacidade da coisa para o que ela pode vir a ser no tempo. Quando uma matéria recebe uma forma, não a recebe inteiramente pronta, acabada, atualizada, mas a recebe como uma possibilidade que deve ser atualizada. (CHAUÍ, 2002 apud CAMPOS E RICARDO, 2012, p. 2).

Nesse sentido, podemos perceber que a concepção de movimento em Aristóteles é muito ampla, diferentemente da concepção moderna de movimento, que considera o movimento como mudança de posição. O que consideramos movimento (mudança de uma posição à outra) para Aristóteles é referido como movimento local, que é apenas um tipo de movimento. Para ele podem existir três classes de movimento: o qualitativo (alteração), o quantitativo (aumento e diminuição) e o local (mudança de lugar/posição). Além disso, estes movimentos não são aleatórios, mas guiados por causas que favorecem a atualização das potencialidades do móvel (CAMPOS e RICARDO, 2012). Aristóteles cita como exemplos de movimento: crescer, construir, rolar, pular, praticar medicina, amadurecer, envelhecer (PIRES, 2011, p. 38).

O conceito de lugar aristotélico também é diferente do conceito de lugar que estamos familiarizados. Para Aristóteles, lugar não é uma extensão tridimensional, lugar é concebido “como o limite imóvel mais interno e que imediatamente envolve o que está contido naquele lugar” (ARIST. *Física*, IV, 4, 212^a 5 apud ÉVORA, 2006, p. 282). Logo, o lugar não existe sem que haja um corpo, pois é aquilo que contém o ser contido, mas que não pertence a este (não faz parte do contido), é um contorno, ou seja, não é nem maior nem menor do que aquilo que ele contém e é dele separável (ÉVORA, 2006).

Ele estabelece, também, uma significativa diferença entre o mundo *supralunar* (acima da esfera da lua) e o mundo *sublunar* (abaixo da esfera da lua). Assim, no mundo *supralunar*, eterno e imutável, o movimento deve ser uniforme, circular e perpétuo, e neste o movimento natural é o movimento circular uniforme, que é o único que pode ser perpétuo, no qual as leis da matemática podem ser estabelecidas e válidas.

Já no mundo *sublunar*, o movimento pode ser natural ou violento, porém o movimento natural, no mundo terrestre, é o retilíneo para cima ou para baixo em direção ao lugar natural. No mundo sublunar, em razão de sua natureza de imperfeição e corrupção, não existem movimentos perpétuos, e as leis da matemática não servem para analisar/explicar os fenômenos, em função de sua natureza corrompida, mutável.



Figura 2 - À esquerda: Cristo entrando em Jerusalém (1308-1311). Duccio di Buoninsegna (Duccio de Siena) (1255-1319), painel de têmpera; Catedral de Siena, Itália. À direita: Entrada de Jesus em Jerusalém (1329). Pietro Lorenzetti (1280-1348), afresco; Basílica Inferior de São Francisco de Assis, Assis, Itália. Nas pinturas podemos notar como é retratado o céu. Duccio pinta-o na cor dourado, uma vez que ele é a morada de Deus, já Lorenzetti o retrata na cor azul, podemos observar como a mentalidade das pessoas está mudando. A divisão entre a esfera celeste e terrestre é um pensamento comum à época. Fonte: (BRAGA et al., 2003, p. 97)

Para Aristóteles, todos os objetos são constituídos de *matéria* e *forma*, que é um substrato que persevera nos fenômenos de mudança e os princípios ativos que definem a natureza da mudança. Segundo ele, a matéria era constituída pelas combinações dos quatro elementos: terra, água, ar e fogo, ideia herdada de Empédocles. Na concepção aristotélica esses elementos preenchiam totalmente o cosmo, não deixando qualquer espaço vazio (ele não concebia a possibilidade de existência do vácuo). Em sua explicação para a natureza, faz uma distinção entre o mundo corruptível, que seria o mundo das imperfeições, das mudanças, um mundo localizado abaixo da esfera lunar, que denominou de mundo *sublunar*, e o mundo incorruptível, um lugar onde não há mudanças, perfeito, chamado *supralunar*. Embora não seja nossa intenção estudar a cosmologia aristotélica, para que possamos entender suas concepções sobre movimento devemos perceber a relação que este tem com sua visão

cosmológica, sobretudo o que se refere à constituição da matéria. A região terrestre era constituída de quatro esferas concêntricas, associadas a cada um dos quatro elementos de Empédocles, de modo que a terra (o mais pesado dos elementos) estava no centro, a água sobre a terra, o ar em volta da água e na quarta esfera, mais externa, estaria o elemento de maior leveza, o fogo. Já a região do mundo supralunar seria constituída de uma quinta essência, o éter.

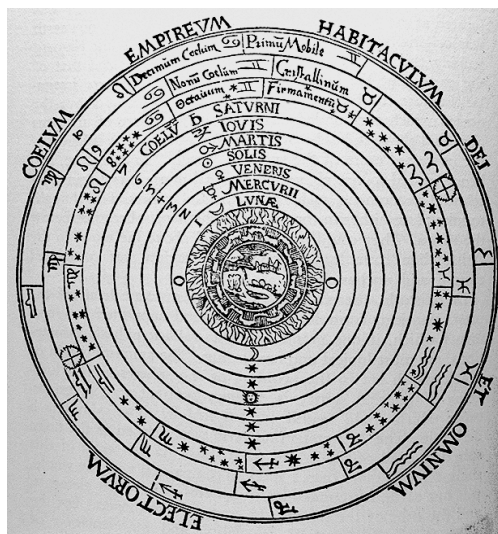


Figura 3 - Representação do cosmos aristotélico, universo formado por esferas concêntricas. A terra ocupa imóvel o centro desse universo. Fonte: <http://www.escolapedia.com/aristoteles-cosmologia-aristotelica/>

No Mundo aristotélico, cada uma das coisas, seja celeste ou terrestre, tem seu lugar natural e seu movimento natural para este lugar; como efeito, todo movimento que não é natural é violento. O movimento natural é definido como sendo a mudança que acontece de acordo com a composição do elemento do qual é formado e do lugar natural do elemento correspondente. Em outras palavras, o movimento natural é possível pela tendência natural dos corpos ocuparem seu lugar natural, para que o corpo possa atingir o seu fim, a plenitude de sua potência, que é o repouso. Nas palavras de Koyré:

O movimento, com efeito, não persiste por si mesmo, como o repouso. O repouso – um estado ou uma privação – não precisa de uma causa que explique sua persistência. O movimento – um processo, uma atualização contínua – não pode passar sem ela. Suprima-se essa causa, e o movimento cessará, *cessante causa, cessat effectus*. (KOYRÉ, 1992, p. 26).

Se cada coisa estivesse no seu lugar natural, não haveria razão para elas de lá saírem; permaneceriam, portanto, em repouso. Mas se algo fosse retirado de seu lugar natural, então essa mudança seria realizada por uma ação de violência (o que chamaríamos hoje de ação de

uma força externa, Aristóteles utiliza-se do termo motor), que duraria enquanto durasse a ação do que causou o movimento violento. Cessando essa ação, seguir-se-ia o movimento natural, ao lugar natural.

O movimento natural, no mundo *sublunar*, como já mencionamos, é um movimento em linha reta que um objeto faz em direção ao seu “lugar natural”, em função da constituição da matéria do qual o objeto é composto (lembrando que todo objeto é composto por diferentes proporções dos elementos fundamentais – o que influencia na velocidade do movimento). A terra é pesada e o fogo é leve, os outros elementos são intermediários. Como Aristóteles escreveu:

Para quaisquer duas porções de fogo (...) o movimento para cima da maior é mais rápido do que aquele da menor, da mesma forma que o movimento para baixo de uma massa de ouro ou de chumbo, ou de qualquer outro objeto dotado de peso, é mais rápido em proporção ao seu tamanho. (ARISTÓTELES, 1978 apud PIRES, 2011, p. 40).

Fica claro que na teoria do movimento de Aristóteles, para o mundo *sublunar*, todo movimento, seja ele natural ou violento, necessitava de uma ação contínua e direta de uma causa, ou seja, era necessária a ação de um motor, não apenas para iniciar o movimento, como também para dar continuidade a esse movimento. Nos objetos animados, o motor e o movido estavam juntos, pois a alma constituía o motor e o corpo o ser movido; em ambos os casos o motor e o movido eram distinguíveis e não estavam separados espacialmente. No caso do movimento violento ou natural de objetos inanimados, o móvel e o motor eram fisicamente distintos. O mesmo princípio vale na análise do mundo *supralunar*, com uma diferença: para ele, o motor que movia a esfera física dos planetas era uma inteligência celestial (PIRES, 2011).

Assim é claro que nenhuma destas coisas move-se por si, mas cada uma tem um princípio de movimento (*arkhê kinêseos*), não de causar movimento (*kinein*), ou de agir (*poiein*), mas de passivamente ser submetidas a ele (*paskbein*). Se, então, todas as coisas [prossegue Aristóteles] 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; e se todas as coisas cujo movimento é natural são, também movidas por algum agente – tanto aquelas que são movidas por si [como, por exemplo, os animais], como aquelas que não são movidas por si, como por exemplo, as coisas leves e pesadas, que são movidas ou diretamente por aquilo que de algum modo gerou (*gennêsantos*) 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 [conclui Aristóteles] que todas as coisas em movimento são movidas por algum agente [motor] (*FÍSICA*, VII, 241^b 24 apud ÉVORA, 2006, p. 290).

Na citação acima, Aristóteles fala em coisas leves e pesadas; é importante destacar que sua concepção de peso (ou leveza) não se refere a uma força, não há por trás a ideia de gravidade, como a concebemos atualmente. Para o autor, todos os corpos eram dotados de características, como peso e leveza. Assim, os objetos dotados de mais elemento terra ou água, portanto pesados, tendem a cair para seu lugar natural terra ou água, na busca pelo seu estado de repouso, assim como os corpos dotados de mais elemento fogo ou ar, portanto leves, tendem a subir ao encontro do seu lugar natural com a mesma finalidade, o repouso. Como menciona Aristóteles: “cada um dos seres, não havendo nada que os impeça, são levados para seus lugares próprios; uns para cima, outros para baixo” (FÍSICA, IV, 1, 208^b 11-25, apud ÉVORA, 2006, p. 289).

O movimento do tipo violento necessitava de uma ação contínua de um motor, uma força externa, não só para iniciar o movimento como para mantê-lo. Essa é uma ideia muito presente no senso comum (associar, necessariamente, a ação de uma força externa ao movimento) e um dos motivos pelos quais se justifica o estudo da teoria aristotélica do movimento. Vale salientar que para Aristóteles tais explicações são válidas somente para objetos inanimados, pois, segundo ele, os seres vivos são constituídos de uma categoria à parte; sua alma contém um princípio vital que os permitem se locomover por esforço próprio (esse tipo de movimento, dos seres vivos, era considerado natural).

Aristóteles acreditava que no movimento violento a velocidade do corpo deveria ser proporcional à força motora e inversamente proporcional à resistência ao movimento, que, por sua vez, teria relação com o peso ou a leveza. No caso do movimento natural, a velocidade do corpo seria proporcional ao peso ou à leveza, e inversamente proporcional à densidade do meio.

Vemos um mesmo corpo se movendo mais rápido do que outro por duas razões, ou porque existe uma diferença no meio onde eles se movem (por exemplo água ou ar) ou porque, as outras coisas sendo iguais, os corpos em movimento diferem um do outro devido aos seus pesos. (ARISTÓTELES, 1978 apud PIRES, 2011, p. 40).

Em uma notação matemática moderna, poderíamos escrever que a lei do movimento de Aristóteles ficaria como apresentamos abaixo, onde v é a velocidade adquirida pelo corpo, F corresponde à intensidade da força aplicada ao corpo e R a resistência do meio:

$$v \propto \frac{F}{R},$$

Lembremo-nos, no entanto, que Aristóteles jamais usou esse tipo de notação; ao contrário, ele não associava a matemática (mais especificamente a geometria) ao mundo *sublunar*, que constitui o mundo das imperfeições. Para ele a matemática só poderia ser utilizada na análise do mundo *supralunar*, que se constitui como o mundo das regularidades.

No caso do movimento natural, a lei acima ganharia a seguinte forma:

$$v \propto \frac{P}{d},$$

Ou seja, a velocidade do corpo deveria ser diretamente proporcional ao peso (P) do corpo e inversamente proporcional à densidade do meio. Como veremos mais adiante, para Aristóteles a velocidade de queda de um corpo não é constante, pois o peso varia de acordo com a proximidade do corpo em relação ao seu lugar natural.

Se, então o motor A moveu B em uma distância Γ no tempo Δ , então no mesmo tempo a mesma potência (*dýnamis*) a moverá $1/2$ B em duas vezes a distância Γ , e em $1/2$ Δ moverá $1/2$ B em toda distância Γ : pois assim a regra da proporção será observada. Novamente se uma dada potência (*dýnamis*) 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 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 similar e proporcional a razão no outro, tal que a potência causará o movimento através da mesma distância e no mesmo tempo (ARIST., *Physica*, VII, 5, 249_b 30-250_a10 apud ÉVORA, 1996, p. 21).

Nesse trecho, citado pelo próprio Aristóteles, podemos observar a relação entre a velocidade, a quantidade de matéria e a resistência do meio. Este argumento foi um, dentre outros, utilizados por Aristóteles para negar a existência do vácuo. Para ele, se o meio não apresenta qualquer resistência, o tempo de deslocamento de um lugar a outro deveria ser instantâneo, o que para ele é um absurdo e não encontra respaldo nas observações. Esse argumento se opõe justamente à concepção de inércia, que aceitamos, atualmente, por isso a visão de movimento de Aristóteles é uma visão anti-inercial⁶.

Embora nossa intenção não seja discutir a história do vácuo, vamos considerar alguns argumentos, pois, como veremos mais adiante, o germe das concepções sobre movimento inercial, principalmente, as discussões que ocorrem durante o medievo, tem como pano de fundo a possibilidade de existência do vazio e do movimento infinito. Évora (1996) aponta cinco argumentos aristotélicos de caráter físico, que se constitui, segundo ele, como absurdos,

⁶ Embora a expressão “anti-inercial”, seja anacrônica, optamos por utilizá-la assim como o faz Évora (1996). Além disso, entendemos que muitas vezes é difícil utilizar expressões (principalmente quanto objetiva-se comparações) sem cair em algum tipo de anacronismo.

supondo-se a existência do vazio e um argumento de caráter puramente lógico, que está amparado na concepção que ele tem de lugar:

1) Se houvesse o vazio, o movimento através dele deveria ser um movimento inercial, ou seja, sem que houvesse a resistência do meio os corpos tenderiam a continuar em movimento infinitamente, o que para ele é um absurdo. Aristóteles chega a enunciar o que hoje chamamos de primeira lei de Newton, mas na forma de reduzir o argumento a um absurdo, negando assim a possibilidade do vazio:

Não poderíamos dizer por que uma coisa colocada uma vez em movimento pararia em algum lugar, porque ela pararia mais aqui do que ali? Tal que uma coisa ou estaria em repouso ou deveria mover-se *ad infinitum*, a menos que alguma coisa mais poderosa entrasse no seu caminho. (ARIST. *Physica*, IV, 8, 215^a 19-21, apud ÉVORA, 1996, p.29)

2) A falta de resistência, como já dissemos, implicaria em um movimento instantâneo, o que era considerado um absurdo. Lembremos que para Aristóteles a velocidade é inversamente proporcional à resistência; logo, sendo a resistência igual a zero, a velocidade tenderia ao infinito, o que implica que o deslocamento entre dois pontos seria instantâneo. Esse é um dos argumentos mais fortes utilizados por Aristóteles para negar o vazio.

3) Considerando a possibilidade de existência do vazio, todos os corpos se moveriam nele com velocidades iguais, independente de seus pesos, uma vez que todos os corpos atravessariam o vazio com a mesma dificuldade.

4) Além disso, o movimento se daria em todas as direções, pois se não há no vazio lugares diferenciados, um corpo tenderia a qualquer lugar e a todos os lugares ao mesmo tempo, já que não há uma direção preferencial por natureza.

5) Para Aristóteles, o tempo que um corpo atravessaria o vazio seria o mesmo que levaria para atravessar um meio não vazio, mas bastante rarefeito, o que é absurdo.

Além desses argumentos que, para Aristóteles, trazem implicações físicas absurdas, existe um argumento, lógico, que corrobora com a ideia de inexistência do vácuo. Antes de analisar o argumento vamos fazer duas considerações, uma a respeito do que seria o vazio e outra sobre o conceito aristotélico de lugar: i) o conceito de vazio sustentado por Aristóteles é

“aquilo em que é possível, mas não existe a presença de um corpo” (ARIST. De Caelo, I, 279a. 12-6 apud ÉVORA, 1996, p.28) e ii) o conceito de lugar para Aristóteles, é complexo e não pretendemos abordá-lo aqui (ver ÉVORA, 2006), basta para os nossos propósitos identificar que, para que exista lugar, é necessário que exista um corpo, ou seja, para Aristóteles o lugar não é independente do corpo, não pode ser confundido com espaço. Não existindo corpo o lugar desaparece.

Visto isso, se compararmos os dois aspectos, veremos uma contradição lógica. Se o vazio é um lugar em que pode existir, porém não existe corpo e não há lugar sem corpo; logo, o vazio não pode existir.

Um aspecto interessante da teoria do movimento de Aristóteles é a forma como ele explicava o lançamento de projéteis. Esse movimento poderia ser explicado de duas maneiras: a partir de um processo denominado *antiperistase*, que consiste na força exercida pelo ar sobre o corpo, ou seja, o ar passaria a atuar como motor, fazendo com que o movimento fosse possível. Em outras palavras, imaginemos o movimento de uma flecha, após deixar o contato com o arco. Para que a mesma prosseguisse em movimento, na visão aristotélica, era necessária a ação de um motor, nesse caso, o ar deslocado pela frente da flecha movia-se rapidamente ao longo da mesma, a fim de ocupar o espaço “vazio” deixado por ela, empurrando-a para frente. Além disso, esse mesmo ar atuaria como meio resistivo ao movimento, reduzindo a velocidade do mesmo, até parar. Outra tentativa de explicar o mesmo movimento considerava que no lançamento uma camada de ar era movimentada e transmitida às sucessivas camadas de ar, exercendo força sobre o objeto, empurrando-o para frente, e assim, como na explicação anterior, o ar resistiria ao deslocamento, diminuindo a velocidade do projétil até que ele caísse, perpendicularmente, em direção ao solo.



Figura 4 - Para Aristóteles o meio (ar) é o responsável pela continuidade do movimento.
Fonte: PEDUZZI (2008 p. 42)

Não podemos perder de vista alguns aspectos da física aristotélica, que vão começar a sofrer críticas a partir do medievo até uma mudança total com o surgimento da dinâmica inercial no século XVII. Para Aristóteles, o movimento corresponde a um processo de mudança e não a um estado; nesse sentido, exige a ação de uma causa. Isso implica na associação de causa e efeito, que se dá entre força (causa) e velocidade (efeito), ou seja, quanto maior a força, maior a velocidade. Esse pensamento é muito comum ainda hoje, pois se trata de uma relação que parece muito presente nos fenômenos cotidianos. Outra concepção que perdura por muito tempo, e que se mostra ao encontro do senso comum, é a ideia de que corpos mais pesados caem (e mais leves sobem), com velocidades maiores em relação a outros menos pesados (ou leves), na visão aristotélica, como efeito da constituição da matéria.

No artigo de Fátima Évora (2006), “Discussão acerca do papel Físico do Lugar Natural na Teoria Aristotélica do Movimento”, é analisado um importante aspecto do pensamento de Aristóteles, a saber, o estatuto ontológico do conceito de lugar. Para a autora, existe um equívoco de interpretação no que se refere ao movimento em direção ao lugar natural, como sendo a causa do movimento, ou seja, um objeto dotado de elemento terra tende, naturalmente, a se deslocar em um movimento natural de queda, em função de ser a terra o seu lugar natural. Neste exemplo, muito característico dos textos sobre a teoria do movimento de Aristóteles, o lugar natural aparece como sendo a causa para o movimento. Évora aponta que diversos comentadores de Aristóteles, direcionados por uma interpretação equivocada, que citamos adiante, acreditaram que o lugar natural atua como causa do movimento natural. A maioria dos trabalhos por nós observados parecem também seguir nessa direção, a saber, apontar como causa do movimento natural, o lugar natural. (PEDUZZI, 1996; BRAGA, GUERRA e REIS, 2003; ZYLBERSTAJN, s/d).

Os movimentos de locomoção dos corpos naturais e simples, como por exemplo, o fogo, a terra e outros seres análogos, não só mostram claramente que o lugar é algo, como também que o lugar possui certa potência ativa (*dynamis*). Cada um dos seres, não havendo nada que os impeça, são levados para seus lugares próprios; uns para cima, outros para baixo.

Agora, estes são os tipos ou regiões dos lugares... Na natureza cada um deles é distinto e é determinado independentemente; tal que o ‘para cima’ [não é um lugar qualquer], mas, sempre o lugar ao qual naturalmente é levado o fogo, ‘o para baixo’ [tampouco é um lugar arbitrário], mas sempre aquele ao qual são naturalmente levados os seres pesados e os corpos terrestres; isto mostra que ambos lugares [‘para cima’ e ‘para baixo’] diferem não só por suas posições relativas, mas também por possuírem potências diferentes (*Física*, IV, 1, 208^b 11-25 apud ÉVORA, 2006, p. 289).

Para Évora, essa passagem pode nos levar a supor que o lugar natural é a causa do movimento, o que ocorreu com alguns comentadores de Aristóteles, como, por exemplo, João Buridan, Tomás de Aquino, João Filopono de Alexandria, São Boaventura, Roger Bacon, Richard Sorabji, Michael Wolff, entre outros. Contudo, ela aponta para o fato de que, no livro IV da mesma obra, Aristóteles afirma que o lugar não pode ser nenhuma das quatro causas. Vejamos o que afirma Aristóteles:

Além disso, de que coisa se poderia supor que o lugar é causa? Pois não se pode atribuir a ele nenhuma das quatro causas. Ele não é nem uma causa material (pois nada é constituído por ele), nem é uma causa no sentido que é a forma ou definição das coisas, nem é o fim de nada, nem tampouco agente da mudança. (*Física* IV, 1, 209^a 18-22 apud Évora, 2006).

Nesse sentido, Évora compartilha da tese defendida por Algra (1994) de que Aristóteles não creditou ao lugar natural o papel de causa do movimento natural. Não é nosso objetivo, entrar nessa discussão embora nos pareça um aspecto que mereça atenção. Nós procuramos nos apropriar dessa ideia, por isso quando mencionamos o movimento para o lugar natural apontamos como causa a busca para atingir o potencial, um fim, qual seja, o repouso. Embora para Évora (2012) essa causa seja uma incógnita.

Na breve análise que fizemos sobre a física do movimento de Aristóteles, podemos observar que o objeto de estudo da física, em Aristóteles, é diferente do que constitui, mais fortemente, a partir da Revolução Científica. Para Aristóteles, o objetivo do conhecimento da filosofia natural estava em conhecer as causas primeiras, pois é possível explicar o porquê, por conhecer suas causas, princípios ou elementos. Para ele, o conhecimento, se dá através dos sentidos, do particular, ou seja, dos dados do mundo real ao universal, que seriam as regras gerais, pela lógica. Fica claro neste aspecto que o desenvolvimento do conhecimento científico em Aristóteles segue um método diferente do que virá a aparecer mais adiante.

Os estudos Aristotélicos não se mostram triviais ou ingênuos; ao contrário, é um pensamento extremamente elaborado e complexo, que acaba perdurando e sendo o princípio dos estudos em filosofia natural, além de outras áreas, como mencionamos, durante mais de dois milênios.

Parafraseando Anaxágoras, podemos conhecer a grandeza das ideias aristotélicas pela resistência que elas provocaram, podemos considerar as concepções de Aristóteles como sendo de extrema grandeza e nos perguntar: como por que não considerá-la no ensino da física?

2.2 FILOPONO E ALGUNS COMENTADORES DA ALTA IDADE MÉDIA

Nesta seção veremos, brevemente, algumas críticas dirigidas à teoria de Aristóteles sobre o movimento, principalmente àquelas direcionadas ao lançamento de projéteis e a ideia de movimento infinito. Veremos também como se desenvolveram as ideias sobre o *impetus*.

Após a morte de Maomé, em 632, os árabes empreenderam um intenso movimento de conquistas e, em pouco menos de um século, expandiram seu território da Espanha ao Indo. Com isso, passaram a ter acesso aos conhecimentos existentes nesses territórios e a administrar bibliotecas, escolas e várias áreas. No século VIII, o califa Al Mansur, com o objetivo de transformar Bagdá, capital do império árabe, em um grande centro de cultura, traz os sábios e tradutores de diversas partes do império, e, neste momento, são feitas traduções das principais obras existentes nas bibliotecas. Além disso, os árabes deram sua própria contribuição para a ciência comentando e adicionando contribuições valiosas às obras existentes (BRAGA, 2003; RONAN, 2001). A preservação dos textos pelos árabes, somados a redescobertas dos mesmos na Europa, nos séculos XII e XIII, e posterior tradução para o latim, contribuíram de forma significativa para o afloramento do movimento de Renascimento, que contribuiu para o nascimento do que hoje conhecemos como Revolução Científica do século XVII.

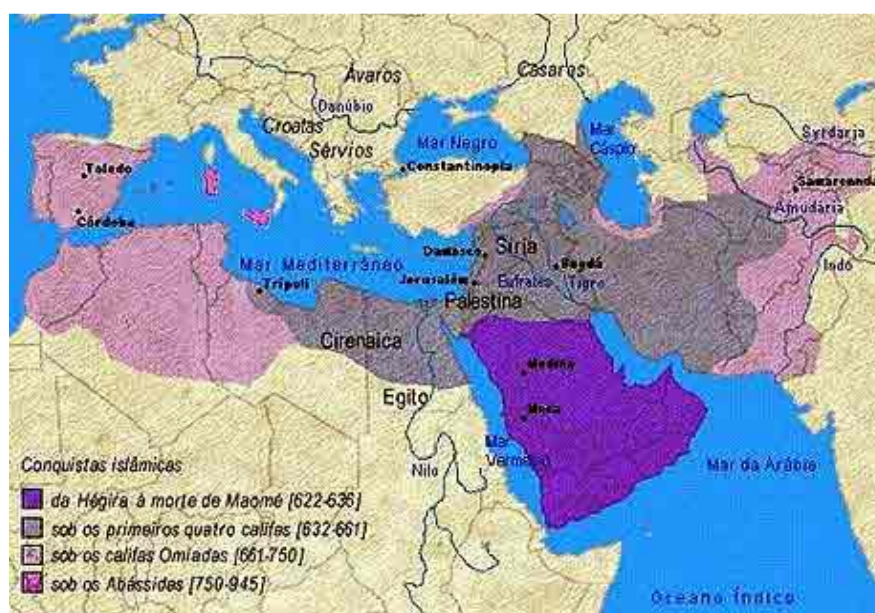


Figura 5 - O Expansionismo árabe inicia-se logo após a morte de Maomé tanto em direção ao oriente como ao ocidente. Essa expansão colabora para disseminação do conhecimento da época.

Fonte: <http://www.historianet.com.br/conteudo/default.aspx?codigo=87>

Esses aspectos são importantes para apontar que, embora as ideias aristotélicas sobre o movimento tenham perdurado por aproximadamente dois milênios, isso não significa que não houve objeções a elas e que não se desenvolveu conhecimento no campo da filosofia da natureza. A cinemática foi, em parte, desenvolvida nesse período, além das críticas direcionadas, sobretudo, à questão do lançamento de projéteis na teoria aristotélica de movimento.

De acordo com Évora (1996), temos duas visões opostas sobre a questão da continuidade ou não na passagem da ciência medieval para a ciência moderna. Segundo a autora, os historiadores Koyré e Drake, dentre outros, defendem, embora que por análises e concepções epistemológicas diferentes, a ideia de que houve uma ruptura com as ideias sustentadas no período medieval, a partir dos trabalhos de Descartes e Galileu. Já os trabalhos dos historiadores Duhem e Wohwill, por exemplo, seguem em uma perspectiva diferente, propondo que existiu uma continuidade nessa passagem, afirmando que Galileu seguiu uma tradição que se inicia com Filopono de Alexandria e com o árabe Avempace.

Embora reconheçamos que o desenvolvimento científico se dá através de rupturas e continuidades, em relação ao desenvolvimento conceitual da Inércia, que se constroem a partir das críticas às concepções de movimento de Aristóteles, acreditamos que haja uma postura intermediária entre o continuísmo extremo e o descontinuísmo, no que tange ao desenvolvimento do conhecimento sobre o movimento inercial até o século XVIII, assim como sustentado no trabalho de dissertação de Évora (1996). Vale salientar que não se trata de buscar nas ideias medievais os conceitos de Inércia tal qual pensado por Descartes, Galileu ou Newton, pois sabemos o quanto é difícil, porém relevante, não olhar para a história da ciência de forma anacrônica.

Nossa análise das concepções sobre o movimento, diferentes das sustentadas por Aristóteles, ou seja, o surgimento de explicações para o movimento contrárias ao pensamento aristotélico, do qual iremos tratar nesta seção, são feitas com base, principalmente, no pensamento dos filósofos João Filopono de Alexandria (?490-570) e da Teoria do *Impetus* de Jean Buridan (?1300-1358) e Nicolas Oresme (?1320-1382). Discutiremos também, brevemente, as contribuições dadas pelos comentadores árabes Avicena (980-1037) e Avempace (1106-1138). Embora tais pensadores situem-se no período da idade média, as críticas à teoria do movimento de Aristóteles têm início já na Grécia antiga.

Évora (1996) Hiparcos de Nicéia (190-120 a.C.) e Plutarco (50-125 d.C.) defendiam que alguma coisa se mantinha no corpo, ao longo de seu movimento, e seria responsável pela continuidade do mesmo, opondo-se, assim, à visão aristotélica de que o meio é que seria o

responsável pela manutenção do movimento violento. Outro aspecto de divergência em relação às ideias de Aristóteles é o fato de Hiparcos considerar que os corpos são mais pesados quanto mais distantes estiverem de seus lugares naturais. Na visão aristotélica, o movimento de queda (movimento natural) seria acelerado em função do peso, que aumentaria à medida que o corpo se aproximasse do seu lugar natural; ou seja, quanto mais próximo de seu lugar natural o corpo estivesse, maior seria a tendência de deslocamento para o mesmo. Assim sendo, seu peso aumentaria, e a mesma situação seria válida para corpos dotados de leveza, cujo movimento é para cima.

O “peso” de um corpo aumenta quanto mais próximo o corpo está de seu lugar natural. Isso explica, segundo Aristóteles, o movimento acelerado de queda dos corpos, pois no início da queda, estando os corpos mais distantes de seus lugares naturais, eles mover-se-ão mais lentamente; a medida que eles aproximam-se de seus lugares naturais, maiores serão suas respectivas velocidades (ÉVORA, 1996, p. 23).



Figura 6 - Da esquerda para direita: Hiparcos de Nicéia (190-120 a.C.) e Plutarco (50-125 d.C.)

Fonte: Wikipédia

Esse fato aponta para um aspecto, como mencionamos na seção anterior, considerado consensual pelos filósofos da ciência, de que o desacordo entre os cientistas sempre é possível. Embora a teoria aristotélica de movimento tivesse uma influência muito grande durante a antiguidade e toda idade média, não deixaram de haver objeções a ela nos trabalhos de Filopono e dos comentadores árabes Avicena e Avempace. Além disso, a teoria do *impetus*, de Buridan e Oresme, da qual trataremos mais adiante, assume um papel muito importante nesse período, e vai influenciar diversos pensadores. Neste sentido, o pensamento dos referidos filósofos da natureza deve ser estudado.

João Filopono viveu no século VI da era cristã (possivelmente entre os anos de 490-570), estudou lógica e filosofia na escola Neoplatônica de Alexandria e foi um dos maiores críticos da filosofia aristotélica do seu tempo (ÉVORA, 1996, p.38). Entretanto, foi através

dos comentários de Avicena, Avempace e Averroes que as ideias de Filopono ficaram conhecidas. As primeiras edições dos trabalhos de Filopono, conhecidas até o momento, são datadas de 1535, uma versão em grego, e em 1542, uma versão em latim do comentário sobre a *Physica* de Aristóteles. Isso mostra que a obra de Filopono ficou conhecida tardiamente, o que não a tornou menos influente, Galileu e seus contemporâneos fazem menção a ele (ÉVORA, 1996).

Évora (1996, p. 82) afirma que as ideias de Filopono passam a ser largamente difundidas e estudadas a partir do séc. XVI; ele é citado por pensadores importantes como Francesco Buonanici e Galileu. No entanto, ainda no período anterior ao século XVI, os árabes Avicena ou Ibn Sina (980-1037) e Avempace ou IbnBadja (1106-1138) “advogaram a tese de que a lei do movimento de Aristóteles deveria ser substituída pela lei da diferença aritmética, tal como propôs Filopono”.

Apesar de Filopono ter assumido alguns conceitos da teoria do movimento de Aristóteles, podemos dizer que ele rompe com grande parte do que Aristóteles propunha. Filopono propõe, de forma sistemática, um conjunto de questões bem articuladas, que poderiam rivalizar com as concepções aristotélicas; tece críticas bem contundentes, sugerindo alternativas às questões postas por Aristóteles, principalmente no que se refere ao movimento natural e violento e à possibilidade de movimento no vazio.

Filopono, assim como Aristóteles, divide o movimento em dois tipos, o movimento natural e o movimento violento, mas assume, para tais, explicações completamente diferentes, partindo de pressupostos teóricos distintos. Dentre esses pressupostos três assumem importantes destaques:

1) Novo conceito de lugar. Diferente de Aristóteles, Filopono concebe o lugar como uma extensão tridimensional e imóvel que contém o corpo, mas que existe independente dele; rejeita a ideia aristotélica de que o lugar poderia exercer algum poder sobre o corpo, fazendo com que as coisas dirijam-se para ele. Vale salientar que, na interpretação de Filopono, o lugar aristotélico seria a causa do movimento natural, ideia que Évora (2006) aponta como sendo um equívoco. Assim, para Filopono, o lugar é “um certo intervalo mensurável em três dimensões diferentes dos corpos que ocupam-no” (PHILOPONOS, in *Physica*, 567, 30-7 apud ÉVORA, 1996, p. 45).

2) A causa eficiente do movimento, para Filopono, é uma força cinética (*dynamis kinétikê*), ou seja, o que torna o movimento tanto natural quanto violento possível é uma força interna, que é gradualmente esvaída.

3) Rejeita a lei da velocidade de Aristóteles, assumindo que a velocidade é proporcional à diferença entre a força e a resistência. Para Filopono, o meio deve ter como única função a de resistir ao movimento. Isto tem uma importante consequência na aceitação do vácuo, muito embora, o mesmo admita que a natureza tem horror ao vazio

Partindo de tais pressupostos, veremos como Filopono estrutura uma nova dinâmica para o movimento, além de tornar plausível o movimento, finito e temporal, no vazio. Vale, porém, salientar que, embora sua dinâmica torne possível o movimento no vazio, Filopono admite que a natureza tem horror ao vácuo (como eram comumente aceito em sua época).

Ainda pensando no movimento dividido entre natural e violento, Filopono explica ambos baseados no mesmo princípio, da ação da força cinética incorpórea. Para o movimento natural, Filopono admite que, ao construir o universo, Deus dotou-o de uma certa ordem. Assim, quando um objeto é retirado do seu lugar natural, ele tende a retornar em busca da ordem inicialmente estabelecida; mantém, assim como Aristóteles, uma explicação teleológica para o movimento natural.

Filopono rejeita a ideia aristotélica de que no vazio os corpos caem instantaneamente; isto porque, para ele, um corpo leva um tempo, que é diferente de zero, para se deslocar no vazio, e um tempo adicional para se deslocar no pleno. Assim sendo, o tempo total do deslocamento de um corpo é igual à soma do tempo de seu descolamento em um meio vazio com o tempo em um meio pleno. Segundo Filopono, o ‘erro’ de Aristóteles estava na ideia de que o tempo total de queda dos corpos seria proporcional à densidade do meio, para Filopono, o tempo adicional é que é diretamente proporcional à resistência do meio.

Porque os corpos caem com velocidades diferentes? Segundo Aristóteles, há dois motivos para isso, ou a densidade do meio é diferente ou os corpos diferem em peso e leveza (têm composições diferentes, de acordo com os quatro elementos). Todavia, para Filopono, as coisas não são assim. Vejamos o que ele diz a esse respeito:

Mas isto [segundo Philoponos] é completamente errado, a nossa visão pode ser corroborada pela real observação mais eficientemente do que por qualquer outro tipo de argumento verbal. Pois se você deixar cair da mesma altura dois pesos dos quais um é muitas vezes mais pesado do que o outro, você verá que a proporção dos tempos necessários para o movimento não

depende da proporção dos pesos. Mas que a diferença no tempo é muito pequena. E assim, se a diferença nos pesos não for considerável, isto é, se um for, suponha, o dobro do outro, não haverá nenhuma diferença, ou melhor, haverá uma diferença imperceptível, no tempo, embora a diferença no peso não seja certamente desprezível, com um corpo pesando duas vezes mais que o outro. (PHILOPONOS, in *Physica*, 684, 10 apud Évora, 1996, p.50-51).

Apesar do trecho acima parecer indicar que Filopono acredita que os corpos caem em tempos iguais, independente de seus pesos, vemos que ele afirma que há uma diferença, ainda que imperceptível. Ademais, Évora (1996) afirma que Filopono, sistematicamente, declara que pesos diferentes caem com velocidades diferentes na medida de sua inclinação natural para a queda ou para o movimento ascendente. Filopono explica o movimento acelerado de queda em função da inclinação intrínseca do corpo, a fim de atingir a harmonia concedida pelo criador. Assim, na medida em que o corpo se aproxima do seu lugar natural mais aumenta sua inclinação em direção ao mesmo, aumentando assim sua velocidade. Para Filopono, a velocidade de um corpo é dada pela diferença entre o peso do corpo e a resistência do meio.

Como vimos em Aristóteles, tudo que se move é movido por alguma coisa. A mesma premissa é sustentada por Filopono, porém com uma explicação diferente para o movimento violento. Na dinâmica aristotélica, o ar funciona como motor e como meio resistivo, no entanto Filopono critica essa dupla função do ar. Para ele, o meio deve ter como única função resistir ao movimento. Ele propõe que após o contato do lançador com o objeto, este adquiriu uma força (*dynamis*) que lhe é cedida pelo atirador e o faz prosseguir em movimento, o mesmo vai sendo reduzido duplamente, uma em função da própria força que decresce gradativamente e outra em função da resistência do meio em que o corpo é deslocado. Quando a força cessar totalmente, segue-se o movimento natural em função da inclinação interna do objeto para alcançar sua harmonia inicial. Vemos mais uma vez aqui que o movimento no vazio não fica impossibilitado, pois o meio não mais se constitui um agente de movimento.

Os argumentos que Filopono utiliza para criticar a explicação aristotélica para o movimento violento são extremamente interessantes, Vejamos:

1) Para o movimento de *antiperistasis*, que seria o deslocamento do ar da frente do projétil para trás do mesmo, empurrando-o para frente. Neste caso, Filopono faz o seguinte questionamento: “como explicar os três movimentos distintos realizados pelo ar”? (ÉVORA, 1996. p.57). O ar inicialmente é empurrado para frente do projétil, em seguida muda de

direção deslocando-se para trás, e mais uma vez torna a mudar de direção empurrando o projétil para frente. Outra questão é como explicar que o ar ocupa um lugar que não está mais vazio, uma vez que, quando o ar da frente sai do lugar que ocupava e dirige-se para trás do projétil, a natureza, por ter horror ao vácuo, tende a preencher, imediatamente, o espaço deixado vazio na parte posterior do projétil, logo o ar deslocado da frente encontrará o lugar preenchido atrás. Além disso, como explicar o ar tendo sido empurrado em uma direção, receber um *impetus* para se deslocar no sentido contrário?

2) Outra possibilidade defendida por Aristóteles seria de que o ar tornar-se-ia um motor por receber do lançador esse poder, no ato do lançamento. Assim o ar exerceria uma “pressão” sobre as paredes laterais do projétil, lançando-o para frente. Porém, Filopono levanta a seguinte questão: Por que haveria necessidade de contato entre o lançador e o projétil já que o meio pode se tornar motor no lançamento? Observemos esse experimento de pensamento proposto por Filopono:

Seria possível sem o contato [da pedra com a mão, ou da corda do arco com a flecha] colocar a flecha no topo de uma vara, como se ela estivesse sobre uma linha fina, e colocar a pedra em uma situação similar, e então, com inúmeras máquinas, pôr uma grande quantidade de ar em movimento atrás destes corpos. Agora é evidente que quanto maior for a força com que ele é movido mais este ar empurraria a flecha ou a pedra, e mais longe ele as atiraria. Mas o fato é que ainda que se coloque a flecha ou a pedra sobre uma linha completamente destituída de espessura ou sobre um ponto, e se ponha em movimento todo o ar detrás dos projéteis com todo o seu *impetus* (*rhumê*), a flecha não se moveria a uma distância de um único côvado. (PHILOPONOS, in *Physics*, 641, 20-641, 31 apud ÉVORA, 1996, p.59).

Como dissemos, de acordo com os pressupostos teóricos assumidos por Filopono o movimento no vácuo não se constitui como uma impossibilidade. Ele também discute os argumentos de Aristóteles sobre a inexistência do vazio, posicionando-se criticamente frente a tais argumentos. Anteriormente, discutimos cinco argumentos de Aristóteles contra a possibilidade de existência do vácuo, vejamos como tais argumentos não mais se sustentam na dinâmica de Filopono.

1) Para Aristóteles, se o vazio fosse possível o movimento nele seria inercial e se prolongaria infinitamente. Para Filopono, tanto o movimento natural quanto o violento são possíveis em função de uma força cinética intrínseca, que se dissipa gradativamente, o que não implica, portanto, em um movimento infinito. Lembremos que nesse período os movimentos infinitos só são concebidos pelas esferas celestes, no mundo *sublunar* o movimento é sempre finito.

2) Em Filopono, ainda que um corpo se deslocasse no vazio esse deslocamento se daria em um tempo diferente de zero. Dessa maneira, o argumento aristotélico de que no vazio o movimento deveria ser instantâneo não se sustenta. Para ele, faz parte da própria natureza do movimento ser temporal. Além disso, ele rejeita a ideia de que a velocidade seja inversamente proporcional à resistência do meio, como era defendido na teoria aristotélica. Filopono admite que a velocidade de um objeto seja proporcional à diferença entre a força recebida pelo lançador e a resistência do meio.

3) Na física aristotélica, ainda que um corpo pudesse se deslocar no vazio, isso significaria que as velocidades dos corpos seriam sempre as mesmas, independentes de seus pesos, o que ele considera absurdo. No entanto, Filopono argumenta que se o meio fosse o único responsável pela velocidade de queda dos corpos, corpos de pesos diferentes em um mesmo meio, teriam velocidades iguais, o que, segundo o próprio Aristóteles, não é verdade.

4) No vazio, segundo Aristóteles, os corpos se moveriam em todas as direções, pois não haveria uma direção preferencial. Nesse sentido, de acordo com Filopono, não haveria problema, pois os corpos, quando deslocados de seus lugares naturais, têm internamente uma força que os direciona para o seu lugar natural, para restabelecer a ordem definida por Deus na criação, ou seja, não é o lugar que tem um poder ativo. Lembremos que a definição de lugar de Filopono é diferente da assumida por Aristóteles.

5) Aristóteles sugere que se o movimento no vácuo fosse possível o tempo que um corpo levaria para percorrer um espaço vazio seria o mesmo que ele levaria para atravessar um espaço não vazio mais bastante rarefeito, o que para ele é ilegítimo. Entretanto, Filopono considera que os tempos de queda dos corpos de pesos diferentes são considerados desprezíveis (o que não significa que ele considere que o tempo de queda independe dos pesos, assim como assumido por Galileu).

Para Aristóteles, no vazio o movimento violento não teria causa, o que implicaria inexistência de movimento violento; como o movimento existe, significa que o vazio inexistente. Na dinâmica de Filopono, o meio tem função apenas resistiva, e não de motor; o movimento natural dá-se por uma inclinação intrínseca do corpo, uma vez deslocado de seu lugar natural, volta ao mesmo em busca da harmonia perdida. Já no caso do movimento violento ocorre

devido a uma força cedida pelo lançador ao corpo no momento de lançamento. Em ambos os casos vemos que na dinâmica de Filopono as causas eficientes dos movimentos são internas ao objeto que se desloca, diferentemente da visão aristotélica, na qual as causas são externas ao corpo.

Um aspecto também interessante da filosofia de Filopono é que ele procura estabelecer as mesmas explicações tanto para o movimento no mundo *sublunar* quanto no mundo *supralunar*, rejeitando a dicotomia imposta por Aristóteles. Para ele, todo o universo é formado pelos quatro elementos, e não há existência do quinto elemento (éter) inserido pela cosmologia aristotélica.

Outro pensador que discorda das explicações aristotélicas para o movimento de projéteis é Abû Ali al-Husainibn Sina, conhecido no mundo ocidental como Avicena, nascido no ano de 980. Ainda jovem estudou filosofia, matemática, lógica, metafísica, física, astronomia, jurisprudência muçumana, teologia e medicina. Tornou-se um pensador extremamente respeitado.

[O nome Avicena] é familiar a todos os filósofos cristãos do século XIII e, se é considerado um adversário, trata-se de um adversário respeitável por causa da sua própria força. De fato [conclui Gilson] é um dos grandes nomes da filosofia. (GILSON, 1995, p. 431, apud ÉVORA, 1996, p. 84).

Podemos observar, nessa citação, que o nome desse filósofo foi considerado importante, e é a respeito do que ficou conhecido como a teoria do *mayl* (inclinação) de Avicena. Suas ideias sobre a continuidade de movimento após o corpo não mais em contato com o que o lançou, encontra uma seção de sua obra *Shifâ*, na qual discute os conhecimentos da filosofia da natureza de sua época. Ele mostra uma questão interessante, a qual por vezes, temos apontado: [no caso do movimento violento] a separação do movido, com o projétil, [do motor] (...) os cientistas discordam em suas opiniões (AVICENA, *Shifâ*, apud CLAGETT, 1979, p. 510, apud ÉVORA, 1996, p. 85).

Esta citação evidencia que, muito embora a concepção aristotélica de movimento fosse a mais aceita, até mesmo pela grandeza do conjunto da obra de Aristóteles, não deixavam de existir pensamentos contrários aos dele, principalmente no que se refere ao lançamento de projéteis, como é o caso do próprio Avicena.



Figura 7 - Abu Ali al'Husainibn Abdullah ibn Sina Avicena (980-1037).
Fonte:<http://www.fsc.ufsc.br/pesqpeduzzi/imagens-thg7.htm>

A teoria do *mayl* (inclinação) de Avicena é bastante parecida com a ideia de força impressa e incorpórea de Filopono, porém elas diferem em um aspecto muito importante: o *mayl* é algo de natureza permanente, diferente da força cinética de Filopono, que é gradualmente perdida, é autoconsumida (lembramo-nos que, mesmo no vazio, o movimento não seria infinito, uma vez que o corpo vai perdendo essa força).

Por ser o *mayl* algo implantado no corpo pelo lançador, e que não é destruído, sem que houvesse um meio resistivo o movimento tenderia a continuar até o infinito, mas, assim como Aristóteles, Avicena não admite o movimento eterno e infinito; logo, nega a possibilidade de existência do vazio, pois, segundo estes, não se vê na natureza nenhum corpo que mantenha o seu movimento continuamente.

Ao analisar o movimento violento, Avicena concluiu que os corpos que possuíam uma mesma força impressa eram deslocados com velocidade proporcional ao inverso de seus pesos.

Outros dois importantes comentadores árabes são Abou-Bekr Mohammed benYa'hya, mais conhecido como Avempace (1106-1138), e o árabe espanhol Abu-l-Walid Muhammad ibn Abmadibn Muhammad ibn Rushd, cujo nome latinizado é Averroes. Muito do que se conheceu no período do Renascimento dos filósofos gregos da antiguidade foi devido à tradução e comentário dos árabes e posteriores traduções para o latim das obras destes. Infelizmente, grande parte do que foi produzido por Avempace se perdeu e seus escritos não foram traduzidos para o latim durante toda idade média. Muito do que se conhece sobre ele é com base no que deixou seu aluno Ibn- Tofail (1100-1185), seu discípulo Al- Bitrugi (f. 1185) e, principalmente, através das referências que Averroes faz sobre o mesmo.

Avempace foi, também, um grande crítico da filosofia do movimento de Aristóteles. Defendeu que a causa do movimento não pode ser o meio e assumiu, assim como Filopono, que a velocidade adquirida por um corpo em movimento era proporcional à força subtraída da

resistência do meio, além de admitir a atuação da força impressa para explicar o movimento natural e o violento. Critica Aristóteles argumentando que aceitar sua teoria era admitir que em um meio sem resistência um corpo iria de um ponto a outro instantaneamente, uma vez que na teoria aristotélica o éter era uma substância que não oferecia resistência ao movimento; logo, os corpos celestes deveriam possuir velocidades instantâneas, o que não se verifica. Conclui ele que esse fato provava a falsidade da lei aristotélica da velocidade de um corpo em movimento. Consideremos seu argumento:

Pois [diz Avempace] se o que certos pensadores acreditam fosse verdade, então o movimento natural seria violento. Portanto, se não houvesse nenhuma resistência presente, como poderia haver qualquer movimento? Pois se ele necessariamente seria instantâneo. Além disso, o que então dever-se-ia dizer com respeito ao movimento circular? Não há resistência lá, pois não há cisão de um meio envolvido; o lugar do círculo é sempre o mesmo, tal que não deixa um lugar e entra em outro. Portanto, seria necessário que o movimento circular fosse instantâneo.

Contudo, nós observamos [movimentos circulares] nos mais lentos, como no caso das estrelas fixas, e também nos mais velozes, como no caso da rotação diurna, e isto é causado somente pela diferença da perfeição (nobilitate) entre o motor e o movido. Assim, quando o motor é de muito maior perfeição que o que é movido por ele [o movimento] será mais rápido; e quando [a diferença entre a perfeição do movido e do] motor for menor [...]; [o motor] estará mais perto [em perfeição] da coisa movida, o movimento será mais lento. (AVEMPACE apud AVERÖES apud ÉVORA, 1996, p. 90-91).

Averroes considera que, se a posição defendida por Avempace fosse verdadeira, Aristóteles estaria equivocado, e, se assim fosse, seria possível o movimento no vácuo, o que ele não admite; ele defende a teoria aristotélica.



Figura 8 - Da esquerda para direita: Avempace (1106-1138) e o árabe espanhol Averroes (1126-1198)

Fonte: <http://www.filosofia.org/cla/isl/>

Averroes foi um dos maiores comentadores e divulgadores das ideias de Aristóteles. Seus escritos foram traduzidos para o latim e amplamente estudados nas Universidades da Europa Ocidental durante o século XIII.

A partir do final do século XIII, diversos estudiosos se dedicaram à questão do movimento. De maneira geral, as explicações dividiam-se entre os que compartilhavam das ideias de Aristóteles e Averroes e os que aceitavam a teoria da força impressa de Filopono e Avempace.

São Tomás de Aquino (1225-1274) é considerado um dos pensadores que defendem a visão aristotélica e que conseguiu conciliá-la com a doutrina cristã; ele argumentava que se a teoria da força cinética incorpórea fosse possível, o movimento violento originar-se-ia a partir de forças intrínsecas, perdendo, dessa maneira, sua característica. Ele defendia que o movimento violento deveria acontecer em função da ação externa de uma causa.

(...) não deve ser pensado que a força do motor violento imprime na pedra que é movida, por violência, alguma força (*virtus*) por meio da qual ela seria movida, como a força que um agente gerador imprime naquilo que é gerado, a forma que o movimento natural segue. Pois [se fosse] assim o movimento violento originar-se-ia a partir de fontes intrínsecas, o que é contrário à natureza (*ratio*) do movimento violento [...]

Portanto, o motor violento imprime na pedra apenas o movimento e somente na medida em que a toca. Mas porque o ar é mais susceptível a uma tal impressão [...] é movido mais rapidamente pela impressão [que recebe] do motor violento do que é a pedra. E assim quando o motor violento cessa [sua ação]: o ar movido por ele impele a pedra adiante, e também [impele] o ar com que está em contato, e assim [o último ar] move a pedra [ainda] adiante, e isto acontece enquanto a impressão do primeiro motor violento durar, como está dito no [livro] VIII da *Physica*. E por esta razão é que, embora o motor violento não siga o móvel que é carregado adiante pela violência, como, por exemplo, uma pedra, ele move [tal pedra] por estar presente, e outra vez ele move-a pela impressão do ar. Pois [conclui São Tomás] se não houvesse um corpo como o ar, não haveria movimento violento. A partir disso, é evidente que o ar é o instrumento necessário do movimento violento. (AQUINO, *In libros Aristotelis de Caelo Et Mundo Expositio*, livro III. 2, lect. 7 apud ÉVORA, 1996, p. 171-172)

Embora nesse aspecto ele defenda a posição aristotélica, ele discorda de alguns pontos da teoria do movimento de Aristóteles. Aquino aceita a possibilidade de movimento no vazio, afirmando que nele o movimento seria finito e temporal. Como exemplo dessa possibilidade ele mostra o movimento das esferas celestes, que, apesar de estarem em um ambiente sem resistência, possuem movimento finito e temporal. Rejeita também a lei do movimento de Aristóteles. Além disso, para Aquino, o vazio possui uma dimensão e extensão divisíveis, assim sendo, mesmo no vazio o movimento é temporal.

A evidência empírica, apresentada por São Tomás, de que um movimento finito e temporal pode ocorrer sem resistência do meio é exatamente a mesma apresentada por João Philoponos de Alexandria, no século VI, e mais tarde por Avempace, no século XII, a saber o movimento celeste, que não

sofre resistência do meio, mas no entanto tem velocidade definida e acontece em tempo definido (ÉVORA, 1996, p. 173).

2.3 O *IMPETUS* DE JEAN BURIDAN E NICOLAS ORESME

Francisco de Marchia (séc. XIV) parece ter sido o primeiro filósofo do fim da Idade Média a advogar uma teoria próxima à proposta por Filopono. Para explicar o movimento violento, ele assume que a continuidade do movimento se daria “a partir de uma força deixada para trás (*virtus direlecta*), por meio de uma ação do motor inicial, por exemplo, a mão” (MARCHIA, in libros *Sententiarum* apud ÉVORA, 1996, p. 176). Ele argumenta que se o meio fosse considerado a causa para a continuidade do movimento então teriam muitas causas para o movimento (meios diferentes, causas diferentes); nesse sentido, é preferível que haja só uma causa, a *virtus direlecta*, que se trata de uma causa interna e, como a *dynamis kinêtiké*, de Filopono, é autoconsumida. Contudo, ele não difere totalmente de Aristóteles, uma vez que considera que o meio exerce alguma influência no movimento, visto que este recebe também uma força (*virtus*).

Das teorias propostas para rivalizar com a teoria aristotélica do movimento, a que parece ter sido a mais conhecida foi a teoria do *impetus*, dos nominalistas Jean Buridan (?1300-1358) e Nicolas Oresme (?1320-1382).

Jean Buridan, discordando das explicações de Aristóteles para o movimento violento e para o lançamento de projéteis, lança mão de algumas experiências, a fim de “provar” que o pensamento de Aristóteles estava incorreto. Para ele, a teoria de Aristóteles não explica satisfatoriamente os movimentos a que se propõe além de outros movimentos observados na região terrestre.

Buridan questiona: como explicar o movimento de um pião e de uma mó de ferreiro, que descrevem movimentos circulares, no mesmo ponto, mesmo depois de separado do lançador?

A primeira experiência diz respeito ao topo (*troclus*) e ao moinho de ferreiro (i.e. roda *molafabri*) que são movidos por um longo tempo e não deixam seus lugares. Portanto, não é necessário para o ar seguir ao longo de tal maneira a encher o lugar de partida do topo deste moinho de ferreiro. Então não pode ser dito [que o topo e o moinho de ferreiro são movidos pelo ar] nesta maneira. (BURIDAN apud CLAGETT, *Science of Mechanics in the Middle ages*, p. 533 apud CAMPOS, 2008, p.87).

Outra questão posta por Buridan em relação a essa experiência é que, isolando-se todas as laterais do moinho com um tecido, de modo que o ar não passe, vê-se que o moinho não parará por isso (CAMPOS, 2008). Dessa maneira, vemos que Buridan rejeita a ideia de que o ar é responsável pelo movimento.

Outra experiência de pensamento proposta por Buridan, a fim de refutar a explicação da *antiperistasis*, é uma experiência com lanças de parte posterior diferente. Vejamos seu argumento:

A segunda experiência é esta: Uma lança, tendo uma cônica posterior tão afiada como a anterior, seria movida depois de projetada tão rapidamente quanto seria sem uma cônica posterior afiada. Mas, certamente o ar seguinte não poderia empurrar uma extremidade afiada neste caminho, porque o ar seria facilmente dividido por esta agudeza. (BURIDAN apud CLAGETT, *Science of Mechanics in the Middle ages*, p. 533 apud CAMPOS, 2008, p. 88).

Como podemos ver nesta citação, para Buridan, se o ar fosse o responsável pelo movimento, ao atirar uma lança com a cônica posterior afiada tanto quanto sua parte anterior, esta deveria se deslocar com velocidade menor do que uma lança que não tenha sua parte posterior afiada.

Mais uma experiência é pensada com o objetivo de refutar a tese de que o ar funciona como agente do movimento.

A terceira experiência é esta: um barco levado rapidamente no rio, mesmo contra o fluxo do rio, após o puxão ter cessado, não pode ser parado rapidamente, mas continua a mover-se por um longo tempo. Porém, um marinheiro sobre o convés não sente nenhum ar vindo de trás e o empurrando. Ele sente o ar de frente resistindo a ele. (BURIDAN apud CLAGETT, *Science of Mechanics in the Middle ages*, p. 533 apud CAMPOS, 2008, p. 88).

Segue-se a crítica a Aristóteles. Dessa vez, Buridan afirma que ao comparar o movimento de uma pedra e uma pena, vê-se que a pedra se desloca mais facilmente que a pena, o que mostra o equívoco da concepção aristotélica. Uma vez que o ar é responsável pelo movimento, era de se esperar que fosse, então é mais fácil deslocar a pena, o que não acontece.

Até aqui vimos que Buridan também se opôs à concepção aristotélica de movimento, criticando fortemente a explicação aristotélica para o lançamento de projéteis. Na citação a seguir veremos, em mais uma objeção, que a experiência proposta por Buridan aproxima-se da proposta por Filopono:

Além disso, você poderia, ao empurrar a sua mão, mover o ar adjacente, se não houvesse nada na sua mão, tão ou mais rapidamente do que se nela houvesse uma pedra que você desejasse projetar. Se, portanto, aquele ar devido à velocidade do seu movimento tem um *impetus* suficientemente grande para mover a pedra rapidamente, parece que, se eu fosse empurrar o ar para você igualmente rápido, o ar deveria empurrar você impetuosamente e com vigor sensível. Contudo nós não percebemos isso. (BURIDAN, apud ÉVORA, 1996, p. 180)

Buridan considera que a continuidade do movimento deve ter relação tanto com o lançador quanto com o corpo lançado. Para explicar o movimento local, Buridan assume então a ideia de *impetus* de ação permanente e considera que este teria relação com a quantidade de matéria da composição do corpo. Além disso, ele procura dar um tratamento quantitativo ao seu conceito de *impetus*, admitindo que este devesse ser proporcional à velocidade do projétil e à quantidade de matéria prima contida no corpo. Vejamos o que ele nos diz:

Por isso, pela maior quantidade de matéria existente, o corpo pode receber mais daquele *impetus* e mais intensamente (*intensius*). Agora num corpo pesado e denso, em que outras coisas sendo iguais, existe mais matéria primeira do que num corpo leve e raro. Consequentemente um corpo pesado e denso recebe mais daquele *impetus* e mais intensamente, como um ferro pode receber uma quantidade maior do que comparado com a mesma quantidade de madeira ou de água. Além disso, uma pena recebe um *impetus* parecido tão fracamente (*remisse*) que é imediatamente destruído pela resistência do ar. Do mesmo modo, a madeira leve e ferro pesado de mesmo volume e formato são movidos igualmente rápidos por um projetor, e o ferro será movido mais longe porque o *impetus* impresso nele é mais intenso, pois não é corrompido tão rapidamente como ocorreria com um *impetus* menos intenso. Essa é a razão pela qual é mais difícil colocar em repouso um grande moinho de ferro que move mais rapidamente do que um moinho pequeno, evidentemente porque no maior, em que outras coisas sendo iguais, existe mais *impetus* (BURIDAN apud CAMPOS, 2008, p.90).

Sendo seu *impetus* de ação constante, como explicar o movimento de queda acelerado? E o movimento no vazio? Para Buridan, o corpo durante a queda tem acréscimo de *impetus* em função da sua gravidade. Com relação ao vazio, ele parece não discutir sobre esse assunto. Ele assume que o “vácuo não é naturalmente possível” (ÉVORA, 1996, p.182). Notemos como ele explica o movimento acelerado:

Destas razões segue que se deve imaginar que um corpo pesado adquire movimento não apenas devido ao seu principal movente, a gravidade, mas que ele também adquire para si próprio um certo *impetus* com aquele movimento. Este *impetus* tem o poder de mover o corpo pesado em conjunção com a gravidade natural permanente. E porque esse *impetus* é adquirido em comum com o movimento, quanto mais rápido for o movimento, maior e mais forte será o *impetus*. Assim, portanto, no início, o

corpo pesado é movido apenas por sua gravidade natural; portanto é movido vagarosamente. A seguir é movido pela mesma gravidade e pelo *impetus* adquirido ao mesmo tempo; conseqüentemente, move-se mais rapidamente. E como o movimento se torna mais rápido, o *impetus* se torna maior e mais forte e, portanto, o corpo pesado move-se sob a ação de sua gravidade natural e desse *impetus* maior, simultaneamente, e assim de novo se moverá mais rapidamente; e assim ele será sempre e continuamente acelerado até o fim. (BURIDAN apud ZANETIC, 1988, p. 26)

Outro pensador medieval de grande importância e que também se opõe a Aristóteles é Oresme.

O *impetus* de Oresme é semelhante ao proposto por Buridan, mas difere principalmente em relação à permanência desse *impetus* adquirido no corpo. Para Oresme esse *impetus* é de caráter finito, é autoconsumido. Ele parece ter assumido tal concepção a respeito do *impetus*, a fim de sustentar a possibilidade de rotação diária da Terra. Em sua obra *Le Livre Du Ciel Et Du Monde*, Oresme usa seu conceito de *impetus*, a ideia de relatividade do movimento e de composição dos movimentos para atacar os argumentos da época contra a ideia do movimento rotacional terrestre.

Oresme lança mão de uma série de argumentos na defesa do movimento diurno. Não trataremos desses argumentos aqui (ver CAMPOS 2008, MARTINS, 1986), mas é importante considerar que ele concebe a relatividade do movimento: “Eu tomo como fato que o movimento local pode ser observado somente se nós pudermos levar em consideração que um corpo assume uma posição diferente em relação a outro” (ORESME, 1968, p. 523 apud CAMPOS, 2008, p. 99).

Para Oresme, a Terra, em função de seu movimento, poderia imprimir ao corpo um *impetus* na direção em que está se movendo, de modo que a pedra acompanharia o movimento da Terra e não seria possível perceber o movimento de rotação diurna da Terra. Ele define seu *impetus* como sendo uma qualidade gerada pelo motor, age sobre o movimento do corpo de maneira a acelerar esse movimento. Tal concepção consegue explicar de maneira satisfatória o comportamento dos corpos, tanto na subida (onde há diminuição de velocidade) quanto na descida (aumento de velocidade).

No entanto, não podemos dizer que a concepção de relatividade do movimento em Oresme seja correspondente à concepção moderna. Martins (1986) considera que faltou a Oresme a ideia de inércia. A concepção de movimento relativo, para ele, estava imbricada com a ideia de movimento terrestre. Martins afirma que é possível que, na visão de Oresme, se a Terra cessasse seu movimento, os projéteis também cessariam.

Como podemos notar até esse momento da nossa história, vemos que não são poucas as críticas ao pensamento Aristotélico, claramente aparece um desacordo entre os pensadores, e essa atmosfera tende a aumentar com os trabalhos de Galileu, como veremos a seguir.

2.4 GALILEU ENTRE CONTINUIDADES E RUPTURAS

A partir do século XV, a Europa começava a passar por grandes transformações, e alguns aspectos são muito importantes não só para a sociedade como para o desenvolvimento da ciência, aspectos como o movimento de Renascimento, a Reforma, consolidação da burguesia, a popularização da matemática, surgimento do capitalismo, assim como a expansão territorial através das grandes navegações (no que se refere às navegações, existiam problemas de ordem física, que precisavam de respostas, aperfeiçoamento de equipamentos, bússolas, relógios, exigiam o desenvolvimento da mecânica, ver BRAGA, 2003 v.2); todos esses aspectos são de extrema importância para a ciência e influenciaram os personagens que apresentaremos.

O período histórico conhecido como Renascimento, movimento que se iniciou no século XIII, na Itália, difundindo-se, porém, na Europa, entre os séculos XV e XVI, marcou um longo caminho que culminaria na chamada Revolução Científica do século XVII. Para os renascentistas, a sua cultura era herdeira da Antiguidade clássica. Esse movimento ganhou força com o advento da imprensa. A publicação de manuscritos originais e de traduções foi de suma importância para o desenvolvimento da ciência. A Renascença foi não só um movimento que provocou modificações profundas no modo como o homem via a si mesmo, mas também em sua relação com o mundo em que vivia. Os pensadores começaram a estudar o próprio homem como um ser racional e superior às demais criaturas. Este período é também marcado por uma intensa “disputa” entre antigos e modernos. Enquanto alguns defendiam a retomada de uma cultura clássica grego-romana (os antigos), outros buscavam uma nova metodologia para explicação dos fenômenos naturais (os modernos). Apesar de pretenderem romper com o passado e construir uma nova ciência, os “modernos” traziam consigo elementos pitagóricos, neoplatônicos, além de ideias herméticas, e acreditavam estarem contidas nas Escrituras (Bíblia) as verdades sobre a natureza (FORATO, 2003).

Enquanto a ciência começa a se estabelecer como uma área do conhecimento fortemente amparada pela razão, pela experiência e pela matematização, veremos que

questões de caráter metafísico ainda estão presentes no pensamento desse período e influenciam a forma como os pensadores refletem sobre a natureza e suas leis.



Figura 9 – “Ugolino da Siena, *Última Ceia*. Nessa representação medieval da última Ceia, os apóstolos sentados próximo ao observador são menores do que os sentados do outro lado da mesa. Nessa época ainda não havia se desenvolvido a técnica da perspectiva. A geometrização do espaço não tinha grande importância. Os tamanhos não se relacionavam com a distância relativa ao observador, mas com a posição que ocupavam naquilo que estava sendo representado. Graças a isso temos uma pintura assimétrica, com Jesus situado na lateral esquerda e de tamanho desproporcional com relação aos apóstolos”.

Fonte: BRAGA et al., 2010.



Figura 10 - Ao lado. “Rafael Sanzio, O casamento da virgem. Neste quadro de Rafael já se pode perceber diversas características da nova concepção espacial do Renascimento. O quadriculado no chão denota uma geometrização do espaço muito parecida com a desenvolvida pelos cartógrafos e pilotos na determinação da posição de um navio no mar. Por outro lado, o quadro já incorpora a ideia de um espaço infinito, representada entre outras coisas, pela porta aberta no centro do prédio”.

Fonte: BRAGA et al., 2010.



Figura 11 - - “Galileo Galilei florentino”, quadro do pintor italiano Ottavio Leoni (1578-1630).

Fonte: PEDUZZI (2008, p. 93)

Galileu Galilei nasceu no ano de 1564, na cidade de Pisa, onde estudou medicina. Foi professor de matemática da Universidade de Pisa entre 1589 e 1592. Entretanto, destacou-se nos estudos de filosofia natural, no estudo do movimento. Além das contribuições conceituais à física, Galileu estabelece novas bases para construção do conhecimento científico, amparado na experimentação e na matemática.

Suas duas maiores obras são *Diálogo sobre os Dois Máximos Sistemas de Mundo Ptolomaico e Copernicano* (*Dialogo sopra i Due Massimi Sistemi Del Mondo Tolemaico e Copernicano*), conhecida como *Diálogos*, que foi publicada em 1632, e *Discursos e Demonstrações Matemáticas em torno de Duas Novas Ciências* (*Discorsi e Dimostrazioni Matematiche intorno a Due Nueve Scienze*), de 1638, conhecida como *Discorsi*. A primeira é escrita na forma de diálogo entre três personagens, Simplicio (que representa o pensamento de Aristóteles e dos escolásticos), Sagredo (um leigo de espírito aberto ao conhecimento) e Salviati (porta-voz de Galileu), em que Galileu procura dar suporte à teoria heliocêntrica de Copérnico. A segunda expõe a teoria galileana sobre a resistência dos materiais, além de sua teoria sobre o movimento natural.

Antes, porém, de continuarmos a nossa análise sobre as contribuições dadas ao desenvolvimento do conceito de inércia, por Galileu, citaremos abaixo uma análise do argumento da torre proposta por Giordano Bruno (1548-1600), também adepto do copernicanismo. No trecho que citaremos a seguir aparece uma ideia próxima do nosso conceito de inércia e já se encontram os princípios básicos da relatividade.

Ora para voltar ao assunto, supõe-se que haja então duas [pessoas], das quais uma se encontra dentro do navio que corre, e a outra, fora dele, e que tanto uma quanto a outra tenham a mão perto do mesmo ponto do ar e, que do mesmo lugar, ao mesmo tempo, um deixe cair uma pedra e outro a outra; sem que lhe dêem qualquer empurrão, a do primeiro, sem perder um ponto nem desviar uma linha, atingirá o lugar prefixado, e a do segundo irá

encontrar-se deslocada para trás. O que não decorre senão que a pedra que sai da mão daquele que é sustentado pelo navio, e que conseqüentemente move-se segundo o movimento dele, tem uma virtude impressa que não tem a outra que procede da mão daquele que está fora; e isso apesar de as pedras terem a mesma gravidade, atravessarem o mesmo ar, partirem (se tal fosse possível) do mesmo ponto e possuíssem o mesmo empurrão. Não podemos dar outra razão a essa diversidade a não ser a de que as coisas que estão fixas ou que de forma semelhante ao navio movem-se com ele; e uma pedra leva consigo a virtude do motor que se move com o navio, e a outra, a daquele que não tem tal participação. Disso se vê manifestamente que a virtude de andar em linha reta não é obtida nem do ponto de onde se parte, nem do ponto para onde se vai, nem do meio no qual se move, mas da eficácia da virtude impressa primeiramente, da qual depende toda diferença (BRUNO, apud MARTINS, 1986, p. 75).

Para Martins (1986), embora não se tenha provas de que Galileu tenha conhecido a obra de Bruno, pois o mesmo não faz nenhuma menção a este, como o fez, por exemplo, Kepler, é improvável que ele não tivesse conhecimento dos estudos de Bruno (principalmente em função de toda polêmica em torno de seus estudos, que o levaram inclusive a ser morto na fogueira, pela Inquisição). A semelhança tanto no discurso do contra-argumento da torre, além da adoção metodológica de construção da obra *Diálogos*, escrita na forma de diálogo, assim como fez Bruno, indicam que Galileu pode ter sofrido influência deste.



Figura 12 - Giordano Bruno (1543-1600).
Fonte: PEDUZZI (2008, p. 85)

Como dissemos, no *Diálogo*, Galileu sai em defesa da cosmologia de Copérnico. Vale nesse sentido lembrar que essa concepção enfrentava importantes objeções astronômicas e mecânicas, além das questões religiosas.

Em relação às objeções astronômicas previstas na época, estava o fato de que o movimento terrestre implicaria em grandes modificações no tamanho aparente de Marte e Vênus, quando observados da Terra. Além disso, Vênus deveria exibir fases como a Lua e as estrelas deveriam apresentar paralaxe. Tais aspectos, no entanto, não eram observados.

Entre as objeções de ordem mecânica estavam o argumento da torre, que considerava que, se houvesse o movimento terrestre, um objeto abandonado do alto de uma torre não cairia verticalmente e ao pé da torre.

O argumento da torre foi utilizado largamente durante todo período antigo e medieval para se opor à ideia de rotação diária da terra. O próprio Galileu, em sua juventude, quando ainda não havia assumido a posição copernicana - na obra *Trattato della sfera ovvero cosmografia* (após 1592), em um texto que parece ter sido escrito para seus alunos, na época em que era professor em Pádua, e publicado após sua morte - utiliza-se desse argumento, assumindo a posição aristotélica.

No fragmento descrito abaixo, argumento amplamente utilizado durante toda a idade média, podemos perceber como Galileu utiliza-se de pensamento similar aos empregados por Aristóteles e Ptolomeu, para defender uma Terra estacionária.

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

Outra objeção mecânica, também conhecida como argumento do canhão, supunha que o alcance de um projétil de canhão, lançado obliquamente, não poderia ser o mesmo para leste e oeste, no caso da Terra estar em movimento.

Já o argumento da extrusão tinha como premissa a ideia de que em função da grande velocidade de rotação da terra, que na época já podia ser calculada, pois já era conhecido desde a antiguidade o raio terrestre, os corpos deveriam ser expulsos de sua superfície.

Além disso, de acordo com a filosofia aristotélica, a Terra ocupava o centro de um universo único e finito. Se a Terra fosse descolada do centro, para onde iriam os corpos graves? Todas essas questões estavam em aberto na época, e se configuravam como obstáculos à ideia de mobilidade da Terra.



Figura 13 - *Astrônomo Copérnico: Conversa com Deus*, por Jan Matejko (1838-1893).

Fonte: Wikipédia

Em relação às objeções de cunho religioso não é nosso objetivo tratá-las nesse trabalho, mas vale salientar que a influência exercida pela igreja junto às universidades e a própria sociedade, fato extremamente conhecido, é muitas vezes considerada como um fator de entrave de desenvolvimento científico. No entanto, este período e as ações da igreja, em relação ao conhecimento, são mais complexos do que possa parecer, quando se afirma que a igreja retardou o progresso científico. Para maiores informações sobre essas discussões, ver Évora (1996).



Figura 14 - Representação do sistema copernicano apresentado na obra *De Revolutionibus*, o sol aparece como centro do universo.

Fonte: <http://www.ghc.usp.br/server/Sites-HF/Rafael-Zerbetto/copernico.html>

Como dissemos, Galileu, na obra *Diálogo*, sai em defesa do sistema copernicano. Neste sentido, ele adota algumas concepções importantes para a mecânica, que contribuíram para a consolidação do conceito de inércia, a saber, o princípio da relatividade do movimento, a independência dos movimentos, além das suas ideias sobre a queda dos corpos (com esse estudo Galileu consegue mostrar que a gravidade – propriedade dos corpos - provoca uma aceleração, essa é uma ideia diferente da concepção aristotélica, que admitia relação direta da gravidade com a velocidade)⁷.

Como vimos, nem sempre Galileu se posicionou contra a teoria geocêntrica. Segundo Martins (1986), as correspondências entre Galileu e Kepler apontam para o fato de que em 1593, aproximadamente, Galileu já estava defendendo o sistema copernicano. Em 1609, Galileu toma conhecimento de um instrumento, holandês, que seria capaz de aumentar o tamanho dos objetos. Galileu aperfeiçoou o instrumento e utilizou-o para observar os céus. Em 1610, ele publica seu livro *Sidereus Nuncius* (O Mensageiro Sideral), no qual apresenta importantes observações, que apontam para imperfeições nos céus, aspectos que iam de encontro à filosofia aristotélica. Embora não seja nosso objetivo discutir a cosmologia desse período, assim como os efeitos advindos do uso do telescópio, é importante considerar que essas descobertas tenham contribuído para que Galileu passasse a adotar a concepção cosmológica de Copérnico, contribuindo para que ele buscasse dar suporte físico a essa teoria, tendo em vista as objeções de ordem física que ela sofria, e que mencionamos anteriormente⁸.

Como apontamos acima, Galileu, na sua juventude, aceitava e ensinava o modelo geocêntrico valendo-se de concepções aristotélicas; contudo, suas convicções parecem que foram abaladas em função dos seus estudos astronômicos (as observações feitas através da luneta). De acordo com Martins (1986), em alguma data após 1610, pode se perceber através de anotações marginais da obra de Ludovico delle Colombe, *Discurso contra o movimento da Terra*, que Galileu já contestava a teoria geocêntrica, no entanto de maneira ainda confusa. Ele utiliza a ideia de inércia e composição de movimento.

Pode-se dizer que, ao ler e comentar a obra de Ludovico delle Colombe, algum ano após 1610, Galileu ainda não possuía uma concepção clara do princípio da relatividade; confusamente, ele sabia que era preciso utilizar a

⁷No capítulo 4 dessa tese Évora apresenta uma questão proposta por alguns historiadores, de que o ano de 1277 teria sido o início da ciência moderna. Segundo esses historiadores a condenação de 219 proposições dentre as quais duas relacionadas às concepções aristotélicas teriam colaborado para fortalecer o surgimento de concepções alternativas às de Aristóteles. Embora esse tipo de análise seja extremamente frutífera e instigante, não é nossa intenção enveredar por esse caminho

⁸Para saber mais sobre esse tema ver Peduzzi (2008). Esse texto ele faz um estudo sobre os aspectos cosmológicos desse período assim como as contribuições dadas por Galileu.

ideia da inércia (ou do *impetus*) e fazer composição de movimentos; mas ele acabava recaindo em raciocínios aristotélicos sobre movimentos circulares naturais e dava importância a efeitos produzidos pelo arrastamento do ar, que não são centrais. (MARTINS, 1986, p. 79)

Vejamos no trecho abaixo, retirado de uma anotação feita por Galileu opondo-se aos argumentos de Ludovico contra o movimento terrestre, como ele manifesta uma concepção de movimento inercial:

Estando um barco parado, coloque-se uma superfície plana em equilíbrio, como por exemplo, um espelho, e acima dele, em repouso, uma bola perfeitamente redonda; ver-se-á sobre o mesmo espelho a bola ficar parada, apesar de o barco mover-se velozmente; argumento claro de que o ímpeto recebido pela bola daquele que a coloca, que está no barco quando ele se move muito velozmente, não se aniquila ou diminui; pois se fosse diminuindo, a bola, depois de ser colocada sobre o espelho, começaria a correr ao contrário do movimento do barco, se não houvesse algum tipo de propulsor que a empurrasse a obrigasse a seguir o movimento do barco (...). Mas essa bola correria para trás, se aquele que coloca [sobre o espelho] estivesse fora do barco e, quando passasse adiante dele, colocasse a bola sobre o espelho; sem dúvida alguma correria contra o movimento do barco. (GALILEU, apud MARTINS, 1986, p. 78)

Notemos que Galileu não utiliza a palavra inércia, e parece que, em suas obras, ele não faz uso de tal termo, ele utiliza-se da palavra ímpeto. Nesse sentido, é importante observar, como aponta Évora (1996), que Galileu parece seguir a uma tradição que remonta a Filopono, assumindo a ideia de *impetus*. Contudo, vale salientar que de Filopono a Galileu o conceito de *impetus* que os diversos pensadores assumiram não são os mesmos. Não estamos querendo dizer que a ideia de *impetus* de Galileu é a mesma assumida por Filopono, pois não é. O *impetus* de Galileu está muito próximo à ideia moderna de Inércia, embora ele não tenha enunciando essa lei, como o fez Newton, nem tampouco feito uso desse termo.

Outra concepção que Galileu utiliza de Filopono é a ideia de que a velocidade é proporcional à força motora, subtraída da resistência exercida pelo meio. Em notação moderna podemos escrever:

$$V \propto (F - R).$$

Galileu não tem a mesma ideia aristotélica de peso e leveza. Para ele, todos os corpos são pesados e o movimento natural só pode ser de queda, porém um corpo pode descender ou ascender, dependendo da relação que assume com o meio em que ele se desloca. Esse pensamento tem influência dos estudos da Hidrostática de Arquimedes. Galileu considera que

um corpo pode sofrer um *empuxo* assim como proposto por Arquimedes (esse *empuxo* é dado em função da densidade do meio).

Ao empregar a relação de Filopono, Galileu considera que a principal influência do meio não é a de opor resistência ao movimento de um corpo, mas sim a de exercer sobre ele um *empuxo*. Em decorrência disso, para saber se um corpo sobe ou desce em um dado meio, Galileu compara o peso do corpo com o peso do meio, tomando iguais volumes dos mesmos. Para iguais volumes de um corpo de peso P_c e de um meio de peso P_m , os quocientes P_c/V e P_m/V são, respectivamente, os pesos específicos do corpo, ρ_c , e do meio, ρ_m . Assim, se $\rho_c > \rho_m$ o corpo desce no meio; se $\rho_c < \rho_m$ o corpo sobe. (PEDUZZI, 2008, p. 124)

Podemos observar que, assim como Filopono, essa ideia não impede a existência de movimento no vazio, uma vez que ainda que não haja um meio, o deslocamento seria proporcional ao peso do corpo e não aconteceria instantaneamente.

Na citação abaixo, notemos como Galileu concebe a diferença entre a velocidade de mesmos corpos em meios de densidade diferentes, opondo-se à lei do movimento de Aristóteles.

Se, por exemplo, um pedaço de madeira, cujo peso é 4, move-se para cima na água e o peso de um volume de água igual àquele da madeira é 6, então a madeira se moverá com uma velocidade que podemos representar como 2. Mas se agora o mesmo pedaço de madeira é conduzido para cima em um meio mais pesado do que a água, um meio tal que um volume dele igual ao volume da madeira tenha um peso de 10, o peso subirá neste meio com uma velocidade que podemos representar como 6. Mas ele se move no outro meio com uma velocidade 2. Portanto, as duas velocidades estarão uma para a outra como 6 e 2 e não (como Aristóteles mantinha) como os pesos ou densidades dos meios que estão um para o outro[...]. Está claro, então, em todos os casos, que as velocidades do movimento para cima estarão uma para a outra como o excesso de peso de um meio sobre o peso do corpo que se movimenta está para o excesso de peso do outro meio sobre o peso do corpo. (FRANKLIN, 1976 apud PEDUZZI, 2008, p. 127)

Em notação matemática moderna, comparemos a visão de Galileu com a de Aristóteles:

GALILEU

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\rho_{m_1} - \rho}{\rho_{m_2} - \rho},$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{10 - 4}{6 - 4} = \frac{6}{2}$$

ARISTÓTELES

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\rho_{m_1}}{\rho_{m_2}}$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{10}{6}$$

Como mencionamos anteriormente, antes mesmo da publicação da obra *Diálogo*, Galileu já assume a ideia de inércia, uma concepção que na obra de 1632 ele expressa com bastante clareza. No segundo dia do *Diálogo*, Galileu trata sobre a questão do movimento diurno da Terra, discutindo e refutando argumentos já conhecidos que se opunham a essa possibilidade. Para analisar o movimento de uma esfera em um plano inclinado, Salviati segue questionando Simplicio:

Salviati – (...) digam-me: quando tivésseis uma superfície plana, polidíssima como um espelho e de matéria dura como 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? (GALILEU, 2011, p.227)

O diálogo prossegue com Simplicio afirmando que o corpo tenderia a se deslocar para baixo. Salviati prossegue com as perguntas:

Salviati – Assim é. 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. (GALILEU, 2011, p.227-228).

Simplicio responde que a bola se deslocaria com movimento acelerado para baixo, infinitamente, enquanto durasse a inclinação do plano. Salviati pede, então, que ele considere agora o movimento para cima. Simplicio diz que a bola só se deslocaria para cima se violentamente fosse compelida a realizar esse movimento, e que o mesmo deveria ser retardado, pois é contra a natureza. Além disso, seria mais demorado ou mais rápido de acordo com maior ou menor impulso e segundo maior ou menor aclave. Salviati pede agora que ele considere esse mesmo corpo, só que agora em uma superfície sem aclave nem declive. Vejamos a continuação dessa conversa:

Simplicio – Aqui preciso pensar um pouco na resposta. Como não existe declividade, não pode existir uma inclinação natural ao movimento e, não existindo aclividade, não pode existir resistência a ser movido, de modo que seria indiferente à propensão e à resistência ao movimento: parece-me, portanto, que ele deveria ficar naturalmente em repouso. Mas como sou esquecido! Porque não faz muito que o Sr. Sagredo me fez entender que assim aconteceria.

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

Simplicio – 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 causa de retardamento, não existindo nem declividade nem aclividade.

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

Simplício – Tanto quanto durasse o movimento 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. (GALILEU, 2011, p. 228-229)

Nesse trecho do Diálogo, vemos que Salviati vai persuadindo Simplício até que ele chegue à conclusão que o movimento, nessas circunstâncias, deveria ocorrer infinitamente, e que se trataria de um movimento uniforme. No entanto, esse movimento, como defende a maioria dos historiadores, é um movimento circular e não retilíneo (como Descartes e Newton propõem), pois a superfície da qual trata Galileu é a superfície terrestre. Abaixo descrevemos o seguimento dessa discussão entre os personagens Simplício e Salviati:

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

Simplício – Não faltam: existe aquela do nosso globo terrestre, se ela fosse, porém, bem polida e não, como é, áspera e montanhosa; mas existe aquela da água, quando está calma e tranqüila. (GALILEU, 2011, p. 229)



Figura 15 - “Demonstrações” de Galileu para uma platéia incrédula.

Fonte: <http://www.fsc.ufsc.br/pesqpeduzzi/imagens-thg7.htm>

Nesse sentido, a maioria dos historiadores da ciência defende que a concepção de inércia em Galileu é de uma inércia circular. Logo, com base nesse pensamento, Galileu não teria chegado à ideia moderna desse conceito.

No livro “Contra o Método de Feyerabend”, é possível notar que o autor afirma que a ideia galileana de inércia é circular.

Meu exame do argumento anticopernicano não está ainda encerrado. Até agora, tentei descobrir o pressuposto por força do qual uma pedra que *se move ao longo de uma torre móvel* parece cair “verticalmente”, sem que a vejamos tombar segundo um arco. Vimos que o artifício é realizado por um pressuposto – que denominarei princípio da relatividade– de acordo com o qual nossos sentidos só notam o movimento relativo, permanecendo inteiramente insensíveis a movimentos que os objetos tenham em comum. Resta explicar, entretanto, por que a pedra acompanha a torre e não fica para trás [...]. O problema é, agora, o de suplementar o princípio de relatividade com uma nova lei de inércia, de maneira tal que se possa continuar afirmando a existência do movimento da Terra. Percebe-se, desde logo, que a lei seguinte, o *princípio da inércia circular* (tal como o denominarei), propicia a necessária solução: um objeto que se move com determinada velocidade angular em uma esfera livre de atrito, ao redor da Terra, continuará a mover-se com a mesma velocidade angular, para todo o sempre. Combinando a visão oferecida pela pedra que tomba com o princípio da relatividade, o *princípio da inércia circular* e outros pressupostos simples, concernentes à composição de velocidades, chegamos a um argumento que não mais coloca em perigo a concepção de Copérnico e pode ser usado para proporcionar-lhe apoio parcial (FEYERABEND, apud VASCONCELOS, 2005, p. 396-397, grifo nosso).

Tal aceitação de inércia circular também está presente nos trabalhos de Koyré (1992), Évora (1996) e Martins (2012). No entanto, essa não é a única visão apresentada.

Vasconcelos (2001, 2005) apresenta uma interpretação diferente com base na análise dos estudos galileanos. Para ele, embora a defesa de uma inércia circular galileana esteja baseada na obra de Galileu (principalmente no Diálogo), ela não se sustenta quando é analisada juntamente com a obra Discurso. Segundo o mesmo, é inconsistente com a visão de conservação de movimento de Galileu. Não pretendemos, neste trabalho, investigar essas visões contrárias a respeito da inércia nos trabalhos de Galileu. No entanto, assumiremos, como a grande parte dos historiadores, que a concepção galileana é de uma inércia circular, pois acreditamos que a inconsistência apresentada por Vasconcelos não pressupõe que Galileu teria assumido uma inércia retilínea, e que ele poderia ter cometido um erro de inconsistência entre seus trabalhos.

No artigo de Martins (1994), são apresentados dois erros de Galileu, a fim de justificar a rotação terrestre. O primeiro diz respeito aos cálculos que ele desenvolve para mostrar porque os corpos não são expulsos da superfície terrestre em função do seu movimento de

rotação. Galileu erra nos cálculos e considera que, por menor que fosse a gravidade, ela seria suficiente para manter os corpos presos a Terra, o que é incorreto. O segundo erro está na explicação de Galileu para o efeito das marés (que para ele é arrastado em função do movimento da terra); ele se contradiz na concepção de relatividade do movimento.

A ideia de que um corpo pode se movimentar sem que necessite da ação de um motor, concepção conhecida como Inércia, foi um dos conceitos revolucionários na física, e se opõe totalmente à visão antiga. Com Galileu, essa concepção ganha seu formato quase final.

Embora muitas vezes Galileu seja considerado o pensador que estabeleceu a lei da Inércia, ideias próximas à concepção atual de inércia já estavam presentes em Giordano Bruno; além disso, o arremate final dado por Newton é diferente da mecânica galileana. Mesmo que o trabalho de Galileu se constitua como uma ruptura em relação a várias ideias do pensamento Aristotélico, ainda dominante em sua época, ele manteve as categorias de movimento natural e violento e a distinção filosófica entre movimentos retilíneos e circulares (considerados naturais, perpétuos e perfeitos); além disso, muitos historiadores consideram que a inércia pensada por Galileu é uma inércia circular e não retilínea.

Vimos que na análise do movimento feita pelos diversos pensadores, até aqui, estão os mesmos presos à questão da necessidade de uma causa para a continuidade do movimento; com Aristóteles essa causa seria o meio. Após críticas bem fundamentadas a essa ideia, nasce o conceito de *impetus*, que também se caracteriza como uma causa, porém interna, princípio de movimento que transmite do motor ao móvel a possibilidade de prosseguir em movimento

Caminhando para a forma “final” da lei da inércia (que não é final de fato, em função da contribuição de outros pesquisadores, como Mach e Einstein, mas, infelizmente, como já mencionamos, em função dos nossos objetivos e do nível de ensino que estamos contemplando, nossa história se encerrará com Isaac Newton), apresentaremos as contribuições fornecidas por Descartes.

O francês René Descartes nasceu em La Haye, antiga província de Touraine, em março de 1596. Estudou direito na Universidade de Poitiers. Tornou-se oficial do exército de Maurício de Nassau, na Holanda.

A partir de 1619, interessado nas questões de filosofia, ele se questionou sobre como seria possível conseguir um conhecimento seguro das coisas. Sua experiência como oficial, passando por diversos lugares, permitiu-lhe verificar as diversidades em relação aos conhecimentos, costumes e religiões. Ele concluiu que seria necessário reconstruir todo o conhecimento existente (para que se chegasse a conhecimentos sólidos), de maneira metódica e racional, guiado por bases seguras, que viriam da matemática, e se propôs realizar esse empreendimento. Descartes, em referência à sua época de estudos no colégio La Flèche, declarou:

Eu me sentia satisfeito sobretudo nas matemáticas, por causa da certeza e evidência de suas razões, mas não compreendia seu verdadeiro uso, e, pensando que não serviam senão às artes mecânicas, eu me espantava de que, seus fundamentos tão firmes e sólidos, nunca estivessem conduzido a algo mais elevado. (DESCARTES apud MARTINS, 1972, p. 87)

Tendo Descartes derrubado tudo quanto se podia acreditar, através da dúvida sistemática, e partindo do que, para ele, eram bases firmes para se construir um conhecimento seguro, a razão e a matemática, ele admite como essencial na matéria a extensão e o movimento. Para ele, a matéria não possui “poderes” (por isso ele não considera possível a ação à distância, ao contrário de Newton), ou seja, é inerte, e está contida em um universo extenso e infinito, totalmente preenchido (também não admite a existência de espaços vazios). Descartes considera que quando Deus criou o universo concedeu a ele uma certa quantidade de movimento que se conserva.

Para explicar o movimento, tanto dos céus quanto das coisas da terra, Descartes adota uma física composta por entidades como turbilhões e vórtices. Entretanto, suas explicações para o movimento e a gravidade estavam incorretas, e não vamos nos ater a ela (ver MARTINS, 1998). Na obra *Princípios da Filosofia*, ele propôs um princípio muito semelhante à primeira lei de Newton (MARTINS, 2012), como veremos mais adiante. Além disso, Descartes concebe a ideia de conservação da quantidade de movimento (que atualmente aceitamos como válida).

Martins (2012) ressalta que Descartes não utilizou a expressão inércia (que na época dele tinha como sentido a tendência dos corpos pararem ou permanecerem em repouso), e que as leis da natureza em Descartes estão relacionadas com a ideia de conservação do

movimento. Por isso, Martins utiliza-se da expressão *princípio da conservação do movimento* para referenciar a ideia de “inércia” de Descartes, que está contida em suas leis da natureza.

É na obra cartesiana, *Le Monde*, que aparece uma primeira versão desse princípio (princípio de conservação do movimento). Ela foi escrita entre 1629 e 1633, porém a primeira versão dessa obra só foi publicada postumamente. Não se sabe se Newton tivera contato com essa obra; entretanto, sabe-se que Newton tivera contato com a obra cartesiana *Princípios da Filosofia*, publicada em 1644, na qual aparece também a concepção sobre conservação do movimento de Descartes. Para Martins, essa obra influenciou o pensamento de Newton a respeito da inércia (MARTINS, 2012). Vejamos como Descartes apresenta esse conceito, também na forma de lei:

XXXVII. Primeira lei da natureza: que cada coisa permanece no estado, tanto quanto lhe é possível; e que qualquer coisa que se mova tenta se mover para sempre.

Como Deus não está sujeito a mudar, e por agir ele sempre do mesmo modo, nós podemos atingir o conhecimento de certas regras, que eu chamo de leis da natureza, e que são as causas secundárias dos diversos movimentos que notamos em todos os corpos; e isso as torna aqui muito consideráveis. A primeira [lei da natureza] é que cada coisa em particular que seja simples e indivisa continua a estar no mesmo estado, tanto quanto lhe é possível, e que apenas o muda por causas externas. Assim vemos facilmente que quando uma parte dessa matéria é quadrada, ela permanece sempre quadrada, a menos que algo aconteça que mude sua forma; e que, se ela está em repouso, nós não acreditamos que ela começará a se mover, a não ser que seja impedida por outra causa. Nem existe qualquer razão mais forte pela qual, se ela se move, e se nada a impedir, ela não continue seu movimento espontaneamente. E daí devemos concluir que tudo o que se move, tanto quanto lhe é possível, move-se para sempre. (DESCARTES, 1644, p. 54 apud MARTINS, 2012, p. 296-297)

Em sua segunda lei temos o complemento da primeira, que rompe com o ideal grego, que considerava que o único movimento perpétuo era o movimento circular:

XXXIX. Segunda lei da natureza: que todo movimento é reto em si mesmo; e aquilo que se move em um círculo sempre tenta se afastar do centro do círculo que descreve.

A segunda lei da natureza é: cada parte individual da matéria, considerada apenas em si mesma, nunca tende a continuar seu movimento seguindo linhas oblíquas [curvas], mas apenas em linhas retas [...]. A causa desta regra, como da anterior, depende da imutabilidade e simplicidade das operações pelas quais Deus conserva o movimento da matéria. (DESCARTES, 1644, p. 55-56 apud MARTINS, 2012, p. 297)

Como já mencionamos, Évora (1996) defende que Galileu, em sua concepção inercial, fora influenciado pela ideia de *impetus* que surge com Filopono e ganha força e diferentes versões durante a idade média. Com Descartes, não percebemos esse tipo de influência (da teoria do *impetus*), ele parece ter chegado a uma ideia próxima ao que chamamos de lei da inércia, através de seu entendimento sobre a conservação do movimento, que está associado à imutabilidade divina, um dos atributos do próprio Deus. Abaixo, vejamos como Descartes justifica a ideia de conservação do movimento. Na obra cartesiana, essa justificativa aparece antes da enunciação da lei:

XXXVI. Deus é a causa primária do movimento; e ele sempre conserva uma mesma quantidade de movimento no universo.

Após haver examinado a natureza do movimento, devemos considerar sua causa, que é dupla: a primeira, que é mais universal e primária, é a causa geral de todo movimento que existe no mundo; e depois a outra particular, que faz com que cada parte individual da matéria adquira, se ela não o tinha antes. Naquilo que se refere à geral, parece-me evidente que não há nenhuma outra além do próprio Deus, que criou no início a matéria com o movimento e o repouso, e que atualmente conserva no universo, por seu auxílio ordinário, tanto movimento e repouso quanto ele aí havia colocado ao criá-lo. Pois, embora o movimento não seja senão um modo na matéria que é movida, ele tem, no entanto, uma certa quantidade que não aumenta nem diminui jamais, embora haja às vezes mais e às vezes menos em algumas de suas partes. É por isso que, quando uma parte da matéria se move duas vezes mais rápido do que uma outra e quando essa outra é duas vezes maior do que a primeira, devemos pensar que há tanto movimento na menor quanto na maior; e que sempre que o movimento de uma parte diminui, a de alguma outra parte aumenta em proporção. Sabemos também que é uma perfeição de Deus, não apenas que ele é imutável em sua natureza, mas também que ele age de uma forma constante e imutável; e assim, além das mudanças que observamos no mundo, e aquelas em que acreditamos, pois Deus as revelou, e que nós sabemos acontecerem ou ter acontecido na natureza, sem qualquer mudança por parte do Criador, nós não devemos supor outras [mudanças] em suas obras, por medo de lhe atribuir inconstâncias. De onde se segue que, como ele moveu de várias formas diferentes as partes da matéria, quando ele as criou, e como ele as mantém sempre do mesmo modo e com a mesma razão com que as criou, ele conserva sempre nela uma igual quantidade de movimento. (DESCARTES, 1644, p. 53-54 apud MARTINS, 2012, p. 297-298)

Um dos aspectos fundamentais, que diferenciam os conceitos da física aristotélica e da física medieval da física clássica, é o estatuto do movimento. Tanto para Aristóteles quanto para os medievais o movimento exigiria a ação de uma causa, fosse ela o meio (causa externa) ou o *impetus* adquirido (causa interna). Para Descartes, isso não é mais necessário, pois o movimento passa a ser considerado um estado, assim como é o repouso, e, enquanto estado, não precisa de uma causa, não precisa ser explicado. Martins (2012) analisa essa importante

passagem no artigo *Estado de Repouso e Estado de Movimento: uma Revolução Conceitual em Descartes*. Para ele, essa é uma mudança filosófica profunda que muitas vezes não é percebida, quando nos deparamos com o enunciado: “Todo corpo continua em seu estado de repouso ou de movimento uniforme em uma linha reta, a menos que seja forçado a mudar aquele estado por forças imprimidas sobre ele” (NEWTON, 2008, p. 53).

Considerar tanto o movimento retilíneo uniforme tanto o repouso como estados é um importante passo na construção da física clássica. Vejamos o que Baptista e Ferracioli (2000) dizem a esse respeito:

Sem perigo de se cometer exageros pode-se também afirmar que é nestas ideias de Descartes que repousa o estabelecimento do contexto teórico moderno das ciências: é baseado nesse mundo cartesiano que as leis da mecânica são formuladas. Estas leis são válidas em todo referencial inercial e o mundo de Descartes é infinitamente povoado por corpos animados de velocidade retilínea e uniforme de tal modo que cada um constitui um referencial inercial. A relatividade de Giordano Bruno, Gassendi e Galileu é levada a um alto grau de sofisticação na formulação científica moderna pois, ao se estabelecer que todos os sistemas inerciais são equivalentes para a descrição das leis da Mecânica reviveu-se a ontologia cartesiana do movimento: o repouso e o movimento são estados de uma mesma entidade. (BAPTISTA e FERRACIOLI, 2000, p. 275-276)

Descartes justifica a sua primeira lei do movimento em função da relatividade do movimento, pois não pode existir diferença substancial entre repouso e movimento, a não ser em função do referencial adotado. Pensemos em um navio que se desloca com velocidade constante em relação ao litoral, e que contém uma caixa parada sobre seu tombadilho. Para um referencial no navio a caixa estará em repouso, não tendo, portanto, uma força atuando sobre ela, fazendo-a estar em repouso. Para um referencial no litoral, a caixa estará se deslocando com a velocidade do navio, não deve continuar a existir uma força atuando sobre a caixa, já que a situação é a mesma. (MARTINS, 2012)

Pois para determinar o seu lugar [a posição de um corpo] devemos notar algum outro corpo que consideramos como parado; mas conforme a diferença entre aqueles que considerarmos [como estando parados] seremos capazes de dizer que a mesma coisa, no mesmo tempo, muda de lugar e não muda. Por exemplo, se considerarmos um homem assentado na popa de um navio que o vento leva para longe do porto, e apenas levarmos em conta este navio, este homem não muda de posição, pois vemos que ele sempre permanece na mesma situação em relação às partes do navio sobre o qual está [...] e se considerarmos as terras próximas, este homem muda constantemente de posição, porque ele se afasta destas e se aproxima de algumas outras. (DESCARTES, 1664, p. 40 apud MARTINS, 2012, p. 300)

Vimos que Descartes chega a uma ideia próxima à conceituação newtoniana de inércia, não seguindo uma tradição que vem com a ideia de *impetus*, mas por convicções metafísicas. Porém a concepção desses dois pensadores não são as mesmas, há substanciais distanciamentos entre os dois. Descartes não concebe o movimento absoluto nem a existência de espaços vazios na natureza; para ele, a matéria não possui “poderes” ou algum tipo de atividade. Além disso, como veremos, para Newton a inércia é uma força, o que não é verdade no pensamento cartesiano. Vale salientar que Descartes não conheceu os trabalhos de Newton, pois faleceu quando este era ainda criança. Os pontos de discordância entre eles são feitos com base na comparação entre suas ideias.

Passemos a seguir, prosseguindo em nossa breve história da inércia, ao nosso arremate final, que é a enunciação feita por Newton, consolidando assim esse conceito que é fundamental no estabelecimento da física clássica.

2.6 A PRIMEIRA LEI DE NEWTON NOS *PRINCIPIA*



Figura 18 - Isaac Newton (1642-1727) aos 46 anos, em retrato de Sir Godfrey Kneller, 1689.

Fonte: GLEICK, 2004, contra capa.

Newton é considerado, por muitos, o “Pai da Ciência Moderna”. Certamente este título se deve à contribuição dada por ele à física através de suas leis da mecânica e da formulação da teoria da gravitação. Não queremos fortalecer essa ideia, é inegável o impacto da mecânica newtoniana e a revolução advinda da sua principal obra, *Princípios matemáticos da filosofia natural*, publicada em 1687 (considerada a primeira exposição dedutiva sistemática da mecânica clássica), tampouco diminuir a importância desse pensador, apontando que tudo já se fazia presente, e o papel de Newton resumiu-se a uma síntese dos pensamentos de Kepler, Galileu e Descartes.

Além disso, Newton foi um importante matemático, criou o cálculo infinitesimal (disputou com Leibniz a autoria da criação, os historiadores defendem que eles chegaram ao cálculo de maneira independente. Newton, em função de sua influência, foi o vencedor da disputa, na época). É importante considerar que qualquer que seja o conceito estudado, as relações que se estabelecem (a *posteriori*) através de pesquisas históricas ou equivalentes sempre serão menos complexas do que o que aconteceu no tempo e no espaço em que os estudos se desenvolveram.

O desenvolvimento do conhecimento científico é um empreendimento extremamente complexo e não envolve somente variáveis internas a esse sistema. O conhecimento se desenvolve a partir de conhecimentos anteriores, seja para ampliá-los ou no sentido de se opor a eles; fatores externos (sociais) são extremamente importantes e, determinadas vezes, decisivos. Assim, nosso personagem principal, nesse momento, tem que ser pensado no espaço-tempo em que se encontrava.

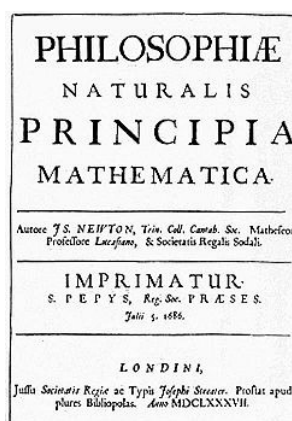


Figura 19 - Frontispício dos Princípios matemáticos da filosofia natural, publicado em 1687.

Newton nasceu em Woolsthorpe, Lincolnshire, em 1642. Ingressou em Cambridge quando tinha 19 anos, em 1661. Na Inglaterra, tradicionalmente ainda se ensinavam os conceitos aristotélicos, e o que podemos considerar como nova filosofia (contrária a Aristóteles) estava se disseminando.

Na primavera de 1665, formou-se bacharel em humanidades e, nesse mesmo ano, a Inglaterra foi assolada pela peste negra. Newton deixou Cambridge e voltou para a fazenda de sua família.

Antes de 1666 (considerado seu *Annus Mirabilis*, o ano das maravilhas: ele desenvolve grande parte de seus estudos na matemática, na óptica, e a teoria da gravitação),

Newton tivera contato com obras de Galileu, Descartes, Kepler, Walis, Charleton, Hobbes, Gassendi, Henry More e Boyle (MARTINS, 2006b, p. 167-189). De Kepler, Newton herdou uma decisiva revisão do sistema concebido pelo polonês Nicolau Copérnico. De Galileu, o conceito de aceleração e a lei da queda dos corpos. De Descartes, a concepção de um universo-máquina, que funcionaria com base apenas no movimento de suas partes (embora discordado do pensador francês no que concerne à ação de forças a distância, e na intervenção constante de uma divindade organizadora do universo). Descartes proporcionou ainda a Newton outra importante contribuição: a Geometria Analítica, que permitia resolver problemas até então insolúveis pelos métodos algébricos. Três outras influências marcariam a formação do pensamento de Newton: a do filósofo francês Pierre Gassendi, que havia retomado a ideia da matéria composta de átomos; a do químico inglês Robert Boyle e a do filósofo - também inglês - Henry More. Boyle forneceu-lhe a base de suas concepções em química, e More abriu-lhe a porta para o mundo do hermetismo e da alquimia.

Em agosto de 1684, Newton foi procurado pelo astrônomo Edmond Halley (o mesmo que observou o cometa que leva seu nome), para que pudesse ajudá-lo em uma aposta que ele se envolvera. Christopher Wren (1632-1723) afirmara que uma força dirigida ao Sol de intensidade proporcional ao inverso do quadrado da distância seria suficiente para explicar a trajetória dos planetas, ele faz então uma aposta entre Edmond Halley e Robert Hooke: quem dentre os dois pensadores (Hooke e Halley) conseguisse provar tal fato, em dois meses, ganharia um livro de 40 xelins (que equivalia ao lucro mensal de um comerciante rico). Na tentativa de vencer a aposta e ganhar o livro, Halley procurou Newton, professor de matemática de Cambridge.

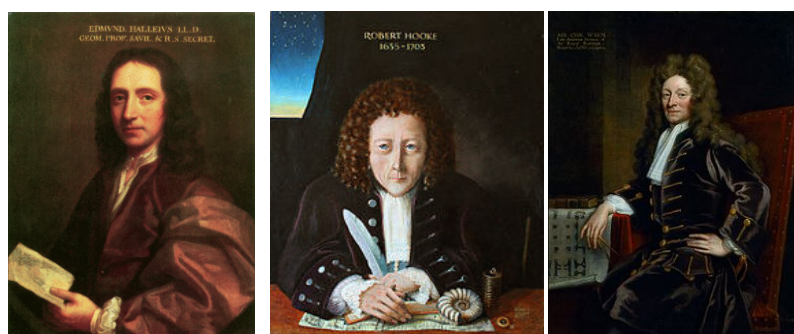


Figura 20 - Da esquerda para direita: Edmond Halley (1656-1742), Robert Hooke (1635-1703) e Christopher Wren (1632-1723). Fonte: Wikipédia

Ao comunicar o problema a Newton, Halley foi surpreendido com a resposta que ele lhe deu. Newton afirmou que a questão lhe era familiar e que já havia pensado no problema alguns anos atrás, e que tinha inclusive feito as contas e que guardara a demonstração dessa questão em uma gaveta; comprometeu-se então a achar os escritos e os enviar a Halley.

Halley esperou então por três meses até que Newton lhe enviou um manuscrito contendo a resposta à questão formulada por Wren. Halley incentivou Newton para que publicasse suas ideias. Na época, Halley recebeu de Newton 460 páginas manuscritas, com argumentos matemáticos, esquemas, cálculos, observações astronômicas, as quais corrigiu e comentou cada uma delas; além disso, serviu de intermediário entre a tipografia e a Royal Society e financiou a publicação do livro. Nasce então, em 1687, a principal obra newtoniana: *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural* (em latim: *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, ou simplesmente, *Principia*).

É uma obra extensa e difícil, em três volumes, que contém toda fundamentação da mecânica clássica e a teoria da gravitação. Newton rompe em definitivo com os fundamentos escolásticos, e sua teoria consegue unificar o mundo sublunar ao mundo supralunar, ou seja, as leis da mecânica são válidas para explicar o comportamento tanto dos corpos terrestre quanto dos celestes.

No início de seu livro, os *Principia*, Newton aponta para algumas definições e considerações lógicas que são importantes para o movimento. Ele estabelece, então, o domínio de validade formal e matemática de suas leis, assim como os conceitos de espaço e tempo absolutos, que mais tarde sofreriam críticas por parte de Ernst Mach (1838-1916) e Albert Einstein (1879-1955). Vejamos sua definição sobre a *vis insita* (Definição 3, que está relacionada com o conceito de inércia) e sua concepção de espaço e tempo absolutos (Escólios 1 e 2).

Definição 3. 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.

Essa força é sempre proporcional ao corpo a que pertence e em nada difere da inatividade da massa, a não ser pela nossa maneira de concebê-la (...). Mas um corpo só exerce essa força quando outra força, imprimida sobre ele, procura mudar sua condição (...); mas movimento e repouso, como vulgarmente concebidos, diferem apenas relativamente um do outro. (NEWTON, 2008, p. 40)

Vejamos agora os conceitos de espaço e tempo absolutos:

Escólio 1. O tempo absoluto, real e matemático, por si mesmo e por sua própria natureza, flui uniformemente sem relação com qualquer coisa externa e é também chamado de duração. O tempo comum aparente e relativo é uma medida de duração perceptível e externa (seja ela exata ou irregular) que é obtida por meio do movimento e que é normalmente usada no lugar do tempo verdadeiro, tal como uma hora, um dia, um mês, um ano.

Escólio2. O espaço absoluto, em sua própria natureza, sem relação com qualquer coisa externa, permanece sempre similar e imóvel. O espaço relativo é alguma dimensão ou medida móvel dos espaços absolutos, a qual nossos sentidos determinam por sua posição em relação aos corpos, e é comumente tomado pelo espaço imóvel; assim é a dimensão de um espaço subterrâneo, aéreo ou celeste, determinada por sua posição com relação à Terra. Espaços absoluto e o relativo são os mesmos em configuração e magnitude, mas não permanecem sempre numericamente iguais. Pois, por exemplo, se a Terra se move, um espaço do nosso ar, o qual relativamente à Terra permanece sempre o mesmo, será em algum momento parte do espaço absoluto pela qual o ar passa; em outro momento será outra parte do mesmo, e assim, com certeza, estará continuamente mudando. (NEWTON, 2008, p. 45)

Não entraremos em detalhes dos *Principia*, focaremos no que é o nosso interesse que é a Inércia. É nesta obra que se encontra enunciada a Lei da Inércia tal qual a ensinamos. Notemos a clareza do enunciado da primeira lei apresentada nos *Principia*.

Lei 1. Todo corpo continua em seu estado de repouso ou de movimento uniforme em linha reta, a menos que seja forçado a mudar aquele estado por forças imprimidas sobre ele.

Os projéteis continuam em seus movimentos enquanto não são retardados pela resistência do ar, ou impelidos para baixo pela força da gravidade. Um pião cujas partes, por sua coesão, são continuamente afastadas dos movimentos retilíneos não interrompe sua rotação, a menos que seja retardado pelo ar. Os corpos maiores dos planetas e cometas, deparados com menos resistência nos espaços mais livres, preservam seus movimentos, tanto progressivo como circulares, por um tempo muito mais longe. (NEWTON, 2008, p. 53)

As leis de Newton são válidas para qualquer sistema que esteja em um referencial inercial. Mas o que vem a ser referencial inercial? A relatividade do movimento foi um conceito que veio sendo proposto por diversos pensadores antes de Newton, o qual percebeu que na mudança de referencial podem surgir forças que a simples mudança de referencial faz com que elas desapareçam.

Ele propõe a experiência que ficou conhecida como a “Experiência do Balde de Newton” para explicar a questão do *espaço absoluto*. Vejamos, através das palavras newtonianas, como ele propõe a experiência do balde.

As causas pelas quais movimentos verdadeiros e relativos são diferenciados um do outro, são as forças imprimidas sobre os corpos para gerar movimento. O movimento verdadeiro não é nem gerado nem alterado, a não ser por uma força imprimida sobre o corpo movido; mas o movimento relativo pode ser gerado ou alterado sem qualquer força imprimida sobre o corpo. (...)

Os efeitos que distinguem movimento absoluto de relativo são as forças que agem no sentido de provocar um afastamento a partir do eixo de movimento circular. Pois não há tais forças em um movimento circular puramente relativo; mas em um movimento circular verdadeiro e absoluto elas são maiores ou menores, dependendo da quantidade de movimento. Se um recipiente, suspenso por uma corda, é tantas vezes girado, a ponto de a corda ficar fortemente torcida, e então enchido com água e suspenso em repouso junto com a água; a seguir, pela ação repentina de uma força, é girado para o lado contrário e, enquanto a corda desenrola-se, o recipiente continua no seu movimento por algum tempo; a superfície da água, de início, será plana, como antes de o recipiente começar a se mover; mas depois disso, o recipiente, por comunicar gradualmente o seu movimento à água, fará com que ela comece nitidamente a girar e afastar-se pouco a pouco do meio e a subir pelos lados do recipiente, transformando-se em uma figura côncava (conforme eu mesmo experimentei), e quanto mais rápido se torna o movimento, mais a água vai subir, até que, finalmente, realizando suas rotações nos mesmos tempos que o recipiente, ela ficará em repouso relativo nele. Essa subida da água mostra sua tendência a se afastar do eixo de seu movimento; e o movimento circular verdadeiro e absoluto da água, que aqui é diretamente contrário ao relativo, torna-se conhecido e pode ser medido por essa tendência. De início, quando o movimento relativo na água era máximo, não havia nenhum esforço para afastar-se do eixo; a água não mostrava nenhuma tendência a circunferência, nem nenhuma subida na direção dos lados do recipiente, mas tinha uma superfície plana, e, portanto, seu movimento circular verdadeiro ainda não havia começado. Mas, posteriormente, quando o movimento relativo da água havia diminuído, a subida em direção aos lados do recipiente mostrou o esforço dessa para se afastar do eixo; e esse esforço mostrou o movimento circular real da água aumentando continuamente, até ter adquirido sua maior quantidade, quando a água ficou em repouso relativo no recipiente. E, portanto, esse esforço não depende de qualquer translação da água com relação aos corpos do ambiente, nem pode ser o movimento circular verdadeiro ser definido por tal translação. (NEWTON, 1990 apud ASSIS, 1997, p. 50-51)

Qual é o motivo da diferença entre as duas situações (água plana e a água côncava)? Que força atua sobre o balde quando a água está côncava? (para uma discussão mais detalhada ver ASSIS, 1997 e GARDELLI, 1999).

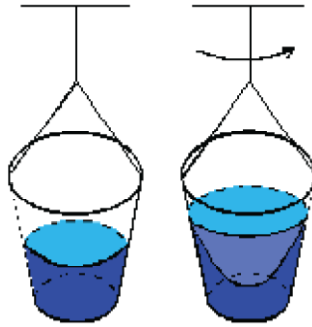


Figura 21 - Na situação I o balde e a água estão em repouso em relação à Terra e a superfície da água está plana. Na situação II, o balde e a água estão em rotação, com velocidade angular constante em relação à Terra e a superfície da água apresenta um formato côncavo. Fonte: GARDELLI, 1999, p.45.

Newton vai responder que esse esforço não se dá devido a qualquer coisa externa, mas em razão da aceleração em relação ao espaço absoluto. Newton faz uma diferença entre referenciais inerciais (que estão em repouso ou em movimento retilíneo uniforme em relação ao espaço absoluto) e referenciais não inerciais (os que possuem aceleração em relação ao espaço absoluto). Assim, as leis newtonianas são válidas em referenciais inerciais.

A adoção do conceito de espaço absoluto foi uma das críticas sofridas por Newton. Mach (1839-1916) questiona o fato de a matéria interagir com o espaço; para ele matéria só pode exercer interação com matéria.

Como já havíamos mencionado, a história da inércia não se encerra em Newton; no entanto, nosso objetivo é conhecer a história da inércia até a enunciação feita nos *Principia*, perceber as contribuições dadas por diversos pensadores ao longo do tempo e observar a ruptura que ocorre em relação ao pensamento aristotélico (que alguns trabalhos apontam existir certa aproximação com a concepção de senso comum). É possível perceber que a inércia é um conceito central que se estabelece com o início da ciência moderna e que não corresponde a um detalhe que é perceptível sensorialmente, como muitas vezes é ensinado.

2.7 DESCARTES *VERSUS* NEWTON: UM DEBATE TEOLÓGICO

Se compararmos a primeira lei da natureza de Descartes à primeira lei de Newton, veremos como a semelhança entre elas é grande:

- Descartes: “A Primeira lei da natureza: que cada coisa permanece no estado, tanto quanto lhe é possível; e que qualquer coisa que se mova tenta se mover para sempre”. (DESCARTES, 1644 apud MARTINS, 2012, p. 296)
- Newton: “Todo corpo persevera em seu estado de repouso, ou de movimento uniforme em linha reta, a menos que seja compelido a modificar esse estado por forças imprimidas sobre ele”. (NEWTON, 1687 apud MARTINS, 2012, p. 299)

Martins (2012) defende a ideia de que Newton, ao adotar a concepção de movimento e repouso como *estados* da matéria, o tenha feito sob a influência dos trabalhos de Descartes, embora ele (Newton) jamais tenha feito qualquer referência a isso.

Considerar o movimento retilíneo uniforme e o repouso como *estados* é algo muito importante. Lembremos que na visão aristotélica o movimento é caracterizado como uma mudança; logo, necessita de uma causa externa. Descartes assume que o movimento (em linha reta com velocidade constante) é um *estado*, não necessitando da ação de uma força para mantê-lo. Esse fato que talvez possa nos parecer óbvio, não o era nessa época.

Muitos anos atrás, foi bem observado pelo Bispo Horsely, que as palavras ‘*status motus*’, estado de movimento, implicam uma contradição direta de seus termos. ‘Eu acredito’ (disse o Bispo) ‘que é necessário algum princípio ativo tanto para o início quanto para a continuação do movimento. Eu sei que muitos newtonianos não aceitarão isso. Acredito que eles estão equivocados, como eu próprio fui enganado anteriormente pela expressão um estado de movimento. Movimento é uma mudança (...). Estado implica o contrário de mudança, e sendo o movimento uma mudança, um estado de movimento é uma contradição em termos’. O raciocínio do Bispo parece totalmente conclusivo, e concorda perfeitamente com o sentido comum e com a linguagem humana (TAYLOR, 1817, p. 15 apud MARTINS, 2012, p. 299).

Como esclarece Martins (2012), o Bispo Horsely (1733-1806), apesar de exercer o episcopado, era uma pessoa extremamente envolvida com as ciências, foi eleito membro da *Royal Society* em 1767; além disso, foi editor das obras completas de Newton. O que o bispo fazia menção era algo comum à época, durante o período medieval e mesmo no início do período moderno: a palavra ‘estado’ (*status*) era sinônimo de repouso (*quietis*).

A questão que devemos nos perguntar, comparando os enunciados das leis de Descartes e de Newton, é: qual a diferença entre a concepção de inércia nos dois? Como já mencionamos, Descartes não admite a existência de espaços vazios; logo, o movimento retilíneo infinito não seria possível.

Martins (2012) aponta outra questão importante: para Descartes, o princípio da relatividade do movimento é muito amplo e estabelece a equivalência entre o repouso e o

movimento. Newton, embora aceitasse o princípio da relatividade do movimento, admite, como já vimos, a existência de um espaço absoluto e estabelece uma distinção entre movimento relativo e movimento absoluto.

Enquanto Descartes não faz uso de uma distinção entre repouso e movimento, não precisando de ação de uma força, a inércia (*vis insita*) newtoniana tem característica tanto de passividade (resistência ao movimento) quanto de atividade (enquanto capacidade de gerar movimento). Newton mantém a necessidade de uma força motora para a continuação do movimento, aproximando-se da concepção de *impetus* medieval. Descartes considera que o movimento se conserva e dispensa a ação de uma força para continuidade do mesmo.

Por que essa diferença? A adoção de um espaço absoluto para Newton parece ter relação com sua concepção teológica.

A aceitação de um espaço absoluto por Newton pode ser considerada um aspecto da sua dinâmica, mas também tem um componente teológico. De acordo com ele, Deus tem uma ação direta sobre o mundo, não apenas ao criá-lo, mas também em manter sua ordem. Para Newton o espaço está preenchido por Deus e é, de certa forma, o órgão sensorial divino. Assim, Deus sabe se um corpo está realmente se movendo ou não. (MARTINS, 2012, p. 302).

Nesse aspecto, vemos uma importante diferença teológica existente entre Descartes e Newton. Para Newton, Deus é um agente contínuo na natureza, enquanto Descartes considera que Deus criou todas as coisas e conferiu à natureza uma quantidade de movimento que deve se conservar em função da imutabilidade divina.

A filosofia mecânica newtoniana, segundo David Kubrin (apud COHEN e WESTFALL, 2002), seria baseada na imperfeição do mundo, que estaria se desfazendo e, portanto, para Newton, “precisaria de uma reforma”. De acordo com Kubrin, os ingleses do fim da década de 1660, como Henry More, Robert Boyle e Walter Charleton, tinham receio de que o cartesianismo expulsasse do mundo todas as ideias sobre a Providência Divina. Para tanto, era necessário que se criasse uma mecânica na qual Deus fosse não apenas o responsável pela criação da matéria e do movimento, mas também pela preservação dos mesmos, ou seja, Deus deveria agir continuamente no universo. Logo, um mundo que sofria um declínio em sua regularidade estaria de acordo com a ideia do milênio e do segundo advento de Cristo. Whiston, discípulo de Newton, escreveu em referência à Lei da Gravitação:

Nobre descoberta esta, que se revelou o feliz ensejo da invenção da maravilhosa filosofia newtoniana: a qual, aliás, tenho em mais alta conta do

que outras, como um prelúdio e preparação eminentes para os ditos tempos de restauração de todas as coisas dos quais Deus falou [...] desde o começo do mundo, em Atos 3,21. (WHISTON, apud KUBRIN, 2002, p.359).

Vimos nessa seção que por trás do conceito de inércia em Descartes e em Newton existe a influência de suas concepções teológicas, no modo como eles acreditam que Deus age na natureza.

CAPÍTULO 3

A SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Este capítulo irá tratar da parte empírica da pesquisa. Para tanto acompanharemos o seguinte curso:

- Planejamento e aplicação da sequência didática: Compreende a descrição do processo de planejamento, elaboração e aplicação da sequência didática. Aqui, sobretudo, justificamos as nossas escolhas e apresentamos o processo de cumprimento da sequência elaborada.
- Coleta e análise dos dados: Esta seção compreende a apresentação e análise dos dados da pesquisa.

3.1 PLANEJAMENTO E APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Nesta seção procuramos descrever como ocorreu o processo de elaboração da nossa sequência didática, a partir de cada um dos elementos que a compõe. A sequência didática é composta de três elementos: I) os textos de apoio ao aluno (anexos I e II), estes textos foram elaborados com o objetivo de apresentar a história da inércia e se configuram como produto da nossa pesquisa; II) os questionários (anexos III, IV, V, VI), se constituem como nosso instrumento de coleta de dados; III) O seguimento de aulas (serão apresentados na seção 3.1.3), onde são expostas as ações de execução da nossa proposta didática.

Apresentaremos, inicialmente, o processo de elaboração da sequência didática, em cada um dos seus elementos, conforme mencionado acima. Em seguida, discutiremos como foi a execução da nossa proposta.

3.1.1 O texto do aluno

Grande parte dos trabalhos que objetivam promover a inserção de conteúdos de história da ciência e/ou filosofia da ciência no ensino, o fazem por meio da discussão de textos históricos (PEDUZZI, 1998; TEIXEIRA, FREIRE e EL-HANI, 2009; GATTI, NARDI e SILVA, 2010; HOSSON, 2011). No entanto, essa não é a única alternativa possível, existem trabalhos que procuram explorar atividades prática/experimentais (FREITAS e FREIRE JR.,

2005). Enquanto outros trazem uma mescla de atividades (HÜLSENDEGER, 2004; FORATO, 2009). Essas escolhas devem ser feitas de modo a atender as exigências pedagógicas adequadas à realidade do aluno (nível de ensino, faixa etária, etc.). Nós optamos por trabalhar por meio de textos históricos, sobretudo, por estarmos trabalhando com alunos de Graduação e dispormos de um número pequeno de aulas (4 aulas) para desenvolver a sequência didática.

Vale ressaltar que tanto nosso capítulo de discussão histórica (capítulo 2) quanto a versão desenvolvida como material didático para o aluno, não são produtos de um trabalho na área de história da ciência, mas resultado de um esforço para inserir no ensino de disciplinas com conteúdos de mecânica, o episódio da história da inércia e determinados aspectos de natureza da ciência. Trata-se, portanto, do uso da história para fins didáticos.

Decidimos dividir a nossa reconstrução histórica em dois textos (texto I e texto II) citados a seguir. Os textos destinados aos alunos tiveram como fundamento o que foi discutido no capítulo 2. No entanto, determinados aspectos são menos aprofundado nos textos do aluno. Procuramos construir um texto que evitasse excessivas simplificações, no entanto, a simplificação é inevitável. No processo de construção de material dessa natureza, devemos, como expôs Forato, Martins e Pietrocola (2012), fazer determinadas escolhas que nos impõe limitações. Dentre os obstáculos nessa abordagem é a escolha entre extensão e profundidade. Nós optamos pela extensão ao invés da profundidade, tendo em vista que um dos conteúdos de NdC que buscamos abordar, trata da provisoriedade do conhecimento e nesse sentido, dar uma dimensão mais ampliada, passando por diversas fases de um tema (como é o caso da ideia de continuidade de movimento, que culminou no conceito de inércia) possibilita figurar melhor esse aspecto.

Forato, Martins e Pietrocola (2012) recomenda que ao propor discutir conteúdos de NdC por meio da história da ciência, o recorte histórico seja feito de maneira a possibilitar essa interface, ou seja, são os aspectos de NdC selecionados que guiam os recortes históricos a serem feitos. Dessa maneira, procuramos selecionar nossos aspectos históricos a fim de possibilitar aos alunos reflexão sobre os conteúdos de NdC que queríamos discutir em sala de aula. O quadro abaixo mostra essa escolha.

Tabela 1 - Relação entre os conteúdos de NdC selecionado e os episódios históricos contemplados.

Conteúdos de NDC selecionados	Aspectos históricos dos Episódios escolhidos
<p>O conhecimento científico, enquanto durável tem caráter provisório, assim como, seu o processo de construção.</p>	<p>Tanto o texto I quanto o II apontam para concepções diferentes sobre o movimento desde Aristóteles até Newton. É possível perceber que “o que é movimento”, como ele é entendido, pensado, interpretado, analisado mudou com o tempo.</p> <p>A ciência construída por Aristóteles é diferente da pensada por Galileu (onde a matemática e a experimentação ganham força). Assim sendo, esse a aspecto histórico nos permite refletir sobre a ideia de um método rígido para ciência.</p>
<p>A controvérsia entre os cientistas sempre é possível.</p>	<p>A ênfase a esse aspecto será abordada nas críticas a concepção de movimento de Aristóteles durante o medievo, onde um mesmo evento, por exemplo, o lançamento de uma flecha, é explicado de maneiras distintas, ou seja, há um claro desacordo entre os pensadores, por assumirem pressupostos teóricos diferentes.</p>
<p>O conhecimento científico se desenvolve em um contexto cultural de relações humanas e é influenciado por fatores extracientíficos.</p>	<p>Este aspecto da NDC será contemplado no texto II, onde trataremos da visão de Descartes e de Newton acerca do movimento e o papel que cada um deles atribuía a ação de Deus sobre a natureza, o que aponta como suas concepções teológicas influenciaram suas filosofias.</p>

A seguir apresentamos a estrutura dos textos (I e II) em termos dos conteúdos históricos abordados:

Texto I: Uma breve história da inércia – De Aristóteles a teoria do *impetus*.

- ✓ A física de Aristóteles;
- ✓ O movimento local, na física aristotélica;
- ✓ Filopono e alguns comentadores da alta idade média;
- ✓ O *impetus* de Buridan e Oresme.

Texto II: Uma breve história da inércia – Galileu, Descartes e Newton.

- ✓ Galileu entre continuidades e rupturas;
- ✓ Descartes e as leis da natureza;
- ✓ A primeira lei de Newton nos *Principia*;
- ✓ Descartes *versus* Newton: um debate teológico.

A maneira como esses textos se inserem em nossa sequência didática será discutida mais adiante.

A seguir vamos expor o processo de construção dos questionários utilizados.

3.1.2 Os questionários

Para análise das concepções prévias dos alunos, a respeito do conceito de inércia e de alguns aspectos de NdC, elaboramos um questionário, denominado, questionário inicial. Uma primeira versão desse questionário foi aplicada para cursistas do 5º período da licenciatura em física. O piloto tinha como objetivo verificar aspectos como compreensão das questões, tempo de resolução (visto a quantidade de questões a serem respondidas, inicialmente foram propostas 26), além de verificar se as respostas atendiam ao que pretendíamos verificar.

A análise das respostas dadas as questões nos possibilitou modificar o questionário inicialmente proposto. Foram retiradas as questões 10 e 11 da parte II, pois identificamos que ela não trazia contribuições relevantes.

Para a sequência didática como um todo, foram desenvolvidos quatro questionários, cada um com objetivos específicos. Todos os questionários se encontram nos anexos.

No quadro abaixo apresentamos, esquematicamente, os questionários, o número de questões e o(s) objetivo(s) propostos.

Tabela 2 - Características gerais dos questionários.

Questionário	Nº de questões	Objetivo(s)
Questionário Inicial (anexo III)	Parte I- 8 questões Parte II- 9 questões Parte III- 7 questões (total de 24 questões)	Parte I - caracterização geral dos alunos. Parte II - investigar as concepções dos alunos sobre inércia. Parte III - investigar as concepções dos alunos sobre alguns aspectos de NdC.
Questionário do Texto I (anexo IV)	5 questões	Avaliar a compreensão dos alunos acerca do texto I (quanto aos aspectos históricos), além de verificar se foi possível ao aluno identificar o(s) conteúdo(s) de NdC presente(s) no texto.
Questionário do Texto II (anexo V)	4 questões	Avaliar a compreensão dos alunos acerca do texto II (quanto aos aspectos históricos), além de verificar se foi possível ao aluno identificar o(s) conteúdo(s) de NdC presente(s) no texto.
Questionário Final (anexo VI)	Parte I (igual a parte II do questionário inicial – 9 questões). Parte II (igual a parte III do questionário inicial acrescido de 1 questão – 8 questões) (total de 25 questões).	Este questionário teve como objetivo investigar se houve mudanças em relação aos conhecimentos (iniciais) sobre inércia e sobre a NdC apresentadas pelos alunos. Além disso, acrescentamos uma questão em que os alunos deveriam expor suas impressões quanto a abordagem histórica e se foi possível compreender melhor o conceito de inércia a partir dessa perspectiva.

As questões 1 a 7 (do questionário inicial, parte I e final, parte II), encontram-se em trabalhos da área (PEDUZZI e PEDUZZI, 1985; SILVEIRA, MOREIRA e AXT, 1992; REZENDE e BARROS, 1996; SOUZA, 2008; ROSA, 2012). Optamos por inserir questões abertas (questões 8 e 9, que nós desenvolvemos) por acreditar que tais questões possibilitam que o aluno discorra sobre seu pensamento, nos permitindo fazer inferências a partir se seus

argumentos. As questões propostas na parte III (do questionário inicial) e II (do questionário final) destinada a verificar as concepções dos alunos com relação aos aspectos de natureza da ciência encontram referências nos trabalhos de Harres (1999a) e Andrade (2008). As questões propostas nos questionários dos textos I e II foram elaboradas por nós.

3.1.3 A sequência de aulas

Como nosso tema é contemplado na disciplina de Mecânica optamos por aplicar a sequência didática nesse componente curricular. Assim sendo, procuramos saber em quais cursos o Departamento de Física da UFRN estaria oferecendo esta disciplina.

Para o primeiro semestre do corrente ano, o Departamento ofereceria o curso de Introdução à Mecânica para os alunos egressos do curso de bacharelado em geofísica (matutino) e da licenciatura em física (noturno).

Para planejar nossa intervenção foi necessário conversar com os professores responsáveis pela disciplina dos cursos mencionados, para que eles autorizassem a aplicação da pesquisa e para que adequássemos nossa sequência (em termos de quantidade de aulas) a programação da disciplina. Ficou acordado com os dois professores, que seriam cedidos quatro encontros (4 aulas com dois horários de 50 min. cada aula). Além disso, a aplicação aconteceria no início da segunda unidade (que tinha como conteúdo as leis de Newton).

Tendo em vista que dispúnhamos de quatro encontros para desenvolver a sequência didática, elaboramos e aplicamos as aulas conforme especificado na tabela que se segue.

Ao longo da descrição as aulas, esclareceremos a pequena diferença que ocorreu entre a dinâmica das aulas para a turma de geofísica e de física. Essas mudanças foram feitas para o segundo e terceiro encontros, como apresentado nas tabelas que se seguem.

Na turma de geofísica os encontros aconteceram nos dias 24/03, 26/03, 28/03 e 31/03. Na turma de física os encontros ocorreram nos dias 28/03, 31/03, 02/04 e 04/04. Embora inicialmente a proposta de sequência didática, conforme descrição anterior fosse a mesma para ambas as turmas, alguns aspectos (que mencionaremos adiante) nos fizeram traçar algumas modificações para a turma de física.

Tabela 3 - Dinâmica do primeiro encontro.

OBJETIVOS:

- ✓ Apresentação da pesquisadora e esclarecimentos iniciais;
- ✓ Preenchimento do termo de consentimento;
- ✓ Identificação das concepções iniciais dos alunos acerca do conceito de inércia e de alguns conteúdos de NdC. (questionário inicial)

TEMPO

DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES

[Geofísica e Física]

15min A aula teve início com a apresentação e primeiros esclarecimentos. A pesquisadora (professora) apresentou-se e fez os primeiros encaminhamentos, no sentido de orientar o preenchimento do termo de consentimento, do questionário inicial e nortear a leitura e resposta do questionário relativo ao texto I. Os alunos foram orientados a entregar o questionário do texto I no encontro seguinte.

Inicialmente foi entregue aos alunos o termo de consentimento, que esclarece a participação dos alunos na nossa pesquisa. Em seguida, os alunos tiveram o restante da aula para responder ao questionário inicial.

1h e 25min Após a entrega do questionário e do termo de consentimento, devidamente respondido, os alunos receberam os textos I e II. Os textos foram entregues no primeiro encontro para que os alunos pudessem ler em casa e responder ao questionário. Eles deveriam entregar o questionário do texto I respondido no segundo encontro.

Tabela 4 - Dinâmica do segundo encontro.

OBJETIVOS:

Discutir os aspectos históricos apresentados no texto I:

- ✓ A concepção de movimento para Aristóteles;
- ✓ As críticas dirigidas à física aristotélica por Filopono e alguns comentadores da idade média – as críticas ao movimento violento;
- ✓ O surgimento de uma teoria alternativa para a explicação do movimento, a teoria do *impetus*.

TEMPO

DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES

[Geofísica]

A aula tem início com o recebimento do questionário correspondente ao texto I.

1h e 40 min Questão de abertura: *Do que trata o texto I?* Essa questão é proposta aos alunos para iniciar o diálogo e retomada dos principais aspectos presentes no texto I.

Esse encontro tem caráter de uma aula expositiva dialogada, em que alguns aspectos do texto serão retomados, em apresentação de slides.

[Física]

1h e 40 min A aula tem início com o recebimento do questionário correspondente ao texto I. Os alunos são questionados sobre as impressões a respeito do texto. Para iniciar as discussões sobre o conteúdo do texto foi pedido aos alunos que explicassem como os movimentos de lançamento vertical, horizontal, oblíquo e queda livre são atualmente explicados. Em seguida foi perguntado se esses movimentos sempre foram explicados da maneira como é atualmente.

Esse encontro foi uma aula expositiva dialogada, no entanto procuramos priorizar as falas dos alunos, por isso os slides das aulas para essa turma foram diferentes da turma de geofísica.

Optamos por diminuir a quantidade de slides apresentados, na turma de física, reduzindo a exposição da professora, a fim de que os alunos fossem apresentando suas interpretações acerca do texto I. Essa atitude foi tomada em função da análise dos

questionários dos textos, com a turma de geofísica. Em uma análise primeira, foi possível identificar (com os alunos de geofísica) que determinados aspectos do texto não ficaram claros. Neste sentido, optamos permitir que a aula fosse mais dialogada do que expositiva. Ao longo da apresentação dos slides iam sendo feitas perguntas acerca do texto para que os próprios alunos explicitassem o que estava contido na apresentação.

Tabela 5 - Dinâmica do terceiro encontro

OBJETIVOS: Discutir os aspectos históricos apresentados no texto II: <ul style="list-style-type: none">✓ As contribuições de Galileu para compreensão o desenvolvimento do conceito de inércia;✓ A inércia nas leis da natureza de Descartes;✓ A inércia na obra newtoniana;✓ A divergência entre Newton e Descartes.
--

TEMPO

DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES

[Geofísica]

Os alunos entregaram, no início da aula, o questionário correspondente ao texto II.

Este encontro seguiu a mesma dinâmica do encontro anterior, mas para discutidos aspectos históricos presentes no texto II. O encontro foi uma aula expositiva dialogada, em que alguns aspectos do texto foram retomados, em apresentação de slides.

1h e 40min

[Física]

Neste encontro dividimos a turma em 5 grupos. Cada grupo ficou responsável por apresentar os aspectos que eles destacaram do texto II, de acordo com a estrutura descrita abaixo. Os alunos dispuseram de 20 minutos para discussão entre os membros do grupo para que pudessem sintetizar os aspectos que julgaram mais importantes ou que gostariam de destacar.

Grupo 1 – As objeções ao modelo cosmológico de Copérnico contidas no texto.

Grupo 2 – As contribuições de Galileu para compreensão o desenvolvimento do conceito de inércia.

Grupo 3 – As leis da natureza de Descartes e como ele chegou a elas.

Grupo 4 – A inércia na obra newtoniana.

Grupo 5 – A divergência entre Newton e Descartes.

Após a síntese, um representante do grupo expôs para toda a turma os aspectos destacados. Além disso, ao fim do discurso de cada grupo a professora trazia considerações breves.

Tabela 6 - Dinâmica do quarto encontro

OBJETIVOS:

- ✓ Verificar se os alunos, a partir da leitura e discussão dos textos conseguiram identificar os seguintes conteúdos de NdC: I) a provisoriade do conhecimento científico; II) a controvérsia na ciência; III) a influência de fatores extra científicos no desenvolvimento da ciência;
- ✓ Aplicação do questionário final.

TEMPO

DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES

[Geofísica e Física]

40 min

A aula tem início com a professora conversando acerca do que significa conhecer *sobre* ciência.

Em seguida a questão: *é possível identificar ao longo dos textos aspectos relacionados a um conhecimento sobre a ciência?* Essa pergunta é dirigida aos alunos em uma discussão coletiva, com o objetivo abrir a discussão coletiva sobre os aspectos de NdC selecionados e que eles identificaram ao longo dos textos.

1h

Os alunos respondem ao questionário final.

Embora as aulas, de acordo com a proposta inicial fossem de natureza expositivas dialogadas, as que ocorreram com a turma de geofísica tiveram um caráter mais expositivo do que as que aconteceram com a turma de física. Neste sentido, pudemos observar que a dinâmica utilizada na aula de física foi mais pertinente, pois foi possível identificar como o aluno leu/interpretou o texto, bem como identificar quais aspectos que foram destacados por eles, e não os que a professora/pesquisadora gostaria de destacar. No entanto, essa dinâmica teve como empecilho o tempo. As aulas com a turma de física foram mais corridas. Em determinados momentos (principalmente na terceira aula) foi necessário intervir para finalizar a fala dos alunos, pois não dispúnhamos de tempo suficiente para estender a discussão.

3.2 COLETA E ANÁLISE DE DADOS

3.2.1 O contexto da pesquisa

O estudo foi realizado com 74 alunos que cursavam a disciplina de Introdução à Mecânica na UFRN. Destes, 38 do curso licenciatura em física (noturno) e 36 do curso de bacharelado em geofísica (matutino). Vale destacar que desse total de alunos, nem todos participaram de todas as etapas da pesquisa e não responderam a todos os questionários propostos ao longo da sequência didática. Neste sentido, optamos por analisar os dados apenas dos alunos que responderam a todos os questionários, totalizando 35 sujeitos.

No questionário inicial – parte I, as perguntas tinham como objetivo caracterizar a turma. A análise dos questionários será feita mais adiante, mas vamos traçar aqui um perfil das turmas utilizando-nos de alguns dados desse questionário.

A tabela abaixo apresenta em síntese os resultados da Parte I do questionário inicial.

Tabela 7- Perfil dos alunos quanto a gênero e faixa etária

	Sexo		Média de Idade
	Fem.	Masc.	
Turma I	5	13	19,8
Turma II	5	12	18,3
TOTAL	10	25	19,0

Os gráficos 1 e 2 apresentam a distribuição dos alunos dos dois cursos quanto ao gênero e a faixa etária.

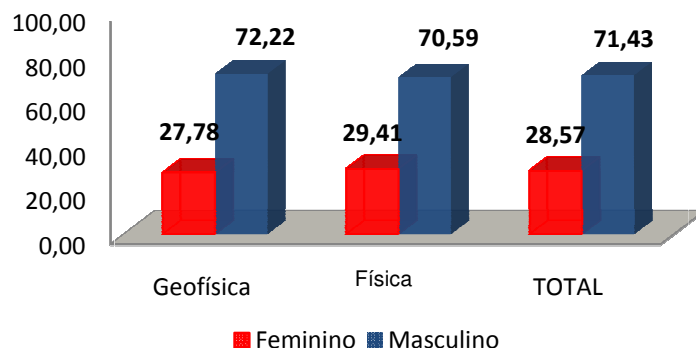


Gráfico 1 – Percentual de alunos quanto ao gênero.

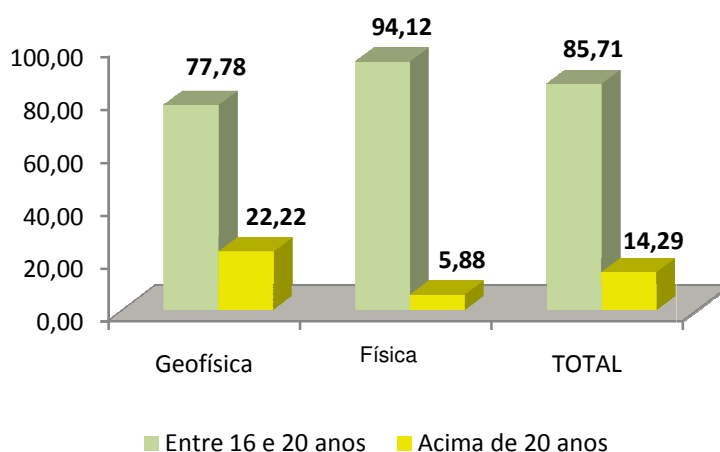


Gráfico 2 – Percentual de alunos quanto à faixa etária.

De acordo com o gráfico 1, é possível identificar uma predominância do número de alunos do sexo masculino em ambos os cursos. Essa é uma realidade ainda comum e esperada em cursos como esses. O gráfico 2 mostra que a maior parte das turmas é composta de alunos jovens. Esse dado evidencia algo que é perceptível nos cursos de graduação: os alunos estão entrando cada vez mais cedo na universidade. Lembremos que esses alunos são todos egressos do SISU no corrente ano.

Em resumo, a pesquisa foi realizada com alunos do primeiro semestre dos cursos de licenciatura em física e bacharelado em geofísica, cursista da disciplina de Introdução à Mecânica. As turmas são compostas em sua maioria de alunos jovens e do sexo masculino.

Como esquematizamos na tabela 2 desse capítulo, utilizamos como instrumento de coleta de dados quatro questionários. A seguir passaremos para apresentação e análise dos dados obtidos pelos questionários.

3.2.2 O Questionário Inicial

Como já mencionamos o questionário inicial objetivava analisar as concepções dos alunos sobre inércia e sobre NdC.

Responderam ao questionário 35 sujeitos (17 do curso de física e 18 do curso de geofísica). Vamos apresentar os resultados de cada turma em separado. Denominaremos a turma do curso de geofísica como turma I e a turma do curso de física como turma II.

A identidade dos alunos será preservada, mas ao mencionarmos suas respostas ou falas, os identificaremos da seguinte maneira: F1 a F17 (para os alunos do curso de física) e G1 a G18 (para alunos de geofísica). Ao transcrevermos as respostas dos alunos às questões propostas, manteremos a forma tal qual o fizeram, sem corrigir quaisquer eventuais erros de ortografia.

Seguiremos a estrutura do questionário, apresentando cada uma das partes (I, II e III) na sequência em que aparecem.

- PARTE I

A parte I do questionário inicial deve por objetivo possibilitar a caracterização das turmas (com exceção da última questão). Os dados obtidos para essa caracterização foram apresentados anteriormente (seção 3.2.1 – contexto da pesquisa).

Na última questão dessa parte, foi perguntado ao aluno se ao longo do ensino médio eles tiveram contato com a história da física. A tabela a seguir exprime o resultado:

Tabela 8 - Sobre o contato com a HF

	Contato com HF	
	Sim	Não
Turma I	5	13
Turma II	6	11
TOTAL	11	24

O gráfico a seguir apresenta o percentual de alunos que afirmaram ter tido ou não, durante o ensino médio, algum tipo de contato com a história da física (HF).

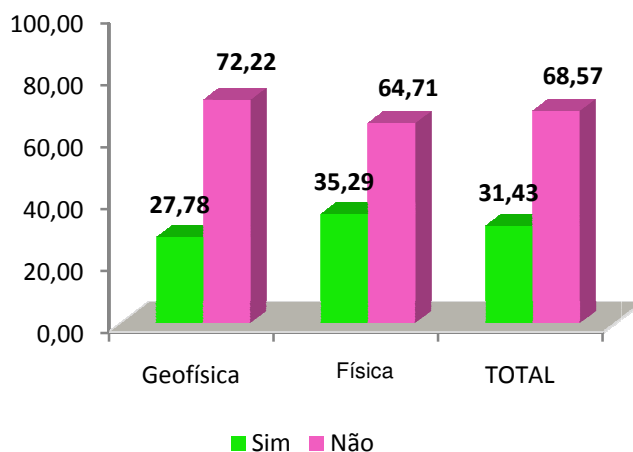


Gráfico 3 – Percentual de alunos com contato com a HF no ensino médio.

Para os alunos que responderam de forma afirmativa a questão acerca do contato com conteúdos de história da física, foi perguntado o assunto estudado, assim como a opinião sobre essa abordagem.

Dentre os conteúdos que os alunos afirmaram ter estudado na perspectiva histórica, apareceram:

- Nomes como Isaac Newton, Galileu Galilei, Kepler e Albert Einstein;
- Leis de Newton;
- Origem da física;
- Inércia;
- Lançamentos;
- Ciência Renascentista e moderna;
- Princípio da Incerteza;
- O metro.

Nas respostas dadas pelos alunos pudemos perceber, recorrentemente, a ideia de que a história está associada ao que fizeram os grandes nomes. Dentre as respostas apareceram sempre exemplos citando muito mais nomes do que contextos.

Em grande parte por meio dos livros, descobri parte da história da física – geralmente ligadas à história dos grandes cientistas (Newton, Einstein ...) – mas não chegou a ser algo muito aprofundado, apenas algumas curiosidades acerca dos cientistas e físicos. F11.

Tal aspecto pode ser percebido também na resposta dada pelo aluno G15:

O professor de física do ensino médio sempre fazia um contexto sobre de onde veio certas coisas, como por exemplo quando estudamos eletromagnetismo de explicar desde como surgiu o nome. Falou da importância dos físicos de forma breve mais ele sempre citava. E ainda fazia comentários atuais e históricos, quando estudávamos física moderna e parte de física nuclear falou dos acontecimentos da bomba lá no Japão e também explicou quem e porque o nome dos elementos radioativo como tório, rádio e polônio.

No que se refere às impressões que os alunos tiveram sobre esse tipo de abordagem todos afirmaram ser importante conhecer a história e que gostaram.

Eu acho que extrema importância, para que possamos compreender como tudo foi se desenvolvendo, como existiram pessoas que foram capazes de ir além de seus contemporâneos. F6

Martins (2006a) observa que inserções históricas excessivamente simplificadas e resumidas a nomes e datas colaboram para acentuar concepções inadequadas sobre a ciência.

Ao observarmos os dados dessa questão podemos identificar um número ainda reduzido de pessoas ao longo da formação básica tiveram acesso a conteúdos histórico no ensino de física. Além disso, as lembranças apontadas pelos alunos direcionam-se a nomes e conceitos.

- **PARTE II**






A parte II desse questionário trata das questões sobre inércia. Vamos apresentar os resultados para cada uma das questões.

As questões 1 a 4 tratam do lançamento vertical. Os alunos deveriam apontar qual dentre as alternativas melhor representavam a(s) força(s) (questões 1 a 3) e velocidade (questão 4) que atuam no corpo em diferentes posições.

Apresentaremos as alternativas e, abaixo de cada uma delas, o número de alunos que a escolheram para cada uma das turmas, além do total. Entre parênteses, o percentual relativo à resposta. Identificaremos a alternativa correta com um asterisco e em negrito a alternativa de maior incidência.

Questão 1 (representação da(s) força(s) durante a subida)






Tabela 9 - Respostas à questão 1 - parte II (quest. inicial)

	A) 	B) 	C) 	D) 	E) Iguais 
Turma I	1 (5,56)	1 (5,56)	3* (16,67)	12 (66,67)	1 (5,56)
Turma II	1 (5,88)	2 (11,76)	2* (11,76)	11 (64,71)	1 (5,88)
TOTAL	2 (5,71)	3 (8,57)	5* (14,29)	23 (65,71)	2 (5,71)

A maioria dos alunos parece está associando o movimento à ação de uma força no sentido do deslocamento. Nessa alternativa temos uma força para cima maior em módulo, do que a força para baixo, justificando erroneamente, o movimento ascendente. Tal aspecto aparece também nas alternativas A e B, que juntamente com a alternativa D somam 79,99% do total de alunos. A ideia de que há força resultante no sentido contrário do movimento é contraintuitivo, é a possível razão para o alto índice de erro.

Questão 2 (representação da(s) força(s) na posição mais alta da trajetória)

Tabela 10 - Respostas à questão 2 - parte II (quest. inicial)


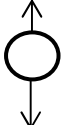



	A) 	B) Iguais 	C) 	D) 	E) Nula 
Turma I	0 (0,00)	0 (0,00)	1 (5,56)	16* (88,89)	1 (5,56)
Turma II	2 (11,76)	6 (35,29)	0 (0,00)	6* (35,29)	3 (17,65)
TOTAL	2 (5,71)	6 (17,14)	1 (2,86)	22* (62,86)	4 (11,43)

Nesta questão para a maioria dos alunos há uma única força (para baixo – possivelmente estão pensando na força gravitacional) atuando sobre o corpo. Para os alunos de física, é possível perceber que a maior parte deles ficou dividida entre as alternativas B e D, cada um com 35,29%. É possível que o somatório vetorial das forças tenha sido

confundido com a velocidade, que na posição mais alta da trajetória é nula, justificando esse índice (para os alunos de física).

Questão 3 (representação da(s) forças na descida)






Tabela 11 - Respostas à questão 3 - parte II (quest. inicial)

	A) 	B) 	C) 	D) Nula 	E) 
Turma I	10* (55,56)	1 (5,56)	7 (38,89)	0 (0,00)	0 (0,00)
Turma II	13* (76,47)	1 (5,88)	2 (11,76)	0 (0,00)	1 (5,88)
TOTAL	23* (65,71)	2 (5,71)	9 (25,71)	0 (0,00)	1 (2,86)

É possível identificar, de acordo com a tabela, que parte dos sujeitos (25,71%) assumiu a ação de duas forças para baixo, essa opção teve o segundo maior índice de resposta e um índice considerável se observarmos somente a turma de geofísica (38,89%). Essa opção, letra C, pode indicar que os alunos estão considerando além da força peso, uma força na direção do deslocamento; é uma ideia que é correspondente ao senso comum, e tem aparecido, com frequência nas respostas.

Questão 4 (representação da velocidade do ponto mais alto da trajetória)

Tabela 12 - Respostas à questão 4 - parte II (quest. inicial)

	A) 	B) 	C) 	D) 	E) Nula 
Turma I	0 (0,00)	0 (0,00)	0 (0,00)	0 (0,00)	18* (100,00)
Turma II	1 (5,88)	0 (0,00)	0 (0,00)	0 (0,00)	16* (94,12)
TOTAL	1 (2,86)	0 (0,00)	0 (0,00)	0 (0,00)	34* (97,14)

Essa questão diferencia-se das demais, pois o objetivo era indicar a representação do vetor velocidade na posição mais alta da trajetória. A grande maioria percentual dos alunos

identificou, corretamente, que nessa posição a velocidade sobre o corpo é nula. Acreditamos que o alto índice de acertos nessa questão dá-se por serem muito comuns durante o ensino básico, questões sobre cinemática onde essa informação é usual na resolução dos cálculos.






A questão 1 apresenta uma peculiaridade em relação as outras (2 a 4), pois foi possível identificar que a minoria dos alunos (14,29%) responderam corretamente, enquanto as questões 2 a 4 obtiveram, respectivamente, 62,86%, 65,71% e 97,14% . Isso aponta para uma reflexão:

➤ Os alunos parecem estar considerando, além da força gravitacional (amplamente conhecida), a atuação de uma força no sentido do deslocamento (para cima) maior, em módulo, do que a força para baixo, fato observado claramente na questão 1. É possível inferir que os alunos estejam associando o movimento à ação de uma força na mesma direção do deslocamento. Essa afirmação ficará mais evidente quando aparecerem os resultados do próximo bloco de questões (5 a 7).

As questões a seguir, 5 a 7, constituem um bloco em que os alunos deveriam identificar as forças em três posições distintas, agora em um movimento de lançamento. Nesse bloco de questões, tínhamos como objetivo comparar com o bloco de questões propostas inicialmente a fim de analisar como ocorre de fato, a associação entre força e movimento.

Questão 5 (representação da(s) força(s) na subida)

Tabela 13 - Respostas à questão 5 - parte II (quest. inicial)

	A) 	B) 	C) 	D) 	E) 
Turma I	7 (38,89)	3 (16,67)	7 (38,89)	1* (5,56)	0 (0,00)
Turma II	10 (58,82)	2 (11,76)	4 (23,53)	1* (5,88)	0 (0,00)
TOTAL	17 (48,57)	5 (14,29)	11 (31,43)	2* (5,71)	0 (0,00)

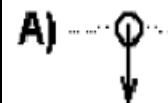
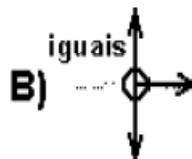



Para a turma I observamos de acordo com a tabela acima, uma divisão entre as alternativas A e C, cada uma com um percentual de 38,89% constituindo-se na maioria das respostas dadas por essa turma. Em ambas as situações existem uma força no sentido da trajetória, na alternativa A, porém não há uma força para cima. No entanto, para essa mesma turma, se somarmos o índice de respostas dadas pelos alunos que indicaram uma força

atuando para cima (alternativas B e C) temos 55,56%, considerando que há uma força para cima, além de uma força no sentido do deslocamento. Para a turma de física 58,82% consideram a alternativa A como correta, se somarmos o índice de alunos que identificaram que há uma força na direção do deslocamento teremos 94,11% da turma. Apenas 5,71% do total de alunos responderam corretamente, indicando a existência apenas da força peso durante o movimento.

O índice de erro nessa questão é ainda maior do que o encontrado para o lançamento vertical para cima, abordado no bloco de questões anteriores (1 a 4). Isso indica que os alunos encontram maior dificuldade no entendimento desse movimento.

Questão 6 (representação da(s) força(s) no ponto mais alto da trajetória)

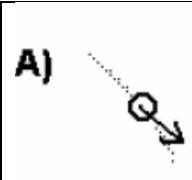
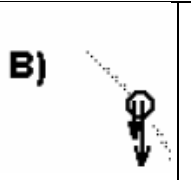
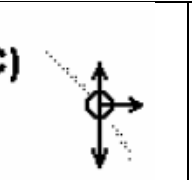
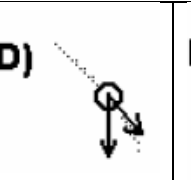
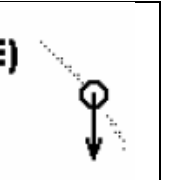
Tabela 14 - Respostas à questão 6 - parte II (quest.inicial)

	A) 	B) 	C) 	D) 	E) 
Turma I	1* (5,56)	0 (0,00)	1 (5,56)	16 (88,89)	0 (0,00)
Turma II	1* (5,88)	5 (29,41)	1 (5,88)	9 (52,94)	1 (5,88)
TOTAL	2* (5,71)	5 (14,29)	2 (5,71)	25 (71,43)	1 (2,86)

Podemos perceber que os números são correspondentes à questão anterior. Apenas 5,71% do total de alunos responderam corretamente, identificando apenas força (peso) para baixo na direção perpendicular ao solo. A maioria dos alunos 71,43% indicou uma força horizontal e uma força para baixo, talvez pelo fato do movimento continuar nessa direção, isso aparece também na Turma II para a segunda maior alternativa, letra B (14,29%), nela aparece uma força para cima, igual em módulo a força para baixo, indicando uma resultante nula nessa direção. Isso é coerente com a ideia de que nessa posição a velocidade é nula, e mais uma vez pode estar havendo uma confusão entre os conceitos de velocidade e força.

Questão 7 (representação da(s) força(s) na descida)

Tabela 15 - Respostas à questão 7 - parte II (quest. inicial)

	A) 	B) 	C) 	D) 	E) 
Turma I	0 (0,00)	0 (0,00)	0 (0,00)	17 (94,44)	1* (5,56)
Turma II	1 (5,88)	0 (0,00)	2 (11,76)	11 (64,71)	3* (17,65)
TOTAL	1 (2,86)	0 (0,00)	2 (5,71)	28 (80,00)	4* (11,43)

A tabela acima mostra a recorrência da ideia de associar força e sentido do movimento. Oitenta por cento do total de alunos apontou a ação de uma força na direção do deslocamento, esse percentual foi ainda maior se considerarmos apenas a turma I (94,44%). O número de alunos que responderam corretamente a questão foram 4 (11,43%).

Questão 8

É constituída de subitens A, B e C. No subitem A, os alunos deveriam indicar a posição que uma bola atinge ao descer um plano inclinado e subir um plano ascendente. No subitem B, deveriam indicar a posição que a bola atinge em dois planos ascendentes com inclinações diferentes, além de justificar a escolha. No subitem C, precisariam responder o que ocorreria à bola caso não houvesse o plano ascendente.

Tabela 16 - Respostas à questão 8, subitem a - parte II (quest. inicial)

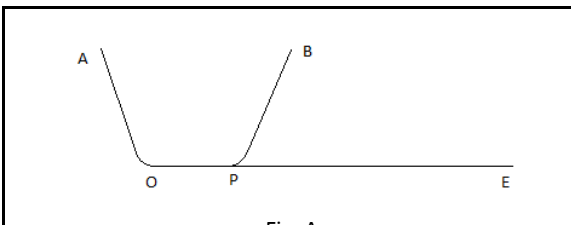
 Fig. A			
	Igual	Acima	Abaixo
Turma I	12* (66,67)	0 (0,00)	6 (33,33)
Turma II	11* (64,71)	2 (11,76)	4 (23,53)
TOTAL	23* (65,71)	2 (5,77)	10 (28,57)

Tabela 17 - Respostas à questão 8, subitem b primeiro plano - parte II (quest. inicial)

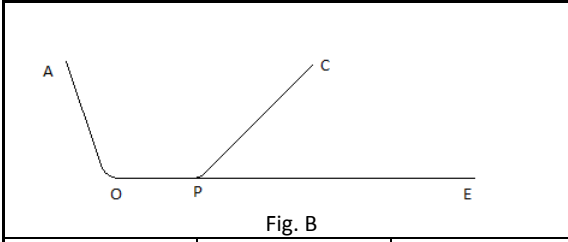
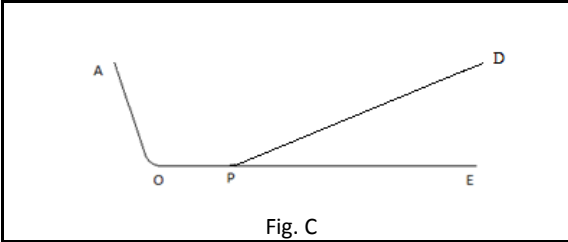
 Fig. B			
	Igual	Acima	Abaixo
Turma I	9* (50,00)	3 (16,67)	6 (33,33)
Turma II	9* (52,94)	3 (17,65)	5 (29,41)
TOTAL	18* (51,43)	6 (17,14)	11 (31,43)

Tabela 18 - respostas à questão 8, subitem b segundo plano - parte II quest. inicial)

 Fig. C			
	Igual	Acima	Abaixo
Turma I	9* (50,00)	3 (16,67)	6 (33,33)
Turma II	9* (52,94)	3 (17,65)	5 (29,41)
TOTAL	18* (51,43)	6 (17,14)	11 (31,43)

No tocante as indicações das diferentes posições para o plano inclinado, dividimos as respostas em três categorias: **igual** (para respostas que indicaram que a bola deveria atingir a mesma altura inicial), **acima** (para respostas que indicaram que a bola atingiria uma altura maior que a altura inicial) e **abaixo** (para respostas que indicaram que a bola deveria subir até uma altura inferior a altura inicial).

Os dados da tabela mostram que aproximadamente metade dos alunos considerou que na mudança de inclinação dos planos ascendentes haveria mudança na altura atingida pela esfera. Isso fica ainda mais evidente ao aparecerem às justificativas, que veremos a seguir.

Para analisar as respostas dadas ao subitem B, no que se refere às justificativas apresentadas a indicação da posição da bola no plano inclinado, foram criadas categorias que emergiram a partir da análise das respostas. As categorias estão sistematizadas na tabela que segue:

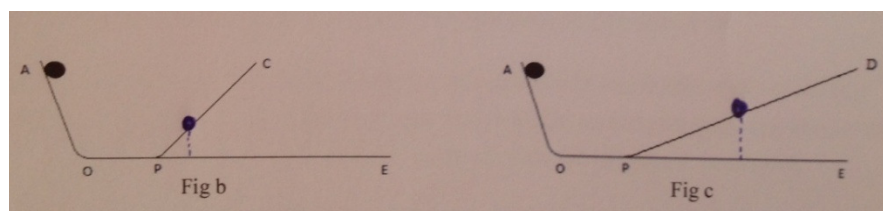
Tabela 19 - Justificativas à questão 8, subitem b - parte II (quest. inicial)

Categorias	Turma I	Turma II	Total
Inclinação do Plano (A)	10 (55,56)	7 (41,18)	17 (48,57)
Conservação de Energia (B)	5 (27,78)	5 (29,41)	10 (28,57)
Sem Justificativa (C)	1 (5,56)	3 (17,65)	4 (11,43)
Conservação de Movimento/Inércia (D)	2 (11,11)	1 (5,88)	3 (8,57)
Em Branco ou vaga (E)	0 (0,00)	1 (5,88)	1 (2,86)

A tabela mostra que a maioria dos alunos assumiu a categoria A como correta, justificando que a altura atingida pela esfera nas figuras B e C varia com a inclinação do plano ascendente (48,57%). Nesta categoria apareceu a ideia de que a inclinação do plano tem relação com a altura atingida, ou seja, para inclinações diferentes a esfera atinge alturas diferentes. Em geral, os alunos traçaram uma associação inversa entre a inclinação e a altura atingida pela esfera, sendo assim, quanto maior a inclinação, menor a altura que a esfera alcançaria. É possível que os alunos estejam pensando em termos de energia e atrito, ou seja, quanto maior a distância percorrida no plano ascendente, maior o gasto de energia; logo, a esfera atinge uma altura menor que a inicial. O segundo maior percentual de respostas está na categoria B, que embora esteja correta, indica que os alunos que responderam adequadamente, justificaram o fato em função da ideia de conservação de energia não usando o conceito de inércia ou conservação do movimento, apenas 8,57% dos alunos caminharam nessa direção.

Apresentamos a seguir cada uma das categorias trazendo exemplos das respostas apresentadas pelos alunos de modo a caracterizá-las.

Inclinação do Plano (A) – nesta categoria os alunos apresentaram a ideia de que a esfera atinge alturas diferentes de acordo com a inclinação do plano. A imagem a seguir exemplifica o que foi dito acima, a resposta foi dada pelo aluno F3:



Na situação PC por sua inclinação ser mais próxima da inclinação de AO a bola não alcança uma grande altura, já na situação PD a inclinação é maior, assim a bola alcança uma maior altura.

Conservação de Energia (B) – representa a ideia de conservação de energia.

*Como o sistema não tem atrito, não há dissipação de energia. Então $E_f = E_i$.
E, como na altura máxima atingida a velocidade é nula, então $mgh_1 = mgh_2$.
Como m e g são constantes no sistema então, $h_1 = h_2$. G5.*

Sem Justificativa (C) – foram consideradas integrantes desta categoria as respostas que repetiam a ideia presente na representação da figura, mas que não as justificavam.

Na figura b a altura máxima será metade de PC. Na figura c a altura máxima será um terço de PD. G10.

Conservação de Movimento/Inércia (D) – representa os alunos que justificaram as posições em função da conservação do movimento ou que assumiram explicitamente a ideia de inércia.

No caso da figura B e C, atingem alturas paralelas à posição inicial, pois sendo o meio polido (sem a ação da força de atrito), elas tendem a ser iguais, mantendo a quantidade de movimento. F1.

Para essa questão, no subitem C, os alunos deveriam responder o que aconteceria se não houvesse os planos ascendentes e a esfera após atingir o ponto O, se deslocasse no sentido OE. Esse subitem envolve mais diretamente o conceito de inércia. Esperávamos que os alunos respondessem que o movimento continuaria infinitamente, uma vez que não há forças dissipativas. No entanto, apareceram também outras respostas. Abaixo a tabela apresenta os resultados apresentados pelos alunos, em categorias.

Tabela 20 - Respostas à questão 8, subitem c – parte II (quest.inicial)

Categorias	Turma I	Turma II	Total
Movimento infinito, por conservação de energia (AI)	6 (33,33)	8 (47,06)	14 (40,00)
Movimento infinito, por inércia (AII)	4 (22,22)	2 (11,76)	6 (17,14)
Movimento uniforme (B)	3 (16,67)	4 (23,53)	7 (20,00)
Até parar (C)	4 (22,22)	3 (17,65)	7 (20,00)
Em branco (D)	1 (5,56)	0 (0,00)	1 (2,86)

Categoria (AI) 40,00%

Para os alunos dessa categoria não havendo plano ascendente a esfera tenderia a continuar em movimento porque não há dissipação de energia. Embora os alunos respondam

corretamente, suas justificativas caminham no entendimento da conservação de energia. O aluno F5 representa essa categoria:

Ela nunca pararia, isso ocorre pois, como não há resistência do ar e nem atrito entre a bola e p plano, não existe dissipação de energia, ou seja, a velocidade da bola continua constante por toda trajetória. F5

Categoria (AII) 17,14%

Aqui os alunos fazem referência direta ao conceito de inércia como justificativa para a continuidade do movimento em linha reta infinitamente.

A bola iria continuar pelo plano com velocidade constante e máxima, segundo o princípio da inércia, quando um corpo está com velocidade v , ele tende a permanecer com a mesma velocidade v se a resultante das forças que atuam sobre ele for zero. F12

O percentual de respostas correspondente ao somatório das categorias AI e AII corresponde a 57,14% do total de alunos. Essas duas categorias são respostas fisicamente corretas, mas conforme ocorreu no subitem B dessa questão entre a ideia de inércia e de conservação de energia, a maioria responde por meio dos conhecimentos sobre conservação de energia. Como essa questão tem o formato comum às questões sobre energia é possível que os alunos tenham recorrido a esse conceito para responder a ela. No entanto, esperávamos que para esse subitem (c) aparecessem mais referências à ideia de inércia.

Categoria (B) 20,00%

Os alunos dessa categoria não especificaram por quanto tempo o movimento duraria, caracterizaram apenas que o corpo se deslocaria com velocidade constante. É certo que se um corpo se desloca com velocidade constante em uma superfície sem atrito esse movimento será infinito, no entanto, os alunos aqui enquadrados não deixam esse aspecto explícito. Dessa maneira, decidimos separá-los em uma categoria diferente. Vejamos como responde do aluno G8.

Como a superfície do plano é perfeitamente lisa e sem atrito, a esfera entraria em movimento uniforme. G8

Categoria (C) 20,00%

Nessa categoria os alunos expressaram a ideia de que o movimento não é infinito. Para eles o movimento continuaria até que algo o fizesse parar.

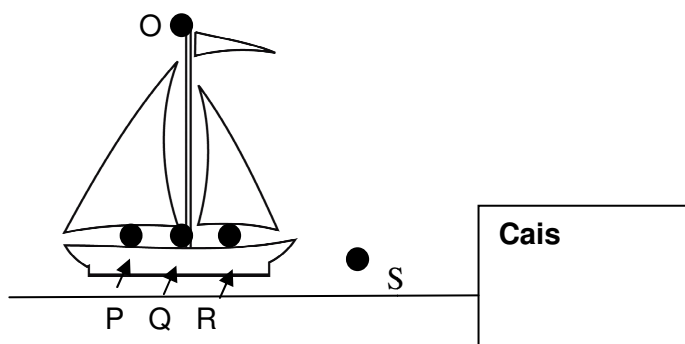
Continuaria a seguir reto no sentido OE até chegar à um ponto onde nenhuma força estará impulsionando a prosseguir o percurso, fazendo com que em um determinado ponto ela “repouse”. F2

Vale ressaltar que para o questionário piloto aplicado a alunos do quinto período do curso de licenciatura em física, essa resposta apareceu com um alto índice, em virtude disso, decidimos repetir no enunciado do subitem a ressalva de que trata de um movimento sem qualquer tipo de resistência, informação essa que está contida no enunciado da pergunta.

Essa também é uma ideia contra-intuitiva, pois nas experiências do cotidiano não nos deparamos com movimentos que duram infinitamente. Como foi visto na história da inércia esse foi um dos obstáculos que a ciência teve se superar (a chave da ideia de inércia).

Questão 9

Essa questão trata do movimento (com velocidade constante – afastando-se do cais) de uma escuna, em que é solta uma esfera do alto do mastro. O aluno deveria indicar em que posição a esfera cairia. Conforme a figura abaixo:



A tabela abaixo indica as alternativas escolhidas pelos alunos.

Tabela 21 - Respostas à questão 9 – parte II (quest. inicial)

	Ponto P	Ponto Q	Ponto R	Ponto S	Em branco
Turma I	0 (0,00)	9* (50,00)	8 (44,44)	0 (0,00)	1 (5,56)
Turma II	0 (0,00)	7* (41,18)	8 (47,06)	2 (11,76)	0 (0,00)
TOTAL	0 (0,00)	16* (45,71)	16 (45,71)	2 (5,71)	1 (2,86)

Para essa questão a maioria dos alunos dividiu-se entre a afirmação de que a esfera cairia ao pé do mastro (Ponto P), resposta correta, e o ponto R. Os alunos que indicaram como respostas os pontos R e S (somados são iguais a 51,42%, maioria total) não consideraram

conceitos como composição e relatividade do movimento e inércia. Para eles a esfera estaria deslocada para direita, pois a escuna se afastava do cais.

Na justificativa, as escolhas acima os alunos apresentaram dois argumentos distintos:

1) Ponto Q – afirmaram que a esfera compartilha do movimento da escuna, ou seja, também se desloca na mesma direção, logo, deveria cair ao pé do mastro, no ponto Q. Vejamos alguns exemplos:

Ainda no ponto Q, pois a velocidade da bola no sentido horizontal, será a mesma da escuna, ou seja, horizontalmente pode-se afirmar que uma está em repouso em relação à outra. F 11.

2) Pontos R e S – afirmaram que a esfera cairia deslocado na direção oposta ao movimento da escuna, pois esta estaria em repouso em relação ao cais, não compartilhando do movimento da escuna. Vejamos alguns exemplos:

Ela cairia no ponto R, por que só o barco estaria se movimentando para a esquerda e não a bola. F10.

O aluno G3 utiliza de argumento similar:

A bola de chumbo vai cair na mesma trajetória, reta. Então, se a escuna se movimentar para a esquerda na hora que a bola for solta do alto, a bola vai cair no ponto R devido ao movimento da escuna.

- **PARTE III**

Nessa parte do questionário, procuramos apreender elementos das concepções dos alunos sobre determinadas questões de natureza da ciência (NdC), de acordo com a tabela a seguir:

Tabela 22 - Sobre os tópicos de NdC

Temas de Ndc	Questão
Finalidades da Ciência	1
Ciência e outras formas de conhecimento	2
Provisoriedade do conhecimento científico	3 e 7
Os métodos da Ciência	4
Fatores de influenciam a prática da Ciência	5
A possibilidade de controvérsia na Ciência	6

Para análise dessa parte do questionário, os dados e a análise serão apresentados de acordo com os temas, como mostrado na tabela acima.

Questão 1 (sobre as finalidades da Ciência)

Que objetivos ou finalidades tem a Ciência, no seu ponto de vista?

Na análise, criamos categorias considerando todas as respostas que emergiam dos alunos, de modo que cada um está enquadrado em uma única categoria. Na tabela a seguir sistematizamos as categorias assim como a quantidade de respostas correspondentes a cada um delas. Entre valor, dentro dos parênteses, corresponde ao percentual de resposta.

Tabela 23 - Respostas à questão 1 - parte III (quest. inicial)

Categoria	Turma I	Turma II	Total
Compreensão/explicação da natureza (A)	10 (55,56)	12 (70,59)	22 (62,86)
Caráter utilitarista da ciência (B)	7 (38,89)	4 (23,57)	11 (31,43)
Modelizar (C)	0 (0,00)	1 (5,88)	1 (2,86)
Em branco (D)	1 (5,56)	0 (0,00)	1 (2,86)

Categoria (A) - 62,86%

Nesta categoria, os alunos expressaram que a finalidade da ciência está associada à compreensão/explicação dos fenômenos naturais. O discurso do aluno exemplifica essa categoria:

A ciência tem por objetivo auxiliar no conhecimento do mundo em que vivemos. F3.

Categoria (B) – 31,43%

Representa o segundo maior índice de respostas. Aqui os alunos indicaram que a ciência está a serviço da sociedade, manifestando um caráter utilitarista. A resposta apresentada pelo aluno G1 ilustra esse aspecto:

Tem a finalidade de explicar a natureza, para que possamos compreender melhor o seu funcionamento e, do resultado desse conhecimento, aplicarmos no nosso dia-a-dia facilitando assim a vida do ser humano.

Embora esse aspecto possa parecer indicar que os alunos estabelecem uma relação, entre a ciência e a sociedade, em uma alusão a influência de aspectos não-científicos na ciência e vice-versa, as respostas dessa categoria caminham mais no sentido ingênuo de

atribuir a ciência a uma preocupação com o bem da humanidade, como explicitou o aluno F11 “atender as nossas necessidades de modo útil”.

Categoria (C)

Essa resposta foi apontada por um aluno da turma II, no entanto nos chamou atenção. Embora a resposta se aproxime da categoria (A) o aluno F12 afirmou que a finalidade da ciência é descrever a natureza, e que é feita a partir da construção de modelos. Essa resposta aponta para um aspecto pouco identificado pelos alunos: a percepção da importância da interpretação na construção da Ciência. O aluno respondeu:

A ciência tem como objeto de estudo a descrição da realidade (da natureza), objetivando modelizá-la, elaborando sistemas que possam ser o mais generalístico possível.

Categoria (D) - 2,86%

Não houve resposta.

Questão 2 (sobre ciência e outras formas de conhecimento)

Para você, o que diferencia a ciência de outras formas de conhecimento, como a religião ou a filosofia, por exemplo?

A tabela abaixo exprime as respostas apresentadas pelos alunos.

Tabela 24 - Respostas à questão 2 - parte III (quest. inicial)

Categorias	Turma I	Turma II	Total
Pode ser testada (é experimental) (A)	5 (27,78)	5 (29,41)	10 (28,57)
É um conhecimento concreto, objetivo (B)	4 (22,22)	5 (29,41)	9 (25,71)
Tem um método (C)	1 (5,56)	3 (17,65)	4 (11,43)
Sujeita a mudanças (D)	2 (11,11)	1 (5,88)	3 (8,57)
Não há diferença (E)	2 (11,11)	0 (0,00)	2 (5,71)
Respostas em branco ou vagas (F)	4 (22,22)	3 (17,65)	7 (20,00)

Essa questão não é algo trivial. Ao estudarmos alguns teóricos da epistemologia, vemos que essa demarcação entre ciência e não-ciência não é consensual e apresenta diferentes versões a depender do estudioso escolhido. Neste sentido, entendemos a dificuldade dos alunos em posicionar-se sobre esse aspecto, talvez por isso a quantidade de respostas em

branco, ou inconsistentes tenha ocupado a segunda posição em número geral, com 20%, sendo expresso na tabela como categoria (F).

Categoria (A) - 28,57%

Estão agrupadas as respostas que afirmam que a ciência é diferente de outras formas de conhecimento por ter como base a experimentação, ou seja, esses alunos apresentam como critério de demarcação uma visão verificacionista, como mencionamos, aproximando-se de uma concepção de senso comum. Quando olhamos para o resultado das turmas separadamente, essa categoria ficou em primeira posição na turma I. Abaixo transcrevemos a resposta apresentada pelo aluno G8:

A ciência se diferencia de outras formas de conhecimento como a filosofia e a religião, pois se baseia em experimento e comprovação concretas.

Categoria (B) – 25,71%

Reúne as respostas daqueles que acreditam ser a principal característica da ciência, a objetividade, a exatidão, a racionalidade. Ela ocupou o maior percentual de resposta da turma II:

A ciência, diferente de outras formas de conhecimento, é racional, exata e não tem incertezas. F15

Categoria (C) – 11,43%

Os alunos apontam a metodologia científica como à questão central que demarca a ciência de não-ciência.

A ciência procura através de um método rígido estabelecer conhecimentos objetivo, que pode ser comprovado, diferente da religião e da filosofia que não tem um método específico, apenas dogmas. F4

Categoria (D) – 8,57%

Podemos notar que os alunos se prenderam a diferenciar a ciência da religião e da filosofia, que foram os exemplos do enunciado. Nesse sentido, essa categoria marca bem essa separação. Os alunos apontaram como diferença o fato de que a ciência aceita mudanças, ao contrário da religião, por exemplo, que se apoia em dogmas (segundo eles). O aluno G1 se enquadra nessa categoria:

A ciência é diferenciada, pois está apta a mudanças.

Categoria (E) – 5,71%

Aqui os alunos disseram não haver diferença entre ciência e não-ciência:

Em tese nada, devido que os diferentes campos visam explicar os fatos da vida, o que a diferença de outros conhecimentos é a maneira com que cada uma área busca suas respostas. G16

Essa questão permitiu identificar que a maioria dos alunos aproxima-se de uma visão de senso comum que encontra relações com a concepção empírico indutivista, prevalece a ideia de que a ciência é um conhecimento exato, constituído a partir da experimentação, amparado por uma metodologia rígida, que permite chegar a “verdade”. As categorias (A), (B) e (C) somadas representam a maioria geral das respostas, com 65,71%, e elas expressão essa visão.

Questões 3 e 7 (sobre a provisoriedade do conhecimento)

Sobre a provisoriedade do conhecimento, no questionário, estavam presentes duas questões, a terceira e a sétima. Na questão 3 temos uma pergunta de ordem geral, já a questão 7, embora trate do mesmo aspecto, o faz de maneira contextualizada citando uma teoria aceita e bem estabelecida, a Relatividade de Einstein. Como as questões abordam o mesmo tema, vamos apresentar o resultado das duas, sequencialmente.

Foi perguntado: **Em sua opinião, os conhecimentos científicos (leis, princípio, teorias) uma vez estabelecidos são definitivos?**

O posicionamento dos alunos encontra-se exposto no gráfico a seguir:

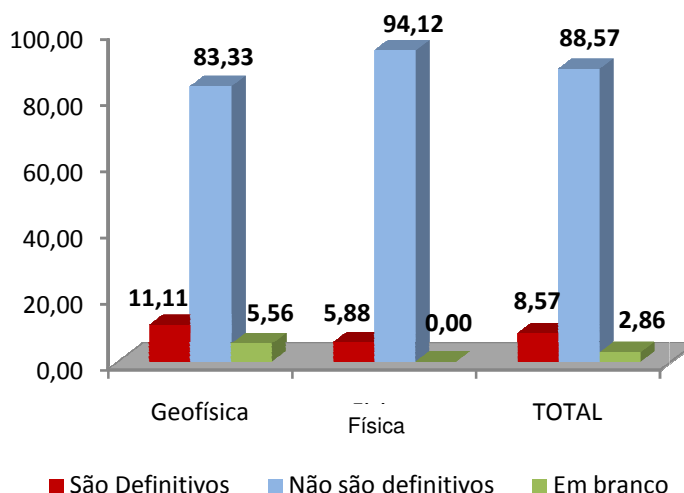


Gráfico 4 – Respostas à questão 3 (parte III)

O gráfico mostra que a maioria dos estudantes aceita que a os conhecimentos científicos tem caráter provisório.

Para essa questão, a fim de complementar os dados do gráfico, elaboramos uma tabela que apresenta as justificativas apontadas pelos alunos para concordarem ou discordarem a respeito da provisoriedade do conhecimento científico. Para essa análise dividimos as respostas em duas categorias: (A) em que aparecem as justificativas daqueles que responderam acreditar que o conhecimento científico é definitivo; (B) nessa categoria aparecem aqueles que se posicionaram contrários à ideia de definição. Dividimos ainda esta em subcategorias representadas por BI, BII, BIII e assim por diante.

Vamos apresentar cada um das categorias analisando-as a partir das respostas apresentadas pelos alunos. As análises foram feitas com base no percentual geral de alunos.

Tabela 25 - Justificativas à questão 3 - parte III (quest. inicial)

Categorias	Turma I	Turma II	Total
Sim, porque se trata de um conhecimento provado (A)	2 (11,11)	1 (5,88)	3 (8,57)
Não, pois podem ser descobertos novos fatos (BI)	5 (27,78)	3 (17,65)	8 (22,86)
Não, apresentando respostas vagas ou inconsistentes (BII)	5 (27,78)	3 (17,65)	8 (22,86)
Não, pois o avanço tecnológico permite novas evidências, dados, informações (BIII)	2 (11,11)	4 (23,53)	6 (17,14)
Não, pois a ciência está em evolução (BIV)	2 (11,11)	1 (5,88)	3 (8,57)
Não, pois pode haver contestações (BV)	0 (0,00)	3 (17,65)	3 (8,57)
Não, pois a história mostra exemplos de que isso não ocorre (BVI)	1 (5,56)	2 (11,76)	3 (8,57)
Em branco (C)	1 (5,56)	0 (0,00)	1 (2,86)

Categoria (A) 8,57%

Nessa categoria aparecem aqueles que entendem que o conhecimento desenvolvido pela ciência é definitivo, ou seja, não sofre mudança. Entre esses sujeitos, apareceu a ideia de que o conhecimento científico, por ser constituído do conhecimento comprovado (tem como base o uso de observação/experimentação), não muda. Além disso, apareceu na resposta do aluno F11, que apresentamos a seguir, a concepção de validade (dos limites de aceitação da teoria). No entanto, o limite é estabelecido onde o conhecimento vale, porém ele é válido para

o contexto adequado e não deixa de perder a validade. Esta ideia é associada ao acúmulo de conhecimento. Esse aspecto aparecerá mais fortemente na questão seguinte (questão 7).

Ao estabelecer uma lei, ela se torna sim definitiva, porém até o limite o qual pode explicar, ou seja, esta possui um alcance ou margem. Por exemplo: as leis da mecânica clássica são válidas, mas apenas para velocidades razoavelmente abaixo da velocidade da luz, a partir de então ele não consegue explicar, e são válidas as leis da física moderna. F11

Categoria (BI) 22,86%

Essa categoria foi a de maior representatividade ocupando juntamente com a categoria BII o maior percentual geral. No entanto, podemos considerá-la a mais expressiva, pois representam os que responderam com coerência, a categoria BII são as respostas que foram vagas ou imprecisas para análise.

Aqui os alunos sustentaram que o conhecimento é provisório, pois novos fatos, fenômenos ou evidência (em geral, a ideia é que esses fatos surgem da experimentação/observação) e são eles que precisam ser acomodados pela teoria ou eles permitem que novos conhecimentos se estruturem.

Não considero que eles sejam definitivos, mas que eles podem estar em constante ascensão, com novas descobertas, o que de fato a ciência busca dia após dia, mas o uso dessas leis, princípios, teorias desde que comprovados são perfeitamente usados, mas considero que algo novo sobre algum conhecimento pode surgir. F1

Categoria (BII) 22,86%

Como mencionamos, essa categoria expressa os alunos que apresentaram justificativas vagas ou aquelas que não nos permitiram enquadrá-la em nenhuma das outras categorias ou que estavam inconsistentes, fugindo da pergunta.

Categoria (BIII) 17,14%

Essa categoria está próxima a anterior (BI), mas especifica que os novos dados surgem a partir do desenvolvimento da tecnologia, uma espécie de ampliação dos sentidos, possibilitando observar ou experimentar o que não é possível atualmente. Observemos a resposta apresentada pelo aluno F7:

Não, pois com os avanços científicos e tecnológicos, a tendência é que no futuro possamos fazer experiências e aplicações que não são possíveis hoje, e assim nos levem à novas definições.

Categoria (BIV) 8,57%

Para essa categoria, o conhecimento não é definitivo e está em constante mudança. Os alunos manifestaram que é da Natureza da Ciência a busca por novos conhecimentos, estando sempre em constante evolução. A palavra evolução foi um termo que apareceu fortemente em algumas questões. Não temos elementos suficientes para inferir o que aluno está entendendo por evolução, se isso se dá em um sentido de acúmulo de conhecimentos ou se através de rupturas. No entanto, a primeira opção nos parece ser mais relevante, principalmente quando analisamos as respostas prontadas na questão sobre a relatividade (questão 7), que discutiremos mais adiante.

Não, o homem está em constante evolução, sempre aprimorando o seu ponto de vista e seus estudos, causando mudanças nos conhecimentos científicos. G13.

Categoria (BV) 8,57%

Aqui pudemos observar que os alunos justificaram que o conhecimento científico é provisório, pois podem surgir cientistas que contestem os conhecimentos aceitos. Embora aqui apareça a ideia de controvérsia que parece acontecer em tempos diferentes, ou seja, sempre em um momento futuro alguém pode contestar as explicações do hoje.

Não, o conhecimento, pode mudar, pois outros cientistas podem propor novas teorias e se elas forem comprovadas as coisas podem sim ser descartadas. F4.

Categoria (BVI) 8,57%

Não. A própria história da ciência prova isso. Um exemplo é que as noções de física de Aristóteles eram tidas como verdadeiras na época, e hoje não são mais. As equações da mecânica clássica (newtoniana) não servem para a mecânica quântica, logo, o que é certo hoje, amanhã poderá ser desmentido. F13

Nessa categoria estão agrupados os alunos que justificaram que o conhecimento científico não é permanente e esse fato pode ser observado através da sua história. Eles apontaram exemplos de conhecimentos que foram descartados (a física de Aristóteles, o modelo geocêntrico e a forma da Terra) para justificar as respostas.

Categoria (C) 2,86%

Alunos que deixaram a pergunta em branco.

Na questão 7, sobre o mesmo tema, foi perguntado: **Uma importante teoria estudada na física é a Teoria da Relatividade Restrita. Nela, Einstein postula que a velocidade da luz, no vácuo, é constante e independente da fonte. Também postula a validade das mesmas leis físicas independentemente do referencial inercial. Esta teoria é aceita pela comunidade científica e os resultados de diversos experimentos estão de acordo com ela. Você acredita que a Teoria da Relatividade Restrita pode sofrer mudanças, futuramente? Ela pode perder a validade? Comente.**

Seguiremos a mesma estrutura da questão anterior. O gráfico apresenta o percentual de alunos que indicaram SIM, afirmando acreditar que a teoria da relatividade pode sofrer mudanças no futuro; NÃO, aqueles que sustentaram que a teoria não sofrerá mudanças, e respostas em branco. Em seguida, uma tabela categorizada a partir das justificativas a tais posicionamentos.

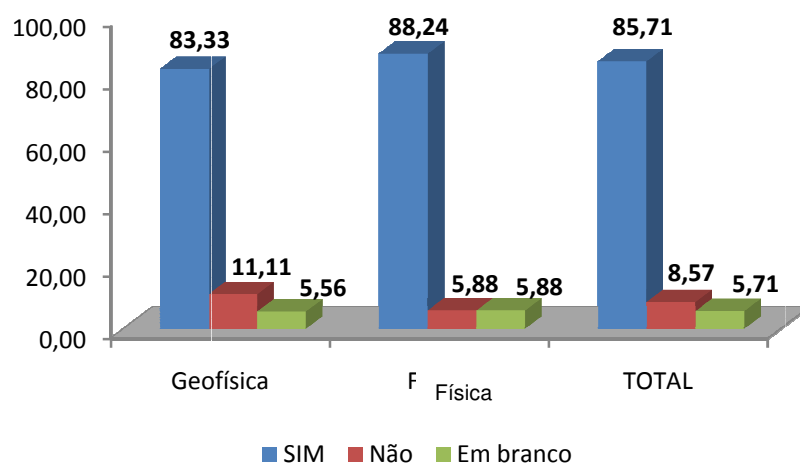


Gráfico 5 – Respostas à questão 7 (parte III).

Tabela 26 - Justificativas à questão 7 - parte III (quest. inicial)

Categorias	Turma I	Turma II	Total
Não, pois foi comprovado (A)	2 (11,11)	1 (5,88)	3 (8,57)
Sim, pois podem aparecer novos fatos (BI)	9 (50,00)	7 (41,18)	16 (45,71)
Sim, pode mudar. Mas, não perde a validade (BII).	5 (27,78)	5 (29,41)	10 (28,57)
Sim, porque todo conhecimento científico pode mudar (BIII).	1 (5,56)	3 (17,65)	4 (11,43)
Em branco ou resposta vagas (C)	1 (5,56)	1 (5,88)	2 (5,71)

Categoria (A) 8,57%

Para os alunos, aqui agrupados à teoria da relatividade, não sofrerá mudanças nem pode ser descartada, uma vez que foi comprovada.

Não, ainda que surja uma teoria que explique novos fatos a relatividade vai continuar tendo validade dentro do seu domínio, ela não pode ser descartada já que está bem comprovada. G10

Categoria (BI) 45,71%

Nessa categoria os alunos expressaram que a teoria da relatividade pode sofrer mudanças ou mesmo perder a validade em função de novos fatos que surjam, a partir do avanço tecnológico, ou seja, para esses alunos são as novas tecnologias que possibilitam obter novos dados.

Ele pode sofrer mudança e perder a validade, eu particularmente acredito que esta lei será quebrada ou modificada entre os próximos 100 à 150 anos, as teoria muda conforme a tecnologia avança, pois, com esse avanço tecnológico novos experimentos podem ser feitos, como poder construir algo que chegue a velocidade da luz, ou achar algo que ultrapasse essa velocidade, ou até mesmo outras realizações (chamados extra terrestres). F5

Categoria (BII) 28,57%

Este aspecto é bem interessante e se configura como o segundo maior índice de respostas no total de alunos. Na questão anterior, embora a maioria dos alunos indicasse que o conhecimento científico não é definitivo, a questão não permitiu analisar em que medida essa mudança poderia acontecer, diferentemente dessa questão onde os alunos apresentados a uma questão contextualizada. A questão agora é analisar se uma teoria bem aceita (atualmente), que é inclusive corroborada por diversos experimentos, poderia ser modificada e até mesmo descartada. Neste sentido, essa categoria mostra que os alunos aceitam muito mais a mudança do que o descarte da teoria.

A teoria da relatividade pode sim sofrer algumas modificações, mas eu não diria que ela perderá a validade, mas sim que servirá como base para outras teorias. G18

Categoria (BIII) 11,43%

Um dos aspectos destacados pelos alunos que justificam essa categoria é ideia de que as mudanças sofridas pelo conhecimento são naturais. Embora os alunos se remetam a ideia de que o conhecimento pode mudar ou mesmo deixar de ser válido, eles não deixam claro

quais as razões para que isso ocorra, a concepção parece estar próxima a ideia de que a ciência busca sempre novos conhecimentos.

Sim, como no passado o conhecimento perdeu sua validade, o de hoje certamente perderá, como já foi dito, o conhecimento de hoje pode ser o vulgar de amanhã. F10

Categoria (C) 5,71%

Um aspecto interessante nessa questão é que embora ela trate do mesmo tema da questão anterior, os alunos pareceram conseguir responder a ela melhor do que a questão anterior, fato observado se compararmos o número de respostas vagas, que atingiu 5,71% do número total de alunos, bem abaixo do índice anterior 25,69 (somando as categorias BIV e C).

Questão 4 (sobre os métodos científicos)

Com relação à metodologia científica foi perguntado: **O método científico costuma ser descrito pelas seguintes etapas: observação de fenômenos naturais, formulação de hipótese explicativa, teste da hipótese através de experimentos, modificação da hipótese em caso de falha nos testes ou, em caso de validação desta, a elaboração de uma teoria. Em sua opinião, esse é o método a ser seguido para se produzir conhecimento científico? Justifique a sua resposta seja ela afirmativa ou não.**

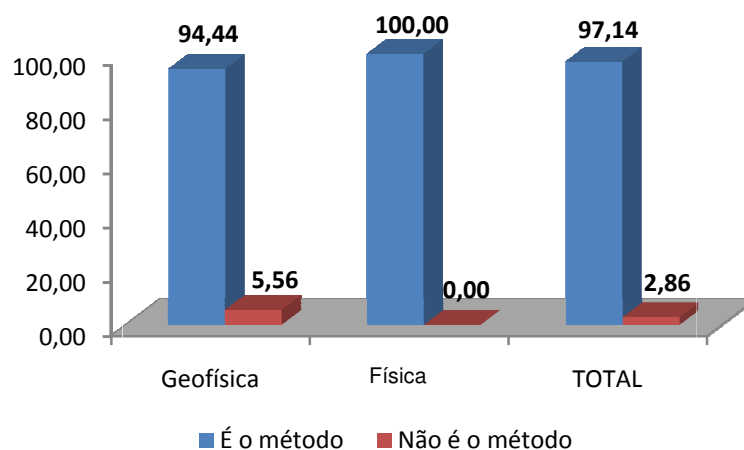


Gráfico 6 – Respostas à questão4 (parte III).

Essa questão procurou identificar se os estudantes compreendem que a ciência se constrói a partir do conjunto de etapas descritas, concebendo assim um método rígido e universal.

De acordo com o gráfico, fica evidente que a maioria dos alunos (97,14% do total, e considerando-se as turmas em separado, esse percentual chegou a alcançar os 100%, na turma de física) concorda com a afirmação contida na pergunta, defendendo a ideia de que existe um método. No entanto, pelas respostas apresentadas, não ficou evidente que esse método deve ser uma sequência rígida e universal. Segundo a tabela abaixo, onde as categorias expressam as justificativas apresentadas para a escolha, alguns alunos (5,71% - categoria BIII) explicitaram que esse fato, justificando que embora as etapas descritas compreendam traços da atividade científica, ela possui uma sequência; outro grupo, ainda mais expressivo (8,57% - categoria BIV) consideraram ainda que outros aspectos, que não são descritos na sequência mostrada, fazem parte da atividade científica.

O que ficou bem claro nas respostas foi o forte papel da experimentação na construção do conhecimento científico.

A tabela a seguir sistematiza as categorias que surgiram da análise das justificativas apresentadas à pergunta.

Tabela 27 - Justificativas à questão 4 - parte III (quest. inicial)

Categorias	Turma I	Turma II	Total
Não, não existe um método único (A)	1 (5,56)	0 (0,00)	1 (2,86)
Sim, pois é a maneira de se provar o conhecimento, validar (BI)	7 (38,89)	7 (41,18)	14 (40,00)
Sim, tem funcionado (BII)	0 (0,00)	5 (29,41)	5 (14,29)
Sim, mas existem outros fatores (BIV)	1 (5,56)	2 (11,76)	3 (8,57)
Sim, mas não é uma sequência rígida, as etapas podem ser modificadas (BIII)	2 (11,11)	0 (0,00)	2 (5,71)
Sem justificativas ou respostas inconsistentes (C)	7 (38,89)	3 (8,57)	10 (28,57)

Categoria (A) 2,86%

Essa resposta foi dada apenas por um aluno. O aluno G3 afirmou que não há uma única maneira de produzir conhecimento nas ciências.

Não existe uma só maneira para os cientistas atuarem, isso pode mudar com o tempo, com a tecnologia, com o pensamento das pessoas, a sociedade.

Categoria (BI) 40%

Para esses alunos a ênfase das etapas parece estar na experimentação, como mencionamos. É um fato que se observa muito fortemente nessa questão, mesmo nas outras categorias. As respostas aqui apresentadas destacam que essa sequência permite chegar a

conhecimentos válidos e mais seguros, uma vez que passou pela aprovação do experimento, do teste, da verificação.

Sim, pois é através dessas etapas que se consegue chegar ao conhecimento verdadeiro uma vez que os testes comprovam as hipóteses. F4

Para os alunos que creditam a verificação o “poder” de transmitir o conhecimento ao cientista atento podemos identificar tanto uma superestimação do papel da observação em detrimento de outros fatores tão importantes quanto (como é o caso da teoria, das ideias), quanto uma fragilidade em relação a percepção da importância da interpretação na produção de conhecimento.

Categoria (BII) 14,29%

Essa foi uma resposta que apareceu somente na turma II (física), mas que corresponde a terceira maior quantidade de respostas totais.

Acredito perfeitamente nessa sequência, pois esse método deve provar que é útil e de fato tem aplicabilidade. F1

Categoria (BIII) 8,57%

Essa categoria complementa a anterior acrescentando a ideia de que o aluno identifica outros aspectos que fazem parte da prática científica, mas que não estão englobadas na sequência descrita na pergunta. O argumento do aluno expõe um aspecto importante na Ciência: a influência da comunidade científica. Vejamos o que ele diz:

Sim, mas temos outras coisas que acontecem também na ciência. Deve-se saber se os outros cientistas vão aceitar a teoria. F10

Categoria (BIV) 5,71%

Nesta categoria apareceram justificativas, como mencionamos anteriormente, de que outros aspectos, as etapas podem ser modificadas. Nesse sentido, o aluno que tem o argumento transcrito abaixo afirma que o experimento (teste) pode vir antes da hipótese:

Acho sim que os cientistas fazem isso, mas não tem que seguir essa sequência (...). Pode ser algo acidental também, como o caso de Becquerel, na radioatividade. F11

Notemos que o aluno menciona o fato da descoberta acidental, como um fator que pode acontecer na ciência, mas não o colocamos na categoria que vem a seguir por julgar que a questão central na fala dele é a ideia de que essas etapas não serem necessariamente sequenciadas. No exemplo

citado pelo aluno, há uma incorreção histórica (o aluno deixa subentendido que a descoberta da radioatividade se deu por Becquerel, o que não é verdade).

Categoria (C) 28,57%

Essa foi a segunda categoria em número de respostas totais. Nela estão as respostas que apresentam-se com inconsistências. Se considerarmos as turmas separadamente, o índice é ainda maior na turma I ficando em primeira posição juntamente com a categoria (BII). Como vimos ao longo das questões, os alunos tem dificuldades em responder a questões sobre a ciência, certamente pela falta de acesso a esse tipo de conhecimento.

Questão 5 (sobre os fatores de influencia na ciência)

Sobre fatores que podem influenciar a prática científica, em sua opinião: a) O contexto histórico e social são fatores de influência? Justifique e dê um exemplo que reforce a sua opinião; b) Fatores como crenças pessoais, posições morais, religiosas, políticas etc. podem influenciar esse desenvolvimento? Justifique e dê um exemplo que reforce a sua opinião.

O gráfico apresenta os resultados quanto ao subitem *a*:

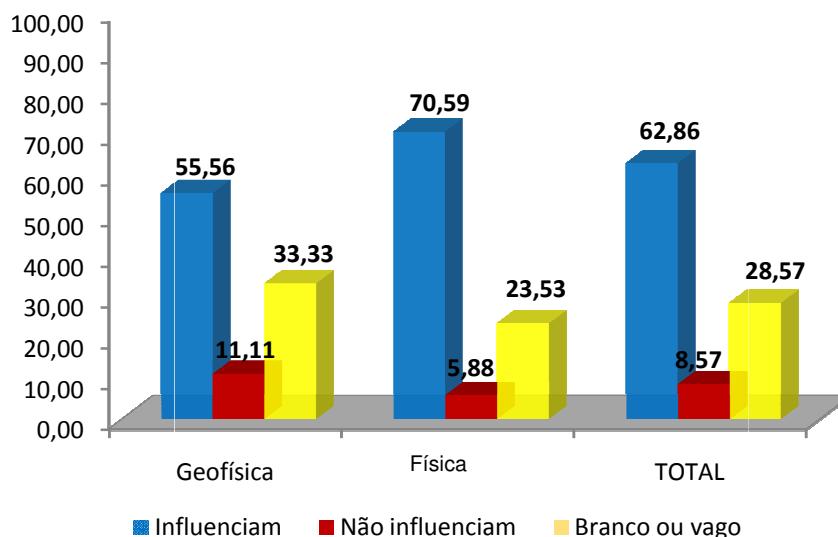


Gráfico 7 – Respostas à questão 5 subitem a (parte III).

Dentre os exemplos citados pelos alunos que justificaram a opção na afirmação positiva ao fato da ciência ser influenciada por fatores históricos e sociais apareceram:

- Revolução industrial – Foi citado como período em que houve investimento em ciência em função do interesse da indústria;
- A influência da Igreja durante a idade média – Grande parte dos exemplos citados pelos alunos foi de que as ações da Igreja durante a idade média adiaram o desenvolvimento científico;
- Bombas atômicas – Aqui, na realidade apareceu tanto o fator do contexto histórico social na ciência (investimento em tecnologia que permitiu as armas) quanto a influência da ciência sobre a sociedade no sentido de que o desenvolvimento científico permitiu a criação de armas;
- A Guerra Fria – Foi mencionado como um período em que a ciência se desenvolveu bastante em decorrência da corrida espacial;
- O desenvolvimento tecnológico – Parece estar claro para o aluno que o desenvolvimento tecnológico é temporal, foi recorrente o argumento de que a ciência se desenvolve mais a partir do uso de novas tecnologias que sempre aparecerem no futuro, ou seja, no futuro sempre poderá existir uma tecnologia mais avançada que permita desenvolver aspectos que não são possíveis atualmente e, quando isso ocorrer poderá permitir a ciência avançar;

É interessante observar que os exemplos citados pelos alunos são bastante comuns quando estudamos a história geral. Neste sentido, é possível inferir que os alunos tenham essas informações muito mais em razão do estudo da disciplina de história, do que tenham visto na disciplina de física.

O gráfico abaixo apresenta os resultados quanto ao subitem *b*:

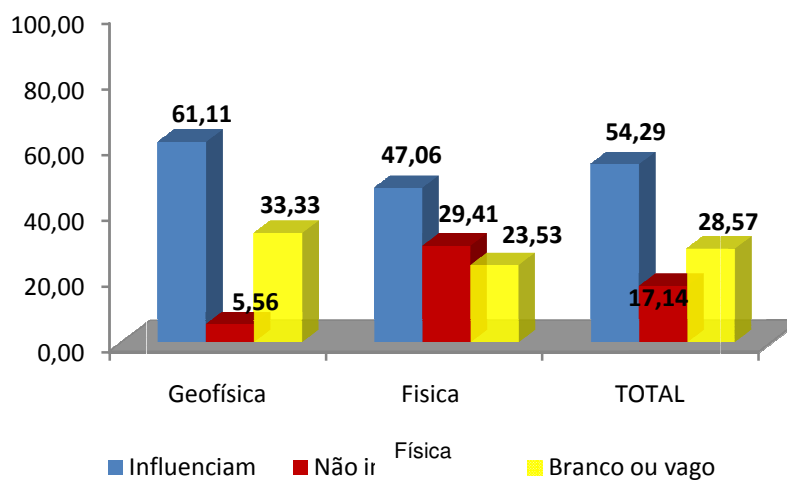


Gráfico 8 – Respostas à questão 5 subitem *b* (parte III).

A tabela abaixo descrita objetivou dar um refinamento ao gráfico acima, e foi elaborada a partir das justificativas ao subitem *b* da questão 5.

Tabela 28 - Justificativas à questão 5, subitem *b* - parte III (quest. inicial).

Categorias	Turma I	Turma II	Total
Não, pois não é uma prática da ciência (A)	1 (5,56)	5 (29,41)	6 (17,14)
Sim, mas atrasa o progresso (BI)	7 (38,89)	3 (17,65)	10 (28,57)
Sim, mas dão deveria influenciar, pois é um empecilho para o desenvolvimento da ciência (BII)	3 (16,67)	3 (17,65)	6 (17,14)
Sim, sem justificativas (BIII)	2 (11,11)	1 (5,88)	3 (8,57)
Sim, faz parte da natureza humana (BIV)	1 (5,56)	1 (5,88)	2 (5,71)
Respostas vagas ou em branco (C)	4 (22,22)	4 (23,53)	8 (22,86)

Os alunos não apresentaram exemplos que corroborassem suas justificativas.

Categoria (A) 17,14%

Estão agrupados nessa categoria os alunos que não acreditam que fatores como crenças, posições morais, religiosas e políticas possam influenciar a Ciência. Para eles, os cientistas não se deixam influenciar por esses aspectos.

Acredito que não, pois isso não faz parte das ciências. F2

Embora essa categoria ocupe a terceira posição no total de resposta, ela se configura como a de maior índice (29,41%) na turma II. Levando em consideração que o segundo maior percentual nessa turma (23,53%) é de respostas vagas ou inconsistentes, ela é bem representativa.

Categoria (BI) 28,57%

Aqui estão reunidos os alunos que deram uma resposta afirmativa positiva. Esses aspectos influenciam, entretanto, essas influências ocorrem sempre atrasando a Ciência. O discurso do aluno G6 ilustra essa categoria:

Sim, mas isso se torna obstáculo para uma prática científica.

Categoria (BII) 17,14%

Nesta categoria está implícita a ideia de que tais fatores influenciam a Ciência, mas não deveriam (algo a ser evitado pela Ciência), pois constitui um entrave ao progresso científico, assim como coloca o F1:

Não pois a partir de dogmas e tradições a visão científica fica travada e impedida pelos valores sociais. F1

Categoria (BIII) 8,57%

Essa categoria surgiu, pois os alunos responderam que tais fatores influenciam, mas não justificaram o porquê do seu posicionamento, nem trouxeram nenhum exemplo.

Categoria (BIV) 5,71%

Para os sujeitos dessa categoria os aspectos mencionados influenciam a Ciência. Sendo o conhecimento científico produzido por seres humanos, é natural que ele exerça influência sobre a Ciência, uma vez que também exercem sobre os indivíduos.

Eu acredito que sim tudo tem influência, principalmente da política, além disso algumas posições morais e religiosas já influenciaram a ciência isso pode acontecer sempre. G5

Categoria (C) 22,86%

Mais uma vez essa categoria teve um número expressivo de respostas. Ela representa o segundo maior índice geral.

Questão 6 (sobre a controvérsia na ciência)

Essa questão trata de um aspecto pouco privilegiado no ensino das ciências, em função de ser apresentado ao aluno o conhecimento aceito e validado. Desse modo, é possível excluir os erros e controvérsias. Esse fato passa a falsa impressão de que o conhecimento científico é objetivo e dispensa desacordos, fato que não se sustenta ao observar a História da Ciência, assim como foi exposto ao longo do texto sobre a inércia.

Para compreender o que o aluno pensa a esse respeito, lhe foi feita a seguinte questão:

Quando cientistas diferentes observam o mesmo conjunto de dados, eles chegam às mesmas conclusões (mesmos modelos, leis ou teorias)? Justifique sua resposta.

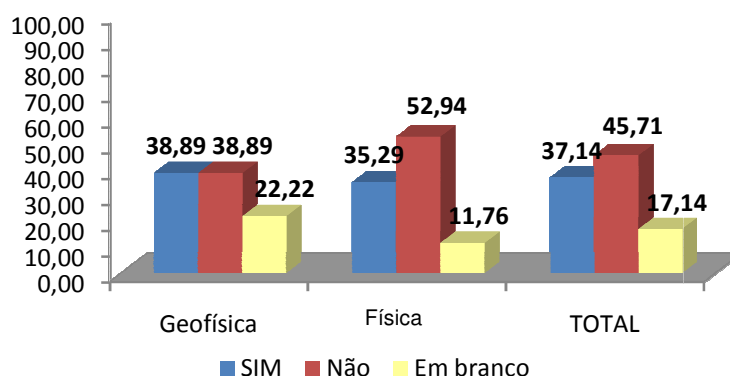


Gráfico 9 – Respostas à questão 6 (parte III).

Tabela 29 - Justificativas à questão 6 - parte III (quest. inicial).

Categorias	Turma I	Turma II	Total
Sim, devem chegar as mesmas conclusões, pois os fenômenos são objetivos (AI)	4 (22,22)	4 (23,53)	8 (22,86)
Sim, se não cometer erros (AII)	3 (16,67)	2 (11,76)	5 (14,29)
Não, pois cada cientista tem um ponto de vista (BI)	5 (27,78)	7 (41,18)	12 (34,29)
Não, pois podem encontrar algo diferente (BII)	2 (11,11)	2 (11,76)	4 (11,43)
Respostas vagas ou inconsistentes (C)	4 (22,22)	2 (11,76)	6 (17,14)

Categoria (AI) 22,86%

As respostas agrupadas nessa categoria representam o segundo maior índice. Para esses alunos os fenômenos são objetivos, oferecendo assim, uma única interpretação. Neste sentido, eles afirmam que para obter dados diferentes os cientistas devem chegar às mesmas conclusões. Vejamos o argumento do estudante F1:

Sim, pois um acontecimento natural não pode divergir de uma coisa existente, pois o fenômeno não manifesta-se de modo diferente para cada cientista.

De acordo com o discurso do aluno acima, é possível perceber que, para ele, o fenômeno permite apenas uma interpretação: “a correta”. Isso fica explícito em seu posicionamento.

Categoria (AII) 14,29%

Para os alunos aqui colocados, as conclusões devem ser as mesmas, ou seja, se cientistas que observam o mesmo conjunto de evidências devem chegar às mesmas conclusões, a menos que algum esteja cometendo erros, deixando de perceber alguma coisa.

Sim, se eles observam os mesmos dados eles tem que chegar a mesma teoria a não ser que algum não esteja observando alguma coisa, se cometer algum erro. G13

Categoria (BI) 32,29%

O ponto principal dessa categoria é a afirmação dos alunos acerca do fato que cientistas não devem necessariamente, chegar as mesmas conclusões, pois consideraram que cada um tem um ponto de vista. Entretanto não é possível compreender o que seria tal ponto, ao passo que não se esclarece o que o aluno entende por “ponto de vista”. Não fica clara a ideia de interpretação e representação. Observemos a fala dos alunos:

Não, pois cada um tem um pensamento, suas ideias seus pontos de vistas, todo ser humano é um ser diferente. F2

No discurso apresentado a seguir, parece estar mais presente a ideia de interpretação, quando aparece o trecho “cada um tem uma percepção diferente”. Vejamos o que o aluno diz:

Não, pois cada um observa de uma maneira, cada pessoa tem uma percepção diferente dos eventos. G1

Essa categoria tem a maioria das respostas, tanto nas turmas de forma separada, quanto do total de alunos. Em nenhuma das respostas apareceu explicitamente o fato da Ciência se constituir como uma representação do mundo natural, sendo fundamental o papel da interpretação para elaboração de explicações.

Categoria (BII) 11,43%

Nesta categoria os alunos afirmaram que as conclusões podem não ser iguais, visto que a observação é diferente. Parece que passou despercebido para o aluno que na pergunta já aparece afirma que os cientistas têm acesso ao mesmo conjunto de dados. Parece que embora isso possa acontecer na Ciência, a divergência deve ocorrer porque um dos cientistas observou algo que o outro não observou. Vemos mais uma vez que o foco está na observação.

Quando os cientistas estão estudando um deles pode ter observado alguma coisa que o outro não observou, então podem sim. G17

Categoria (C)

Respostas em vagas ou inconsistente. Não conseguimos enquadrar as respostas em nenhuma das categorias anteriores.

O questionário inicial nos possibilitou verificar que os alunos apresentam a ideia de que existe uma força na direção do deslocamento. Já as questões sobre o plano inclinado e sobre a escuna (questões 8 e 9) os alunos, em sua maioria, não fizeram referência ao conceito de inércia. Essas questões nos possibilitam verificar que a primeira lei de Newton é um conceito que ainda encontra barreiras para ser apreendido.

A parte III desse questionário mostrou que os alunos apresentam concepções de senso comum sobre a Ciência. Apareceram nos resultados uma visão utilitarista da Ciência, a ideia de que o conhecimento é objetivo e verdadeiro, pautado em um método rígido. Mesmo quando as respostas apontavam em uma direção do que é considerado como uma visão mais adequada, como afirmar que cientistas podem chegar a conclusões diferentes, a partir de um mesmo conjunto de dados, ou aceitar que o conhecimento científico é provisório, aparecem justificativas que caminham em desacordo com uma visão mais crítica. Além disso, em diversas questões dessa parte, podemos ver o alto índice de respostas em branco ou inconsistente.

Passemos aos dados e análise do questionário correspondente ao texto I.

3.2.3 O Questionário do Texto I

O questionário tinha como objetivo encorajar o aluno a leitura do texto, uma vez que essa atividade valeria ponto para disciplina. Ao retomar alguns aspectos apresentados ao longo do texto, procuramos elaborar questões que envolviam a compreensão da leitura, além de nos fornecer subsídios para analisar criticamente a construção do texto.

Questão 1

Podemos considerar a física de Aristóteles como uma física não-inercial?

Justifique sua resposta.

A análise das respostas nos permitiu classificá-las em cinco categorias:

Tabela 30 - Justificativas à questão 1 (texto I)

Categoria	Turma I	Turma II	Total
Sim. Justificando adequadamente (AI)	9 (50,00)	9 (54,94)	18 (51,43)
Sim. Justificando inadequadamente (AII)	3 (16,67)	3 (17,65)	6 (17,14)
Não. Justificando sim (B)	2 (11,11)	0 (0,00)	2 (5,71)
Não (C)	1 (5,56)	2 (11,76)	3 (8,57)
Respostas vagas ou incoerentes (D)	3 (16,67)	3 (17,65)	6 (17,14)

Apresentaremos a seguir cada uma das categorias:

Categoria (AI) 51,43%

Com o maior percentual total de respostas (51,43%) essa categoria representa os sujeitos que responderam e justificaram adequadamente a pergunta. Aqui, aparecem os alunos que afirmaram ser a física aristotélica uma física não-inercial sendo, portanto, necessária a ação de uma força para dar continuidade ao movimento (além de iniciá-lo). Os exemplos a seguir ilustram as respostas apresentadas pelos alunos:

Sim. Pois como dizia Aristóteles, tudo é movido por alguma coisa (ele pensava assim), por exemplo, no movimento violento tinha que ter uma força externa contínua, para que inicie o movimento e possa mantê-lo. F6

Na resposta acima, apontada pelo aluno F6, podemos perceber que ele cita unicamente o fato de que o movimento, na visão de Aristóteles exige ação de uma força externa e contínua sobre o corpo. No exemplo que segue também enquadrado nessa categoria, aparece novamente o fato de que Aristóteles rejeita a ideia de vazio e que todo movimento é necessariamente finito; aspectos que caminham em sentido contrário a ideia atual de inércia.

A física do movimento apresentada por Aristóteles é não-inercial, pois, do ponto de vista que ele tinha da natureza, era impossível um corpo ter um movimento retilíneo uniforme infinito. Ele também não acreditava no vazio e para ele todo movimento tem um fim. G5

Categoria (AII) 17,14%

Nessa categoria aparecem as respostas afirmativas que, no entanto, apresentam uma justificativa inadequada. Alguns alunos afirmaram que a física de Aristóteles é não-inercial, mas apresentaram justificativas que se desviaram do que esperávamos.

Sim, pois ele afirma que um objeto em 'repouso' tende a voltar a seu 'lugar natural'. F12

Sim, pois segundo Aristóteles um corpo se movimenta para seu lugar natural e vai permanecer nesse lugar, sem menção de uma força. G13.

Nessa categoria se encaixou 17,14% do percentual total de alunos. Essa, juntamente com a categoria (E) ocupa o segundo maior índice de respostas apresentadas pelos alunos.

Categoria (B) 5,71%

Aqui consideramos as respostas dos alunos que justificaram corretamente, manifestando que para Aristóteles o movimento exigia a ação de uma força (ideia não-inercial), no entanto, responderam 'não' a questão. Ou seja, os alunos responderam que a física de Aristóteles é inercial, mas justificaram a ideia de ser não-inercial.

Não, pois a teoria de Aristóteles acreditava que um corpo só pode permanecer em movimento se existir uma força atuando sobre ele. G2.

É possível notar que embora o aluno tenha compreendido que para Aristóteles o movimento exige uma força externa para acontecer (e manifesta a compreensão do texto), ele afirma que essa é uma física inercial quando dá uma resposta negativa a questão.

Isso pode indicar que tais alunos não compreenderam o significado do termo não-inercial. Para tal colocação, percebemos que 5,71% do percentual total de alunos se adequam a essa categoria, representando o menor índice de respostas.

Categoria (C) 8,57%

Identificamos aqui os alunos que responderam não ser, a física de Aristóteles, uma física não-inercial. Estas respostas apresentam incompreensão não apenas da pergunta, mas também do texto. Nesta categoria estão 8,57% dos sujeitos, ocupando o terceiro lugar dentre as respostas obtidas.

Podemos considera que não. Podemos observar que quando ele fala sobre o movimento natural, dá uma ideia de inércia, porque todos os corpos de sua composição vão em busca do seu lugar natural que ele estabelece o mundo sublunar composto de terra, água, ar e fogo. F9

Na citação acima, o aluno F9 parece estabelecer uma relação entre o movimento natural de Aristóteles e a inércia, no entanto, o texto não permite fazer esse tipo de inferência.

Não podemos classificar a física de Aristóteles como não inercial, apesar dela não ter a definição real de inércia, ela se trata de movimento e de continuidade de movimento. F17

Nesse trecho é possível que o aluno, ao tratar de ‘continuidade de movimento’, esteja entendendo que o movimento para Aristóteles é contínuo (infinito), o que não encontra respaldo no nosso texto.

Categoria (D)17,14%

Foram enquadradas nessa categoria as respostas que se prendiam literalmente ao texto, não expressando uma compreensão da leitura e/ou da própria pergunta.

Sim. Para Aristóteles existiam três classes de movimentos: o qualitativo (alteração), o quantitativo (aumento e diminuição) e o local (mudança de lugar) diferindo da ideia de inércia citada na lei de Newton. F4.

As categorias (B), (D) e (E) somadas, totalizam 42,85% dos alunos. Nestas categorias podemos perceber que há, por parte dos alunos, uma incompreensão em relação ao conteúdo do texto. Esse percentual é um alto índice e nos permite levantar duas considerações: I) demonstra um problema muito apontado em trabalhos em educação: o problema de leitura e compreensão de texto; II) o texto está em um nível que os alunos não estão conseguindo compreender.

Vamos mencionar um aspecto explicitado pelos alunos durante as aulas. Quando foram questionados (principalmente no primeiro encontro) acerca do texto, se conseguiram ler, compreender e responder, eles contestaram, afirmando que as questões foram difíceis de localizar no texto, ou seja, os sujeitos estavam acostumados com questões que localizam diretamente no texto, sem exigir compreensão e interpretação, como as propostas não tinham essa característica, os pesquisados sentiram dificuldades para responder. Esse fato corrobora a questão sobre o problema de leitura, compreensão e interpretação textual.

Questão 2

A segunda questão buscou mostrar ao aluno que o texto apresentava a ideia de que os pressupostos teóricos (as ideias/teoria) assumidos pelos pensadores influenciam a maneira como eles descrevem a natureza. Nesse sentido, perguntamos: **Os pressupostos teóricos assumidos pelos pensadores influenciam a maneira como eles descrevem a natureza. Cite uma passagem do texto que confirme essa afirmação. Justifique sua escolha.**

Ao analisar as respostas observamos que os alunos caminharam em duas direções diferentes. Uma parte remeteu ao texto, citando trechos coerentes com o que pedia a questão. Neste sentido, consideramos a resposta como ‘adequada’ (A). Outra parte recorreu ao texto,

mas apresentou trechos em que esse aspecto não se sustenta, consideramos esse tipo de resposta ‘inadequado’ (B). Dessa maneira, construímos o gráfico abaixo que apresenta para cada uma das turmas e para o total de alunos o percentual, os que responderam adequadamente (A) e inadequadamente (B).

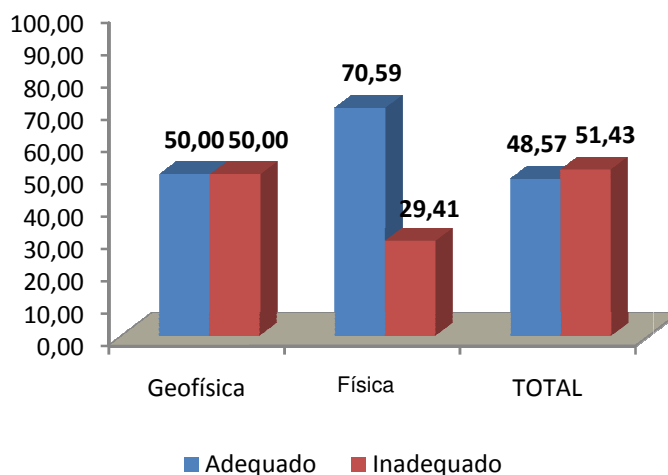


Gráfico 10 – Percentual de respostas dos alunos à questão 2 do texto I.

As citações apresentadas a seguir permitem explicar a síntese apresentada pelo gráfico acima.

Categoria (A) Respostas consideradas adequadas, 48,57%.

Seu conceito de lugar é determinante para negação que ele faz do vazio e para definir a maneira como explica o movimento local. Para Aristóteles sendo o corpo essencial para existência do vazio e este um lugar sem corpo então o vazio não pode existir e o movimento natural ocorre na direção do lugar natural. F6

O aluno foi capaz de perceber que o conceito de lugar de Aristóteles foi fundamental para a explicação que ele estabelece para o movimento natural, assim como para sustentar a negação do vazio. A primeira frase ele extraiu exatamente como está no texto, na página 3, mas, a segunda frase em que ele parece justificar essa escolha, não foi “retirado” literalmente, exigiu a compreensão do texto por parte do aluno.

O argumento abaixo representou o mais utilizado pelos alunos que se classificaram nessa categoria. Para responder a essa questão eles retiraram do texto a ideia de que, assumindo a constituição da matéria com base nos quatro elementos, Aristóteles explica o movimento natural, tanto no mundo sublunar quanto no supralunar:

'Segundo Aristóteles, cada um dos seus corpos, seja celeste, seja terrestre, tem seu movimento natural para este lugar. Todo movimento que não é natural é violento. O movimento natural é uma mudança que acontece de acordo com a composição do elemento do qual o corpo é formado e do lugar natural do elemento correspondente, em outras palavras, o movimento natural é possível pela tendência natural dos corpos ocuparem seu lugar natural...'. A passagem escolhida do texto refere-se ao fato de Aristóteles com a ideia dos elementos buscar meios para explicar o movimento usando a ideia de algo natural. G2

O exemplo descrito a seguir, aponta outra passagem do texto em que aparece uma diferença entre as explicações do movimento para Aristóteles e Filopono por partirem de ideias diferentes. Este aluno mereceu destaque, pois apresentou uma resposta bem escrita, além do trecho retirado do texto I, indicando a página e, por fim, justificou. Foi o único aluno que seguiu essa dinâmica:

'Rejeita a lei da velocidade de Aristóteles, assumindo que a velocidade é proporcional à diferença entre a força e a resistência. Para ele o meio deve ter como única função: resistir ao movimento' (pg.7). Fazendo uso do pressuposto de que o meio serve apenas para resistir ao movimento, Filopono descreve o mesmo fenômeno (movimento) diferente da forma que Aristóteles descreve. Aristóteles postula que o meio é essencial para o movimento, Filopono ao discordar, postula que a causa do movimento é outra, diferente do meio, uma força cinética. F13

(B) Respostas consideradas inadequadas:

A resposta mostrada a seguir é representativa dos alunos que extraíram um trecho do texto e não trouxeram nenhuma justificativa. No exemplo abaixo, o excerto está na página 2:

A parte em que: 'Aristóteles dividiu o universo em dois mundos: o sublunar (região terrestre, que se estendia desde o centro da terra até a esfera da lua) e o supralunar (região celeste, situava-se desde a lua até as estrelas fixas), e estabeleceu significativa diferença entre esses mundos'. F2

De maneira geral praticamente metade dos alunos responderam adequadamente a questão. Esse índice foi melhor na turma II, atingindo 70,59%. Podemos perceber ainda problemas de compreensão do texto, mas devemos considerar que é mais difícil responder a questões como essa, sem que os alunos tivessem sido oportunizados a uma discussão nesse sentido. Vale salientar que os sujeitos deveriam responder ao questionário sem nenhum tipo de aula/discussão sobre o tema, eles deveriam recorrer apenas ao texto.

Questão 3

Na terceira pergunta desse questionário, que retoma o aspecto da física do *impetus*, foi feito a seguinte indagação: **De acordo com o que foi visto no texto: podemos falar em uma única teoria do *impetus*? A física do *impetus* é uma física inercial?**

a) Quanto a uma única teoria do *impetus*.

Tabela 31 - Respostas à questão 3 subitem a (texto I)

RESPOSTAS	Turma I	Turma II	TOTAL
SIM	0 (0,00)	0 (0,00)	0 (0,00)
NÃO	13 (72,22)	15 (88,24)	28 (80,00)
Inconsistente	4 (22,22)	2 (11,76)	6 (17,14)
Não respondeu	1 (5,56)	0 (0,00)	1 (2,86)

Para essa questão, nenhum dos alunos respondeu que haveria uma única teoria do *impetus*, eles apontaram para o fato de o texto apresentar duas versões para essa teoria, uma assumida por Buridan e outra por Oresme. Alguns dos alunos descreveram, inclusive, as diferenças entre elas.

O exemplo a seguir representa a maioria dos alunos (80,00%) que responderam “não” a essa parte da questão:

Não, pois tem a teoria do impetus de Buridan e Oresme, que se difere principalmente quanto á permanência, sendo de Oresme finita.G2

Algumas respostas se mostraram inconsistentes (17,14%), como as descritas abaixo:

Sim, no meu entendimento quando ele fala de lançador e o corpo lançado remete a ideia de referencial (que é primordial para teoria da inércia). G1

Sim, podemos falar, já que as teorias de impetus são muito semelhantes, tendo apenas algumas diferenças. F3

b) Quanto ao *impetus* ser uma física inercial.

Tabela 32 - Respostas à questão 3 subitem b (texto I)

RESPOSTAS	Turma I	Turma II	TOTAL
SIM	2 (11,11)	4 (23,53)	6 (17,14)
NÃO	13 (72,22)	13 (76,47)	26 (74,29)
Inconsistente	3 (16,67)	0 (0,00)	3 (8,57)
Não respondeu	0 (0,00)	0 (0,00)	0 (0,00)

No que se refere à ideia da física do *impetus* ser inercial, 17,14% dos alunos responderam que SIM. Essa opção ocupou o segundo lugar em número de respostas de acordo com a tabela acima. Vejamos o que afirmou o aluno F3:

A física do impetus é uma física que tende a ser inercial, pois o que foi afirmado por Oresme e Buridan contribuiu para o conceito de inércia hoje existente. F3

A maioria, no entanto, sustentou que o *impetus* não tem caráter inercial por distanciar-se do conceito de inércia que conhecemos atualmente. Esse índice corresponde a 74,29% do total de alunos, o que consideramos um bom resultando. Vale destacar que essa pergunta é mais diretamente “localizável” no texto, sendo uma questão considerada mais fácil.

Não, pois estas teorias ainda consideram a atuação das forças para a manutenção de um movimento, o que contraria a ideia de inércia. G11

Questão 4

Foi explicitado ao longo do texto, que a controvérsia na Ciência é algo real (na pg. 6 e 13 esse aspecto aparece claramente). Sabemos que a educação em ciências prioriza o ensino do conteúdo científico aceito, desta maneira, é difícil os alunos identificarem essa característica. Na questão 4 procuramos ver se os alunos aceitavam esse fato que afirmado ao longo do texto, perguntamos então: **Você acredita que a controvérsia entre os cientistas é possível? Em caso afirmativo, cite um exemplo que esteja fora do nosso texto.**

A tabela esquematiza as respostas. Todos afirmaram haver controvérsia na Ciência, porém, nem todos citaram exemplos:

Tabela 33 - Respostas à questão 4 (texto I)

RESPOSTAS	Turma I	Turma II	TOTAL
Sim. Citando exemplos	15 (83,33)	13 (76,47)	28 (80,00)
Sim. Sem citar exemplos	2 (11,11)	2 (11,76)	4 (11,43)
Inconsistente	1 (5,56)	0 (0,00)	1 (2,86)
Não respondeu	0 (0,00)	2 (11,76)	2 (5,71)

Ressalvamos que as respostas dos alunos foram pouco discursivas, pois eles não explicavam a escolha do episódio controverso, a exceção do aluno F13:

Perfeitamente possível. Um exemplo é o debate entre Albert Einstein e Niels Bohr. Einstein insatisfeito com as ideias e interpretações de Bohr e Heisenberg sobre o Quantum, em relação à fenda dupla. Bohr afirmava que não tinha como saber por qual fenda o Quantum tinha passado, pois no momento de propagação, o Quantum não se comporta como partícula e passa por ambas as fendas. F13

A maioria dos estudantes deu respostas como a descrita abaixo, apenas apontando o exemplo, sem muitas explicações:

Sempre há controvérsias, por exemplo como entre Darwin e Lamarck. G16

Um percentual de 11,43%, embora concorde com a controvérsia na Ciência não citaram exemplos:

Há divergências entre os cientistas. Não somente é possível como também contribui para avançar o conhecimento. G7

Sim a controvérsia entre cientista é possível, já que na maioria das vezes eles pertencem a momentos diferentes da história, em que têm pensamentos diferentes, até mesmo conhecimento diferente. Não consegui encontrar outros exemplos, nem mesmo sei. F3

Nas questões, de maneira geral, pudemos observar que os alunos escrevem pouco, o que torna mais difícil deprender seus conhecimentos e interpretações. Esse aspecto ficou bem marcado nessa questão. Como mencionamos, as respostas resumiam-se a citar exemplos. Um percentual total de 91,43% dos pesquisados, respondendo SIM a questão, poderia ser considerado um aspecto positivo, no entanto é difícil perceber o nível de compreensão que o aluno tem dessa controvérsia na Ciência.

Questão 5

Ao longo do texto vimos que o movimento de um projétil, por exemplo, é explicado de uma maneira por Aristóteles e de outra pela teoria do *impetus*.

Para o subitem *a*, temos:

a) Qual a principal diferença entre essas explicações?

Para essa questão esperávamos que o aluno identificasse que na física aristotélica, para iniciar e dar continuidade ao movimento era necessária a ação constante de uma força externa, enquanto na física do *impetus* o movimento teria continuidade pela ação de uma força interna (o *impetus*) transmitida do lançador ao corpo lançado, no momento do lançamento. O gráfico

abaixo nos informa o percentual de alunos que atingiu o objetivo (esperado) e dos que não chegaram à resposta pretendida (não esperado).

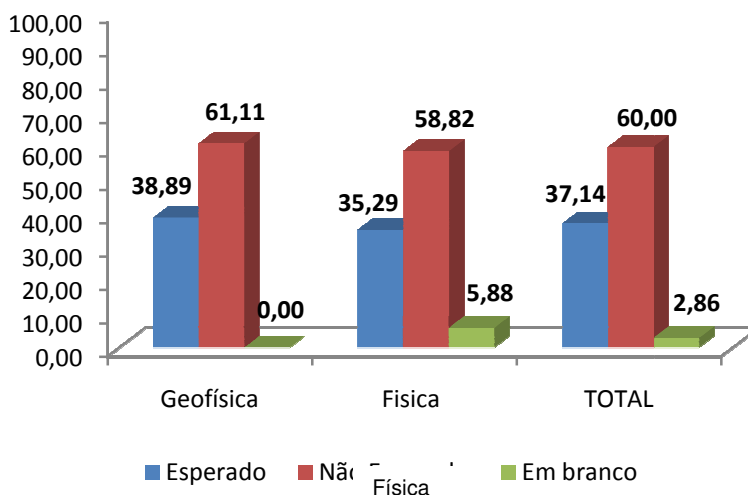


Gráfico 11 – Respostas à questão 5 subitem a (texto I).

Respostas consideradas não esperadas – 60,00%

Os alunos não responderam de acordo com os nossos objetivos tiveram suas colocações classificadas como não esperadas. Veremos algumas repostas que apontaram diferenças existentes entre as duas concepções, remetendo ao texto de maneira coerente que, no entanto, não destacaram o que para nós é a principal diferença. Outros se distanciam do texto e apresentam incompreensão da leitura, como mostra a tabela a seguir:

Tabela 34 – Respostas à questão 5 subitem a (texto I)

RESPOSTAS	Turma I	Turma II	TOTAL
Coerentes	7/9	9/12	16
Incoerentes	2/9	3/12	5

Vale salientar que a tabela representa os 60% (21 sujeitos) que não atingiram a resposta que pretendíamos. Desse modo, por exemplo, o valor 7/9 indica que sete alunos de um total de 9 (da turma I) responderam de maneira coerente, apontando diferenças existente entre as duas concepções de movimento, remetendo a aspectos apontados no texto.

Uma das ideias destacadas pelos alunos como principal diferença entre as teorias é o fato de que em Aristóteles o ar desempenhava papel de motor e resistência, enquanto na teoria

do *impetus* o ar é apenas resistência (o que está totalmente correto de acordo do com texto).

Observemos a resposta apresentada pelo aluno G1:

Aristóteles acreditava que o movimento era conduzido pelo ar, que acabava funcionando como um motor e a teoria do impetus diz que o ar não é responsável por esse movimento e sim pela redução deste.

Um ponto que observamos em relação a essa questão, e que nos chamou a atenção de forma diferenciada, foi que os alunos de física deram destaque para análise quantitativa que é apontado no texto, em relação à teoria do *impetus* de Buridan.

Para Aristóteles, para que o projétil prosseguisse um movimento era necessária a ação de um motor, nesse caso o ar. Já a teoria do impetus, ar deve ser apenas resistência, e ele procurava dar um tratamento quantitativo, admitindo que este deveria ser proporcional a velocidade do projétil e a quantidade de matéria contida no corpo. F8

Destacamos outra resposta que classificamos como não esperada, e que se distancia do texto (incoerentes). Vejamos:

A diferença estaria em que na teoria de Aristóteles há a necessidade de um motor, que seria o ar. Já na do impetus os corpos acumulariam energia, sem a necessidade de motor. G12

Para o aluno G12, o texto indica que na teoria do *impetus* os corpos acumulariam energia. Embora o conceito de *impetus* tenha alguma similaridade com a ideia de energia, não há menção desta palavra em nenhum dos dois textos. É possível que o aluno tenha compreendido a teoria do *impetus* associada à ideia de energia.

Respostas consideradas esperadas – 37,14%

Os alunos que responderam conforme esperávamos indicaram que o movimento para Aristóteles era efetuado pela ação de um motor (força externa) enquanto na física do *impetus* o lançador imprimia ao corpo lançado certa quantidade de força interna, que o permitia se deslocar. Conforme o aluno F5:

A principal diferença entre essas duas explicações é que para Aristóteles o movimento para acontecer tinha que ter uma força, um motor, que era o ar (que também resistia ao movimento, fazendo parar) e no impetus o movimento prosseguia porque uma força cinética era aplicado no corpo pelo lançador, que eles chamaram de impetus, mas tinha o de Buridan e o de Oresme, que eram diferentes.

b) O que essa diferença mostra acerca do desenvolvimento científico?

Nessa mesma questão, os alunos deveriam mencionar que aspectos do desenvolvimento científicos poderiam ser revelados com base na ideia de que um mesmo conjunto de fenômenos poderia ser explicado de maneira diferente, ou seja, nesse subitem pretendíamos que o aluno percebesse a questão da controvérsia na Ciência.

Neste sentido, as categorias já estavam predefinidas, dividindo-se entre os que identificaram a controvérsia e os que não identificaram a controvérsia. A tabela a seguir apresenta os resultados:

Tabela 35 - Respostas à questão 5 subitem b (texto I)

Categoria	Turma I	Turma II	Total
Identificaram (A)	2 (11,11)	2 (11,76)	4 (11,43)
Não identificaram (B)	12 (66,67)	10 (58,82)	22 (62,86)
Respostas vagas ou inconsistentes (C)	4 (22,22)	6 (35,29)	10 (28,57)

Categoria (A) 11,43%

A tabela permite identificar que a maior parte dos alunos não identificou que explicações diferentes para o movimento apresentada por Aristóteles e pela física do *impetus* estão relacionadas com a possibilidade de conflito, controvérsia na Ciência. Um dos motivos para esse índice pode ser uma incompreensão do enunciado, como podemos observar a seguir, muitos alunos apontaram questões sobre a Ciência, que encontram respaldo na discussão ao longo do texto, ou seja, os alunos parecem ter se remetido a ideia textual como um todo e não ao aspecto apontado no enunciado da questão. Apenas 11,43% dos alunos responderam de acordo com o nos esperávamos. A repostas apresentada pelo aluno F14:

Mostra que os cientistas pensam de maneira diferentes.

Categoria (B) 62,86%

Nessa categoria aparecem os alunos que não identificaram a controvérsia, mas apontaram alguns aspectos sobre a Ciência, como mencionamos, talvez pensando no texto como um todo. Pelas considerações apresentadas, temos algumas falas bem interessantes. Destacaremos algumas respostas na tabela a seguir, relacionando-a com os aspectos sobre a Ciência que identificamos:

Tabela 36 - Justificativas não esperadas a questão 5 subitem b (texto I)

Respostas Apresentadas	Ideia Central
<p>“(…) quanto mais recente a teoria é mais lógica era parece ser”. G2</p> <p>“Mostra que ao passar do tempo o desenvolvimento do conhecimento vai evoluindo, e na maior parte das vezes vai sendo quebradas teorias que antes eram aceitas como verdadeiras”. F5</p>	Ideia de evolução
<p>“O desenvolvimento científico não se dá do dia para a noite e que opiniões estão sujeitas a fatores externos (…)”. G5</p>	Influência de Fatores externos
<p>“Mostra que conforme as concepções sobre a natureza vão mudando o desenvolvimento do conhecimento científico também”. F14</p>	Provisoriedade do conhecimento
<p>“Essa diferença nos mostra que os pressupostos teóricos influenciam no resultado final da teoria, e que as ideias aceitas podem ser sujeitas a mudanças”. F13</p>	Influência das ideias e provisoriedade do conhecimento

Nesse subitem foi recorrente o posicionamento relacionado à diferença entre o pensamento de Aristóteles e a teoria do *impetus*, manifestando a evolução do conhecimento científico. Esses discursos nos permitem identificar que os alunos tem presente de forma intensa a ideia de evolução e de linearidade. É possível perceber que eles se referem a evolução como acúmulo de conhecimento.

Categoria C – 28,57%

Respostas inconsistentes para análise.

c) É possível que algo semelhante possa acontecer com relação às explicações atuais sobre o movimento?

Nosso objetivo era identificar se os alunos admitem a controvérsia sobre conhecimentos atualmente bem aceitos.

Nas respostas apresentadas pelos alunos, encontramos posicionamentos em relação a possibilidade de mudança, em relação aos conhecimentos sobre o movimento, ou seja, eles caminharam na direção de responder que o conhecimento atualmente aceito sobre o movimento pode deixar de ser válido para ser substituído por outra teoria ou sofrer modificações. A questão acabou sendo interpretada de maneira parecida com a questão 7 (sobre a relatividade) do questionário inicial.

O gráfico apresentado a seguir mostra o percentual de alunos que indicaram ser possível a mudança (SIM) e os que afirmaram que o conhecimento sobre o movimento já está estabelecido, não havendo possibilidade de mudança (NÃO).

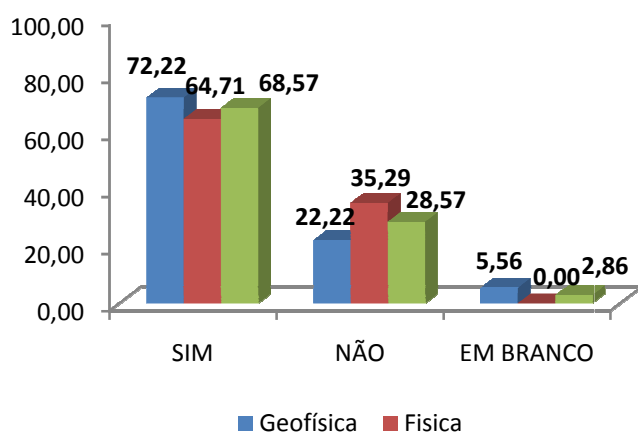


Gráfico 12 – Respostas à questão 5 subitem c (texto I).

A tabela que se segue, apresenta as justificativas apontadas pelos alunos.

Tabela 37 - Justificativas à questão 5 subitem c (texto I)

Categorias	Turma I	Turma II	Total
Sim, pois podem aparecer novos fatos (AI)	10 (55,56)	8 (47,06)	18 (51,43)
Sim, pois qualquer teoria pode mudar (AII)	3 (16,67)	3 (17,65)	6 (17,14)
Não, sem justificativas (BI)	4 (22,22)	3 (17,65)	7 (20,00)
Não, pois os fatos já estão explicados (BII)	0 (0,00)	3 (17,65)	3 (8,57)
Em Branco (C)	1 (5,56)	0 (0,00)	1 (2,86)

Categoria (AI) – 51,43%

Aqui aparece a ideia de que novos fatos podem ser descobertos e possibilitam alguma mudança. A maioria dos alunos admite que é o aparecimento de novos fatores que possibilita a mudança. Nenhum dos alunos mencionou a ideia de que os mesmos fatos podem ter interpretações diferentes.

Acredito que sim, não seria de se admirar que se descobrisse novos elementos que atuaria no movimento dos corpos já que a pesquisa está cada vez mais evoluindo. F2

Categoria (AII) - 17,14%

Os alunos afirmaram que a de mudança é possível para qualquer área do conhecimento.

Sim, apesar de algumas leis nos parecerem definitivas, qualquer conhecimento pode mudar. G5

Categoria (BI) – 20,00%

Nessa categoria os alunos afirmaram que o conhecimento sobre movimento não muda, mas não apresentaram justificativa.

Acredito que nada de novo sobre a explicação do movimento dos corpos podem existir. F1

Categoria (BII) – 8,57%

Para os alunos inseridos nessa categoria, novas questões sobre o movimento não aparecerão, posto que já existem explicações suficiente para exemplificar todos os movimentos que conhecemos.

Acho que não, porque nos conseguimos explicar os movimentos que conhecemos e eles foram comprovados com diversos experimentos. G9

Em resumo, o questionário relativo ao texto I procurou identificar a compreensão dos alunos quanto aos aspectos apontados no texto I. Percebemos que dentro das questões que envolviam compreensão/interpretação dos textos, os pesquisados não se saíram muito bem, posto que houveram confusões acerca da compreensão do termo inercial/não- inercial; o que evidencia que tal conceito não fica claro para os mesmos.

3.2.4 O Questionário do Texto II

Assim como no anterior, esse questionário teve como objetivos estimular a leitura, fazer com que o aluno retomasse alguns aspectos do texto, interpretando-o e fornecer elementos para averiguarmos o que o aluno conseguiu compreender sobre inércia e aspectos da NdC apontados.

Esse questionário é composto de 4 perguntas, dentre as quais duas tratam de conteúdo de NdC (questão 1 e 4), uma aborda o aspecto histórico (questão 2) e uma contempla o conceito de inércia (questão 3).

Questão 1

É possível identificar, ao longo do texto, a ideia de que fatores externos à ciência influenciaram o seu desenvolvimento? Você acredita que isso possa ocorrer hoje em dia? Justifique cada uma das perguntas.

No tocante a primeira parte da questão, todos os alunos afirmaram que o texto apresenta aspectos que indicam que fatores externos a Ciência, influenciam seu desenvolvimento. No entanto, ao justificarem suas respostas, pudemos encontrar a relação entre a Ciência e Religião, em dois sentidos, além de respostas que se desviaram da pergunta. A tabela esquematiza as respostas:

Tabela 38 – Resposta à questão 1 – primeira parte (texto II)

Categoria	Turma I	Turma II	Total
Ciência e Religião – impedir o progresso (AI)	13 (72,22)	14 (82,35)	27 (77,14)
Ciência e Religião – presente no texto (AII)	4 (22,22)	3 (17,65)	7 (20,00)
Respostas vagas ou inconsistentes (B)	1 (5,56)	0 (0,00)	1 (2,86)

Categoria AI – 77,14%

A grande maioria dos alunos apontou a relação ciência-religião, identificando a repressão da Igreja sobre a Ciência, principalmente através da Inquisição. Vale destacar que esse aspecto não foi abordado no texto. Notemos o que diz o aluno G3:

Sim, de certa forma a igreja condenava o desenvolvimento da ciência. Um exemplo é que queimavam na fogueira alguns intelectuais da época. E nos

dias de hoje ainda há um grande impasse entre igreja e ciência, pois a igreja condena o uso de células embrionárias, clonagem humana, etc.

Categoria AII – 20%

Os alunos que se encaixam nessa categoria fizeram menção à influência da concepção de Deus no pensamento dos estudiosos (Descarte e Newton). Esse era o aspecto central dessa questão, que foi deixado de lado pela maior parte dos sujeitos.

Sim. Muitos dos pensadores e filósofos daquela época acreditavam em um deus, e a religião e as escrituras influenciaram no desenvolvimento das ideias propostas. Um exemplo é a fala de Descartes que disse que Deus criou uma quantidade de movimento e que esse movimento tende a ser infinito da mesma forma que Deus. Sim. Da mesma forma que houve influências naquela época, pode haver hoje. G4

Categoria B – 2,86%

Respostas inconsistentes.

Em relação a segunda parte da pergunta, se o mesmo pode acontecer nos dias atuais, os alunos expressaram-se conforme mostra a tabela:

Tabela 39 – Respostas à questão 1 – segunda parte (texto II)

Categoria	Turma I	Turma II	Total
Aconteceu no passado, mas não ocorre mais nos dias de hoje (A).	6 (33,33)	5 (29,41)	11 (31,43)
Sim, pode ocorrer sempre (B).	5 (27,78)	8 (47,06)	13 (37,14)
Sim pode acontecer mas com menor intensidade (C).	5 (27,78)	3 (17,65)	8 (22,86)
Respostas inconsistentes (D)	2 (11,11)	1(5,88)	3 (8,57)

Categoria (A) 31,43%

Nessa categoria os alunos afirmaram que a influência dos fatores externos aconteceu no passado, mas que nos dias atuais a Ciência se afasta desse tipo de situação, que ela está mais racional:

Fatores externos à ciência podem ter influência na forma de pensamento dos pensadores antigos, por exemplo as concepções teológicas diferentes entre Newton e Descartes, mas de forma geral, não interferiram no desenvolvimento da ciência, a mecânica newtoniana funciona com ou sem Deus no universo. Acredito que não ocorra hoje em dia, pois é conhecido que para produzir conhecimento científico deve-se deixar de lado fatores externos. F13.

Vale considerar que como escolhemos um aspecto em que a relação de influência se estabeleceu pela concepção de Deus na física de Descartes e Newton (salientando que não foi apenas esse aspecto contemplado no texto II, também pontuamos a influência de aspectos como a renascença, a imprensa, a descoberta do “novo mundo”). Muitos alunos pensaram nessa relação, estabelecendo uma dicotomia entre Ciência e a Religião, logo, se a influência ocorre, ela é negativa. Isso também ficou evidente pelo discurso dos pesquisados durante as aulas.

Categorias (B) 37,14%

Para esses alunos os fatores externos podem influenciar sempre, assim como ocorreu no passado, esse é uma evidência presente no desenvolvimento científico também nos dias atuais.

Podem sim, os fatores externos estarão presentes no desenvolvimento da ciência, porque, antes de tudo a ciência de certa forma é dependente delas para obter suas próprias orientações. F9

Sim, pois mesmo nós sendo mais evoluídos moralmente e tecnologicamente do que os grandes pensadores antigos, o meio sempre influencia na forma de pensar e de agir do ser humano. F17

Alguns alunos afirmaram, inclusive, que essa influência é por vezes determinante.

A ciência se desenvolve a partir de conhecimentos anteriores, que amplia ou contrapõe, e os fatores sociais, externos, são extremamente importantes, algumas vezes decisivos. F1

Vale salientar que para a maioria dos alunos, a influência ocorre no aspecto religioso e essa intervenção é vista de maneira a retardar o avanço. Esse fato é expresso tanto em relação com o passado, quando na relação com o presente. Essa ideia está presente também no questionário inicial, na indagação 5.

Categoria (C) 22,86%

Para esses alunos, a ciência pode sofrer influência de fatores externos atualmente, mas esse fato ocorre em menor intensidade do que ocorreu no passado.

Hoje em dia isso pode ocorrer, mas é claro, com menos intensidade do que foi no passado, porque ainda existem princípios que precisam ser quebrados. F10

Embora haja proximidade com a categoria passada, os alunos não descartam essa influência. De acordo com o trecho que ilustra essa categoria, apresentado acima, podemos observar que o pesquisado ainda vê a ciência como se fosse refém de determinados “preconceitos”. Podemos inferir que para o alunato, isso tende a não ocorrer com o passar dos anos, ou seja, a Ciência a cada tempo que passa, vai se tornando cada vez mais neutra.

Com essa questão foi possível identificar que a maior parte dos alunos (54,29% correspondentes a soma das categorias A e C), não consegue perceber que a influência de fatores externos é algo intrínseco ao processo de desenvolvimento da Ciência.

Questão 2

Qual a grande contribuição de Galileu para a construção do conceito de inércia?

Essa foi uma questão que exigiu certa compreensão do texto, pois não é encontrada diretamente e como mencionamos, os alunos expressaram dificuldade em relação a esse tipo de questão. Na tabela abaixo apresentamos os aspectos destacados quanto a contribuição de Galileu. Nessa questão optamos por não estabelecer categorias, pois as respostas se mostraram bem diferentes, e não gostaríamos de minimizar a riqueza dos discursos dos alunos. Dessa maneira, a tabela abaixo apresenta as ideias gerais das respostas dos sujeitos:

Tabela 40 – Respostas à questão 2 (texto II)

Respostas Apresentadas	Aluno(s)
Galileu introduz a ideia de que um movimento pode ocorrer sem que haja um motor agindo sobre o corpo.	F1, G6, G9, G10, G11, G12, G16, G17, G18
A inércia pensada por Galileu é uma espécie de inércia circular e não retilínea.	F2
Deu continuidade ao trabalho de Giordano Bruno e estabeleceu um pré-conceito de inércia.	F3
Galileu estabeleceu novas bases para construção do conhecimento científico, ênfase na experimentação e matemática.	F4
Ele chegou à forma quase final de inércia.	F5
Mais se aproximou da concepção atual de inércia, além de fazer experimentos.	F6

Ao defender o modelo geocêntrico, aceitando a mobilidade terrestre, estabelece uma ideia de inércia e apresenta os princípios básicos da relatividade do movimento.	F7
Começou a formar o conceito de inércia e estabeleceu rupturas em relação à várias ideias aristotélica.	F 9, F10
Galileu entendeu que um corpo pode estar em movimento sem ação de uma força, mesmo usando a palavra <i>impetus</i> , sua ideia é próxima ao conceito de inércia moderna.	F8, F13
Ele estabeleceu a ideia de inércia.	F 11, F14
Pode ser considerado o “pai da inércia”, redefiniu o conceito de impetus se aproximando a atual ideia de inércia, além de conseguir comprovar o movimento da terra (modelo de Copérnico).	F12, F17
Começa a considerar o movimento uniforme como um estado natural, apesar de conceber o movimento circular	F15
Para ele algo deve permanecer no movimento e dar continuidade a ele sem a ação de uma força, mas essa versão da inércia é uma espécie de inércia circular.	F16
Estabeleceu a experimentação como fundamento do método científico, os experimentos com o plano inclinado fizeram ele se aproximar da ideia de inércia.	G1, G3, G8
Ele atraído pela teoria de Copérnico tenta dar suporte a ela.	G2, G7
A concepção de impetus de Galileu contribuiu para a definição de inércia.	G5
Ao contestar o modelo geocêntrico ele chegou a uma ideia de inércia, mas ele não utilizou essa palavra.	G13
Utilizando experimentos com o plano inclinado Galileu aproximou-se da ideia atual de inércia, porém muitos acreditam que essa inércia era uma inércia circular.	G14
A lei da queda dos corpos	G15
Respostas vagas ou inconsistentes	G4

Questão 3

Suponhamos a seguinte situação: um homem encontra-se no interior de um trem lançando dardos em um alvo fixo. Inicialmente, com o trem em repouso em relação um referencial fora do trem, o homem acerta os dardos bem no centro do alvo. Em outro momento, o trem passa a se deslocar em movimento retilíneo e uniforme em relação ao mesmo referencial. Para cada uma das situações abaixo, explique como esse homem deverá fazer a mira para que continue acertando o centro do alvo.

Consideraremos para os subitens da primeira parte da pergunta duas alternativas: MUDA, para aqueles que apontam que o homem deve fazer algum tipo de mudança na mira para continuar acertando o alvo e NÃO MUDA, para os que consideram que não há necessidade de qualquer tipo de mudança na forma de mirar.

a) Quando o homem e o alvo estão alinhados na mesma direção do deslocamento do trem, e o lançamento se dá no sentido contrário a esse deslocamento. Justifique.

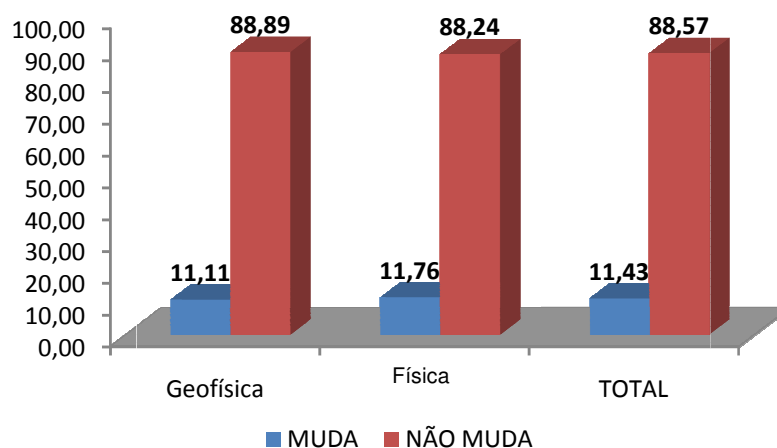


Gráfico 13 – Respostas à questão 3 subitem a (texto II)

A tabela abaixo apresenta as justificativas dos alunos para a resposta acima.

Tabela 41 - Justificativas à questão 3, subitem a (texto II)

Categoria	Turma I	Turma II	Total
Não muda, pois o homem está em repouso em relação ao trem, em função do movimento uniforme (AI).	14 (77,78)	14 (82,35)	28 (80,00)
Não muda, pois está na mesma direção (AII)	2 (11,11)	1 (5,88)	3 (8,57)
Muda, o homem deve aplicar uma força de maior intensidade (B)	2 (11,11)	2 (11,76)	4 (11,43)

Categoria (AI) 80,00%

Representa a maioria dos alunos que responderam que não há diferença na forma de mirar, uma vez que não existe movimento relativo entre o trem e o homem. Como não há forças atuando o movimento deve ser o mesmo. Os alunos indicam uma compreensão de que, sendo o movimento do trem um movimento uniforme, não há nenhuma força resultante atuando sobre os corpos nesse referencial, por isso a situação é similar ao trem em repouso. O argumento transcrito abaixo ilustra esse posicionamento:

Devemos manter a mesma técnica de mira, pois apesar de estar em movimento, é um movimento uniforme, então dá no mesmo que estar parado, pois a velocidade é constante e estou na mesma direção, só o sentido é oposto. F6

Categoria (AII) 8,57%

Embora os alunos enquadrados nesta categoria justifiquem que não há mudanças em relação à mira, eles atribuem isso ao fato do movimento ser na mesma direção do tiro. Esses alunos não fizeram referência à necessidade de aplicar uma força maior no dardo, o que os colocaria na categoria seguinte, mas é possível inferir que eles não tenham compreendido corretamente a ideia de inércia, pois, não mantiveram para o subitem seguinte (quando há uma mudança de direção) uma justificativa correta.

Deve-se mirar exatamente no alvo, uma vez que os dardos se movimentarão na mesma direção, porém em sentidos opostos. F15

Notemos que o aluno menciona o fato do trem e o dardo estarem em sentidos opostos, o que não interfere em nada na maneira com que o homem deve refazer sua mira, uma vez que o trem se desloca com velocidade constante.

Categoria (B) 11,43%

Para esses alunos, embora não haja uma mudança relacionada a direção (pois trem e alvo estão na mesma direção), o homem deveria lançar o dardo com mais força, pois está lançando em sentido oposto ao deslocamento do trem. Essa justificativa sugere que estes sujeitos estão considerando haver uma força contrária ao movimento do dardo na direção do movimento do trem. A resposta apresentada pelo aluno G18 mostra essa situação:

O homem terá que aplicar maior força que o normal para o lançamento do dardo, pois ele está em sentido contrário o movimento do trem.

a) Quando o homem e o alvo estão alinhados numa direção perpendicular a do deslocamento do trem. Justifique.

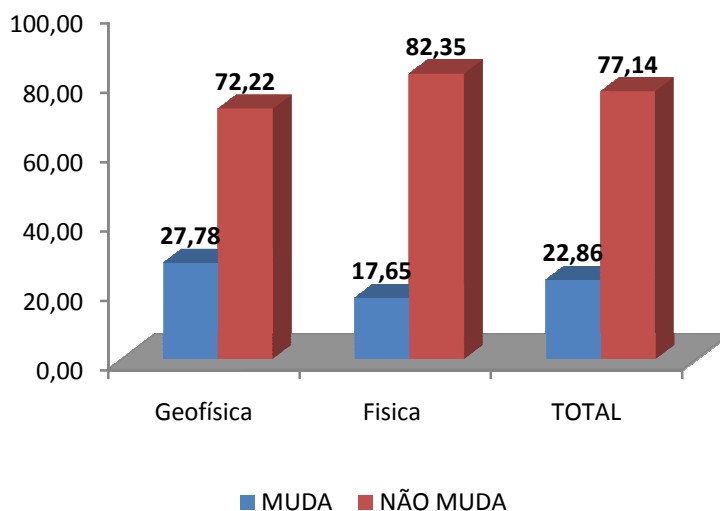


Gráfico 14 – Respostas à questão 3 subitem b (texto II)

Tabela 42 - Justificativas à questão 3 subitem b (texto II)

Categoria	Turma I	Turma II	Total
Não muda, pois não há movimento relativo entre o homem e o trem (A).	13 (72,22)	14 (82,35)	27 (77,14)
Muda, pois deve levar em conta o movimento perpendicular (BI).	5 (27,78)	1 (5,88)	4 (11,43)
Muda, deve fazer um movimento parabólico (BII).	0 (00,00)	1 (5,88)	1 (2,86)
Respostas inconsistentes (C)	0 (0,00)	1 (5,88)	1 (2,86)

O percentual de acertos do subitem anterior era de 88,57% e caiu cerca de 10%, totalizando assim, 77,14%.

Categoria (A) 77,14%

Assim como a categoria AI do subitem a, aqui os alunos consideraram não haver qualquer necessidade de mudança na maneira como o homem lançava os dardos. Tal concepção é apresentada pelo aluno G14:

Bem como o alvo está parado em relação ao homem basta continuar jogando os dardos da mesma forma que jogava anteriormente.

Categoria (BI) 11,43%

Para esses alunos, a mira sofrerá mudança pois a direção de movimento dos dardos é perpendicular ao deslocamento do trem. Os alunos estão considerando que no dardo atua em uma força na direção do deslocamento do trem, modificando sua direção, por isso, o homem deve compensar essa variação com um deslocamento para direita.

Deve-se mirar diagonalmente para fora do alvo (para direita), pois o movimento do trem perpendicular ao dos dardos influenciará a direção dos dardos em relação ao alvo. F15

Categoria (BII)

O aluno F3, cuja resposta é descrita abaixo, também considera que haverá uma mudança, mas ele afirma que a nova mira sofrerá um desvio em movimento parabólico. Pela justificativa apresentada não é possível compreender o que significa o movimento parabólico.

Tem que mirar no alvo e jogar o dardo fazendo um movimento de parábola. F3.

O objetivo dessa questão era verificar se os sujeitos compreendiam e utilizavam o conceito de inércia na situação dada. Consideramos o índice positivo, principalmente se pensarmos nas questões sobre inércia do questionário inicial, onde o índice de erros foi bem acentuado (questões 5, 6, 7 e 9).

Questão 4

O que você acredita haver aprendido sobre o desenvolvimento do conhecimento científico após o estudo desses dois textos históricos?

Nessa questão, objetivávamos identificar se os pesquisados eram capazes de perceber ou aproximaram-se dos aspectos de NdC que apontamos ao longo dos textos. Nesse sentido, para essa análise, as categorias foram estabelecidas a priori.

Tabela 43 – Respostas à questão 4 (texto II)

Categoria	Turma I	Turma II	Total
Relacionadas a provisoriedade do conhecimento científico (A)	2 (11,11)	5 (29,41)	7 (20,00)
Sobre a controvérsia na ciência (B)	2 (11,11)	2 (11,76)	4 (11,43)
Sobre a influência de fatores externos na ciência (C)	3 (16,67)	1 (5,88)	4 (11,43)
Nenhum dos aspectos de NdC selecionados (D)	1 (5,56)	2 (11,76)	3 (8,57)
Respostas vagas ou inconsistentes (E)	10 (55,56)	7 (41,18)	17 (48,57)

Categoria (A) – 20,00%

Os alunos responderam que foi possível aprender ao longo da história que o conhecimento científico é provisório e pode sofrer mudanças. De acordo com a tabela podemos perceber que esse aspecto foi o mais mencionado.

O conhecimento científico está sempre mudando, para se formular uma lei física (...) pode demorar centenas de anos. G17

Dentre as repostas apresentadas, podemos perceber que alguns admitiram uma provisoriedade no passado, ou seja, eles deixam subentendido que o conhecimento foi

mudando até que se chegou ao ponto aceito. No entanto, não fica claro o que eles pensam acerca desta questão como algo que é próprio do desenvolvimento científico.

Aprendemos que o conhecimento científico passa por diversos questionamentos e diversas fases até ser consolidado... G9

Notemos que o aluno usa o verbo no presente (passa) dando ideia de que é algo constante, mas finaliza: “até ser consolidado”, indicando que essa mudança acontece até chegar ao “certo”.

Categoria (B) – 11,43%

Sobre a controvérsia na ciência, os alunos indicaram que o desenvolvimento científico está atrelado à controvérsia, no entanto, este termo não foi utilizado, mas ao contrário, os termos que eles utilizaram, não deixa claro o entendimento que tem dessa controvérsia.

O conhecimento científico se dá através de contribuições e principalmente de pesquisa, que muitos cientistas tratam dos assuntos de várias visões, porém todos contribuem. F5

Categoria (C) – 11,43%

Com relação a influencia de fatores externos na Ciência, os alunos que caminharam na direção dessas respostas, pareceram ser mais claros em suas apresentações:

(...) sendo constituído esse conceito através de causas internas e externas, (...) fatores sociais e históricos influenciaram a síntese desse conhecimento na ciência (...). F1

Vemos aqui a afirmação do aluno, propondo que os fatores externos influenciaram (no passado), é possível que este sujeito não esteja atento para que esse fato seja algo contínuo.

Na tabela abaixo destacamos algumas respostas apresentadas pelos alunos, que consideramos interessantes, mas que não tem relação estreita com nenhum dos três aspectos selecionados de NdC, ou mesmo que não responderam objetivamente ao que era pedido no enunciado, como por exemplo, a resposta apresentada pelo aluno G3.

Tabela 44 - Respostas destacadas em relação à questão 4 (texto II)

Respostas
<i>(...) Torna a assunto mais interessante, pois na física, pouco sabemos sobre a história das teorias, apenas aprendemos a fazê-la e usá-la nas atividades e experimento. G3</i>
<i>(...) Muitas pessoas sem perceber possuem um pensamento aristotélico. G6</i>
<i>O conceito de inércia formulado por Newton teve a contribuição de uma série de pensadores ao longo da história, os quais influenciaram Newton com suas descobertas e teorias. G8</i>
<i>Aprendi que ainda possuo um pensamento meio Aristotélico. G11</i>
<i>(...) Aprendi que filósofos outrora desconhecidos por mim influenciaram bastante na história da ciência, com suas ideias (...). F2</i>
<i>Para produzir conhecimento científico de forma objetiva, deve deixar de lado crenças e costumes, e levar em conta apenas os resultados depois de passarem por um laboratório que confirme a teoria. F13</i>
<i>Aprendi que o conhecimento científico se dá com a contribuição e pesquisa de cientistas anteriores. F17</i>

De acordo com as respostas apresentadas acima, é possível identificar que alguns dos alunos (42,86% correspondente a soma das categorias A, B e C) mencionaram os aspectos de NdC que objetivamos discutir. Eles se posicionaram sobre a provisoriedade do conhecimento científico, sobre a controvérsia na ciência e sobre a influência de fatores extracientíficos. Ainda apareceram outros aspectos como, a colaboração de diversos pensadores para a consolidação de uma teoria, etc.

No questionário relativo ao texto II, referente a questão sobre inércia (questão 3), os alunos apresentaram um índice maior de acerto, quando comparados com os índices obtidos no questionário inicial. Quanto as questões relativas à NdC (questão 1 e 4), identificamos uma influência de argumentos utilizando os textos como exemplo para justificar a influência de fatores externos à Ciência. Pudemos perceber aproximadamente metade dos alunos identificaram no texto as questões de NdC que selecionamos.

De maneira geral, pudemos identificar que os alunos leram os textos, fizeram referência a eles. Mas, como mencionado anteriormente, as respostas muitas vezes são extremamente concisas.





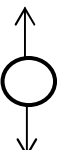
3.2.5 O Questionário Final

Iremos apresentar tabelas e gráficos (quando necessário) com os dados do questionário final, comparando-os com os resultado do questionário inicial (reapresentado abaixo do percentual atual com fonte menor e na cor azul) para que seja possível perceber a mudança ou não, que ocorreu em relação às respostas.

Apresentaremos o primeiro bloco de questões (Bloco I) que compreende as questões 1 a 4 que envolve o lançamento vertical para cima.






Questão 1 (representação da(s) força(s) durante a subida)

Tabela 45 - Respostas à questão 1 (quest. final)

	A) 	B) 	C) 	D) 	E) Iguais 
Turma I	1 (5,56) 1 (5,56)	0 (0,00) 1 (5,56)	10* (55,56) 3* (16,67)	7 (38,89) 12 (66,67)	0 (0,00) 1 (5,56)
Turma II	0 (0,00) 1 (5,88)	0 (0,00) 2 (11,76)	11* (64,71) 2* (11,76)	5 (29,41) 11 (64,71)	1 (5,88) 1 (5,88)
TOTAL	1 (2,86) 2 (5,71)	0 (0,00) 3 (8,57)	21* (60,00) 5* (14,29)	12 (34,29) 23 (65,71)	1 (2,86) 2 (5,71)






Questão 2 (representação da(s) força(s) na posição mais alta da trajetória)

Tabela 46 - Respostas à questão 2 (quest. final)

	A) 	B) Iguais 	C) 	D) 	E) Nula 
Turma I	1 (5,56) 0 (0,00)	1 (5,56) 0 (0,00)	0 (0,00) 1 (5,56)	13* (72,22) 16* (88,89)	3 (16,67) 1 (5,56)
Turma II	0 (0,00) 2 (11,76)	2 (11,76) 6 (35,29)	1 (5,88) 0 (0,00)	14* (82,35) 6* (35,29)	0 (0,00) 3 (17,65)
TOTAL	1 (2,86) 2 (5,71)	3 (8,57) 6 (17,14)	1 (2,86) 1 (2,86)	27* (77,14) 22* (62,86)	3 (8,57) 4 (11,43)






Questão 3 (representação da(s) forças na descida)

Tabela 47 - Resposta à questão 3 (quest. final)

	A) 	B) 	C) 	D) Nula 	E) 
Turma I	16* (88,89) 10* (55,56)	1 (5,56) 1 (5,56)	1 (5,56) 7 (38,89)	0 (0,00) 0 (0,00)	0 (0,00) 0 (0,00)
Turma II	17* (100,00) 13* (76,47)	0 (0,00) 1 (5,88)	0 (0,00) 2 (11,76)	0 (0,00) 0 (0,00)	0 (0,00) 1 (5,88)
TOTAL	33* (94,29) 23* (65,71)	1 (2,86) 2 (5,71)	1 (2,86) 9 (25,71)	0 (0,00) 0 (0,00)	0 (0,00) 1 (2,86)

Questão 4 (representação da velocidade do ponto mais alto da trajetória)

Tabela 48 - Respostas à questão 4 (quest. final)

	A) 	B) 	C) 	D) 	E) Nula 
Turma I	0 (0,00) 0 (0,00)	0 (0,00) 0 (0,00)	0 (0,00) 0 (0,00)	0 (0,00) 0 (0,00)	18* (100,00) 18* (100,00)
Turma II	0 (0,00) 1 (5,88)	0 (0,00) 0 (0,00)	0 (0,00) 0 (0,00)	0 (0,00) 0 (0,00)	17* (100,00) 16* (94,12)
TOTAL	0 (0,00) 1 (2,86)	0 (0,00) 0 (0,00)	0 (0,00) 0 (0,00)	0 (0,00) 0 (0,00)	35* (100,00) 34* (97,14)

Em relação a esse bloco (lançamento vertical para cima), os resultados do questionário inicial evidenciaram que os alunos possivelmente admitem a existência tanto da força gravitacional quanto de uma força na direção do movimento. Observando o resultado do questionário final, temos um aumento do número de acerto em todas as questões, a diferença é bem alta quando examinamos a questão 1 (que apresentou um alto índice de erro inicialmente). Observemos o gráfico a seguir que apresenta os valores totais comparando o percentual de respostas corretas para o questionário inicial e final, para a bloco de questões 1.

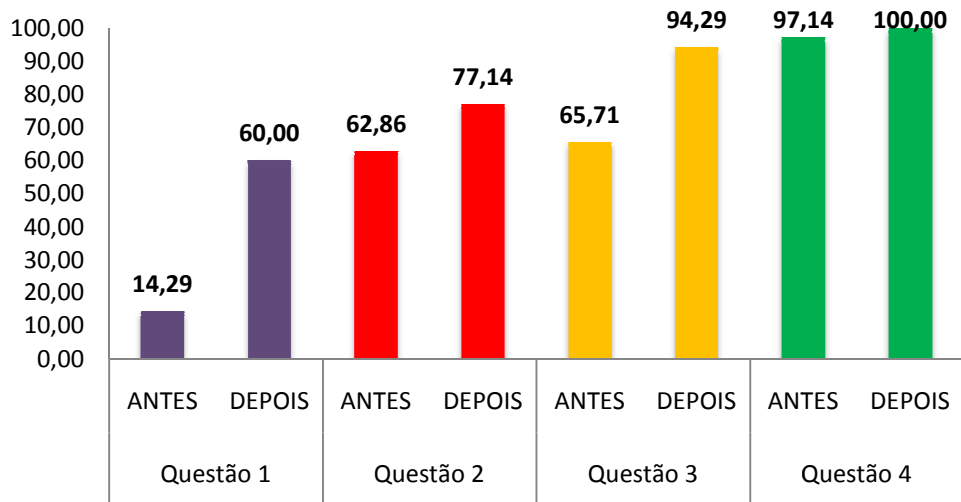






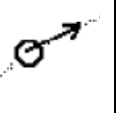
Gráfico 15 – Percentual de acerto antes e depois, bloco I

Embora o número de acertos tenha aumentado para cada uma das questões, é possível deduzir que os alguns alunos ainda estão pensando em ação de força na direção do deslocamento. Se pegarmos a questão 1, que é a situação mais fácil de identificar esse fato, temos 40% dos alunos que erraram, dentre esses 34,29% escolheram a alternativa onde atua uma força para baixo (que possivelmente os alunos atribuem a força gravitacional) e uma força de maior módulo para cima.

Questão 5 (representação da(s) força(s) na subida)

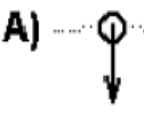
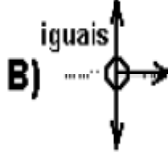
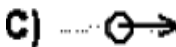


As questões 5 a 7 referem-se ao lançamento de um projétil. Os alunos deveriam marcar a alternativa que melhor representasse a ação da (s) força(s) em três posições distintas da trajetória.

Tabela 49 - Respostas à questão 5 (quest. final)

	A) 	B) 	C) 	D) 	E) 
Turma I	5 (27,28) 7 (38,89)	1 (5,56) 3 (16,67)	1 (5,56) 7 (38,89)	10* (55,56) 1* (5,56)	1 (5,56) 0 (0,00)
Turma II	4 (23,53) 10 (58,82)	1 (5,88) 2 (11,76)	2 (11,76) 4 (23,53)	10* (58,82) 1* (5,88)	0 (0,00) 0 (0,00)
TOTAL	9 (25,71) 17 (48,57)	2 (5,71) 5 (14,29)	3 (8,57) 11 (31,43)	20* (57,14) 2* (5,71)	1 (2,86) 0 (0,00)

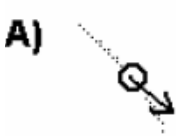
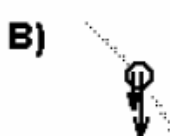

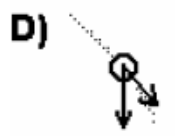

Questão 6 (representação da(s) força(s) no ponto mais alto da trajetória)

Tabela 50 - Respostas à questão 6 (quest. final)

					
Turma I	13* (72,22) 1* (5,56)	3 (16,67) 0 (0,00)	1 (5,56) 1 (5,56)	1 (5,56) 16 (88,89)	0 (0,00) 0 (0,00)
Turma II	11* (64,71) 1* (5,88)	1 (5,88) 5 (29,41)	0 (0,00) 1 (5,88)	5 (29,41) 9 (52,94)	0 (0,00) 1 (5,88)
TOTAL	24* (68,57) 2* (5,71)	4 (11,43) 5 (14,29)	1 (2,86) 2 (5,71)	6 (17,14) 25 (71,43)	0 (0,00) 1 (2,86)

Questão 7 (representação da(s) força(s) na descida)

Tabela 51 - Resposta à questão 7 (quest. final)

					
Turma I	0 (0,00) 0 (0,00)	0 (0,00) 0 (0,00)	0 (0,00) 0 (0,00)	7 (38,89) 17 (94,44)	11* (61,11) 1* (5,56)
Turma II	0 (0,00) 1 (5,88)	0 (0,00) 0 (0,00)	1 (5,88) 2 (11,76)	5 (29,41) 11 (64,71)	11* (64,71) 3* (17,65)
TOTAL	0 (0,00) 1 (2,86)	0 (0,00) 0 (0,00)	1 (2,86) 2 (5,71)	12 (34,29) 28 (80,00)	22* (62,86) 4* (11,43)

Segue o gráfico comparativo do número de acertos para esse bloco de questões.

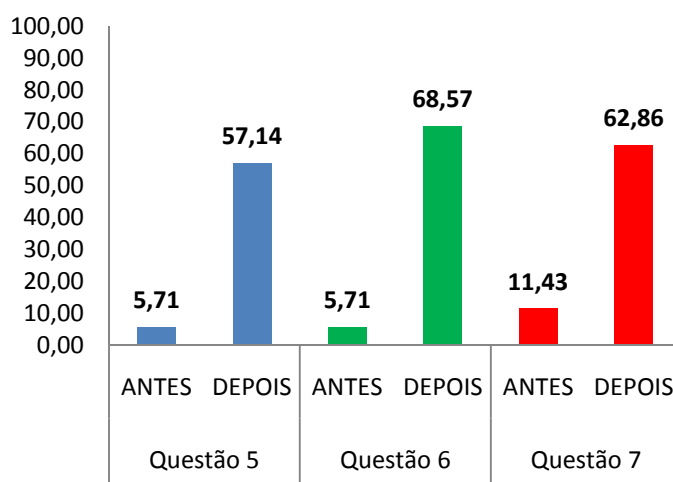


Gráfico 16 – Percentual de acertos antes e depois, bloco II

O lançamento oblíquo é normalmente um movimento de mais difícil compreensão, pois envolve composição de movimentos. Nesse bloco havia ficado ainda mais perceptível a ideia de que os alunos associavam o movimento à ação de uma força externa (o índice de erros no questionário inicial foi ainda maior do que no bloco anterior).

Assim como no bloco anterior o gráfico mostra que houve um aumento no número de acertos em cada uma das questões desse bloco. É possível que os alunos tenham sido influenciados pelas aulas e que estejam compreendendo melhor a relação força e movimento. Embora a melhora tenha sido perceptível, ainda consideramos alto o índice de erros nesse bloco.

Questão 8 (sobre o plano inclinado)

Tabela 52 - Respostas à questão 8 subitem a (quest. final)

	Igual	Acima	Abaixo
Turma I	15* (83,33) 12* (66,67)	0 (0,00) 0 (0,00)	3 (16,67) 6 (33,33)
Turma II	11* (64,71) 11* (64,71)	2 (11,76) 2 (11,76)	4 (23,53) 4 (23,53)
TOTAL	26* (74,29) 23* (65,71)	2 (5,77) 2 (5,77)	7 (20,00) 10 (28,57)

Tabela 53 - Respostas à questão 8 subitem b plano 1 (quest. final)

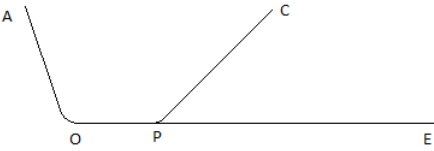
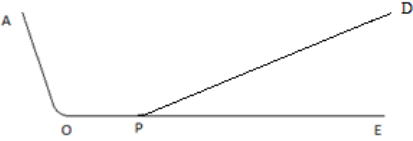
 <p style="text-align: center;">Fig. B</p>			
	Igual	Acima	Abaixo
Turma I	15* (83,33) 9* (50,00)	1 (5,56) 3 (16,67)	2 (11,11) 6 (33,33)
Turma II	10* (58,82) 9* (52,94)	2 (11,76) 3 (17,65)	5 (29,41) 5 (29,41)
TOTAL	25* (71,43) 18* (51,43)	3 (8,57) 6 (17,14)	7 (20,00) 11 (31,43)

Tabela 54 - Respostas à questão 8 subitem b plano 2 (quest. final)

 <p style="text-align: center;">Fig. C</p>			
	Igual	Acima	Abaixo
Turma I	15* (83,33) 9* (50,00)	1 (5,56) 3 (16,67)	2 (11,11) 6 (33,33)
Turma II	10* (58,82) 9* (52,94)	2 (11,76) 3 (17,65)	5 (29,41) 5 (29,41)
TOTAL	25* (71,43) 18* (51,43)	3 (8,57) 6 (17,14)	7 (20,00) 10 (28,57)

O gráfico a seguir, apresenta os dados, relativos a questão correta, apresentados ANTES (questionário inicial) e DEPOIS (questionário final).

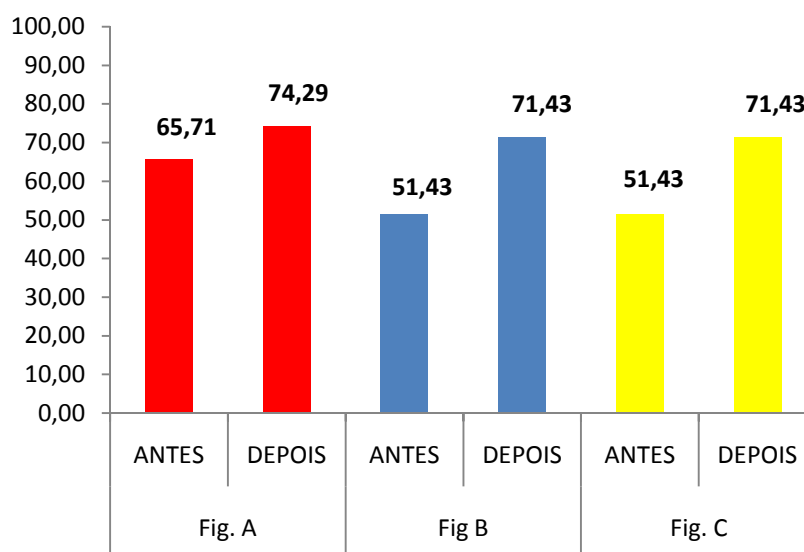


Gráfico 17 – Percentual de acertos antes e depois, questão 8

A análise do gráfico permite concluir que a quantidade de acertos para cada uma das situações representadas pelas figuras A, B e C sofreu um aumento. Para essa questão tivemos um índice maior de respostas corretas, quando comparadas com o bloco de questões I e II, para o questionário inicial, entretanto, a resposta correta dos sujeitos se deu a partir da utilização do conceito de energia para as justificativas. O interessante dessa questão é observar a justificativa apresentada pelos alunos, que é representada na tabela abaixo.

Tabela 55 - Justificativas à questão 8 subitem b (quest. final)

Categorias	Turma I	Turma II	Total
Conservação de Movimento/Inércia (A)	12 (66,67) 2 (11,11)	7 (41,18) 1 (5,88)	19 (54,29) 3 (8,57)
Conservação de Energia (B)	2 (11,11) 5 (27,78)	2 (11,76) 5 (29,41)	4 (11,43) 10 (28,57)
Inclinação do Plano (C)	2 (11,11) 10 (55,56)	5 (29,41) 7 (41,18)	7 (20,00) 17 (48,57)
Sem Justificativa (D)	2 (11,11) 1 (5,56)	3 (17,65) 3 (17,65)	5 (14,29) 4 (11,43)
Em Branco ou vaga (E)	0 (0,00) 0 (0,00)	0 (0,00) 1 (5,88)	0 (0,00) 1 (2,86)

Inicialmente, a maioria das questões corretas foi justificada a partir da ideia de energia e atrito. De acordo com a tabela, é possível perceber uma diminuição dessas opções de

respostas e um aumento na justificativa de que a esfera atinge a mesma altura por inércia ou conservação do movimento. Esse fato é um indicativo de que os alunos podem ter sido influenciados pelas aulas.

No subitem C, eles deveriam responder por quanto tempo o movimento duraria caso não houvesse o plano ascendente.

A tabela apresenta o resultado para esse questionário. Abaixo, o índice apresentado no questionário inicial.

Tabela 56 - Justificativas à questão 8 subitem c (quest. final)

Categorias	Turma I	Turma II	Total
Movimento infinito, por conservação de energia (AI)	8 (44,44) 6 (33,33)	11 (64,71) 8 (47,06)	19 (54,29) 14 (40,00)
Movimento infinito, por inércia (AII)	10 (55,56) 4 (22,22)	6 (35,29) 2 (11,76)	16 (45,71) 6 (17,14)
Movimento uniforme (B)	0 (0,00) 3 (16,67)	0 (0,00) 4 (23,53)	0 (0,00) 7 (20,00)
Até parar (C)	0 (0,00) 4 (22,22)	0 (0,00) 3 (17,65)	0 (0,00) 7 (20,00)
Em branco (D)	0 (0,00) 1 (5,56)	0 (0,00) 0 (0,00)	0 (0,00) 1 (2,86)

Aqui, também podemos observar que houve um aumento de justificativas utilizando o conceito de inércia, mas ainda manteve-se a tendência a justificar a partir da ideia de energia. Essa tendência foi maior na turma de física.

Questão 9 (escuna em movimento uniforme)

Tabela 57 - Respostas à questão 9 (quest. final)

	Ponto P	Ponto Q	Ponto R	Ponto S	Em branco
Turma I	0 (0,00) 0 (0,00)	16* (88,89) 9* (50,00)	2 (11,11) 8 (44,44)	0 (0,00) 0 (0,00)	0 (0,00) 1 (5,56)
Turma II	0 (0,00) 0 (0,00)	14* (82,35) 7* (41,18)	3 (17,65) 8 (47,06)	0 (0,00) 2 (11,76)	0 (0,00) 0 (0,00)
TOTAL	0 (0,00) 0 (0,00)	30* (85,71) 16* (45,71)	5 (14,29) 16 (45,71)	0 (0,00) 2 (5,71)	0 (0,00) 1 (2,86)

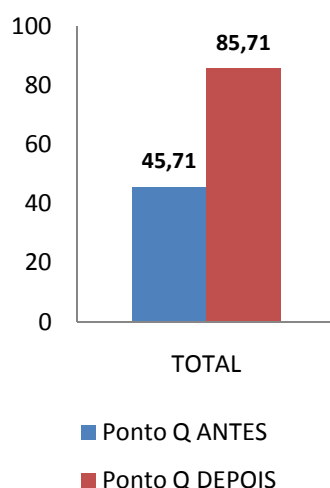


Gráfico 18– Percentual de acertos antes e depois, questão 9

Pelo gráfico podemos perceber que, assim como aconteceu nas questões anteriores, houve um aumento no percentual de alunos que escolheram a alternativa correta no questionário final.

Embora a inércia seja um conteúdo que os alunos estudam no ensino médio, o questionário inicial evidenciou que os alunos ainda traziam elementos de concepções alternativas (correspondente as apontadas por Valadares, 1995). Esse aspecto mostra que a inércia é um conteúdo de difícil compreensão. Pudemos perceber, também, que houve um aumento, em todas as questões, no número de acertos, inclusive nas justificativas apresentadas pelos alunos, que devem ter sido influenciados pela sequência didática aplicada.

PARTE II

Nas questões sobre a Natureza da Ciência, a análise das respostas nos permitiu manter para o questionário final as mesmas categorias usadas na interpretação do questionário inicial. Apenas em uma das questões foi necessário acrescentar uma nova categoria. Além disso, como observaremos ao longo da análise, houve pouca mudança em relação às respostas iniciais.

Questão 1 (sobre as finalidades da ciência)

Que objetivos ou finalidades tem a ciência, no seu ponto de vista?

Tabela 58 - Respostas à questão 1 - parte II (quest. final)

Categoria	Turma 1	Turma 2	Total
Compreensão/explicação da natureza (A)	13 (72,22) 10 (55,56)	12 (70,59) 12 (70,59)	25 (71,43) 22 (62,86)
Caráter utilitarista da ciência (B)	4 (22,22) 7 (38,89)	4 (23,53) 4 (23,57)	8 (22,86) 11 (31,43)
Modelizar (C)	0 (0,00) 0 (0,00)	1 (5,88) 1 (5,88)	1 (2,86) 1 (2,86)
Respostas vagas ou em branco (D)	0 (0,00) 1 (5,56)	0 (0,00) 0 (0,00)	0 (0,00) 1 (2,86)

Nessa questão mantivemos praticamente a mesma estrutura (na turma de física, os pesquisados mantiveram as mesmas respostas apresentadas no questionário inicial), a visão mais comum quanto aos objetivos da Ciência, na opinião dos alunos, é compreender a natureza. Houve uma pequena mudança no que se refere ao percentual de alunos que atribuíram um caráter utilitarista à ciência, que parecem ter migrado para categoria A, na turma de geofísica.

Questão 2 (sobre ciência e outras formas de conhecimento)

Para você, o que diferencia a Ciência de outras formas de conhecimento, como a religião ou a filosofia, por exemplo?

Tabela 59 - Respostas à questão 2 - parte II (quest. final)

Categorias	Turma I	Turma II	Total
Pode ser testada (é experimental) (A)	8 (44,44) 5 (27,78)	5 (29,41) 5 (29,41)	13 (37,14) 10 (28,57)
É um conhecimento concreto, objetivo (B)	0 (0,00) 4 (22,22)	2 (11,76) 5 (29,41)	2 (5,71) 9 (25,71)
Tem um método (C)	4 (22,22) 1 (5,56)	6 (35,29) 3 (17,65)	10 (28,57) 4 (11,43)
Sujeita a mudanças (D)	2 (11,11) 2 (11,11)	1 (5,88) 1 (5,88)	3 (8,57) 3 (8,57)
Não há diferença (E)	0 (0,00) 2 (11,11)	0 (0,00) 0 (0,00)	0 (0,00) 2 (5,71)
Respostas em branco ou vagas (F)	4 (22,22) 4 (22,22)	3 (17,65) 3 (17,65)	7 (20,00) 7 (20,00)

Inicialmente, essa questão permitiu identificar que a maioria dos alunos apresentou a ideia de que a Ciência é um conhecimento exato, constituído a partir da experimentação, amparado por uma metodologia rígida, que permite chegar a “verdade”. Essas ideias parecem ainda presentes na concepção dos alunos. Houve uma diminuição do percentual de pesquisados que creditaram a Ciência, um conjunto de conhecimento objetivo e aumentou o número de alunos que diferencia a Ciência por seu caráter experimental.

Questões 3 (sobre a provisoriedade do conhecimento)

Em sua opinião, os conhecimentos científicos (leis, princípio, teorias) uma vez estabelecidos são definitivos?

O gráfico compara as respostas apresentadas pelos alunos, para a questão acima, ANTES (no questionário inicial) e DEPOIS (questionário final). Apresentamos os dados para cada uma das turmas.

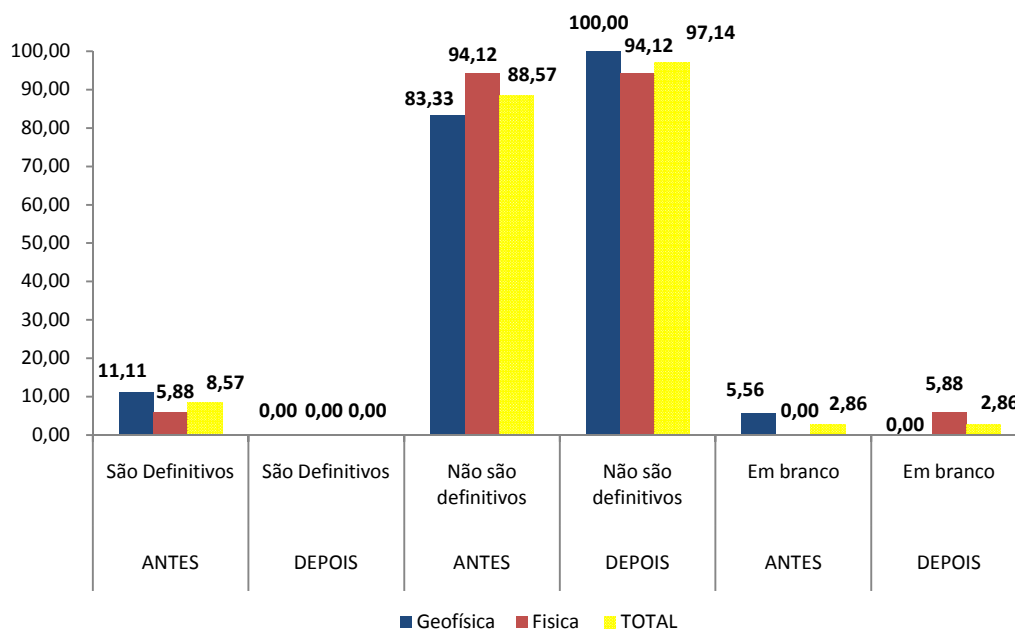


Gráfico 19– Percentual de acertos antes e depois, questão 3

No que se refere à provisoriedade do conhecimento, vemos que a maioria dos alunos, mesmo inicialmente, aceita a ideia de que o conhecimento pode mudar e esse índice ficou ainda maior no questionário final.

Nessa questão, é interessante observar as justificativas apresentadas pelos alunos. A tabela mostrada a seguir apresenta as categorias que justificam as respostas relacionadas a provisoriedade do conhecimento.

Tabela 60 - Justificativas à questão 3 – parte II (quest. final)

Categorias	Turma I	Turma II	Total
Sim, porque se trata de um conhecimento provado (A)	0 (0,00) 2 (11,11)	0 (0,00) 1 (5,88)	(0,00) 3 (8,57)
Não, pois podem ser descobertos novos fatos (BI)	6 (33,33) 5 (27,78)	2 (11,76) 3 (17,65)	8 (22,86) 8 (22,86)
Não, apresentando respostas vagas ou inconsistentes (BII)	4 (22,22) 5 (27,78)	1 (5,88) 3 (17,65)	5 (14,29) 8 (22,86)
Não, pois o avanço tecnológico permite novas evidências, dados, informações (BIII)	(0,00) 2 (11,11)	0 (0,00) 4 (23,53)	0 (0,00) 6 (17,14)
Não, pois a ciência está em evolução (BIV)	3 (16,67) 2 (11,11)	5 (14,29) 1 (5,88)	8 (22,86) 3 (8,57)
Não, pois pode haver contestações (BV)	1 (5,56) 0 (0,00)	4 (11,43) 3 (17,65)	5 (14,29) 3 (8,57)
Não, pois a história mostra exemplos de que isso não ocorre (BVI)	4 (22,22) 1 (5,56)	5 (14,29) 2 (11,76)	9 (25,71) 3 (8,57)
Em branco (C)	0 (0,00) 1 (5,56)	0 (0,00) 0 (0,00)	0 (0,00) 1 (2,86)

A tabela mostra três aspectos interessantes: I) houve um aumento no número de alunos que afirmam que o conhecimento científico é provisório, pois a Ciência está em constante evolução (como mencionamos anteriormente, não temos clareza quanto a ideia do termo evolução – é possível que uma abordagem histórica sem uma discussão mais específica reforce a ideia de evolução como acúmulo de conhecimento), o percentual na turma de física, por exemplo, passou de 5,88% para 14,29%; II) O avanço tecnológico, apontado inicialmente, como um fator importante, parece ter sido esquecido pelos alunos; III) Esse aspecto, consideramos, como uma evidência da influência da sequência didática, o número de alunos que afirmaram que o conhecimento é provisório, pois a história mostra que determinados conhecimentos deixaram de ser válidos, além disso, muitos que assim justificaram utilizaram as informações apresentadas nos textos.

Questão 7 (sobre a provisoriedade do conhecimento)

Uma importante teoria estudada na física é a Teoria da Relatividade Restrita. Nela, Einstein postula que a velocidade da luz, no vácuo, é constante e independente da fonte. Também postula a validade das mesmas leis físicas independentemente do

referencial inercial. Esta teoria é aceita pela comunidade científica e os resultados de diversos experimentos estão de acordo com ela. Você acredita que a Teoria da Relatividade Restrita pode sofrer mudanças, futuramente? Ela pode perder a validade? Comente.

No gráfico abaixo temos SIM, para os alunos que acreditam ser a relatividade uma teoria que pode sofrer mudanças e NÃO, para aqueles que afirmam que a relatividade não sofrerá mudanças. O gráfico mostra os dados para o questionário inicial e final que permite estabelecer uma comparação.

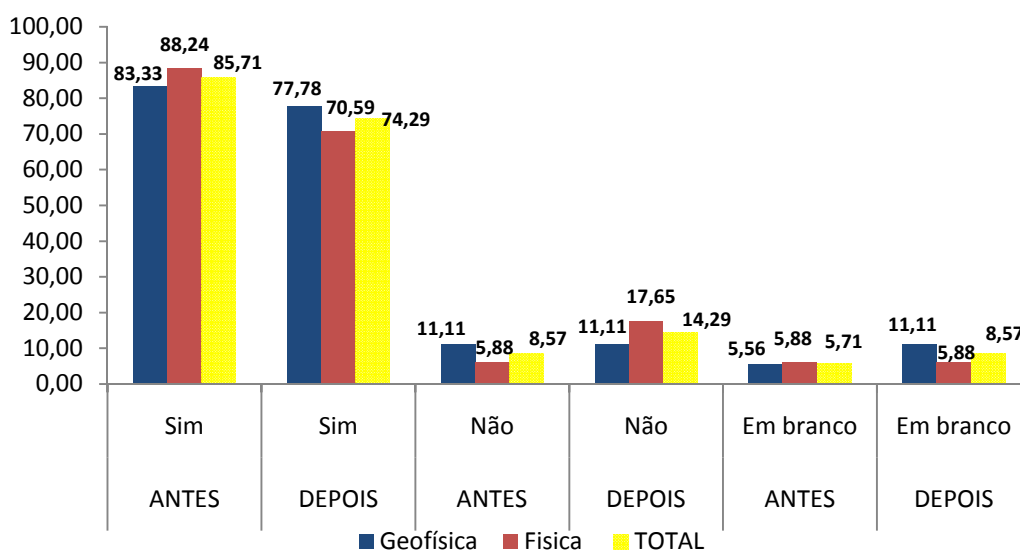


Gráfico 20– Percentual de acertos antes e depois, questão 7

Tabela 61 - Justificativas à questão 7 - parte II (quest. final)

Categorias	Turma I	Turma II	Total
Não, pois foi comprovado (A)	2 (11,11) 2 (11,11)	3 (17,65) 1 (5,88)	5 (14,29) 3 (8,57)
Sim, pois podem aparecer novos fatos (BI)	10 (55,56) 9 (50,00)	7 (41,18) 7 (41,18)	17 (48,57) 16 (45,71)
Sim, pode mudar. Mas, não perde a validade (BII).	3 (16,67) 5 (27,78)	4 (23,53) 5 (29,41)	7 (20,00) 10 (28,57)
Sim, porque todo conhecimento científico pode mudar (BIII).	3 (16,67) 1 (5,56)	3 (17,65) 3 (17,65)	6 (17,14) 4 (11,43)
Em branco ou resposta vagas (C)	0 (0,00) 1 (5,56)	0 (0,00) 1 (5,88)	0 (0,00) 2 (5,71)

Notamos que aumentou o percentual de alunos que disseram que a relatividade é um exemplo de teoria que não sofrerá mudanças, pois ela foi provada. Podemos perceber que diminuiu de maneira não muito relevante, o número de alunos que afirmam que a relatividade

pode mudar mais não perde a validade, aí mais uma vez podemos inferir que a ideia por trás de afirmações dessa natureza é de acúmulo de conhecimento.

Questão 4 (sobre os métodos da ciência)

O método científico costuma ser descrito pelas seguintes etapas: observação de fenômenos naturais, formulação de hipótese explicativa, teste da hipótese através de experimentos, modificação da hipótese em caso de falha nos testes ou, em caso de validação desta, a elaboração de uma teoria. Em sua opinião, esse é o método a ser seguido para se produzir conhecimento científico? Justifique a sua resposta seja ela afirmativa ou não.

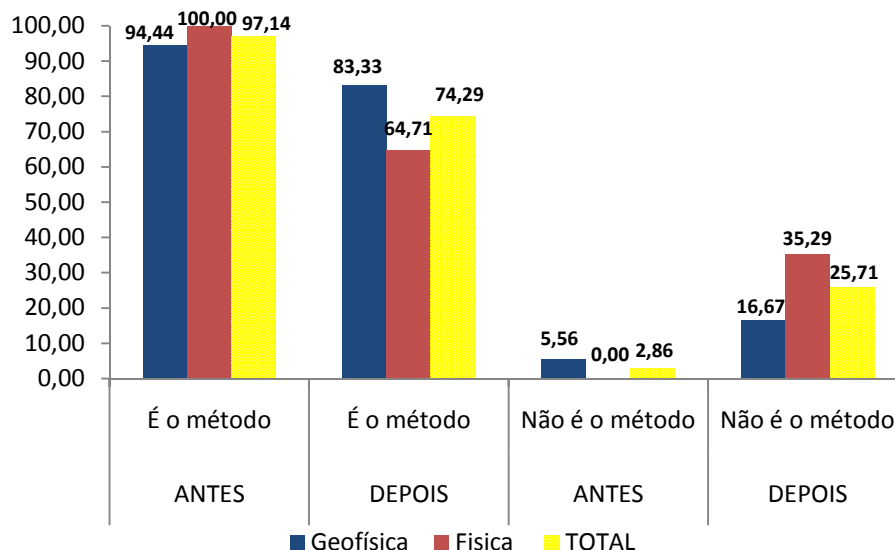


Gráfico 21– Percentual de acertos antes e depois, questão 4

Tabela 62 - Justificativas à questão 4 - parte II (quest. final)

Categorias	Turma I	Turma II	Total
Não, não existe um método único (A)	3 (16,67) 1 (5,56)	6 (35,29) 0 (0,00)	9 (25,71) 1 (2,86)
Sim, pois é a maneira de se provar o conhecimento, validar (BI)	8 (44,44) 7 (38,89)	7 (41,18) 7 (41,18)	15 (42,86) 14 (40,00)
Sim, tem funcionado (BII)	0 (0,00) 0 (0,00)	1 (5,88) 5 (29,41)	1 (2,86) 5 (14,29)
Sim, mas existem outras etapas (BIV)	4 (22,22) 1 (5,56)	2 (11,76) 2 (11,76)	6 (17,14) 3 (8,57)
Sim, mas não é uma sequência rígida, as etapas podem ser modificadas (BIII)	3 (16,67) 2 (11,11)	1 (5,88) 0 (0,00)	4 (11,43) 2 (5,71)
Sem justificativas ou respostas inconsistentes (C)	0 (0,00) 7 (38,89)	0 (0,00) 3 (8,57)	0 (0,00) 10 (28,57)

Pelo gráfico podemos perceber que diminuiu o número de alunos que consideram as etapas descritas como “o” método de se construir o conhecimento científico. Comparando as respostas apresentadas na tabela podemos perceber que houve redução no percentual de respostas vagas. Esse foi um aspecto recorrente e que consideramos positivo. Além disso, houve um movimento no sentido de afirmar que a Ciência não se constitui a partir de um método rígido (categoria A) resposta que consideramos mais adequada.

Questão 5 (sobre os fatores de influencia na ciência)

Sobre fatores que podem influenciar a prática científica, em sua opinião: a) O contexto histórico e social são fatores de influência? Justifique e dê um exemplo que reforce a sua opinião; b) Fatores como crenças pessoais, posições morais, religiosas, políticas etc. podem influenciar esse desenvolvimento? Justifique e dê um exemplo que reforce a sua opinião.

O gráfico a seguir apresenta os dados comparativos para o subitem *a* da questão entre o percentual de respostas antes e depois:

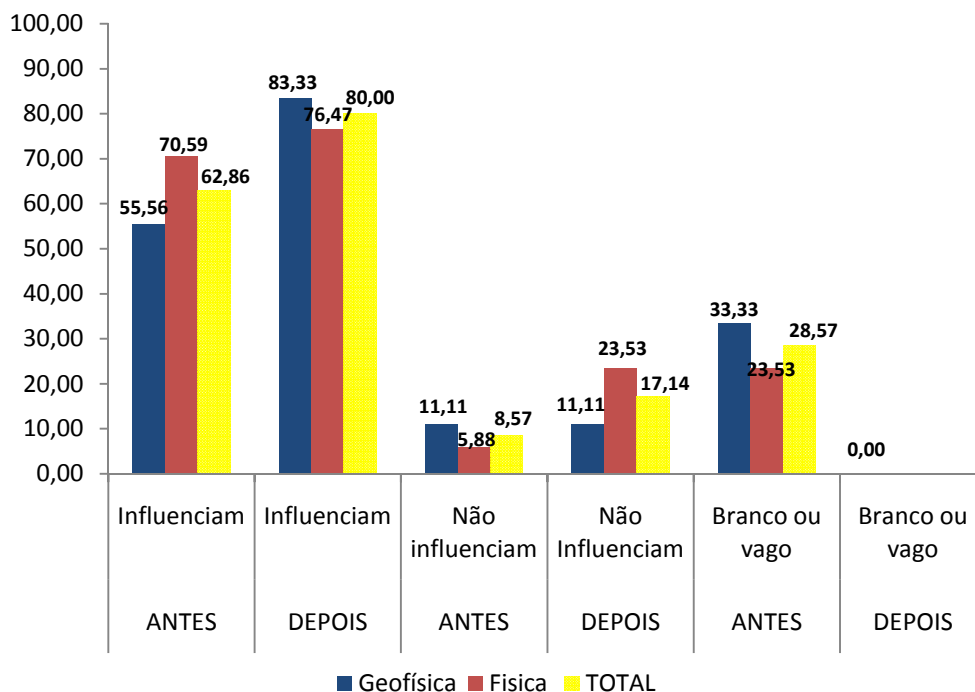


Gráfico 22– Percentual de acertos antes e depois, questão 5 subitem a

Como mencionamos no questionário inicial, para o subitem *a*, os alunos apresentaram os exemplos, que destacamos na análise daquele. Notamos que os sujeitos tenderam a apresentar os mesmos exemplos para essa questão no questionário final. Nesse sentido, optamos por não repeti-los aqui.

Analisando o gráfico, observamos uma redução no percentual de respostas em branco ou vagas. No caso da turma de geofísica, percebemos que esses alunos passaram a se posicionar no sentido de considerar que fatores externos influenciam a Ciência. No caso da turma de física, esses alunos passaram a considerar que a Ciência não é influenciada por tais fatores. De maneira geral, houve um aumento no número de sujeitos que afirmaram que a Ciência é influenciada, porém também houve um aumento no número daqueles que afirmam que a Ciência não é influenciada.

O gráfico a seguir mostra os dados comparativos para o subitem *b* da questão entre o percentual de respostas antes e depois:

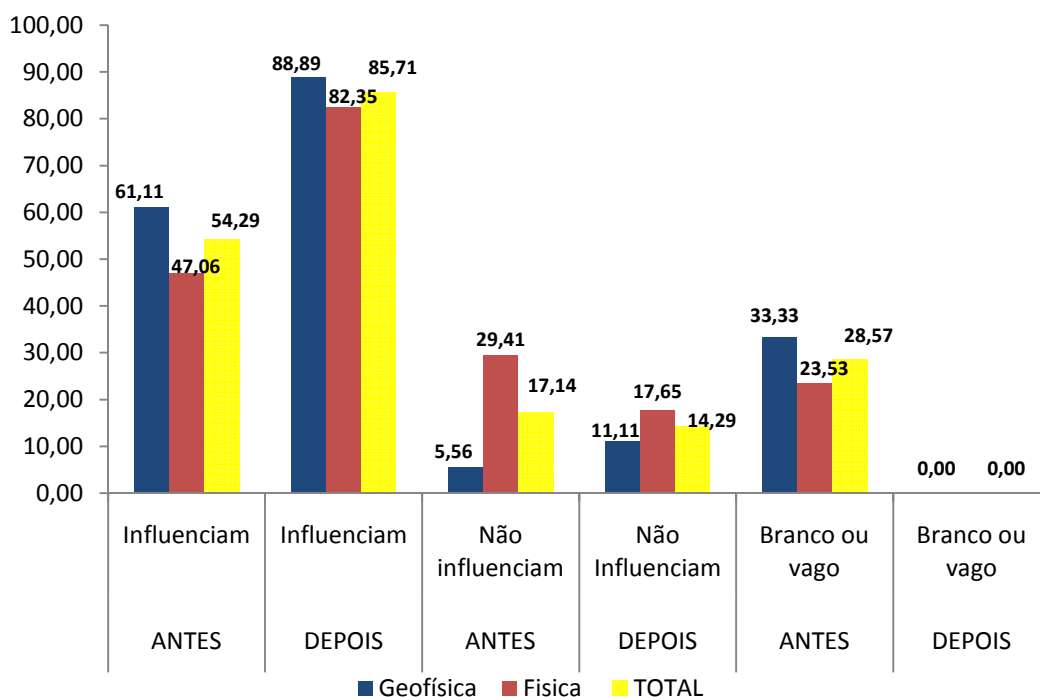


Gráfico 23– Percentual de acertos antes e depois, questão 5 subitem *b*

A tabela a seguir apresenta as justificativas apontadas como repostas ao subitem *b*.

Tabela 63 - Justificativas à questão 5 subitem b - parte II (quest. final)

Categorias	Turma I	Turma II	Total
Não, pois não é uma prática da ciência (AI)	2 (11,11) 1 (5,56)	3 (17,65) 5 (29,41)	5 (14,29) 6 (17,14)
Sim, mas atrasa o progresso (BI)	5 (27,78) 7 (38,89)	7 (41,18) 3 (17,65)	12 (34,29) 10 (28,57)
Sim, mas dão deveria influenciar, pois é um empecilho para o desenvolvimento da ciência (BII)	0 (0,00) 3 (16,67)	0 (0,00) 3 (17,65)	(0,00) 6 (17,14)
Sim, sem justificativas (BIII)	2 (11,11) 2 (11,11)	0 (0,00) 1 (5,88)	2 (5,71) 3 (8,57)
Sim, faz parte da natureza humana (BIV)	1 (5,56) 1 (5,56)	2 (11,76) 1 (5,88)	3 (8,57) 2 (5,71)
Respostas vagas ou em branco (C)	0 (0,00) 4 (22,22)	0 (0,00) 4 (23,53)	0 (0,00) 8 (22,86)
Sim, pois a história mostra isso (D)	8 (44,44)	5 (29,41)	13 (37,14)

Para essa pergunta surgiu uma categoria que não apareceu no questionário inicial e que colocamos em destaque, configurando-se como categoria D. Esses alunos concordam que fatores como crenças pessoais, posições morais e religiosas podem influenciar a Ciência e afirmam que a história permite verificar esse aspecto. Como ocorreu no passado, também é possível atualmente ou mesmo no futuro. A resposta apontada pelo aluno F9 representa essa nova categoria, que representou a maior parte das justificativas a esse subitem:

Sim. Como foi visto na própria história, várias coisas mudaram ao longo do tempo. Do mesmo jeito pode continuar acontecendo e vários fatores podem influenciar as pesquisas, a sociedade, a cultura, a política, questões éticas e tantas outras coisas.

Nesse subitem observamos que foi crescente o número de alunos que afirmaram que aspectos como crenças pessoais, posições políticas e religiosas, podem influenciar a Ciência. Ainda permanece forte a ideia de que essa influência ocorre no sentido de retardar o avanço (categoria BI) que teve um aumento significativo.

Para essa questão, mais uma vez observamos que os sujeitos passam a se expressar de maneira a anular o número de respostas em branco ou vagas.

Questão 6 (sobre a controvérsia na ciência)

Quando cientistas diferentes observam o mesmo conjunto de dados, eles chegam às mesmas conclusões (mesmos modelos, leis ou teorias)? Justifique sua resposta.

O gráfico abaixo mostra que a diferença entre as respostas a essa pergunta para o questionário inicial e final foram pouco significativas.

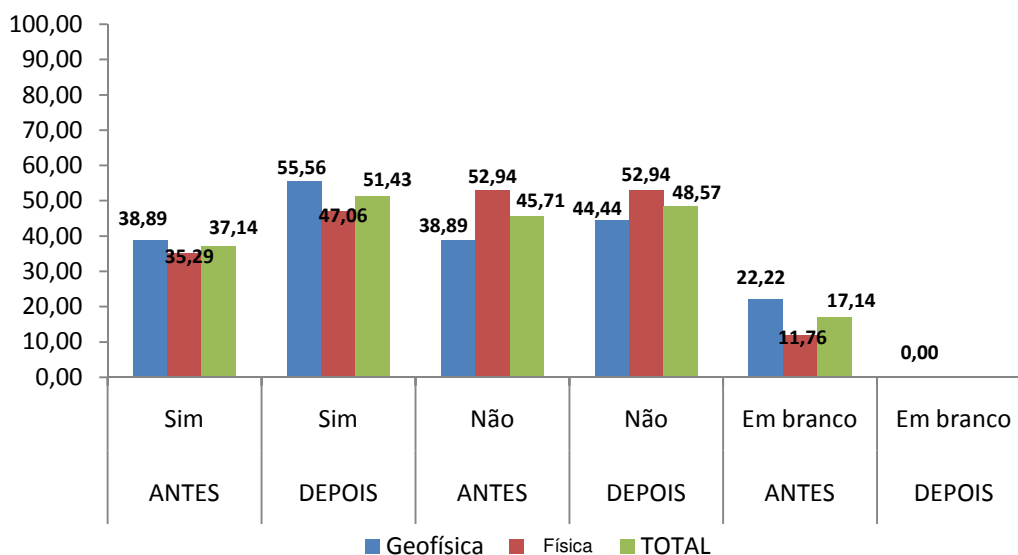


Gráfico 24– Percentual de acertos antes e depois, questão 6

Essa tabela mostra as categorias que expressam as justificativas dos alunos para a questão anteriormente citada.

Tabela 64 - Justificativas à questão 6 parte II (quest. final)

Categorias	Turma I	Turma II	Total
Sim, devem chegar às mesmas conclusões, pois os fenômenos são objetivos (AI)	3 (16,57) 4 (22,22)	2 (11,76) 4 (23,53)	5 (14,29) 8 (22,86)
Sim, se não cometer erros (AII)	5 (27,78) 3 (16,67)	6 (35,29) 2 (11,76)	11 (31,43) 5 (14,29)
Não, pois cada cientista tem um ponto de vista (BI)	4 (22,22) 5 (27,78)	6 (35,29) 7 (41,18)	10 (28,57) 12 (34,29)
Não, pois podem encontrar algo diferente (BII)	4 (22,22) 2 (11,11)	1 (5,88) 2 (11,76)	5 (14,29) 4 (11,43)
Respostas vagas ou inconsistentes (C)	0 (0,00) 4 (22,22)	0 (0,00) 2 (11,76)	0 (0,00) 6 (17,14)

Nessa questão houve aumentos tanto no número de alunos que aceitavam a controvérsia, quanto daqueles que afirmaram que se são analisados o mesmo conjunto de dados, os cientistas devem chegar as mesmas conclusões. Isso ocorreu mais uma vez, porque os alunos que inicialmente responderam em branco ou vagamente passaram a posicionar-se de

maneira mais clara (isso não significa que caminharam no sentido de uma compreensão mais adequada sobre os aspectos abordados). Quanto às justificativas houve uma diminuição dos argumentos, afirmando a objetividade dos fenômenos e um aumento no percentual de pesquisados que consideram que os cientistas chegam a respostas diferentes porque algum deles cometeu um erro. Parece estar implícita a ideia de evolução, assim, a ideia a natureza permite uma única resposta, a “correta”, e esta se relaciona com a categoria anterior.

Questão 8

Nesse questionário incluímos uma pergunta que teve como objetivo identificar as impressões do aluno a respeito da abordagem histórica utilizada para o ensino da inércia.

No subitem *a* dessa questão, foi perguntado ao aluno: **Você acredita ser realmente importante conhecer a História da Ciência? Justifique.**

Todos os alunos das duas turmas, responderam que é importante conhecer a História da Ciência. Optamos por apresentar na tabela a seguir, alguns dos argumentos dos alunos que mostram suas observações e impressões quanto à história da inércia.

Tabela 65 - Justificativas à questão 8 subitem *a* - parte II (quest. final)

Respostas	Aluno
<i>Sim, a partir desse estudo, foi possível entender melhor como essa teoria se consolidou.</i>	F1
<i>Sim, pois no ensino médio, os cálculos e fórmulas estão ali prontos, quando conhecemos a história nos tornamos possuidores do conhecimento, as fórmulas se tornam mais claras.</i>	F2
<i>(...)Podemos ver quais etapas passou e também os equívocos dos pensadores.</i>	F4
<i>Sim, para que possamos conhecer os seus porquês.</i>	F7
<i>Conhecer a história da ciência possibilita o melhor o entendimento do que hoje aceitamos.</i>	F9
<i>A história da ciência é necessária para aluno compreender que o conhecimento não surge espontaneamente, mas é resultado de um processo histórico, ligado à sociedade, economia, ideologia de uma determinada época.</i>	F12
<i>Ajuda a compreender melhor os conceitos que temos atualmente.</i>	G1
<i>A curiosidade é uma característica humana que deve ser apoiada, e ao conhecermos a história estamos trabalhando nisso.</i>	G7
<i>Sim, para que se possa ter ideia da complexidade do saber científico e possamos valorizá-lo.</i>	G12
<i>Sim, Faz com que percebamos o quanto podemos estar errados em várias áreas da ciência, nos instigando a buscar novos conhecimentos.</i>	G14

Notemos, de acordos com as falas apresentadas acima, que os próprios alunos externaram que a História da Ciência pode contribuir para que os conteúdos fiquem mais claros, ou seja, é possível ensinar aspectos conceituais através da história desse conceito e essa pergunta foi feita especificamente no subitem *b*.

Uma das críticas dirigidas a utilização didática da História da Ciência (discutida também no primeiro capítulo) é que ela pode desacreditar a Ciência, uma vez que apresenta os erros, entre outros fatores. No entanto, a fala do aluno G12 caminha em direção oposta a essa afirmação, pois para ele, compreender a complexidade do fazer científico contribui para valorizar esse saber.

Para o subitem *b* dessa questão indagava: **O conceito de inércia ficou mais claro a partir dessa abordagem?**

Para essa pergunta, bem como a anterior, todos os sujeitos afirmaram ter aprendido mais sobre a inércia a partir da abordagem histórica.

A tabela mostrada a seguir pontua alguns aspectos, apresentados pelos alunos nos comentários para essa questão, que julgamos serem importantes.

Tabela 66 - Justificativas à questão 8 subitem b - parte II (quest. final)

Comentários	Aluno
<i>(...) pude ver que a inércia não é de fácil dedução.</i>	F1
<i>Sim antes tinha uma certa dúvida (...) movimento e repouso são estados que podem ser mudados ou não.</i>	F2
<i>Se tornou um conceito mais interessante e compreensível</i>	G6
<i>Sim, pois pude perceber o mesmo fenômeno interpretado de maneiras diferentes.</i>	G10
<i>Sim, ficou mais claro, porém ainda complexo em certos momentos.</i>	G13

Um aspecto que pudemos perceber, mais uma vez evidenciado nessa questão, é que os alunos tem pouca expressividade na escrita. Muitas das respostas eram extremamente concisas, a exemplo, temos o posicionamento do pesquisado F6 que diz *Sim. Ficou mais claro*, ao subitem *b*. Podemos extrair pouca coisa desse tipo de colocação.

Outro aspecto que não está expresso nas respostas, porém foi possível perceber durante a aplicação do questionário (isso talvez se deva ao fato do questionário estar extenso) é que os eles se apresentaram “cansados”, não gostaram de responder novamente as mesmas perguntas. Isso muitas vezes se reflete nas respostas, pois temos a impressão de que os

sujeitos estão respondendo de qualquer maneira para se livrarem da tarefa. Pareceu que o comprometimento dos alunos com as respostas aos questionários inicial, do texto I e II foi maior.

O questionário final pretendia ser um instrumento de comparação em relação ao inicial para tentarmos perceber se o pesquisado passou ou não por algum tipo de transformação.

Para as questões relacionadas ao conceito de inércia percebemos um aumento no percentual de corretas. Em algumas, houve um aumento significativo (questões 5 a 7, por exemplo) indicando, como mencionado anteriormente, que a abordagem usada em nossa sequência didática com foco na história da inércia, contribuiu para a aprendizagem desse conceito.

No que se refere às questões sobre a NdC, devemos destacar que essa inserção não é uma tarefa fácil devido ao nível de complexidade de tais conhecimentos. Tínhamos a consciência das dificuldades de mudanças nessa direção, o que foi corroborado pelos resultados obtidos no questionário final.

Como podemos perceber pelos dados mostrados, as questões referentes ao conhecimento sobre a Ciência tiveram poucas mudanças. De maneira geral, alguns alunos repetiram as respostas iniciais, em outros casos, obtivemos mudanças sutis, mas que podemos considerar positivas. Houve diminuição no percentual de alunos que afirmavam que o conhecimento científico é objetivo, guiado por uma metodologia rígida; um aumento no índice daqueles que consideram que o conhecimento científico tem caráter provisório. Além disso, pudemos perceber que os alunos fizeram referência aos textos para justificar que a história da ciência evidencia certos aspectos sobre a Ciência.

Outro aspecto positivo é que houve uma diminuição, e muitas vezes o percentual foi reduzido a zero, de respostas consideradas vagas ou em branco. Isso indica que os alunos começaram a pensar sobre o assunto. Não estamos dizendo que eles responderam corretamente, com consistência ou de maneira crítica, mas o fato de conseguirem justificar ou posicionar-se, pensar sobre o assunto é um avanço significativo.

Pudemos observar que de alguma maneira os pesquisados tiveram acesso a conteúdos de HFC, que a maioria afirmou não ter acesso anteriormente (questão 8, parte I, do questionário inicial), e que eles refletiram sobre esses assuntos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao lermos dissertações e teses é comum encontrarmos, no início, as motivações que conduziram o pesquisador ao trabalho proposto. Nós não seguimos essa dinâmica. Por isso, peço licença para falar em primeira pessoa e trazer para o início dessas considerações finais (que são finais aqui, mas decerto apenas o começo para mim) o que me motivou e me conduziu até aqui.

Durante o ensino médio, a física era um universo incompreensível para mim. Nada fazia muito sentido: um monte de fórmulas e, como a maioria dos alunos, eu não gostava dessa disciplina. Conteúdo excessivamente quantitativo, abordagem descontextualizada, aproblemática, são aspectos apontados em diversos trabalhos como obstáculos à aprendizagem dos conteúdos no ensino da física (ZANETIC, 1989; MENEZES, 2009; PERNAMBUCO, 2009) que se refletem em notas baixas e, naturalmente, em desinteresse por parte dos alunos. No meu caso, eu era boa em matemática e conseguia resolver os problemas, mas tudo parecia sem propósito, não havia um problema (não me refiro aos exercícios), não parecia existir um porquê de tudo o que se aprendia. Terminei o ensino médio e fiz um cursinho para ingressar na área militar. Tive aulas de física com um professor chamado Gabriel.

Nesse cursinho, o professor Gabriel utilizava metodologias – em minha opinião – diferentes. Ele ensinava com prazer, priorizava os conceitos. Não me lembro dele ter utilizado algum episódio de história da física, mas, ela começava a ganhar sentido e acabei me apaixonando. Desisti da carreira militar e fiz vestibular para licenciatura em física. Já tinha pensado em ser professora, mas não tinha escolhido a disciplina.

Durante a graduação, em muitas disciplinas tive a mesma sensação do ensino médio: muitas equações e pouco significado, mas já tinha absorvido a ideia de que determinadas fórmulas faziam sentido nas situações de resolução dos exercícios. De qualquer maneira, gostava do curso, gostava das disciplinas de física, mas passei a me interessar muito mais pelas disciplinas de ensino, das discussões, das leituras. No ano de 2006, cursei a disciplina de pesquisa em ensino de física, ministrada pelo meu orientador. Um dos trabalhos era escolher um artigo de uma das revistas de ensino de física e apresentar esse artigo para a turma. Eu não tinha noção do que era “Pesquisa em Ensino de Física”. Observei muitos trabalhos interessantes, mas um me despertou a atenção: “Para o ensino do átomo de Bohr no ensino médio”, de Peduzzi e Basso (2005). Comecei a descobrir a área de HFC. O professor André me convidou para participar do grupo de estudos que ele coordena e do qual faço parte até

hoje, e onde tenho aprendido muito. Uma das questões que me chamou a atenção na história da física, sobretudo nesse momento inicial, foi que percebi o porquê do desenvolvimento de determinada pesquisa, ou seja, quais os problemas que direcionaram o olhar do cientista para o que estava sendo explicado.

Ao longo do contato com a área de HFC fui percebendo que existia um campo de conhecimento com inúmeros trabalhos que apontam para importância da HFC para o ensino (MATTHEWS, 1995; VANNUCCHI, 1996; MARTINS, 2006a; MARTINS, 2007; PEDUZZI, MARTINS e FERREIRA, 2012), além disso, temos bons trabalhos de episódios da história da física. No entanto, existem ainda poucas pesquisas que desenvolvem e avaliam intervenções em salas de aula utilizando-se da abordagem histórica, e pouco material didático disponível (DIAS, 2009; OLIVEIRA e SILVA, 2012; TEIXEIRA, GRECA e FREIRE Jr, 2012). Essa foi a minha motivação: desenvolver um trabalho em que houvesse a inserção de história da física e NdC no ensino.

Procuramos, neste trabalho, elaborar, aplicar e avaliar uma sequência didática com tópicos de História e de Natureza da Ciência, a partir da abordagem histórica do conceito de inércia, para alunos da graduação, tendo como referência o potencial didático e a relevância do campo da história e da filosofia da ciência no ensino de ciências.

No primeiro capítulo desse trabalho, discutimos a respeito de alguns elementos de aproximação entre a HFC e a educação científica. Para tanto, consideramos tanto os argumentos a favor da utilização didática da HFC no ensino como argumentos contrários, limitações e cautelas quanto a essa abordagem.

Algumas pesquisas apontam que alunos e professores possuem concepções sobre a ciência que destoam de aspectos (considerados por certos autores) consensuais no campo da filosofia da ciência (HARRES, 1999; GIL PEREZ, et al., 2001). Como mencionamos, Martins (2006a) defende que uma abordagem adequada da história da ciência pode contribuir para uma compreensão mais adequada sobre a ciência. Temos ainda que as orientações curriculares para o ensino básico e superior dão destaque à história e à filosofia da ciência (BRASIL, 2001a, 2001b, 2002). Nesse aspecto, optamos na seção 1.3 discorrer sobre questões relativas à natureza da ciência sem nos atermos a questões específicas dos diversos olhares sobre o desenvolvimento científico. Apontamos que há convergências em determinados aspectos e que podemos considerar, sobretudo, que determinadas ideias não correspondem à práxis científica, por exemplo, “alcançar a verdade”.

No segundo capítulo construímos, a partir de revisão bibliográfica, a nossa história sobre o desenvolvimento conceitual de inércia, até a formulação apresentada por Newton.

Reconstruir essa história não foi tarefa fácil. Deparamo-nos com diversas referências historiográficas, além de outros trabalhos de ensino de ciência com abordagem histórica, cada um com objetivos específicos, que em grande parte das vezes não era o contar a história da inércia (KOYRÉ, 1992; GARDELLI, 1999; BAPTISTA E FAERRACIOLI, 2000; BRAGA, GUERRA E REIS, 2003; VASCONCELOS, 2005; CAMPOS, 2008; PEDUZZI, 2008; PORTO E PORTO, 2009; JAMMER, 2011; SOUZA 2011; CAMPOS E RICARDO, 2012; ÉVORA, 1996, 2006; MARTINS, 1972, 1986, 1994, 2012). Foi a partir dessa reconstrução que desenvolvemos os textos de apoio ao estudante utilizados nas aulas da sequência didática proposta.

No terceiro capítulo, apresentamos a sequência proposta, o modo de aplicação, assim como os dados e análises dos questionários. Esses instrumentos constituem a base de coleta dos dados obtidos e tinham como objetivo tanto permitir a identificação das concepções dos alunos acerca dos conteúdos propostos, como nos possibilitar investigar as mudanças conseguidas a partir da aplicação da sequência didática, nos fornecendo elementos para avaliar nosso trabalho.

Retomaremos, aqui, os objetivos específicos que estabelecemos para este trabalho e apresentaremos algumas considerações que julgamos pertinentes.

Dentre os objetivos havia o de construir um texto sobre o desenvolvimento histórico do conceito de inércia, voltado preferencialmente para estudantes de graduação que tem em seu programa esse conteúdo. Para desenvolver o texto do aluno, tivemos a preocupação de não reduzir sobremaneira nossa história de modo a produzir uma história excessivamente simplista e que comprometesse os aspectos de NdC que buscávamos discutir. No entanto, também não poderíamos produzir textos muito extensos, pois sabíamos da dificuldade de leitura dos alunos (em geral, há uma falta desse hábito) e, sobretudo, que teríamos poucas aulas para trabalhar os conteúdos selecionados. Esse foi (e talvez seja) um dos aspectos mais difíceis ao lidar em uma abordagem histórica. Sobre a questão do tempo discutiremos mais adiante. Acreditamos que os textos produzidos podem ser utilizados por aqueles que pretendem conhecer a história desse conceito. Embora eles tenham sido utilizados na graduação, cremos que eles possam ser adaptados ao estudante do ensino médio.

Outro dos nossos objetivos era discutir conteúdos de NdC no ensino, a partir da abordagem histórica. Um dos trabalhos que mencionamos no capítulo 1 e que teve esse mesmo objetivo foi o de Forato (2009). Forato admite que, ao se propor esse objetivo, devemos ter em conta que são os aspectos de NdC, previamente selecionados, que conduzirão os devidos recortes e/ou ênfases dos/nos aspectos históricos. Dentre os nossos objetivos

específicos colocamos a necessidade de identificar os elementos de natureza da ciência (NdC) a serem explorados na sequência didática, a partir do estudo histórico do conceito de inércia e da literatura de pesquisa da área de ensino de ciências. Ou seja, procuramos inicialmente conhecer a respeito da história da inércia, com base em trabalhos nessa temática e, a partir daí, identificar os conteúdos de NdC. Em resumo, precisávamos conhecer minimamente a história da inércia para selecionar os conteúdos de NdC que poderíamos contemplar. Selecionados tais aspectos, procuramos construir nossa história (o capítulo 2 e o texto do aluno) procurando evidenciar os seguintes aspectos de NdC: o conhecimento e a metodologia científicos tem caráter provisório; a possibilidade de controvérsia na ciência e a influência do contexto cultural e de fatores extracientíficos no desenvolvimento da ciência.

Um dos aspectos que também pretendíamos investigar era se a metodologia utilizada colaborou com a aprendizagem do conceito de inércia, ou seja, se a abordagem histórica possibilitou compreender melhor o conceito de inércia. Como mencionamos, esse é um dos aspectos apontados em defesa da utilização da história da ciência no ensino (MATTHEWS, 1995; PEDUZZI, 2001, FLECK, 2010).

A literatura apresenta trabalhos que procuraram identificar as concepções de alunos sobre movimento, força e outros conceitos da mecânica. Tais trabalhos indicam que os sujeitos apresentam representações para os fenômenos que são resistentes e distintas das explicações científicas aceitas. Essas ideias podem prejudicar a aprendizagem dos conteúdos de ciências (PEDUZZI e PEDUZZI, 1985; PACCA e TOSCANO, 1992; PEDUZZI, ZYLBERSZTAJN, MOREIRA, 1992; VALADARES, 1995, GOMES, FUSINATO e DANHONI, 2010).

No que se refere às concepções sobre inércia, a análise do questionário inicial permitiu identificar que os estudantes, mesmo tendo estudado durante o ensino médio o conceito de inércia, apresentaram (em sua maioria) ideias coerentes com concepções de senso comum acerca do movimento: a ideia de que há, necessariamente, a ação de uma força (ou força resultante) na direção do deslocamento, ou seja, as questões 1 a 7 (parte II do questionário inicial) permitiu identificar que, para os estudantes, se um corpo está em movimento (mesmo com velocidade constante) há a ação de uma força. Essa ideia é oposta à aceitação da inércia, mostrando que os alunos não compreendem de fato esse conceito. Na questão 8 (plano inclinado) tivemos que a maioria dos sujeitos, em todos os subitens, acertaram a questão, utilizando-se do conceito de energia. Já no subitem c, em que esperávamos mais referências ao conceito de inércia, isso não aconteceu. Na questão 9 (sobre a escuna), a maior parte dos alunos mostrou não compreender as ideias de inércia, relatividade e composição do

movimento. Nossos dados reproduzem, em larga medida, os bem conhecidos resultados da área de pesquisa em ensino de física a respeito de concepções alternativas sobre a inércia.

Durante a aplicação da sequência didática e as discussões dos textos históricos procuramos enfatizar como eram explicados os movimentos pelos diferentes personagens da história, sem discutir nenhuma das questões propostas nos questionários. No questionário final, composto pelas mesmas questões, buscamos identificar possíveis mudanças. A análise permitiu evidenciar, no tocante aos aspectos sobre a inércia, um aumento no percentual de acertos para todas as respostas dessa parte. Em algumas questões, inclusive, esse aumento foi bastante expressivo. Além disso, as justificativas apresentadas pelos alunos também sofreram modificações, sendo mencionado com maior frequência o conceito de inércia. Tais fatores evidenciam a influência da abordagem histórica proposta. Consideramos que a HFC, como indicam certas pesquisas, parece haver contribuído para a compreensão do conceito de inércia por parte desses sujeitos, nesse particular contexto de ensino. Esse pode ser considerado um resultado importante, na medida em que nem todos os trabalhos que defendem o uso da HFC como estratégia didática sinalizam para a possibilidade (e importância) de “aprender física” via HFC.

Pretendíamos investigar também se a sequência didática colaborou com a aprendizagem dos conteúdos selecionados de NdC. Quanto a esse aspecto, o questionário inicial mostrou que os alunos apresentam elementos de concepções consideradas inadequadas (GIL PEREZ *et al.*, 2001). Os alunos apresentaram uma visão acrítica a respeito da ciência, entendendo, em sua maioria, que a ciência tem como objetivo compreender a natureza para a utilidade humana; que a ciência está em constante evolução, aparentemente, por acúmulo de conhecimentos; e que diferencia-se de outras formas de conhecimento por seu caráter experimental (o experimento parece ter função de comprovação).

Sobre a provisoriedade do conhecimento, a maior parte dos alunos admite que o conhecimento científico tem caráter provisório, no entanto, aparece com frequência a ideia de evolução (enquanto “progresso” linear e contínuo) e da utilização dos recursos tecnológicos para que a mudança se possibilite. Os alunos também apresentaram dificuldade de aceitação da refutação de teoria consolidada (relatividade), ou seja, eles admitem mudança (evolução), mas não admitem perda de validade. Quanto ao método, grande parte dos alunos admite que a ciência se constroi a partir de um método rígido e superestimam o papel da experiência, aproximando-se de uma visão empírico-indutivista.

Com relação à controvérsia, esse foi um dos aspectos que a metodologia adotada não possibilitou identificar com clareza. Devemos considerar que determinados aspectos só

ficariam esclarecidos com o uso de entrevista. A ideia de controvérsia é um desses aspectos. As respostas apresentadas não deixaram claro o que se entendia por controvérsia. Eles admitem (45,71% do total de alunos) que para um mesmo conjunto de dados os cientistas podem chegar a conclusões (teorias) diferentes, no entanto, aparece tanto a ideia de que alguém está cometendo um erro, quanto a ideia de que é possível os cientistas apresentarem pontos de vista diferentes (aspecto pouco esclarecido).

Quanto à influência de fatores extracientíficos na ciência, a maioria dos alunos admitem que o contexto histórico e social (62,86%), assim como aspectos como crenças e posições políticas, morais e religiosas (54,29%) são fatores que influenciam a atividade científica. É possível identificar que, para o segundo aspecto, os alunos admitem com menor frequência a influência sobre a ciência. Pudemos observar que, para os sujeitos, essas influências se dão no nível de atrapalhar a evolução da ciência, atuam como entraves. Foi recorrente a exemplificação da ação da igreja católica, pela Inquisição, no período da Idade Média, como uma influência do tipo negativo, ou mesmo a oposição da igreja, atualmente, quanto à utilização de células tronco em pesquisas científicas. É possível perceber que, para os alunos, a ciência tende a se desenvolver cada vez mais à medida que se afasta de tais influências.

Outro aspecto que pudemos observar foram os altos índices de respostas em branco ou inconsistentes apresentadas pelos alunos no questionário inicial, na parte II, o que reflete a falta de reflexão sobre esses aspectos.

No que tange aos aspectos de NdC, conseguimos identificar mudanças sutis, tais como a diminuição de alunos que afirmavam ser o conhecimento científico algo objetivo e que manifestaram que a ciência possui caráter utilitarista. Aumentou o número de alunos que julgaram ser a utilização de um método a diferença entre a ciência e outros conhecimentos (no entanto, aumentou também o percentual de alunos que consideram não haver um método rígido, composto de uma série de etapas predeterminadas).

Todos os alunos passaram a admitir a provisoriedade do conhecimento, no entanto, podemos falar na ideia de uma provisoriedade por evolução acumulativa, ou seja, os alunos continuam tendendo à ideia de que a ciência está em constante evolução e aspectos e teorias corroboradas experimentalmente não são descartadas, mas aperfeiçoadas.

Em relação à controvérsia na ciência, diminuiu o percentual de alunos que acreditavam que os cientistas devem chegar às mesmas conclusões a partir de um mesmo conjunto de dados, no entanto, aumentou o percentual de alunos que justificaram que os cientistas podem chegar a conclusões diferentes porque algum deles está cometendo um erro.

No que se refere à influência de fatores externos, apareceu uma categoria que evidencia a influência das discussões realizadas em sala e da leitura dos textos: os alunos afirmaram que fatores extracientíficos podem influenciar a ciência e que a história mostra que isso ocorreu.

Discutir aspectos de NdC é uma tarefa complexa, e nosso trabalho nos permitiu identificar dois aspectos importantes: 1) a história da ciência é um caminho possível e permite compreender aspectos *sobre* a ciência. No trabalho, tanto na questão 5 (questionário do texto I), quanto na questão 4 (questionário do texto II) os alunos mostraram haver identificado, ao longo dos textos, os aspectos de NdC que selecionamos; 2) é muito difícil – senão impossível – trabalhar essa temática em um número reduzido de aulas. Embora já houvesse esse entendimento anteriormente à pesquisa, pode-se dizer que nossos dados o reforçaram.

De maneira geral, o tempo foi um dos nossos maiores empecilhos, tanto no que se refere às discussões históricas dos textos, quanto, sobretudo, às discussões específicas sobre os conteúdos de NdC. Foi possível perceber que a dinâmica de aula realizada no terceiro encontro da turma de física foi mais proveitosa, os alunos dividiram-se em grupos e, discutindo os aspectos que destacaram do texto, por vezes começavam um debate, que precisava quase sempre ser interrompido em função do tempo. Acreditamos que para discutir adequadamente tanto as questões sobre inércia (sobre o movimento) quanto as questões sobre NdC com esses textos (texto I e II) precisaríamos de 6 aulas (duas aulas para cada um dos textos e mais duas aulas para os conteúdos de NdC), e não apenas 4.

A respeito da receptividade dos alunos em relação à abordagem histórico-filosófica para o ensino do conceito de inércia (questão que colocamos no questionário final e que também foi colocada pelos alunos em sala de aula), os alunos afirmaram que gostaram de conhecer sobre a história da física e que o conceito de inércia ficou mais claro.

Para finalizarmos nossas considerações gostaria de retomar algumas falas que considero interessantes:

- O aluno F1 afirmou: “pude ver que a inércia não é de fácil dedução”. Essa fala é interessante e retoma um dos aspectos que mencionamos no capítulo 1: muitas vezes a inércia é ensinada aos alunos como sendo um conceito intuitivo, muito fácil. No entanto, as pesquisas de concepções alternativas apontam que é comum os alunos relacionarem movimento a força e ausência de força a repouso, logo, o conceito de inércia é contraintuitivo. A história da inércia mostrou que as discussões sobre o movimento foram complexas, racionais, demandaram anos e a contribuição de diversos pensadores. Como o aluno mencionou, “não é de fácil dedução” e,

historicamente, também não foi de fácil dedução. O aluno G6 mencionou: “muitas pessoas sem perceber possuem um pensamento aristotélico”. Esse aspecto é bastante interessante porque o aluno identificou que muitas vezes a ideia aristotélica é mais usual. Esse argumento, mais uma vez, demonstra a complexidade do conceito de inércia.

- O aluno G9 colocou que “conhecer a história da ciência possibilita o melhor entendimento do que hoje aceitamos”. Essa foi uma das nossas considerações, acreditamos que o estudo da história da inércia colaborou para aprendizagem do conceito de inércia.
- Outra fala que nos chamou a atenção foi colocada durante as aulas. O aluno F12 fez a seguinte colocação: “eu nunca tinha ouvido falar em história da física”. Isso mostra que a história da física está fora das aulas de física. Como mencionou Martins (2006a), a história da física não deve substituir os conteúdos de física, mas pode contribuir para o ensino desta.

Quanto aos conteúdos de NdC, vimos que a história da física também pode contribuir para discussão de tais conteúdos. No entanto, devido à complexidade de tal tarefa, devemos ter em conta que há de se dispor de tempo suficiente para isso. Mesmo uma disciplina inteira não seria suficiente para abordar conteúdos dessa natureza, ainda mais quando todo um conjunto de outras disciplinas acaba por oferecer visões que caminham em direções, muitas vezes, opostas. A tarefa de problematizar visões de senso comum de ciência é algo a ser perseguido de modo mais amplo.

Nosso objetivo foi o de contribuir para o ensino de física, tanto no aspecto conceitual, (ensinar sobre a inércia), quanto permitir a inserção de conteúdos de NdC, além de contribuir com a produção de material para o aluno, abordando o desenvolvimento histórico do conceito de inércia.

Acreditamos ter atingido nossos objetivos.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, C. S. **Concepções de alunos do Curso de Pedagogia da UFRN acerca da Natureza da Ciência: subsídios à formação de professores.** Dissertação de mestrado. Natal, Centro de Educação da UFRN, 2008.
- BAPTISTA, J. P. e FERRACIOLI, L. **A construção do Princípio de inércia e do conceito de inércia material.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v.22, n2, Junho, 2000.
- BRAGA, M.; GUERRA, A.; REIS, J. C. **Breve História da Ciência Moderna.** Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2003.
- ASSIS, A. K. T. **A Experiência do Balde de Newton.** Reflexões sobre os Fundamentos da Física Moderna. A. F. Siqueira e J. B. Bastos Filho (eds.), Edufal, Maceió, 1997, p. 49-61.
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) (Ensino Médio).** Brasília: MEC, 2000.
- _____. Ministério da Educação e Cultura. Conselho Nacional de Educação. **Parecer CNE/CES nº 1.303 de 6/11/2001.** Brasília, Diário Oficial da União de 7/12/2001, Seção 1, p. 25 ss, 2001a.
- _____. Ministério da Educação e Cultura. Conselho Nacional de Educação. **Parecer CNE/CES nº 1.304 de 6/11/2001.** Brasília, Diário Oficial da União de 7/12/2001, Seção 1, p. 25 ss, 2001b.
- _____. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais + (PCN+) - Ciências da Natureza e suas Tecnologias.** Brasília: MEC, 2002.
- CACHAPUZ, A. (org). **A necessária renovação do ensino das Ciências.** São Paulo: Cortez, 2005.
- CAMPOS, A. **A teoria do Impetus de Nicole Oresme e a possibilidade de movimento diurno no Le Livre Du Ciel et do Monde.** 2008. Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-graduação em História da Ciência da PUC. São Paulo.
- CAMPOS, A. e RICARDO, E. C. **A Complexidade do Movimento Local na Física Aristotélica.** Revista Brasileira de ensino de Física, v.34, n.3, 3601, 2012.
- CARVALHO, A. M. P.; VANNUCCHI, A. **O currículo de física: inovações e tendências nos anos noventa.** Investigações em Ensino de Ciências, Porto Alegre, v. 1, p. 3-19, 1996.
- DELORS, J. (org.). **Educação um tesouro a descobrir – Relatório para a Unesco da Comissão Internacional sobre Educação para o Século XXI.** Editora Cortez, 7ª edição, 2012.

DIAS, V. S. **História e Filosofia da Ciência na pesquisa em Ensino de Ciências no Brasil: manutenção de um mito?** Tese de doutoramento. UNESP, 2009.

EL-HANI, C. N. Notas sobre o ensino de história e filosofia da ciência na educação científica de nível superior. In: SILVA, C. C. **Estudo de História e Filosofia das Ciências: subsídios para aplicação no ensino.** São Paulo: Livraria da Física, 2006. p. 3-21.

ÉVORA, F. R. R. **A Revolução Copernicana-Galileana: Origem, Significado e Inserção na História do Pensamento Científico-Filosófico Antigo e Medieval.** Dissertação de Mestrado. São Paulo, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas da UNICAMP, 1987.

_____. **A Evolução do Conceito de Inércia: de Filoponos a Galileu.** Tese de doutorado. São Paulo, Departamento de Filosofia da FFLCH - USP, 1996.

_____. **Discussão Acerca do Papel Físico do Lugar Natural na Teoria Aristotélica do Movimento.** Caderno de História e filosofia da ciência. Campinas, série 3, v.16, n.2, p. 281-301, jul.-dez. 2006.

FLECK, L. **Gênese e desenvolvimento de um fato científico.** Belo Horizonte: Fabrefactum. 2010.

FORATO, T. C. M. **O método newtoniano para interpretação das profecias bíblicas de João e de Daniel na obra: Observations upon the prophecies of Daniel and the apocalypse of St. John.** Dissertação de mestrado em História da Ciência. PUC/SP. 2003.

_____. **A Natureza da Ciência como Saber Escolar: um estudo de caso a partir da história da luz.** Tese de Doutorado. São Paulo: FEUSP, 2009. 2 vols.

FORATO, T. C. M.; MARTINS, R. A.; PIETROCOLA, M. Enfrentando obstáculos na transposição didática da história da ciência para a sala de aula. In: PEDUZZI, L. O. Q; MARTINS, A. F. P; FERREIRA, J. M. H. (org.). **Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino.** Natal: EDUFRN, 2012.

FORATO, T. C. M.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R. A. **Historiografia e Natureza da ciência na sala de aula.** Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v.28, n.1: p. 27-59, abr. 2011.

FREITAS, F. H. A. e FREIRE JR., O. **O Plano Inclinado Galileano: notas sobre uma tomada de dados com estudantes do Ensino Superior.** Atas do XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física, Rio de Janeiro, 2005.

GALILEU. **Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano.** Tradução e notas de Pablo Rubén Mariconda. São Paulo: Associação Filosófica Scientiae Studia, Editora 34, 2011.

- GARDELLI, D. **A origem da Inércia**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v16, n.1, p. 43-53, abril, 1999.
- GATTI, S. R. T.; NARDI, R.; SILVA, D. **História da Ciência no Ensino de Física**: um estudo sobre o ensino de atração gravitacional desenvolvido com futuros professores. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 15, n. 1, p. 7-59, 2010.
- GIL PEREZ, D. et al. **Para uma imagem não deformada do trabalho científico**. *Ciência e Educação*, v.7, n.2, p. 125-153. 2001.
- HARRES, J. B. S. **Uma revisão de pesquisas nas concepções de professores sobre a natureza da ciência e suas implicações para o ensino**. *Investigações em Ensino de Ciências. Revista do Instituto de Física da UFRGS, Porto Alegre*, v.4, n.3, set. 1999.
- HENRIQUE et al. **Discussões sobre a Natureza da Ciência em um curso sobre história da Astronomia**. *Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia*, n.9, 2010.
- HODSON, D. *Teaching and learning science*. Buckingham: Open University Press. 1998. In: CACHAPUZ, A.; PRAIA, J; JORGE, M.; **Da educação em Ciências às orientações para o ensino de Ciências**: um repensar epistemológico. *Ciência & Educação*, v. 10, n. 3, p. 363-381, 2004.
- HOSSON, C. **Una controversia histórica al servicio de una situación de aprendizaje**: una reconstrucción didáctica basada en diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo de Galileo. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 29, n. 1, 115-126, 2011.
- HÜLSENDEGER, M. **Uma análise das concepções dos alunos sobre a queda dos corpos**. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 21, n. 3, 377-391, 2004.
- KOYRÉ, A. **Estudos Galilaicos**. Trad. Nuno Ferreira da Fonseca. Publicações Dom Quixote. Lisboa. 1992.
- KÖHNLEIN, J. F. K. **Uma discussão sobre natureza da ciência no ensino médio**: um exemplo com a teoria da relatividade restrita. Dissertação de mestrado apresentado ao Programa de Pós Graduação em Educação, UFSC, Santa Catarina, 2003.
- KUHN, T. S. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. São Paulo: Perspectiva, 2006.
- MCCOMAS, W.F. et al. **The Nature of Science in Science Education**: an introduction. *Science & Education*, v. 7, p. 511-532, 1998.
- MARTINS, A. F. P. **História e Filosofia da Ciência no ensino**: há muitas pedras nesse caminho... *Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Florianópolis*, v. 24, n. 1, p.112 - 131, abril, 2007.

MARTINS, R. A. **Galileu e o princípio da relatividade**. Cadernos de História e Filosofia da ciência. n.9: p. 69-86, 1986.

_____. **Sobre o papel da história da ciência no ensino**. Boletim da Sociedade Brasileira de História da Ciência, v. 9, p. 3-5, 1990.

_____. **Galileu e a rotação da terra**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v.11, n.3: p.196-211, 1994.

_____. Descartes e a impossibilidade de ações à distância. In: FUKS, S. (ed). **Descartes 400 anos: um legado científico e filosófico**. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 1998, p. 79-126.

_____. O que é Ciência, do Ponto de Vista da Epistemologia? In: **Caderno de Metodologia e Técnica de Pesquisa** (n. 9): 5-20, 1999.

_____. **Que tipo de história da ciência esperamos ter nas próximas décadas?** Episteme Filosofia e História das Ciências em Revista (10) 39-56, 2000.

_____. **Como não Escrever sobre História da Física** – Um Manifesto Historiográfico. In: Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 23, n.1, março, p.113-129, 2001.

_____. História e História da Ciência: encontros e desencontros. In: **Actas do 1º Congresso Luso-Brasileiro de História da Ciência e da Técnica**. Évora: Centro de Estudos de História e Filosofia da Ciência da Universidade de Évora, 2001.

_____. Introdução: A história das ciências e seus usos na educação. In: SILVA, C.C. (org) **Estudos de História e Filosofia das ciências: Subsídios para Aplicação no Ensino**. São Paulo: Livraria da Física, 2006a, p. 3-21.

_____. A maçã de Newton: lendas e história. In: SILVA, C.C. (org). **Estudos de História e Filosofia das ciências: Subsídios para Aplicação no Ensino**. São Paulo: Livraria da Física, 2006b, p. 167-190.

_____. Estado de Repouso e Estado de Movimento: uma revolução conceitual de Descartes. In: PEDUZZI, L. O. Q.; MARTINS, A. F. P.; FERREIRA, J. M. H. (org) **Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino**. Natal, RN: EDUFRN, 2012, p. 291-308.

MATTHEWS, M. R. **História, Filosofia e Ensino de Ciências: a tendência atual de reaproximação**. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v. 12, n. 3, p.164-214, 1995.

MENEZES, L. C. **Ensino de Física: reforma ou revolução**. In: MARTINS, A. F. P. (org) **Física ainda é cultura?** São Paulo. Livraria da Física, 2009, p. 25-45.

MOREIRA, M. A. **Ensino de Física no Brasil: Retrospectivas e Perspectivas**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 22, n. 1, março, 2000.

- NARDI, R. **Memórias da Educação em Ciências no Brasil:** a pesquisa em ensino de física. *Investigações em Ensino de Ciências* – v.10(1), pp. 63-101, 2005.
- NEWTON, I. **Principia:** Princípios Matemáticos de Filosofia Natural - Livro I. 2ed., 1 reimp. – São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo. 2008.
- OLIVEIRA, W. C. **Ensinando sobre a Natureza da Ciência:** uma abordagem explícita e contextualizada a partir da história do vácuo. 2010. Dissertação de mestrado apresentado ao Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências Naturais e Matemática da UFRN, Natal, Rio Grande do Norte.
- OLIVEIRA, R. A. e SILVA, A. P. B. História da Ciência e ensino de Física: Uma análise Meta-historiográfica. In: PEDUZZI, L. O. Q; MARTINS, A. F. P; FERREIRA, J. M. H. (org.). **Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino.** Natal: EDUFRN, 2012.
- PEDUZZI, L. O. Q. **Solução de problemas e conceitos intuitivos.** Caderno Brasileiro de ensino de Física. 4(1):17-21, 1987.
- _____. **Física Aristotélica:** Por que não considerá-la no ensino da mecânica? Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v.13, n1: p.48-63, abr.1996.
- _____. **Um texto de Mecânica em nível universitário básico:** conteúdo programático e receptividade à seu uso em sala de aula. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 3, n. 1, 21-45, 1998.
- _____. Sobre a utilização didática da História da Ciência. In: PIETROCOLA, M. O. (Org.). **Ensino de Física:** conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora. 2 ed. Florianópolis: Editora da UFSC, p. 53-75, 2005.
- _____. Sobre continuidades e discontinuidades no conhecimento científico: uma discussão centrada na perspectiva Kuhniana. In: **Estudos de História e Filosofia das ciências.** São Paulo: Livraria da Física, 2006.
- _____. **Evolução dos Conceitos da Física.** Força e movimento: de Thales a Galileu. Departamento de Física da Universidade Federal de Santa Catarina (publicação interna), 2008.
- PEDUZZI, S. e PEDUZZI, L O. Q. **Leis de Newton:** Uma forma de ensiná-las. Caderno Brasileiro de ensino de Física. 5(3): 142-61, 1988.
- PEDUZZI, L. O. Q.; ZYLBERSTAJN, A.; MOREIRA, M. A. **As concepções espontâneas, a resolução de problemas e a história da ciência numa sequência de conteúdos em mecânica:** o referencial teórico e receptividade de estudantes universitários à abordagem histórica da relação força e movimento. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v14, n.4, 1992.

- PIETROCOLA, M. (org.) **Ensino de física: conteúdo, metodologia e epistemologia em uma concepção integradora**. 2. ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 2005.
- PIRES, A. S. T. **Evolução das ideias da física**. 2 Ed – São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.
- RICARDO, E. C. **As Ciências no Ensino Médio e os Parâmetros Curriculares Nacionais: da proposta à prática**. 2001. Dissertação (Mestrado em Educação). 172p. Universidade Federal de Santa Catarina – Centro de Ciências da Educação. Florianópolis-SC.
- RONAN, C. A. **História Ilustrada da Ciência: Universidade de Cambridge**. Rio de Janeiro. Zahar, 2001.
- SILVA, B. V. C. **Controvérsias sobre a natureza da luz: uma aplicação didática**. 2010. Dissertação de mestrado apresentado ao Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências Naturais e Matemática da UFRN, Natal, Rio Grande do Norte.
- SILVA, C. C. e MOURA, B. A. **A natureza da ciência por meio do estudo de episódios históricos: o caso da popularização da óptica newtoniana**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 30, n. 1, 1602. 2008
- SILVA, C. C. e PAGLIARINI, C. R. **A Natureza da Ciência em Livros Didáticos de Física**. XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física – Curitiba, 2008.
- SOUZA, J. A. **Uma abordagem histórica para o ensino do princípio da inércia**. 2008. Dissertação de mestrado apresentado ao Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências Naturais e Matemática da UFRN, Natal, Rio Grande do Norte.
- TEIXEIRA, E. S.; SILVA, C. P.; FREIRE, O.; GRECA, I. **A Construção de uma argumentação sobre a síntese newtoniana a partir de atividades em grupo**. Investigações em Ensino de Ciências, v. 15, n. 1, 61-95, 2010.
- TEIXEIRA, E. S; GRECA, I. M. e FREIRE JR. O. Uma Revisão Sistemática das Pesquisas Publicadas no Brasil sobre o uso Didático de História e Filosofia no Ensino de Física. In: PEDUZZI, L. O. Q; MARTINS, A. F. P; FERREIRA, J. M. H. (org.). **Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino**. Natal: EDUFRN, 2012.
- PIRES, A. S. T. **Evolução das Ideias da Física**. 2ª Edição – São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.
- VALADARES, J. **Concepções alternativas no ensino da Física à luz da Filosofia da ciência**. Tese de Doutorado, vols 1 e 2. Lisboa: Universidade Aberta, 1995.
- VANNUCCHI, A. I. **História e Filosofia da Ciência: da teoria para a sala de aula**. 1996. Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Física e à Faculdade de Educação da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo.

VASCONCELOS, J. C. R. **“Inércia Circular”** nos *Discorsi de Galileu Galilei*: interpretação ou erro de tradução. Caderno de História e Filosofia da Ciência, Campinas, Série 3, v. 11, n. 1, p. 81-94, 2001.

_____. **Galileu contra a inércia circular**. *Scientiæ Studia*, São Paulo, v. 3, n. 3, p. 395-414, 2005.

ZANETIC, J. **Física também é cultura**. 1989. Tese de doutorado apresentada ao Instituto de Física e à Faculdade de Educação da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo.

_____. **Dos “Principia” da Mecânica aos “Principia” de Newton**. Caderno Brasileiro de ensino de Física. Florianópolis, 5 (Número Especial): 23-35, jun. 1988.

ZYLBERSZTAJN, A. **A evolução das concepções sobre força e movimento**, s/d.

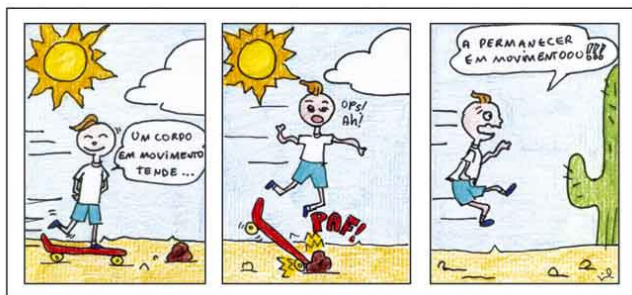
ANEXO I

Mede-se a grandeza de uma ideia pela resistência que ela provoca...

Anaxágoras

Uma Breve História da Inércia - Texto I

Introdução



A charge acima ilustra um dos conceitos fundamentais da mecânica, que possivelmente você estudou durante o ensino médio: o conceito de inércia.

Você lembra o que diz a primeira Lei de Newton? Vejamos:

“Todo corpo persevera em seu estado de repouso, ou de movimento uniforme em linha reta, a menos que seja compelido a modificar esse estado por forças imprimidas sobre ele.”

É possível que muitos considerem a inércia um conceito de fácil entendimento. Mas, pensar que um corpo pode se movimentar infinitamente em linha reta sem a ação de uma força, por uma condição da matéria, não é tão óbvio quanto pode parecer.

Ao longo da nossa história veremos que nem sempre se pensou assim. Na antiguidade, por exemplo, o único movimento infinito possível seria o movimento circular (dos corpos celestes). Além disso, Newton considerou o movimento como sendo um estado (assim como o repouso), o que significa que o movimento não precisa da ação de uma força, não precisa de uma causa. Essa também é uma ideia que rompe com o passado, pois a continuidade de movimento esteve, anteriormente, associada à ação de uma força.

Ao longo do nosso texto, veremos as mudanças pelas quais passou o estudo do movimento. Poderemos observar como os mesmos fatos eram explicados de maneiras distintas por diferentes estudiosos, ao assumirem pressupostos teóricos diferentes.

Um dos nossos objetivos é que você possa compreender que o conceito de inércia é a concretização de uma mudança total de visão e de

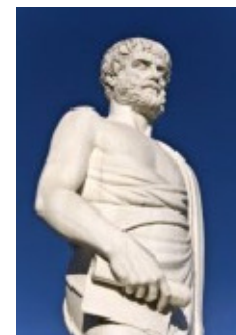
entendimento físico em relação ao que se pensava sobre o movimento na antiguidade.

A história da inércia é um episódio bastante interessante da história da física. Sob o ponto de vista temporal, é bastante extensa, compreendendo o período que vai de Aristóteles a Newton (muito embora as discussões não se encerrem por aí).

Dividimos essa história em duas partes: o texto I, que abrange o estudo do movimento de Aristóteles chegando a idade média, onde uma teoria rival (teoria do *impetus*) ganha força. O texto II discutirá a inércia em Galileu, Descartes e Newton e as divergências entre esses pensadores.

A Física de Aristóteles

Aristóteles, de Estagira (384-322 a.C.), é um dos personagens da antiguidade grega mais importantes na história da filosofia natural. Ele deixou um impressionante corpo de conhecimento sistematizado. Seus estudos abrangeram diversas áreas, como a Lógica, a Ética, a Física, a Astronomia etc. Iremos analisar sua contribuição à Física através de suas concepções sobre o *movimento local*.



Estátua de Aristóteles, situada na Grécia

Antes de analisarmos como Aristóteles explica o movimento dos corpos devemos considerar dois importantes aspectos de sua física: sua noção de movimento e seu conceito de lugar.

O que você aprendeu sobre o movimento? Certamente, você deve ter estudado que o movimento é um conceito relativo (pois depende de um referencial). É a mudança de posição em relação ao tempo. Será que Aristóteles tinha a mesma ideia? Não!

Para ele, o movimento é uma mudança. Uma atualização do *Ato* em *Potência* ou vice-versa, em função da sua condição de imperfeição, na busca pela perfeição. Assim, uma semente, por

exemplo, é semente em *Ato*, mas uma árvore em *Potência*, e essa transformação é um movimento. Ele cita como exemplos de movimento: crescer, construir, rolar, pular, praticar medicina, amadurecer etc.

Nossa ideia atual de movimento (mudança de posição) é, para Aristóteles, apenas um dos tipos de movimentos possíveis, que ele denominou de *movimento local*. Para ele, existiriam três classes de movimento: o qualitativo (alteração), o quantitativo (aumento e diminuição) e o local (mudança de lugar/posição). Além disso, a relatividade do movimento ainda não havia sido estabelecida, logo, o movimento era um conceito absoluto.

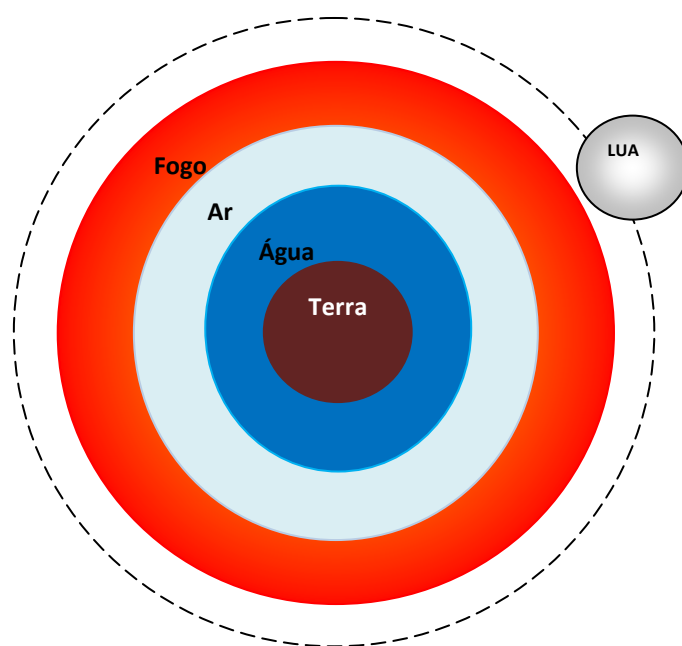
O conceito aristotélico de lugar também é diferente do que estamos familiarizados. Lugar não era uma extensão tridimensional, o “lugar” era concebido como uma região limite (um contorno) que envolve o que está ali contido.

Na filosofia aristotélica os conceitos de lugar, de vazio e de tempo estavam sempre associados à existência de um corpo. Não o havendo, os primeiros também não existiriam.

Aristóteles dividiu o universo em dois mundos: o *sublunar* (região terrestre, que se estendia desde o centro da Terra até a esfera da Lua) e o *supralunar* (região celeste, situava-se desde a Lua até as estrelas fixas), e estabeleceu significativa diferença entre esses mundos.

Na região terrestre ou mundo *sublunar* toda matéria seria formada por quatro elementos – terra, água, fogo e ar – ou por combinações destes. Para ele, a região abaixo da lua deveria ser estruturada de maneira que cada elemento ocupasse um determinado lugar (lugar natural). Assim, ele divide esse mundo em quatro regiões concêntricas, sendo cada uma dessas esferas o lugar natural de um dos quatro elementos.

Segundo Aristóteles, essa ordenação é um dos argumentos capazes de corroborar a ideia de esfericidade terrestre. Além disso, ele aponta como uma das provas da forma de nosso planeta a observação de curvas na superfície da lua durante um eclipse lunar. Antes de Aristóteles, os argumentos a favor da forma esférica da Terra derivavam de questões estéticas, já que a esfera era considerada a mais perfeita de todas as formas geométricas.



Representação da ordem dos elementos que compõem a região *sublunar*

No mundo *sublunar* poderiam existir movimentos de dois tipos: o **natural** e o **violento**. O movimento natural, no mundo terrestre, é o retilíneo para cima ou para baixo em direção ao lugar natural. Neste mundo, em razão de sua natureza de imperfeição e corrupção, não existiriam movimentos perpétuos e as leis da matemática não serviriam para descrever os fenômenos.

Na região celeste ou mundo *supralunar* Aristóteles assume um pensamento que se opõem ao primeiro. Enquanto aquela era marcada pelas constantes transformações e mudanças, essa é caracterizada pela ausência das mesmas.

Para o mundo *supralunar*, eterno e imutável, o movimento seria uniforme, circular e perpétuo, e neste, o movimento natural é o movimento circular uniforme, que é o único que pode ser perpétuo e onde as leis da matemática podem ser estabelecidas e válidas. Sendo o mundo celeste a região onde prevalecia a permanência, ela deveria ser constituída de um elemento diferente dos quatro elementos terrestres. Além disso, os corpos celestes não caem nem se afastam em direção à Terra. Logo, ele admite a existência de um quinto elemento, denominado éter, uma substância homogênea que permeava todo espaço e

que não oferecia resistência ao movimento dos corpos celestes.

Você percebeu que Aristóteles estabelece movimentos naturais diferentes para cada um dos dois mundos? Enquanto no mundo *sublunar* o movimento natural é em linha reta (ascendente ou descendente e finito), no mundo *supralunar* o movimento natural é o circular, uniforme e perpétuo.

Até aqui aparecem dois aspectos muito interessantes que desde já vale salientar: i) **os pressupostos teóricos assumidos por Aristóteles influenciaram o modo como ele explicou diversos fenômenos.** Veremos, por exemplo, que seu conceito de lugar é determinante para a negação que ele faz do vazio e para definir a maneira como explica o movimento local; ii) **a forma como ele desenvolveu suas ideias não tem como ferramentas o uso da matemática ou da experimentação.** Tais fatores tornaram-se relevantes para a ciência em um momento futuro. Para ele, a matemática não serve para descrever um mundo de corrupção e de inconstâncias.

O Movimento Local

Nosso objetivo é compreender como o movimento era explicado. Vimos até aqui que Aristóteles separou o universo em regiões diferentes, e estabeleceu movimentos naturais diferentes para cada uma dessas regiões. Mas, o que vem a ser o movimento natural? E o violento (mencionado anteriormente)? Vejamos mais sobre essas questões.

Segundo Aristóteles, cada um dos corpos, seja celeste, seja terrestre, tem seu lugar natural e seu movimento natural para este lugar. Todo movimento que não é natural é violento. O movimento natural é uma mudança que acontece de acordo com a composição do elemento do qual o corpo é formado e do lugar natural do elemento correspondente, em outras palavras, o movimento natural é possível pela tendência natural dos corpos ocuparem seu lugar natural. Para que o corpo possa atingir o seu fim, o repouso.

Se cada coisa estivesse no seu lugar natural, não haveria razão para elas de lá saírem, portanto, permaneceriam em repouso. Porém, se algo fosse

retirado de seu lugar natural, então essa mudança seria realizada por uma ação de violência (pela ação de um motor) que durava enquanto permanecesse a ação daquilo que causou o movimento violento. Cessando essa ação, segue-se o movimento natural, ao lugar natural.

Nas palavras do filósofo...

“Para quaisquer duas porções de fogo (...) o movimento para cima da maior é mais rápido do que aquele da menor, da mesma forma que o movimento para baixo de uma massa de ouro ou de chumbo, ou de qualquer outro objeto dotado de peso, é mais rápido em proporção ao seu tamanho”. ARISTÓTELES.

Nosso Comentário: Neste excerto, podemos identificar que para Aristóteles corpos de mesmas porções (que hoje chamaríamos massa) caem com velocidades diferentes e proporcionais a sua composição. Por exemplo: um corpo com mais porções do elemento terra cairia com maior velocidade que outro, com menos elemento terra. O mesmo vale para o movimento ascendente.

No mundo *sublunar*, todo movimento, quer fosse ele natural ou violento, necessitava de uma ação contínua e direta, ou seja, de uma causa. Era necessária a ação de um motor, não apenas para iniciar o movimento, bem como para mantê-lo. Nos objetos animados, o motor e o movido estavam juntos, pois, a alma constituía o motor e o corpo o ser movido. Em ambos os casos o motor e o movido eram distinguíveis e não estavam separados espacialmente. No caso do movimento violento ou natural de objetos inanimados, o móvel e o motor eram fisicamente distintos. O mesmo princípio vale na análise do mundo *supralunar*, com uma diferença: para ele, o motor que movia a esfera física dos planetas era uma inteligência celestial.

Para Aristóteles, todos os corpos eram dotados de características como peso ou leveza. Os

objetos dotados de mais elemento terra ou água, portanto, pesados, tenderiam a cair para seus lugares naturais, terra ou água, na busca pelo seu estado de repouso. Assim como os corpos dotados de mais elemento fogo ou ar, leves, tenderiam a subir ao encontro de seus lugares naturais, com a mesma finalidade, o repouso. É importante destacar que a concepção de Aristóteles sobre o peso (ou leveza) não é referente à ação de uma força, não há por trás a ideia de gravidade (aceita atualmente).

O movimento do tipo violento necessitava de uma ação contínua de um motor, uma força externa, não só para iniciar o movimento como para mantê-lo. Essa é uma ideia muito presente no senso comum (associar, necessariamente, a ação de uma força externa ao movimento) e um dos motivos pelos quais se justifica o estudo da teoria aristotélica do movimento. Vale salientar que, para Aristóteles, tais explicações são válidas somente para objetos inanimados, pois, segundo ele, os seres vivos são constituídos de uma categoria à parte, sua alma contém um princípio vital que os permite se locomover por esforço próprio (esse tipo de movimento, dos seres vivos, era considerado natural).

Aristóteles acreditava que no movimento violento a velocidade do corpo deveria ser proporcional à força motora e inversamente proporcional a resistência ao movimento que, por sua vez, teria relação com o peso ou a leveza. No caso do movimento natural, a velocidade do corpo seria proporcional ao peso ou à leveza, e inversamente proporcional à densidade do meio.

Em uma notação matemática moderna, poderíamos escrever que a lei do movimento de Aristóteles ficaria como apresentamos a seguir, onde v é a velocidade adquirida pelo corpo, F corresponde à “potência” motora e R à resistência do meio:

$$v \propto \frac{F}{R}$$

Lembramos, no entanto, que Aristóteles jamais usou esse tipo de notação, ao contrário, ele não associava a matemática (mais especificamente a geometria) ao mundo *sublunar*, que constitui o mundo das imperfeições. Além disso, o movimento só ocorreria para $F > R$.

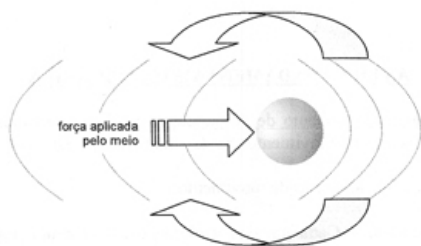
No caso do movimento natural, a lei acima ganharia a seguinte forma:

$$v \propto \frac{P}{d}$$

Onde a velocidade do corpo deveria ser diretamente proporcional ao “peso” (P) do corpo e inversamente proporcional à densidade (d), que tem relação com a resistência do meio no qual o corpo se move. Como veremos mais adiante, para Aristóteles a velocidade de queda de um corpo não é constante, pois o “peso” aumenta de acordo com a proximidade do corpo em relação ao seu lugar natural.

Vimos que, para Aristóteles, o movimento de queda livre, é um movimento natural em direção ao lugar natural (no mundo *sublunar*) e que todo movimento não natural, é violento (e precisa da ação de uma força). No entanto, como ele explicava o movimento de bola lançada por um canhão, por exemplo. Como explicar a continuidade desse movimento?

Esse movimento (lançamento de projéteis) poderia ser explicado de duas maneiras. A primeira delas seria a partir de um processo denominado *antiperistase*, que consiste na força exercida pelo ar sobre o corpo, ou seja, o ar passaria a atuar como motor, fazendo com que o movimento fosse possível. Em outras palavras, imaginemos o movimento de uma flecha após deixar o contato com o arco. Para que a mesma prosseguisse em movimento, era necessária a ação de um motor, nesse caso, o ar deslocado pela frente da flecha movia-se rapidamente ao longo da mesma a fim de ocupar o espaço “vazio” deixado por ela, empurrando-a para frente. Além disso, esse mesmo ar atuaria como meio resistivo ao movimento, reduzindo a velocidade do mesmo até parar. Outra tentativa de explicar o mesmo movimento considerava que no lançamento, uma camada de ar era movimentada e transmitida às sucessivas camadas de ar, exercendo força sobre o objeto, empurrando-o para frente, e assim como na explicação anterior, o ar resistiria ao deslocamento, diminuindo a velocidade do projétil até que ele caísse, perpendicularmente, em direção ao solo.



O meio, ao contornar o móvel para ocupar o vazio deixado por ele, exerce uma força empurrando este para frente.

É importante salientar que a discussão sobre inércia tem como pano de fundo duas outras importantes discussões que ocorreram fortemente durante o medievo: i) a possibilidade ou não da existência do vazio, e ii) a possibilidade ou não de movimento infinito, no mundo *sublunar*.

No quadro, ao lado, apresentamos seis argumentos usados por Aristóteles para negar o vazio. Cinco deles tem caráter físico e um é de natureza lógica. Vale destacar que o conceito de vazio assumido por Aristóteles não é o mesmo que nós utilizamos atualmente. O conceito de vazio sustentado por Aristóteles é aquilo em que é possível, mas não existe a presença de um corpo.

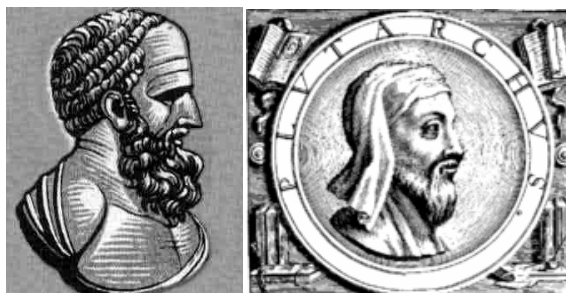
Embora a física de Aristóteles tenha sido aceita por, aproximadamente, dois mil anos, alguns aspectos de suas ideias começaram a sofrer críticas, ainda na antiguidade, que ganham força a partir do medievo até uma substituição total com o surgimento da dinâmica inercial no século XVII. Para Aristóteles, o movimento corresponde a um processo de mudança e não a um estado, dessa forma, exige a ação de uma causa. Isso implica na associação de causa e de efeito, que se dá entre força (causa) e velocidade (efeito), ou seja, quanto maior a força, maior a velocidade. Esse pensamento é muito comum ainda hoje, pois se trata de uma relação que parece muito presente nos fenômenos cotidianos. Outra concepção que perdurou por muito tempo, e que se manifesta em conformidade com o senso comum, é a ideia de que os corpos mais pesados caem com velocidades maiores em relação a outros menos pesados.

Argumentos contra o vazio	
Argumentos Físicos	1) Sem que houvesse a resistência do meio (no vazio) os corpos tenderiam a continuar em movimento, infinitamente, o que para ele é um absurdo.
	2) A falta de resistência, como já dissemos, implicaria em um movimento instantâneo, o que era considerado um absurdo.
	3) Considerando a possibilidade de existência do vazio, todos os corpos se moveriam nele com velocidades iguais, independente de seus pesos, uma vez que todos os corpos atravessariam o vazio com a mesma dificuldade.
	4) O movimento se daria em todas as direções, pois se no vazio não há lugares diferenciados. Um corpo tenderia a qualquer lugar e a todos os lugares ao mesmo tempo, já que não há uma direção preferencial por natureza.
	5) O tempo que um corpo atravessaria o vazio seria o mesmo que levaria para atravessar um meio não vazio, mas bastante rarefeito, o que é absurdo.
Argumento Lógico	6) Se o vazio é um lugar em que pode existir, porém não existe corpo e não há lugar sem corpo, logo, o vazio não pode existir.

Uma das questões da reflexão em filosofia da ciência é: O que é ciência? É claro, que na época de Aristóteles nem se usava o termo ciência. A investigação da natureza era interesse da filosofia. Assim sendo, qual o objetivo da filosofia natural? Para Aristóteles, estava em conhecer as causas primeiras, pois é possível explicar o “porquê”, ao conhecer as causas, princípios ou elementos. E o conhecimento, para ele, se dá através dos sentidos, do particular, ou seja, dos dados do mundo real, ao universal, que seriam as regras gerais, pela lógica. Fica claro neste aspecto que o desenvolvimento do conhecimento científico em Aristóteles segue um método diferente do que virá aparecer mais adiante.



Interior do Palácio da Aljaferia de Saragoça, lugar no qual se reuniam os intelectuais, dentre eles Avempace.



Da esquerda para direita: Hiparcos de Nicéia (190-120 a.C.) e Plutarcos (50-125 d.C.)

Filopono e alguns comentadores da Alta Idade Média

A partir de agora veremos, brevemente, algumas críticas dirigidas à teoria de Aristóteles sobre o movimento, principalmente àquelas direcionadas ao lançamento de projéteis e à ideia do movimento infinito. Iremos apontar importantes reflexões feitas por alguns pensadores a respeito do movimento, além de discutir a teoria do *impetus*. Poderemos notar que sobre alguns aspectos existiam grandes controvérsias. Para os mesmos fenômenos observados encontramos explicações bastante diferentes, as quais encontram amparo nos pressupostos assumidos por seus proponentes.

As críticas são feitas com base, principalmente, no pensamento dos filósofos João Filopono de Alexandria (?490-570) e na teoria do *impetus* de Jean Buridan (?1300-1358) e Nicolas Oresme (?1320-1382). Também merecem destaque as contribuições dadas pelos comentadores árabes Avicena (980-1037), Avempace (1106-1138) e Averroes (1126-1198).

Ainda na antiguidade, Hiparcos de Nicéia (190-120 a.C.) e Plutarcos (50-125 d.C.) defendiam que alguma coisa se mantinha no corpo, ao longo de seu movimento, e seria responsável pela continuidade do mesmo, opondo-se assim à visão aristotélica de que o meio seria o responsável pela manutenção do movimento violento.

Outro aspecto de divergência em relação às ideias de Aristóteles é o fato de Hiparcos considerar que os corpos são mais pesados quanto mais distantes estiverem de seus lugares naturais. Na visão aristotélica, o movimento de queda (movimento natural) seria acelerado em função do peso, que aumentaria à medida que o corpo se aproximasse do seu lugar natural, ou seja, quanto mais próximo de seu lugar natural o corpo estivesse, maior seria a tendência de deslocamento para o mesmo, dessa maneira, seu peso aumentaria, a mesma situação seria válida para corpos dotados de leveza, cujo movimento é para cima.

Como mencionamos, embora houvesse uma grande aceitação do pensamento aristotélico, alguns filósofos divergiam dele. Um dos maiores críticos de Aristóteles foi João Filopono, que viveu no século VI da era cristã (possivelmente entre os anos de 490-570), estudou lógica e filosofia na escola Neoplatônica de Alexandria e foi um dos maiores críticos da filosofia aristotélica do seu tempo. Entretanto, seus trabalhos foram perdidos e somente através dos comentários de Avicena, Avempace e Averroes que as ideias de Filopono ficaram conhecidas. As primeiras edições dos trabalhos de Filopono são datadas de 1535 (uma versão em grego) e de 1542 (uma versão em latim do comentário sobre a *Physica* de Aristóteles). Isso mostra que a obra de Filopono ficou conhecida tardiamente, o que não a tornou menos influente. Galileu e alguns de seus contemporâneos fizeram menção a ele.

As ideias de Filopono passam a ser largamente difundidas e estudadas a partir do séc. XVI. Ele é citado por pensadores importantes como Francesco Buonamici e Galileu. Ainda no período anterior ao século XVI, os árabes Avicena

ou Ibn Sina (980-1037) e Avempace ou Ibn Badja (1106-1138) defendiam a ideia de que a lei do movimento de Aristóteles (velocidade proporcional ao motor e inversamente proporcional à resistência do meio) deveria ser substituída pela lei da diferença aritmética, tal como propôs Filopono (velocidade proporcional à “força” diminuída da resistência do meio). Vamos discutir melhor essas questões.

Apesar de Filopono ter assumido alguns conceitos da teoria do movimento de Aristóteles, podemos dizer que ele rompe com grande parte do que Aristóteles propunha. Filopono propõe, de forma sistemática, um conjunto de questões bem articuladas, as quais poderiam rivalizar com as concepções aristotélicas, e tece críticas bem contundentes, sugerindo alternativas às questões postas por Aristóteles, principalmente no que se refere ao movimento natural e violento e à possibilidade de movimento no vazio.

Filopono, assim como Aristóteles, divide o movimento em dois tipos, o movimento natural e o movimento violento, mas assume para eles explicações completamente diferentes, partindo de pressupostos teóricos distintos. Dentre esses pressupostos, três assumem grande importância:

1) Estabelece um novo conceito de lugar. Filopono concebe o lugar como uma extensão tridimensional e imóvel que contém o corpo, mas que existe independente dele. Assim, o lugar é “*um certo intervalo mensurável em três dimensões diferentes dos corpos que ocupam-no*”;

2) A causa do movimento, para Filopono, é uma força cinética (*dynamis kinétiké*), ou seja, o que torna o movimento possível, tanto o natural quanto o violento, é uma força interna, que é gradualmente esvaída;

3) Rejeita a lei da velocidade de Aristóteles, assumindo que a velocidade é proporcional à diferença entre a força e a resistência. Para ele o meio deve ter uma única função: resistir ao movimento.

Partindo de tais pressupostos, veremos como Filopono estrutura uma nova dinâmica para o movimento, além de tornar plausível o movimento finito e temporal no vazio. No entanto,

vale salientar que embora sua dinâmica torne possível o movimento no vazio, Filopono admite que a natureza teria “*horror ao vácuo*” (como era comumente aceito em sua época).

Ainda pensando no movimento dividido entre o natural e o violento, Filopono explica ambos baseando-se no mesmo princípio: a ação da força cinética incorpórea. Para o movimento natural, admite que Deus, ao construir o universo, dotou-o de certa ordem. Assim, quando um objeto é retirado do seu lugar natural, ele tende a retornar ao mesmo em busca da ordem inicialmente estabelecida. Mantém assim, como Aristóteles, uma explicação teleológica para o movimento natural.

Filopono rejeita a ideia aristotélica de que no vazio os corpos caem instantaneamente. Isso porque, para ele, um corpo leva um tempo diferente de zero para se deslocar no vazio e um tempo adicional para se deslocar no pleno. Assim sendo, o tempo total do deslocamento de um corpo é igual à soma do tempo de seu descolamento em um meio vazio com o tempo em um meio pleno. Segundo Filopono, o “erro” de Aristóteles estava na ideia do tempo total de queda dos corpos ser proporcional à densidade do meio. Para Filopono, o tempo adicional é que é diretamente proporcional à resistência do meio.

Retomemos a explicação aristotélica sobre a diferença na velocidade de queda dos corpos. Segundo Aristóteles, há dois motivos para isso: i) resistência do meio é diferente; ii) corpos diferem em peso e leveza (tem composições diferentes, de acordo com os quatro elementos). Todavia, para Filopono as coisas não são assim. Ele declara que pesos diferentes caem com velocidades diferentes e na medida de sua inclinação natural para a queda ou para o movimento ascendente. Filopono explica o movimento acelerado de queda em função da inclinação intrínseca do corpo, a fim de atingir a harmonia concedida pelo criador. Assim, à medida em que o corpo se aproxima do seu lugar natural aumenta sua inclinação em direção ao mesmo, aumentando sua velocidade. Para Filopono a velocidade de um corpo é dada pela diferença entre o peso do corpo e a resistência do meio.

Nas palavras do filósofo...

“nossa visão pode ser corroborada pela real observação mais eficientemente do que por qualquer outro tipo de argumento verbal. Pois se você deixar cair da mesma altura dois pesos dos quais um é muitas vezes mais pesado do que o outro, você verá que a proporção dos tempos necessários para o movimento não depende da proporção dos pesos. Mas que a diferença no tempo é muito pequena. E assim, se a diferença nos pesos não for considerável, isto é, se um for, suponha, o dobro do outro, não haverá nenhuma diferença, ou melhor, haverá uma diferença imperceptível, no tempo, embora a diferença no peso não seja certamente desprezível, com um corpo pesando duas vezes mais que o outro”. FILOPONO

Nosso Comentário: apesar do trecho acima parecer indicar que Philoponos acreditava que os corpos caem em tempos iguais independente de seus pesos, observamos que ele afirma haver uma diferença, ainda que imperceptível. Lembre que Aristóteles admitia que o tempo de queda de corpos de pesos diferentes em um mesmo meio seria proporcional ao inverso de seus pesos. Para Filopono essa diferença é desprezível.

Como vimos em Aristóteles, tudo que se move é movido por alguma coisa. A mesma premissa é sustentada por Filopono, porém com uma explicação diferente para o movimento violento. Na dinâmica aristotélica, o ar funciona como motor e como meio resistivo. Ele propõe que, após o contato do lançador como objeto, este adquiriu uma força (*dynamis*) que lhe é cedida pelo atirador e o faz prosseguir em movimento, o qual vai sendo reduzido duplamente, em função da própria força que decresce gradativamente e em função da resistência do meio em que o corpo é deslocado. Quando a força cessar totalmente segue-se o movimento natural, em função da inclinação interna do objeto para alcançar sua harmonia inicial. Mais uma vez, observamos que o movimento no vazio não fica impossibilitado, pois

o meio não mais se constitui em agente de movimento.

Abaixo mencionamos dois dos argumentos que Filopono utilizou para criticar a explicação aristotélica para o movimento violento. Vejamos que eles se constituem em contra-argumentos extremamente interessantes.

1) Para o movimento de *antiperistasis*, isto é, o deslocamento do ar da frente do projétil, para trás do mesmo, empurrando-o, Filopono faz o seguinte questionamento: “como explicar os três movimentos distintos realizados pelo ar”? O ar inicialmente é empurrado para frente do projétil, em seguida, muda de sentido deslocando-se para trás, e mais uma vez torna a mudar de sentido empurrando o projétil para frente. Outra questão é como explicar que o ar ocupa um lugar que não está mais vazio, uma vez que, quando o ar da frente sai do lugar que ocupava e dirige-se para trás do projétil, a natureza por ter “*horror ao vácuo*” tende a preencher, imediatamente, o espaço deixado vazio na parte posterior do projétil. Logo, o ar deslocado da frente encontrará o lugar preenchido atrás. Além disso, como explicar o ar tendo sido empurrado em uma direção, receber um *impetus* para se deslocar no sentido contrário?

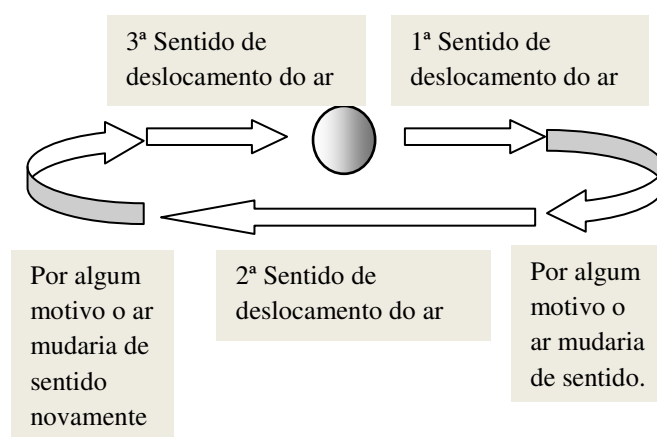


Figura 7—Representação da crítica de Filopono a Aristóteles.

2) Outra possibilidade defendida por Aristóteles seria de que o ar tornar-se-ia um motor por receber do lançador esse poder, no ato do lançamento. Assim, o ar exerceria uma “pressão” sobre as paredes laterais do projétil lançando-o para frente. Porém, Filopono levanta a seguinte questão: Por que haveria necessidade de contato entre o

lançador e o projétil já que o meio pode se tornar motor? Veja seu argumento na caixa abaixo.

Nas palavras do filósofo...

“Seria possível sem o contado [da pedra com a mão, ou da corda do arco com a flecha] colocar a flecha no topo de uma vara, como se ela estivesse sobre uma linha fina, e colocar a pedra em uma situação similar, e então, com inúmeras máquinas, pôr uma grande quantidade de ar em movimento atrás destes corpos. Agora é evidente que quanto maior for a força com que ele é movido mais este ar empurraria a flecha ou a pedra, e mais longe ele as atiraria. Mas o fato é que ainda que se coloque a flecha ou a pedra sobre uma linha completamente destituída de espessura ou sobre um ponto, e se ponha em movimento todo o ar detrás dos projéteis com todo o seu *impetus* (*rhumê*), a flecha não se moveria a uma distância de um único côvado”. FILOPONO

Nosso Comentário: É interessante ver como os filósofos divergem e como os argumentos são perfeitamente coerentes e inteligentes, embora não adotemos mais tais explicações. Neste trecho Philoponos critica o posicionamento de Aristóteles argumentando que se sua explicação fosse correta, então, empurrando-se apenas o ar atrás do corpo a ser deslocado, este se moveria, o que ele afirma não acontecer.

Anteriormente, discutimos cinco argumentos físicos de Aristóteles contra a possibilidade de existência do vácuo. Vejamos como tais argumentos não mais se sustentam na dinâmica de Filopono. O sexto argumento não se sustenta mais, pois seu conceito de lugar não é o mesmo de Aristóteles.

Na tabela abaixo retomamos o cerne do pensamento aristotélico (com a negação do vazio) na coluna da esquerda e, na coluna da direita, a contraposição com base nas ideias de Filopono. Lembremos que Filopono não era defensor da existência do vazio, ao contrário. Esta comparação nos permite verificar as lacunas deixadas por Aristóteles.

Aristóteles versus Filopono	
Sobre a infinitude do movimento (fato impossível)	1) Para Filopono, tanto o movimento natural quanto o violento são possíveis em função de uma força cinética incorpórea, que se dissipa gradativamente, o que não implica, portanto, em um movimento infinito. Portanto, todo movimento é finito.
Movimento instantâneo (fato impossível)	2) Sustenta a ideia de que faz parte da própria natureza do movimento ser temporal. Além disso, admite que a velocidade de um objeto seja proporcional à diferença entre a força recebida pelo lançador e a resistência do meio.
Velocidades iguais independente do peso (fato impossível)	3) Filopono argumenta que se o meio fosse o único responsável pela velocidade de queda dos corpos, corpos de pesos diferentes, em um mesmo meio, teriam velocidades iguais o que, segundo o próprio Aristóteles, não é verdade.
Sem lugar preferencial o movimento se daria em todas as direções. (fato impossível)	4) De acordo com Filopono os corpos, quando deslocados de seus lugares naturais, têm internamente uma força que os direcionam para o seus lugares naturais para restabelecer a ordem definida por Deus na criação, ou seja, não é o lugar que tem um poder ativo.
O tempo que um corpo atravessaria o vazio seria o mesmo que levaria para atravessar um meio não vazio, mas bastante rarefeito. (fato impossível)	5) Considera que os tempos de quedas dos corpos de pesos diferentes são desprezíveis (o que não significa que ele considere que o tempo de queda independe dos pesos, assim como assumido depois por Galileu).

Para Aristóteles, no vazio o movimento violento não teria causa, o que implicaria inexistência de movimento violento. Como o movimento existe, significa que o vazio inexistente. Na dinâmica de Filopono o meio tem função apenas resistiva, e não motora. O movimento natural ocorreria por uma inclinação incorpórea. Qualquer corpo deslocado de seu lugar natural voltaria ao mesmo em busca da harmonia perdida. No caso do movimento violento, este se daria devido a uma força cedida pelo lançador ao corpo no momento do lançamento. Em ambos os casos verificamos que na dinâmica de Filopono as causas eficientes dos movimentos são internas ao objeto que se desloca, diferentemente da visão aristotélica, onde as causas são externas ao corpo.

Um aspecto também interessante da filosofia de Filopono é que ele procura estabelecer as mesmas explicações tanto para o movimento no mundo *sublunar* quanto no mundo *supralunar*, rejeitando a dicotomia imposta por Aristóteles. Para ele todo o universo é formado pelos quatro elementos terrestres (terra, água, ar e fogo), e não existe o quinto elemento (éter) inserido pela cosmologia aristotélica.

Até aqui vimos algumas divergências entre Aristóteles e Filopono. Vejamos agora um pouco das contribuições deixadas pelos árabes.

Outro pensador que discorda das explicações aristotélicas para o movimento de projéteis é Abû Ali al-Husain ibn Sina, conhecido no mundo ocidental como Avicena, nascido no ano de 980. Ainda jovem estudou filosofia, matemática, lógica, metafísica, física, astronomia, jurisprudência mulçumana, teologia e medicina. Tornou-se um pensador extremamente respeitado.



Abû Ali al'Husain ibn Sina
"Avicena" (980-1037)

Ele desenvolveu um pensamento para explicar o movimento violento que ficou conhecido como a teoria do *mayl* (inclinação) de Avicena.

A teoria do *mayl* (inclinação) de Avicena é bastante parecida com a ideia de força impressa e incorpórea de Filopono, porém elas diferem em um aspecto muito importante: o *mayl* é algo de natureza permanente, diferente da força cinética de Filopono que é gradualmente perdida, autoconsumida (lembremo-nos que, mesmo no vazio, o movimento não seria infinito, uma vez que o corpo vai perdendo essa força).

Por ser o *mayl* algo implantado no corpo pelo lançador e que não é destruído, se não houvesse um meio resistivo, o movimento tenderia a continuar até o infinito, mas assim como Aristóteles, Avicena não admite o movimento eterno e infinito. Logo, nega a possibilidade de existência do vazio, pois, não se vê na natureza nenhum corpo que mantenha o seu movimento continuamente.

Ao analisar o movimento violento, Avicena concluiu que os corpos que possuíam uma mesma força impressa eram deslocados com velocidade proporcional ao inverso de seus pesos.



Da esquerda para direita: Avempace (1106-1138)
e o árabe-espanhol Averroes (1126-1198)

Outros dois importantes comentadores árabes são Abou-Bekr Mohammed bem Ya'hya, mais conhecido como Avempace (1106-1138), e o árabe-espanhol Abu-l-Walid Muhammad ibn Abmad ibn Muhammad ibn Rushd, cujo nome latinizado é Averroes. Muito do que se conheceu dos filósofos gregos da antiguidade, no período do Renascimento, foi devido às traduções e comentários dos árabes e posteriores traduções para o latim das obras destes. Infelizmente, grande parte do que foi produzido por Avempace se

perdeu e seus escritos não foram traduzidos para o latim durante toda idade média. Muito do que se conhece sobre ele é com base no que deixou seu aluno Ibn- Tofail (1100-1185), seu discípulo Al-Bitrugi (f. 1185) e, principalmente, através das referências que Averroes faz sobre o mesmo.

Avempace foi, também, um grande crítico da filosofia do movimento de Aristóteles. Defendeu que a causa do movimento não pode ser o meio e assumiu, assim como Filopono, que a velocidade adquirida por um corpo em movimento era proporcional à força subtraída da resistência do meio, além de admitir a atuação da força impressa para explicar o movimento natural e o violento. Critica Aristóteles, argumentando que aceitar sua teoria implicava em admitir que em um meio sem resistência um corpo iria de um ponto a outro instantaneamente, uma vez que na teoria aristotélica o éter era uma substância que não oferecia resistência ao movimento. Logo, os corpos celestes deveriam possuir velocidades instantâneas, o que não se verifica. Conclui ele que esse fato provava a falsidade da lei aristotélica da velocidade de um corpo em movimento.

Averroes considera que, se a posição defendida por Avempace fosse verdadeira, Aristóteles estaria equivocado e, se assim fosse, seria possível o movimento no vácuo, o que ele não admite, logo ele defende a teoria Aristotélica.

Averroes foi um dos maiores comentadores e divulgadores das ideias de Aristóteles. Seus escritos foram traduzidos para o latim e amplamente estudados nas Universidades da Europa Ocidental durante o século XIII. A partir do final do século XIII diversos estudiosos se dedicaram à questão do movimento. De maneira geral, as explicações dividiam-se entre os que compartilhavam das ideias de Aristóteles e Averroes e os que aceitavam a teoria da força impressa de Filopono e Avempace.



São Tomás de Aquino
(1225-1274) é considerado um dos

pensadores que defendem a visão aristotélica e que conseguiu conciliá-la com a doutrina cristã. Ele argumentava que se a teoria da força cinética incorpórea fosse possível, o movimento violento teria origem a partir de forças intrínsecas, perdendo, dessa maneira, sua característica. Ele defendia que o movimento violento deveria acontecer em função da ação externa de uma causa.

Embora nesse aspecto ele defenda a posição aristotélica, discorda de alguns pontos da teoria do movimento de Aristóteles. Aquino aceita a possibilidade de movimento no vazio, afirmando que no vazio o movimento seria finito e temporal. Como exemplo dessa possibilidade ele mostra o movimento das esferas celestes que, apesar de estarem em um ambiente sem resistência, possuem movimento finito e temporal. Rejeita também a lei do movimento de Aristóteles. Além disso, para Aquino, o vazio possui uma dimensão e extensão divisíveis, assim sendo, mesmo no vazio o movimento é temporal.

O *impetus* de Buridan e Oresme

Das teorias propostas para rivalizar com a teoria aristotélica do movimento, a que parece ter sido a mais conhecida foi a teoria do *impetus*, de Jean Buridan (?1300-1358) e Nicolas Oresme (?1320-1382).

Jean Buridan, discordando das explicações de Aristóteles para o movimento violento e para o lançamento de projéteis, lança mão de algumas experiências a fim de “provar” que o pensamento de Aristóteles estava incorreto. Para ele a teoria de Aristóteles não explica satisfatoriamente os movimentos a que se propõe, além de outros movimentos observados na região terrestre.

Buridan questiona: como explicar o movimento de um pião e de uma mó de ferreiro, que descreve movimento circular, no mesmo ponto, mesmo depois de separado do lançador?

Outra questão posta por Buridan em relação a essa experiência é que, isolando-se todas as laterais do moinho com um tecido, de modo que o ar não passe, verifica-se que o moinho não parará por isso. Dessa maneira, vemos que Buridan rejeita a ideia de que o ar é responsável pelo movimento.

Nas palavras do filósofo...

“Uma lança, tendo uma cônica posterior tão afiada como a anterior, seria movida depois de projetada tão rapidamente quanto seria sem uma cônica posterior afiada. Mas, certamente o ar seguinte não poderia empurrar uma extremidade afiada neste caminho, porque o ar seria facilmente dividido por esta agudeza”. BURIDAN.

Nosso Comentário: Buridan propõe mais um experimento a fim de refutar a explicação da *antiperistasis*. Segundo esse filósofo, se o ar fosse o responsável pelo movimento, ao atirar uma lança com a cônica posterior afiada tanto quanto sua parte anterior, esta deveria se deslocar com velocidade menor do que uma lança que não tenha sua parte posterior afiada, o que não ocorre.

Segue a crítica a Aristóteles. Dessa vez, Buridan sugere mais uma experiência: um barco empurrado contra o fluxo do rio, cessado o puxão, continua em movimento por um longo tempo. Quando um marinheiro sobe ao convés não sente o ar vindo de trás, no sentido do movimento, ao contrário, sente o ar vindo da frente, resistindo ao movimento.

Além desses argumentos, Buridan sugere comparar o movimento de uma pena e de uma pedra: vê-se que a pedra se desloca mais facilmente que a pena, o que mostra o equívoco da concepção aristotélica. Uma vez que se o ar é responsável pelo movimento, era de se esperar que fosse, então, mais fácil deslocar a pena, o que não acontece.

Buridan considera que a continuidade do movimento deve ter relação tanto com o lançador quanto com o corpo lançado. Para explicar o movimento local, Buridan assume a ideia de *impetus* de ação permanente e considera que este teria relação com a quantidade de matéria da composição do corpo. Além disso, ele procura dar um tratamento quantitativo ao seu conceito de *impetus*, admitindo que este deveria ser

proporcional à velocidade do projétil e à quantidade de matéria contida no corpo.

Seguindo o pensamento de Buridan, como explicar o movimento de queda acelerado? E o movimento no vazio? Para ele, o corpo durante a queda tem acréscimo de *impetus* em função da sua gravidade. Com relação ao vazio ele parece não discutir esse assunto. Assume que o “vazio não é naturalmente possível”, fato comum à época.

Outro pensador medieval de grande importância e que também se opõe a Aristóteles é Oresme. O *impetus* de Oresme é semelhante ao proposto por Buridan, mas difere principalmente em relação à permanência desse *impetus* adquirido pelo corpo. Para Oresme esse *impetus* é de caráter finito, é autoconsumido. Ele parece ter assumido tal concepção a respeito do *impetus* a fim de sustentar a possibilidade de rotação diária da Terra. Em sua obra *Le Livre Du Ciel Et Du Monde*, Oresme usa seu conceito de *impetus*, a ideia de relatividade do movimento e de composição dos movimentos para atacar os argumentos da época contra a ideia do movimento rotacional terrestre.

Oresme lança mão de uma série de argumentos na defesa do movimento diurno. Não trataremos desses argumentos aqui, mas é importante considerar que ele concebe a relatividade do movimento: “Eu tomo como fato que o movimento local pode ser observado somente se nós pudermos levar em consideração que um corpo assume uma posição diferente em relação a outro”.

Para Oresme a Terra, em função de seu movimento, poderia imprimir ao corpo um *impetus* na direção em que estase move, de maneira que a pedra acompanharia o movimento da Terra e não seria possível perceber a rotação diurna da Terra. Ele define seu *impetus* como sendo uma qualidade gerada pelo motor que age sobre o movimento do corpo de maneira a acelerar esse movimento. Tal concepção consegue explicar de maneira satisfatória o comportamento dos corpos tanto na subida (onde há diminuição de velocidade) quanto na descida (aumento de velocidade).

No entanto, não podemos dizer que a concepção de relatividade do movimento em Oresme seja correspondente à concepção moderna. Faltou a Oresme a ideia de inércia. A concepção de movimento relativo para ele estava imbricada com

a ideia de movimento terrestre. É possível que, em sua visão, se a Terra cessasse seu movimento, os projéteis também cessassem.

Como podemos notar, até esse momento da nossa história observamos que não são poucas as críticas ao pensamento aristotélico. Claramente há desacordos entre os pensadores e essa atmosfera tende a aumentar com os trabalhos de Galileu, como veremos no próximo texto.

Uma Breve História da Inércia - Texto II

Continuemos nosso percurso de reconstrução histórica do conceito de inércia.

Este texto irá abordar, principalmente, a ideia de inércia (já presente) nos trabalhos de Galileu e Descartes e a formulação desse conceito, na obra newtoniana. Iremos abordar também as diferenças entre Descartes e Newton.



Da esquerda para direita: o italiano Galileu Galilei (1564-1642), o francês René Descartes (1596-1650) e Isaac Newton (1642-1727)

Galileu entre continuidades e rupturas

O período histórico conhecido como Renascimento corresponde ao movimento que se iniciou no século XIII, na Itália, difundindo-se na Europa entre os séculos XV e XVI. Ele marcou um longo caminho que culminou na chamada Revolução Científica do século XVII. Para os renascentistas, a sua cultura era herdeira da Antiguidade clássica. Esse movimento ganhou força com o advento da imprensa. A publicação de manuscritos originais e de traduções foi de suma importância para o desenvolvimento da ciência. A Renascença foi não só um movimento que provocou modificações profundas no modo como o homem via a si mesmo, mas também em sua relação com o mundo em que vivia. Os pensadores começaram a estudar o próprio homem como um ser racional e superior às demais criaturas. Este período é também marcado por uma intensa “disputa” entre antigos e modernos. Enquanto alguns defendiam a retomada de uma cultura clássica grego-romana (os antigos), outros buscavam uma nova metodologia para explicação dos fenômenos naturais (os modernos). Apesar de pretenderem romper com o passado e construir uma nova ciência, os “modernos” traziam consigo elementos pitagóricos, neoplatônicos, além de ideias

herméticas, e acreditavam estarem contidas nas Escrituras (Bíblia) as verdades sobre a natureza.

Enquanto o que hoje chamamos de ciência começa a se estabelecer como uma área do conhecimento fortemente amparada pela razão, pela experiência e pela matematização, vemos que questões de caráter metafísico ainda estão presentes no pensamento desse período e influenciam a forma como os pensadores refletem sobre a natureza e suas leis.

Galileu Galilei é um dos personagens inseridos nesse contexto de transformações. Ele nasceu no ano de 1564 na cidade de Pisa, onde estudou medicina. Foi professor de matemática da Universidade de Pisa entre 1589 e 1592. Mas destacou-se nos estudos de filosofia natural, no estudo do movimento. Além das contribuições conceituais à física, Galileu estabeleceu novas bases para construção do conhecimento científico, amparado na experimentação e na matemática.

Suas duas maiores obras são *Diálogo sobre os Dois Máximos Sistemas de Mundo Ptolomaico e Copernicano*, conhecida como *Diálogos*, publicada em 1632, e *Discursos e Demonstrações Matemáticas em torno de Duas Novas Ciências*, de 1638, conhecida como *Discorsi* (primeira palavra do título, em italiano). A primeira foi escrita na forma de diálogo entre três personagens: Simplicio (que representa o pensamento de Aristóteles e dos escolásticos), Sagredo (um leigo de espírito aberto ao conhecimento) e Salviati (porta-voz de Galileu). Nesta obra, Galileu procura dar suporte à teoria heliocêntrica de Copérnico. A segunda publicação expõe suas teorias sobre a resistência dos materiais e sobre o movimento natural.

Antes de continuarmos nossa análise sobre as contribuições dadas ao desenvolvimento do conceito de inércia, por Galileu, vamos abrir um parêntese e apontar uma importante contribuição dada por um filósofo que é, por muitos, desconhecido.

Giordano Bruno (1543-1600) defende o sistema copernicano e tece importantes críticas



Giordano Bruno

acerca da explicação de Aristóteles para o movimento violento. Nesse período, uma das alegações mais difíceis de combater pelos que defendiam a mobilidade terrestre era o argumento conhecido como ‘argumento da torre’. De acordo com este, considerando-se o movimento da Terra, um corpo grave que cai livremente do alto de uma torre, ao chegar ao chão, deveria atingir um ponto afastado do pé da torre (não cair rente à torre). Mais adiante retomaremos esse e outros argumentos que se constituíram como fortes objeções à aceitação da mobilidade terrestre.

Ao aceitar a mobilidade terrestre, Bruno estabelece uma ideia que se aproxima da nossa concepção de inércia, além disso, apresenta os princípios básicos da relatividade do movimento.

Ele sugere a seguinte experiência: suponhamos que duas pessoas, a primeira em um navio que corre, e outra localizada fora do navio, tenham a mão perto do mesmo ponto do ar (a uma mesma altura) e deixem cair uma pedra, ao mesmo tempo. O que ocorre, na situação descrita? Para a pessoa situada no navio, a pedra solta de sua mão cai no ponto imediatamente abaixo, sem sofrer qualquer desvio. No entanto, para o mesmo observador (no navio), a outra pedra (que está na mão da pessoa situada fora do navio) cai deslocada para trás.

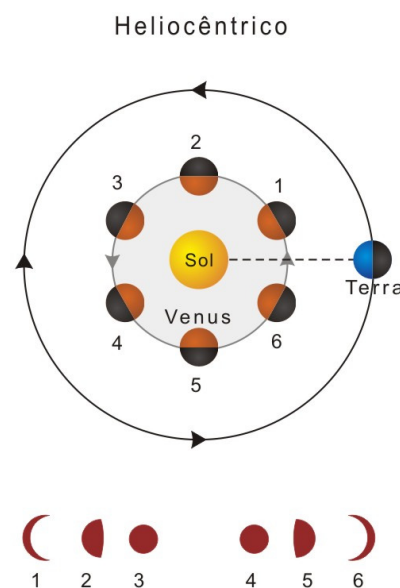
Como ele explica essa diferença? Segundo Bruno, isso ocorre porque, mesmo as pedras tendo a mesma gravidade e atravessando o mesmo ar, a que está no navio adquire (do navio) uma virtude impressa em função do seu movimento. Logo, de acordo com ele, um corpo que está junto de outro que se move, deve mover-se com ele. Dessa maneira, ele justifica porque não observamos o movimento dos corpos com a Terra, pois os corpos devem acompanhar o movimento dela, em função de um impulso adquirido.

Voltemos a Galileu. Ele utiliza um argumento semelhante a este. Embora seja provável que Galileu tivesse conhecimento dos estudos de Bruno (principalmente em função de toda a polêmica em torno de seus estudos, que o levaram inclusive a ser morto na fogueira, pela Inquisição), ele não o menciona em seus trabalhos.

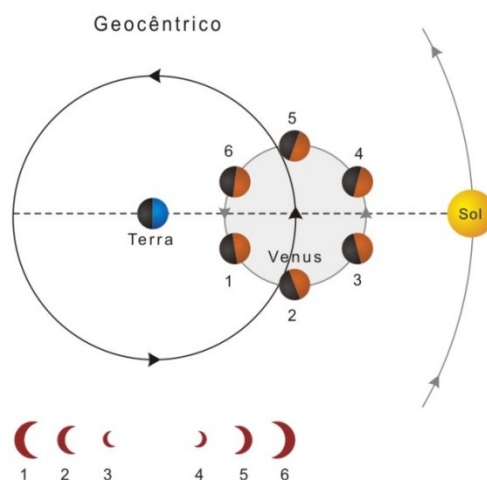
As semelhanças, tanto no discurso do contra-argumento da torre, como na adoção metodológica de construção da obra *Diálogos* (escrita na forma de diálogo, assim como vez Bruno), indicam que Galileu pode ter sofrido influência daquele.

Como dissemos, no *Diálogo*, Galileu sai em defesa da cosmologia de Copérnico. Vale lembrar que essa concepção enfrentava importantes objeções astronômicas e mecânicas, além das questões religiosas.

Havia algumas objeções astronômicas, à época, para a aceitação do modelo copernicano: i) Marte e Vênus deveriam apresentar grandes modificações de tamanho, quando observados da Terra; ii) Vênus deveria exibir fases, como a Lua; e iii) as estrelas deveriam apresentar paralaxe. Tais aspectos, no entanto, não eram observados.



De acordo com o modelo heliocêntrico, Vênus, entre o Sol e a Terra, deveria apresentar fases. Galileu, com o uso do telescópio, consegue observar tais fases. Representação retirada do site: <http://astro.if.ufrgs.br/movplan2/movplan2.htm>



No modelo geocêntrico, Vênus, situado entre o Sol e a Terra nunca poderia ter sua face iluminada totalmente voltada para a terra. Representação retirada do site: <http://astro.if.ufrgs.br/movplan2/movplan2.htm>



Paralaxe – é uma variação na posição aparente da estrela em relação às suas vizinhas. No modelo heliocêntrico ela é prevista, mas não era observada. Note que quanto mais distante a estrela, menor o ângulo. Esse era o motivo pela qual ela não era observada. As estrelas estavam mais distantes do que se supunha. Em 1838, o alemão Friedrich W. Bessel mediu a paralaxe da estrela Cygni 61.

Dentre as objeções de ordem mecânica estava o argumento da torre que considerava que, se houvesse o movimento terrestre, um objeto abandonado do alto de uma torre não cairia verticalmente e ao pé da torre. O argumento da torre foi utilizado largamente durante todo período antigo e medieval para se opor à ideia de rotação diária da Terra. O próprio Galileu, em sua juventude, quando ainda não havia assumido a posição copernicana – na obra *Trattato della Sfera Ovvero Cosmografia* (após 1592), um texto que parece ter sido escrito para seus alunos na época em que era professor em Pádua, e publicado após sua morte - utiliza-se desse argumento assumindo a posição aristotélica.

Nas palavras do filósofo...

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

Nosso Comentário: Este trecho do texto de Galileu mostra como ele, inicialmente, concebe e aceita o que era comum à época, a ideia de que a Terra estaria imóvel no centro do universo. Em algum momento ele é atraído pela teoria de Copérnico e então tenta dar suporte a esta teoria.

Outra objeção mecânica, também conhecida como argumento do canhão, supunha que o alcance de um projétil de canhão lançado obliquamente não poderia ser o mesmo para leste e para oeste no caso da Terra estar em movimento.

Já o argumento de ‘extrusão’, tinha como premissa a ideia de que em função da grande velocidade de rotação da Terra, que na época já podia ser calculada, os corpos deveriam ser expulsos de sua superfície.

Além disso, de acordo com a filosofia aristotélica, a Terra ocupava o centro único de um universo finito. Se a Terra fosse descolada do centro, para onde iriam os corpos graves? Todas essas questões estavam em aberto na época e se configuravam como obstáculos a ideia de mobilidade da Terra.

Não é nosso objetivo tratar as objeções de cunho religioso, mas vale salientar que a influência exercida pela Igreja junto às universidades e à própria sociedade, fato extremamente conhecido, é muitas vezes considerada como um fator de entrave

ao desenvolvimento científico. No entanto, as ações da Igreja, em relação ao conhecimento, são mais complexas do que pode parecer quando se afirma que a Igreja retardou o progresso científico.

As correspondências entre Galileu e Kepler apontam para o fato de que, aproximadamente em 1593, Galileu já estava defendendo o sistema copernicano.

Em 1609, Galileu toma conhecimento de um instrumento holandês que seria capaz de aumentar o tamanho dos objetos. Galileu aperfeiçoou o instrumento e utilizou-o para observar os céus. Em 1610, ele publica seu livro *Sidereus Nuncius* (O Mensageiro Sideral) onde apresenta importantes observações que apontam para imperfeições nos céus, aspectos esses que iam de encontro à filosofia aristotélica. Embora não seja nosso objetivo discutir a cosmologia desse período, assim como os efeitos advindos do uso da luneta, é importante considerar a possibilidade de que tais descobertas tenham contribuído para que Galileu passasse a adotar a concepção cosmológica de Copérnico e buscasse dar suporte físico a essa teoria, tendo em vista as objeções de ordem física que ela sofria.

Como apontamos acima, Galileu, na sua juventude, aceitava e ensinava o modelo geocêntrico valendo-se de concepções aristotélicas. Contudo, suas convicções parecem ter sido abaladas em função dos seus estudos astronômicos (as observações feitas através da luneta). Uma análise das anotações marginais na obra de Ludovico delle Colombe, *Discurso contra o movimento da Terra*, feitas por Galileu em alguma data após 1610, apontam que nesse período ele já contestava a teoria geocêntrica, no entanto de maneira ainda confusa.



Copérnico. Pintura de Jan Matejko (1872)

Nas palavras do filósofo...

“Estando um barco parado, coloque-se uma superfície plana em equilíbrio, como por exemplo, um espelho, e acima dele, em repouso, uma bola perfeitamente redonda; ver-se-á sobre o mesmo espelho a bola ficar parada, apesar de o barco mover-se velozmente; argumento claro de que o ímpeto recebido pela bola daquele que a coloca, que está no barco quando ele se move muito velozmente, não se aniquila ou diminui; pois se fosse diminuindo, a bola, depois de ser colocada sobre o espelho, começaria a correr ao contrário do movimento do barco, se não houvesse algum tipo de propulsor que a empurrasse a obrigasse a seguir o movimento do barco (...). Mas essa bola correria para trás, se aquele que coloca [sobre o espelho] estivesse fora do barco e, quando passasse adiante dele, colocasse a bola sobre o espelho; sem dúvida alguma correria contra o movimento do barco”.

GALILEU

Nosso Comentário: Note que Galileu não utiliza a palavra inércia, e parece que, em suas obras, ele não faz uso de tal termo, mas sim da palavra ímpeto. Parece que ele aceita a ideia de *impetus*. Contudo, vale salientar que, de Filopono a Galileu, o conceito de *impetus* assumido pelos diversos pensadores não são os mesmos. Não estamos querendo dizer que a ideia de *impetus* de Galileu é a mesma assumida por Filoponos, pois não é. O *impetus* de Galileu está muito próximo à ideia moderna de inércia, embora ele não tenha enunciando essa lei, como o fez Newton, nem tampouco feito uso desse termo.

Como mencionamos anteriormente, antes mesmo da publicação da obra *Diálogo*, Galileu já assume a ideia de inércia, concepção esta, que na obra de 1632, ele expressa com bastante clareza. No segundo dia do *Diálogo*, Galileu trata sobre a questão do movimento diurno da Terra, discutindo e refutando argumentos já conhecidos que se opunham a essa possibilidade. Vejamos um trecho do diálogo entre os personagens a respeito do movimento de um corpo em um plano inclinado:

Salviati - (...) dissei-me: quando tivésseis uma superfície plana, polidíssima como um espelho e de matéria dura como 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?

O diálogo prossegue com Simplício afirmando que o corpo tenderia a se deslocar para baixo. Salviati continua com as perguntas:

Salviati - Assim é. 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 responde que a bola se deslocaria com movimento acelerado para baixo, infinitamente, enquanto durasse a inclinação do plano. Salviati pede que ele considere o movimento para cima. Simplício diz que a bola só se deslocaria para cima se violentamente fosse compelia a realizar esse movimento e que o mesmo deveria ser retardado, pois é contra a natureza, além disso, seria mais demorado ou mais rápido de acordo com maior ou menor impulso e segundo maior ou menor aclave. Salviati pede agora que ele considere esse mesmo corpo em uma superfície sem aclave nem declive.

E o diálogo continua:

Simplício - Aqui preciso pensar um pouco na resposta. Como não existe declividade, não pode existir uma inclinação natural ao movimento e, não existindo aclividade, não pode existir resistência a ser movido, de modo que seria indiferente à propensão e à resistência ao movimento: parece-me, portanto, que ele deveria ficar naturalmente em repouso. Mas como sou esquecido! Porque não faz muito que o Sr. Sagredo me fez entender que assim aconteceria.

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 causa de retardamento, não existindo nem declividade nem aclividade.

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

Simplício - Tanto quanto durasse o movimento 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 e matéria duradoura.

Nesse trecho do Diálogo, vemos que Salviati vai persuadindo Simplício até que ele chegue à conclusão que o movimento, nessas circunstâncias, deveria ocorrer infinitamente e que se trataria de um movimento uniforme. No entanto, esse movimento, como defende a maioria dos historiadores, é um movimento circular e não retilíneo (como Descartes e Newton propõem), pois a superfície da qual trata Galileu é a superfície terrestre. Abaixo descrevemos o seguimento dessa discussão entre os personagens Simplício e Salviati:

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

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

A ideia de que um corpo pode se movimentar sem que necessite da ação de um motor, concepção conhecida como inércia, foi um dos conceitos revolucionários na Física e se opõe totalmente à visão antiga. Com Galileu essa concepção ganha seu formato quase final.

Embora muitas vezes Galileu seja considerado o pensador que estabeleceu a lei da inércia, vimos que ideias próximas à concepção atual de inércia já estavam presentes em Giordano Bruno. Além disso, o arremate final dado por Newton é diferente da mecânica galileana. Ainda que o trabalho de Galileu estabeleça ruptura em relação a várias ideias do pensamento aristotélico, ainda dominante em sua época, ele manteve as categorias de movimento natural e violento e a distinção filosófica entre movimentos retilíneos e circulares (considerados naturais, perpétuos e perfeitos). Além disso, muitos historiadores consideram que a inércia pensada por Galileu é uma espécie de ‘inércia circular’ e não retilínea, ou seja, sua ideia de que o movimento se perpetua em um plano correspondente à superfície esférica da Terra e não seguindo uma linha reta geométrica.

Até aqui, os pensadores ainda estão presos à ideia de causa para explicar a continuidade do movimento. Com Aristóteles essa causa seria o meio (causa externa). A partir de críticas bem fundamentadas a essa ideia, a noção de *impetus* se fortaleceu, mas também se caracterizou como uma causa, porém interna.

Caminhando para a forma como a lei da inércia se apresenta na mecânica newtoniana, abordaremos as contribuições fornecidas por Descartes.

Descartes e as Leis da Natureza

O século XVI pode ser caracterizado como o início de um período extremamente importante para o desenvolvimento da ciência, não somente pelas questões internas a ela. Fatores externos foram influenciando sua dinâmica interna. Como temos visto até aqui, embora as ideias aristotélicas ainda exercessem bastante influência, as inconsistências e as crises pelas quais foram passando, aliadas a novas maneiras de pensar, contribuíram para as mudanças. Some-se ainda a essa mistura, as novas perspectivas proporcionadas pelo recém-descoberto “Novo Mundo”, com novos povos, línguas, crenças, plantas e animais, conhecimentos até então inimaginados. Todos esses fatores criaram uma atmosfera que possibilitou a adesão ao novo.

O francês René Descartes nasceu em La Haye, antiga província de Touraine, em março de

1596. Estudou direito na universidade de Poitiers. Tornou-se oficial do exército de Maurício de Nassau, na Holanda.

A partir de 1619, interessado nas questões de filosofia, ele se questiona sobre como seria possível conseguir um conhecimento seguro das coisas. Sua experiência como oficial, passando por diversos lugares, lhe permitiu verificar diversidades em relação aos conhecimentos, costumes e religiões. Ele conclui que seria necessário reconstruir todo conhecimento existente (para que se possa chegar a conhecimentos sólidos) de maneira metódica e racional, guiado por bases seguras, que viriam da matemática, e se propõe a realizar esse empreendimento.

Tendo Descartes derrubado tudo quando se podia acreditar, através da dúvida sistemática, e partindo do que, para ele, eram bases firmes para se construir um conhecimento seguro, a razão e a matemática, ele admite como essencial na matéria a extensão e o movimento. Para ele, a matéria não possui “poderes” (por isso ele não considera possível a ação à distância, ao contrário de Newton), ou seja, é inerte e está contida em um universo extenso e infinito, totalmente preenchido (também não admite a existência de espaços vazios). Descartes considera que quando Deus criou o universo concedeu a ele uma certa quantidade de movimento que se conserva desde então.

Para explicar o movimento, tanto dos céus quanto das coisas da terra, ele adota uma física composta por entidades como turbilhões e vórtices. Entretanto, não vamos nos ater a ela. Na sua obra *Princípios da Filosofia* ele propôs um princípio muito semelhante à primeira lei de Newton, como veremos mais adiante. Além disso, Descartes concebe a ideia de conservação da quantidade de movimento (que atualmente aceitamos como válida).

Descartes não utilizou a expressão inércia (que em sua época tinha como sentido a tendência dos corpos pararem ou permanecerem em repouso). As leis da natureza em Descartes estão relacionadas com sua ideia de conservação do movimento, por isso, o historiador da ciência Roberto Martins utiliza-se da expressão *princípio da conservação do movimento* para referenciar a ideia de “inércia” de Descartes que está contida nas suas leis da natureza (da mesma forma que estamos considerando).

É na obra cartesiana *Le monde* que aparece uma primeira versão de seu princípio (princípio de conservação do movimento). Ela foi escrita entre

1629 e 1633, porém, a primeira versão desta obra só foi publicada postumamente. Não se sabe se Newton tivera contato com essa obra, entretanto, sabe-se que Newton conhecia a obra cartesiana *Princípios da Filosofia*, publicada em 1644, onde aparece também a concepção sobre conservação do movimento de Descartes. É possível que essa obra tenha influenciado o pensamento de Newton a respeito da inércia.

Vejamos as leis da natureza, enunciadas por Descartes:

Primeira lei da natureza: que cada coisa permanece no estado, tanto quanto lhe é possível; e que qualquer coisa que se mova tenta se mover para sempre.

Como Deus não está sujeito a mudar, e por agir ele sempre do mesmo modo, nós podemos atingir o conhecimento de certas regras, que eu chamo de leis da natureza, e que não as suas causas secundárias dos diversos movimentos que notamos em todos os corpos; e isso as torna aqui muito consideráveis. A primeira [lei da natureza] é que cada coisa em particular que seja simples e indivisa continua a estar no mesmo estado, tanto quanto lhe é possível, e que apenas o muda por causas externas. Assim vemos facilmente que quando uma parte dessa matéria é quadrada, ela permanece sempre quadrada, a menos que algo aconteça que mude sua forma; e que, se ela está em repouso, nós não acreditamos que ela começará a se mover, a não ser que seja impedida por outra causa. Nem existe qualquer razão mais forte pela qual, se ela se move, e se nada a impedir, ela não continue seu movimento espontaneamente. E daí devemos concluir que tudo o que se move, tanto quanto lhe é possível, move-se para sempre.

Segunda lei da natureza: que todo movimento é reto em si mesmo; e aquilo que se move em um círculo sempre tenta se afastar do centro do círculo que descreve.

A segunda lei da natureza é: cada parte individual da matéria, considerada apenas em si mesma, nunca tende a continuar seu movimento seguindo linhas oblíquas [curvas], mas apenas em linhas retas [...]. A causa desta regra, como da anterior, depende da imutabilidade e simplicidade das operações pelas quais Deus conserva o movimento da matéria

Descartes parece ter chegado a uma ideia próxima ao que chamamos de lei da inércia através de seu entendimento sobre a conservação do movimento, e não a partir da ideia de *impetus*, como é possível que tenha acontecido com Galileu. Essa ideia de conservação de movimento está associada à imutabilidade divina, um dos atributos do próprio Deus. Em sua obra, Descartes, antes mesmo de

enunciar suas leis, justifica sua ideia de conservação do movimento.

Vejamos como ele justifica suas leis:

Deus é a causa primária do movimento; e ele sempre conserva uma mesma quantidade de movimento no universo.

Após haver examinado a natureza do movimento, devemos considerar sua causa, que é dupla: a primeira, que é mais universal e primária, é a causa geral de todo movimento que existe no mundo; e depois a outra particular, que faz com que cada parte individual da matéria adquira, se ela não o tinha antes. Naquilo que se refere à geral, parece-me evidente que não há nenhuma outra além do próprio Deus, que criou no início a matéria com o movimento e o repouso, e que atualmente conserva no universo, por seu auxílio ordinário, tanto movimento e repouso quanto ele aí havia colocado ao criá-lo. Pois, embora o movimento não seja senão um modo na matéria que é movida, ele tem, no entanto, uma certa quantidade, que não aumenta nem diminui jamais, embora haja às vezes mais e às vezes menos em algumas de suas partes. É por isso que, quando uma parte da matéria se move duas vezes mais rápido do que uma outra e quando essa outra é duas vezes maior do que a primeira, devemos pensar que há tanto movimento na menor quanto na maior; e que sempre que o movimento de uma parte diminui, a de alguma outra parte aumenta em proporção. Sabemos também que é uma perfeição de Deus, não apenas que ele é imutável em sua natureza, mas também que ele age de uma forma constante e imutável; e assim, além das mudanças que observamos no mundo, e aquelas em que acreditamos, pois Deus as revelou, e que nós sabemos acontecerem ou ter acontecido na natureza, sem qualquer mudança por parte do Criador, nós não devemos supor outras [mudanças] em suas obras, por medo de lhe atribuir inconstâncias. De onde se segue que, como ele moveu de várias formas diferentes as partes da matéria, quando ele as criou, e como ele as mantém sempre do mesmo modo e com a mesma razão com que as criou, ele conserva sempre nela uma igual quantidade de movimento.

Um dos aspectos fundamentais, que diferenciam os conceitos da física aristotélica e medieval da física clássica é o estatuto do movimento. Tanto para Aristóteles quanto para os medievais o movimento exigiria a ação de uma causa, fosse ela o meio (causa externa) ou o *impetus* adquirido (causa interna). Para Descartes isso não é mais necessário, pois o movimento passa a ser considerado um estado, assim como é o repouso, e, enquanto estado, não precisa de uma causa, não precisa ser explicado. Considerar tanto o movimento

retilíneo uniforme quanto o repouso como estados foi um importante passo na construção da física clássica.

Descartes justifica a sua primeira lei do movimento em função da relatividade do movimento, pois não pode existir diferença substancial entre repouso e movimento a não ser em função do referencial adotado. Pensemos em um navio que se desloca com velocidade constante em relação ao litoral e que contém uma caixa parada sobre seu tombadilho. Para um referencial no navio a caixa estará em repouso, não tendo, portanto, uma força resultante atuando sobre ela, fazendo-a estar em repouso. Para um referencial no litoral a caixa estará se deslocando com a velocidade do navio, continuando a não existir uma força resultante atuando sobre a caixa, já que a situação é equivalente.

Vimos que Descartes chega a uma ideia próxima à conceituação newtoniana de inércia, não seguindo uma tradição que vem com a ideia de *impetus*, mas por convicções metafísicas. Porém, a concepção desses dois pensadores não são as mesmas, havendo substanciais distanciamentos entre os dois. Descartes não concebe o movimento absoluto nem a existência de espaços vazios na natureza. Para ele, a matéria não possui “poderes” ou algum tipo de atividade, além disso, como veremos, para Newton a inércia é uma força, o que não é verdade no pensamento cartesiano. Vale salientar que Descartes não conheceu os trabalhos de Newton, pois faleceu quando este era ainda criança. Os pontos de discordância entre eles são observados com base na comparação entre suas ideias. Passemos, a seguir, prosseguindo em nossa breve história da inércia, ao nosso arremate final, que é a enunciação feita por Newton, consolidando assim esse conceito que é fundamental no estabelecimento da física clássica.

A primeira Lei de Newton nos *Principia*

Isaac Newton (1642-1727) forneceu contribuição inestimável à física através de suas leis da mecânica e da formulação da teoria da gravitação. É inegável o impacto da mecânica newtoniana e a revolução advinda da sua principal obra, *Princípios matemáticos da filosofia natural*, publicada em 1687 (considerada a primeira exposição dedutiva sistemática da mecânica

clássica). Além disso, foi um importante matemático, tendo criado o cálculo infinitesimal (disputou com Leibniz a autoria da criação. Os historiadores defendem que eles chegaram ao cálculo de maneira independente. Newton, em função de sua influência, foi o “vencedor” da disputa, na época). É importante considerar que qualquer que seja o conceito estudado, as relações que se estabelecem (a posteriori) através de pesquisas históricas ou equivalentes sempre serão menos complexas do que o que aconteceu no tempo e no espaço em que os estudos se desenvolveram.

O desenvolvimento do conhecimento científico é um empreendimento extremamente complexo e não envolve somente variáveis internas a esse sistema. O conhecimento se desenvolve a partir de conhecimentos anteriores, seja para ampliá-los ou no sentido de se opor a eles, e fatores externos (sociais) são extremamente importantes e, determinadas vezes, decisivos. Assim, nosso personagem principal, nesse momento, tem que ser pensado no espaço e no tempo em que se encontrava.

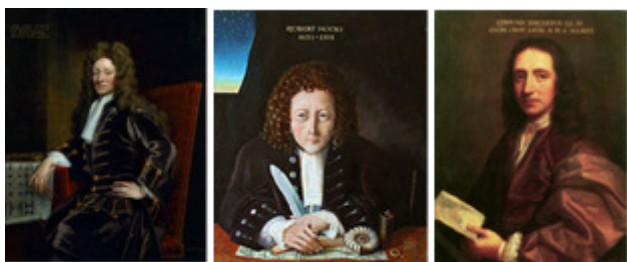
Newton nasceu em Woolsthorpe, Lincolnshire, em 1642. Ingressou em Cambridge quando tinha 19 anos, em 1661. Na Inglaterra, tradicionalmente, ainda se ensinavam os conceitos aristotélicos e o que podemos considerar como nova filosofia (contrária a Aristóteles) estava se disseminando.

Na primavera de 1665 formou-se bacharel em humanidades. Nesse mesmo ano a Inglaterra foi assolada pela peste negra e Newton deixou Cambridge e voltou para a fazenda de sua família.

Antes de 1666 (considerado seu *Annus Mirabilis*, o “ano das maravilhas”, em que ele desenvolveu grande parte de seus estudos na matemática, na óptica e a teoria da gravitação), Newton tivera contato com obras de Galileu, Descartes, Kepler, Walis, Charleton, Hobbes, Gassendi, Henry More e Boyle. De Kepler, Newton herdou uma decisiva revisão do sistema concebido pelo polonês Nicolau Copérnico. De Galileu, a lei da queda dos corpos. De Descartes, a concepção de um universo-máquina, que funcionaria com base apenas no movimento de suas partes (embora discordando do pensador francês no que concerne à ação de forças a distância, e na intervenção constante de uma divindade organizadora do universo). Descartes proporcionou ainda a Newton outra importante contribuição: a Geometria Analítica, que permitia

resolver problemas até então insolúveis pelos métodos algébricos. Três outras influências marcariam a formação do pensamento de Newton: a do filósofo francês Pierre Gassendi, que havia retomado a ideia da matéria composta de átomos; a do químico inglês Robert Boyle e a do filósofo - também inglês - Henry More. Boyle forneceu-lhe a base de suas concepções em química, e More abriu-lhe a porta para o mundo do hermetismo e da alquimia.

Em agosto de 1684, Newton é procurado pelo astrônomo Edmond Halley (o mesmo que observou o cometa que leva seu nome) para que pudesse ajudá-lo em uma aposta que ele se envolvera. Christopher Wren (1632-1723), afirmara que uma força dirigida ao Sol de intensidade proporcional ao inverso do quadrado da distância seria suficiente para explicar a trajetória dos planetas. When lançou um desafio a Edmond Halley e Robert Hooke: quem dentre os dois pensadores (Hooke e Halley) conseguisse provar tal fato, em dois meses, ganharia um livro de 40 xelins (que equivalia ao lucro mensal de um comerciante rico). Na tentativa de vencer a aposta e ganhar o livro Halley procura Newton, professor de matemática de Cambridge.



Da esquerda para direita: Edmond Halley (1656-1742), Robert Hooke (1635-1703) e Christopher Wren (1632-1723)

Ao comunicar o problema a Newton, ele é surpreendido com a resposta que este lhe dá. Newton afirma que esta questão lhe é familiar e já havia pensado neste problema há alguns anos atrás e que tinha inclusive feito as contas e guardara a demonstração dessa questão em uma gaveta. Comprometeu-se, então, a achar os escritos e os enviar a Halley.

Halley esperou por três meses até que Newton lhe enviou um manuscrito contendo a resposta à questão formulada por Wren. Halley incentiva Newton para que publique suas ideias,

recebendo de Newton 460 páginas manuscritas com argumentos matemáticos, esquemas, cálculos, observações astronômicas. Corrigiu e comentou cada uma delas, serviu de intermediário entre a tipografia e a Royal Society e, além disso, financiou a publicação do livro. Nasce então, em 1687, a principal obra newtoniana: Princípios Matemáticos da Filosofia Natural (em latim: *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, ou simplesmente, *Principia*).

É uma obra extensa e difícil, em três volumes, que contém toda fundamentação da mecânica clássica e a teoria da gravitação. Newton rompe em definitivo com os fundamentos escolásticos e sua teoria consegue unificar o mundo *sublunar* e o mundo *supralunar*, ou seja, as leis da mecânica são válidas para explicar o comportamento tanto dos corpos terrestre quanto dos celestes.

No início de seu livro, os *Principia*, Newton aponta para algumas definições e considerações lógicas que são importantes para o movimento. Ele estabelece então o domínio de validade formal e matemática de suas leis, assim como os conceitos de espaço e tempo absolutos, que mais tarde sofrerão críticas por parte de Ernst Mach (1838-1916) e Albert Einstein (1879-1955). Vejamos sua definição sobre a *vis insita* (Definição 3, que está relacionada com o conceito de inércia) e sua concepção de espaço e tempo absolutos (Escólios 1 e 2).

Definição 3. A *vis insita*, ou força inata da matéria, é um poder de resistir mediante o qual todo e qualquer corpo, haja o que houver nele, permanece em seu estado atual, seja este de repouso ou de movimento uniforme em linha reta.

Essa força é sempre proporcional ao corpo a que pertence e em nada difere da inatividade da massa, exceto em nossa maneira de concebê-la (...). Mas um corpo só exerce essa força quando outra força, imprimindo-se sobre ele, esforça-se por alterar seu estado (...). O movimento e o repouso, tal como comumente concebidos, distinguem-se apenas em termos relativos.

Vejamos agora os conceitos newtonianos de espaço e tempo absolutos:

Escólio 1. O tempo absoluto, real e matemático, por si só e por sua natureza, flui uniformemente, sem relação com qualquer coisa externa, e recebe também o nome de duração; o tempo relativo, aparente e comum é uma medida sensível e externa (precisa ou desigual) da duração por meio do movimento, que é comumente

usado em lugar do tempo verdadeiro, como uma hora, um dia, um mês, um ano.

Escólio2. O espaço absoluto, em sua própria natureza, sem relação com qualquer coisa externa, mantém-se sempre semelhante e imóvel. O espaço Relativo é certa medida ou dimensão móvel dos espaços absolutos, que os nossos sentidos determinam por sua posição em relação aos corpos, e que é comumente tomado pelo espaço imóvel; assim é a dimensão de um espaço subterrâneo, aéreo ou celeste, determinada por sua posição com respeito à Terra. O espaço absoluto e o relativo são iguais na forma e na magnitude, mas nem sempre se mantêm numericamente os mesmos. Se a Terra se move, por exemplo, um espaço do nosso ar, que em relação e com respeito a Terra mantém-se sempre o mesmo, em um momento será uma parte do espaço absoluto pela qual o ar passa, e em outro momento será outra parte desse mesmo espaço, de modo que, entendido em termos absolutos, estará mudando continuamente.

Não entraremos em detalhes dos *Principia*. Focaremos no que é o nosso interesse, que é a Inércia. É nesta obra que se encontra enunciada a Lei da Inércia. Notemos a clareza do enunciado da primeira lei apresentada nos *Principia*.

Lei 1. Todo corpo persevera em seu estado de repouso, ou de movimento uniforme em linha reta, a menos que seja compelido a modificar esse estado por forças imprimidas sobre ele.

Os projéteis continuam em seus movimentos enquanto não são retardados pela resistência do ar, ou impelidos para baixo pela força da gravidade. Um pião cujas partes, por sua coesão, são continuamente afastadas dos movimentos retilíneos não interrompe sua rotação, a menos que seja retardado pelo ar. Os corpos maiores dos planetas e cometas, deparados com menos resistência nos espaços mais livres, preservam seus movimentos, tanto progressivo como circulares, por um tempo muito mais longe.

As leis de Newton são válidas para qualquer sistema que esteja em um referencial inercial. Mas o que vem a ser referencial inercial? A relatividade do movimento foi um conceito que veio sendo proposto por diversos pensadores antes de Newton. Não há, nesse sentido, um sistema de referência privilegiado a partir do qual se possa estabelecer o repouso ou o movimento absoluto. Daí a importância do conceito newtoniano de espaço absoluto.

Não iremos mais além neste momento. Mas vale a pena notar que a ideia de inércia não é tão simples como pode parecer!

Como já havíamos mencionado, a história da inércia não se encerra em Newton, no entanto, nosso objetivo é conhecer essa história até a enunciação feita nos *Principia*, perceber as contribuições dadas por diversos pensadores ao longo do tempo e observar a ruptura que ocorre em relação ao pensamento aristotélico (que alguns trabalhos apontam ser próxima à concepção de senso comum). É possível perceber que a inércia é um conceito central que se estabelece no início da ciência moderna após séculos de desenvolvimento, e que não corresponde a um detalhe que é perceptível sensorialmente, como muitas vezes é ensinado.

Descartes x Newton: Um Debate Teológico

Se compararmos a primeira lei da natureza de Descartes à primeira lei de Newton veremos como a semelhança entre elas é grande:

Descartes: “Que cada coisa permanece no estado, tanto quanto lhe é possível; e que qualquer coisa que se mova tenta se mover para sempre”.

Newton: “Todo corpo persevera em seu estado de repouso, ou de movimento uniforme em linha reta, a menos que seja compelido a modificar esse estado por forças imprimidas sobre ele”.

Newton, ao adotar a concepção de movimento e repouso como *estados* da matéria, deve ter sido influenciado pelos trabalhos de Descartes, embora jamais tenha feito qualquer referência a isso.

Considerar o movimento retilíneo uniforme e o repouso como *estados* é algo muito importante. Lembremos que na visão aristotélica o movimento é caracterizado como uma mudança, logo, necessita de uma causa externa. Descartes assume que o movimento (em linha reta com velocidade constante) é um *estado*, não necessitando da ação de uma força para mantê-lo. Esse fato, que talvez possa nos parecer óbvio, não o era nessa época.

A questão que devemos nos perguntar, comparando os enunciados das leis de Descartes e de Newton, é: qual a diferença entre a concepção de inércia deles? Como mencionamos, Descartes não admite a existência de espaços vazios, logo, o movimento retilíneo infinito não seria possível.

Para Descartes, seu princípio da relatividade do movimento é muito amplo e estabelece a

equivalência entre o repouso e o movimento. Newton, embora aceitasse o princípio da relatividade do movimento, admite a existência de um espaço absoluto e estabelece uma distinção entre movimento relativo e movimento absoluto.

Descartes não faz uso de uma distinção entre repouso e movimento, não precisando de ação de uma força. A inércia newtoniana (*vis insita*) tem característica tanto de passividade (resistência ao movimento) quanto de atividade (capacidade de gerar movimento). Descartes considera que o movimento se conserva e dispensa a ação de uma força para continuidade do mesmo.

Por que essa diferença? A adoção de um espaço absoluto, para Newton, parece ter relação com sua concepção teológica.

Nesse aspecto vemos uma importante diferença teológica existente entre Descartes e Newton. Para Newton, Deus é um agente contínuo na natureza, enquanto Descartes considera que Deus criou todas as coisas e conferiu à natureza uma quantidade de movimento que deve se conservar.

A filosofia mecânica newtoniana, segundo David Kubrin, seria baseada na imperfeição do mundo, que estaria se desfazendo e, portanto, para Newton, “precisaria de uma reforma”. De acordo com Kubrin, os ingleses do fim da década de 1660, como Henry More, Robert Boyle e Walter Charleton, tinham receio de que o cartesianismo expulsasse do mundo todas as ideias sobre a Providência Divina. Para tanto, era necessário que se criasse uma mecânica na qual Deus fosse não apenas o responsável pela criação da matéria e do movimento, mas também pela preservação dos mesmos, ou seja, Deus deveria agir continuamente no universo. Logo, um mundo que sofria um declínio em sua regularidade estaria de acordo com a ideia do milênio e do segundo advento de Cristo.

Vimos que por trás do conceito de inércia em Descartes e em Newton existe a influência de suas concepções teológicas, no modo como eles acreditam que Deus age na natureza.

ANEXO III

Questionário Inicial

Caro Aluno,

Este questionário é parte de uma pesquisa mais ampla (Mestrado em Ensino de Ciências Naturais e Matemática). Ele é composto de questões objetivas e discursivas. Escreva no verso da página se o espaço em branco for insuficiente, assinalando o número ou título do item correspondente. Na parte III deste questionário objetivamos colher sua opinião sobre alguns aspectos relativos à Ciência. Salientamos que a **Ciência** da qual tratamos aqui se refere à área das **Ciências Naturais**, de modo que as suas respostas devem remeter-se somente a esta área.

Agradecemos antecipadamente a sua importante colaboração.

PARTE I

1. Nome: _____
2. Curso: () Física Licenciatura () Física Bacharelado () Outro: _____
3. Período: _____
4. Ano de Ingresso: _____
5. Idade: _____
6. Sexo: () Feminino () Masculino
7. Possui experiência docente? () Sim () Não

Em caso afirmativo, informe:

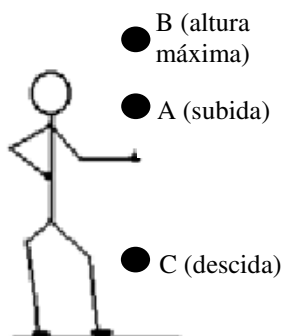
Série(s) ou ciclo(s) em que atua/atuou _____

Tempo de experiência em sala de aula _____

8. Durante seu ensino médio, você teve algum contato com a história da física (nas aulas ou nos livros didáticos)? () Sim () Não
 - Em caso afirmativo: o que você estudou? Qual a sua opinião sobre essa experiência/abordagem?






PARTE II

As questões 1, 2, 3 e 4 referem-se ao seguinte enunciado:








Um homem lança verticalmente para cima uma pequena esfera. Os pontos A, B e C identificam algumas posições da bola após o lançamento (quando não há mais o contato entre a mão do lançador e a esfera). Despreze a resistência do ar. As questões referem-se à representação da velocidade da esfera e da ação da(s) força(s) sobre ela.






1. Indique, dentre as alternativas abaixo, a que melhor representa a ação da(s) força(s) no ponto A, quando a esfera está se deslocando para cima.

- A)  B)  C)  D)  E)  Iguais






2. Indique, dentre as alternativas abaixo, a que melhor representa a ação da(s) força(s) no ponto B, na posição mais alta da trajetória.

- A)  B)  Iguais C)  D)  E)  Nula

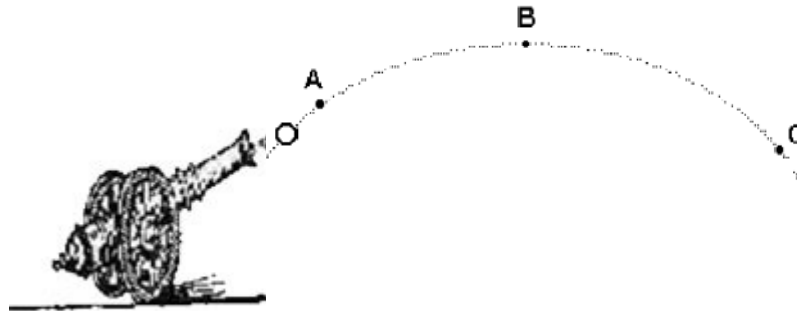
3. Indique, dentre as alternativas abaixo, a que melhor representa a ação da(s) força(s) no ponto C, quando a esfera está se deslocando para baixo.

- A)  B)  C)  D)  Nula E) 

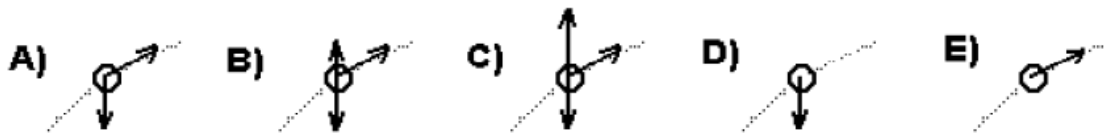
4. No ponto B, onde a altura é máxima, qual alternativa representa melhor a velocidade da esfera?

- A)  B)  C)  D)  E)  Nula

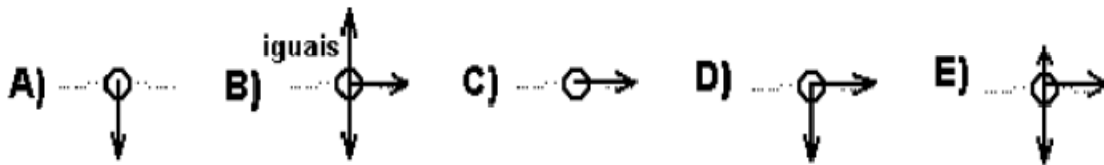
Um canhão lança uma bola, que descreve a trajetória indicada na figura a seguir. Sendo B o ponto mais alto da trajetória e considerando-se desprezível a resistência do ar, analise as questões 5, 6 e 7.



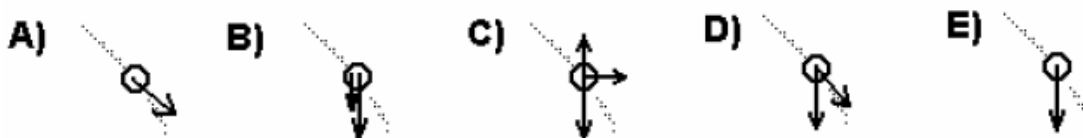
5. Assinale a alternativa que representa a(s) força(s) sobre a esfera no ponto A.



6. Assinale a alternativa que representa a(s) força(s) sobre a esfera no ponto B.



7. Assinale a alternativa que representa a(s) força(s) sobre a esfera no ponto C.



8. Na superfície inclinada, conforme a figura abaixo, uma esfera é abandonada do repouso em A e desloca-se sobre a superfície AO. Consideremos todas as superfícies perfeitamente polidas e que a esfera desliza sem atrito. Despreze a resistência do ar.

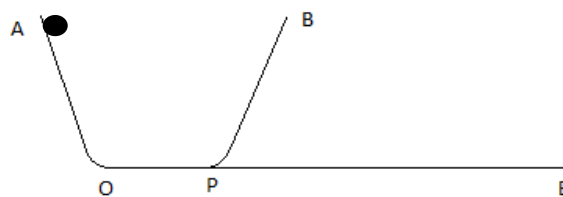


Fig a

a) Indique, na figura acima, a altura máxima atingida pela bola ao subir pelo plano PB. Considere, agora, que a inclinação do plano ascendente seja gradualmente reduzida, formando os planos PC (fig. b) e PD (fig. c) representados abaixo:

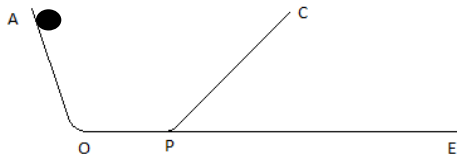


Fig b

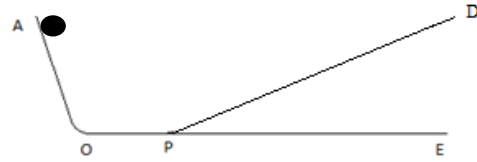
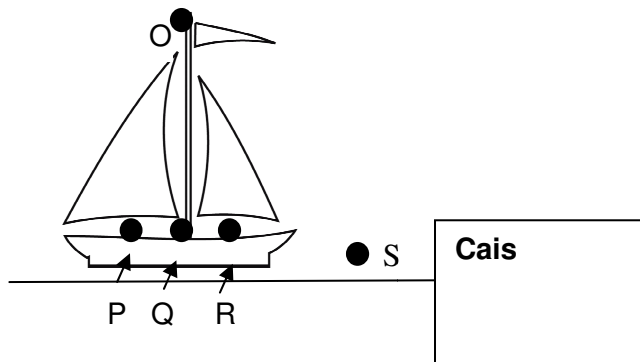


Fig c

- b) Qual a altura máxima atingida pela esfera em cada uma das situações ilustradas acima? Indique nas figuras e **justifique sua resposta**.
- c) O que aconteceria se não houvesse os planos ascendentes e a esfera, após atingir o ponto O, se deslocasse no sentido OE? Lembre-se de considerar inexistente qualquer tipo de dissipação. **Explique sua resposta**.

9. A figura abaixo representa uma escuna atracada ao cais.



Imagine que a escuna está parada em relação ao cais. Deixa-se cair uma bola de chumbo do alto do mastro - ponto O. Nesse caso, ela cairá ao pé do mastro - ponto Q. Quando a escuna se afastar do cais (movimento para esquerda), com velocidade constante, e desprezada a resistência do ar, se a mesma bola for abandonada do mesmo ponto O, em que ponto cairá? Justifique a sua resposta.

PARTE III

1. Que objetivos ou finalidades tem a ciência, no seu ponto de vista?
2. Para você, o que diferencia a ciência de outras formas de conhecimento, como a religião ou a filosofia, por exemplo?
3. Em sua opinião, os conhecimentos científicos (leis, princípios, teorias) uma vez estabelecidos são definitivos? Justifique sua resposta.
4. O método científico costuma ser descrito pelas seguintes etapas: observação de fenômenos naturais, formulação de hipótese explicativa, teste da hipótese através de experimentos, modificação da hipótese em caso de falha nos testes ou, em caso de validação desta, a elaboração de uma teoria. Em sua opinião, esse é o método a ser seguido para se produzir conhecimento científico? Justifique a sua resposta seja ela afirmativa ou não.
5. Sobre fatores que podem influenciar a prática científica, em sua opinião:
 - a) O contexto histórico e social são fatores de influência? Justifique e dê um exemplo que reforce a sua opinião.
 - b) Fatores como crenças pessoais, posições morais, religiosas, políticas etc. podem influenciar esse desenvolvimento? Justifique e dê um exemplo que reforce a sua opinião.
6. Quando cientistas diferentes observam o mesmo conjunto de dados, eles chegam às mesmas conclusões (mesmos modelos, leis ou teorias)? Justifique sua resposta.
7. Uma importante teoria estudada na física é a Teoria da Relatividade Restrita. Nela, Einstein postula que a velocidade da luz, no vácuo, é constante e independente da fonte. Também postula a validade das mesmas leis físicas independentemente do referencial inercial. Esta teoria é aceita pela comunidade científica e os resultados de diversos experimentos estão de acordo com ela. Você acredita que a Teoria da Relatividade Restrita pode sofrer mudanças, futuramente? Ela pode perder a validade? Comente.

ANEXO IV
Questionário do Texto I

As questões propostas a seguir retomam o texto.

O questionário deve ser respondido em uma folha à parte e entregue ao professor.

1. Podemos considerar a física de Aristóteles como uma física não-inercial? Justifique sua resposta.
2. Os pressupostos teóricos assumidos pelos pensadores influenciam a maneira como eles descrevem a natureza. Cite uma passagem do texto que confirme essa afirmação. Justifique sua escolha.
3. De acordo com o que foi visto no texto: podemos falar em uma única teoria do *impetus*? A física do *impetus* é uma física inercial?
4. Você acredita que a controvérsia entre os cientistas é possível? Em caso afirmativo, cite um exemplo que esteja fora do nosso texto.
5. Ao longo do texto vimos que o movimento de um projétil, por exemplo, é explicado de uma maneira por Aristóteles e de outra pela teoria do *impetus*.
 - a) Qual a principal diferença entre essas explicações?
 - b) Em sua opinião, o que essa diferença nos mostra sobre o desenvolvimento do conhecimento científico?
 - c) Você acredita que algo semelhante pode ocorrer hoje em dia, em relação às explicações atuais sobre o movimento dos corpos? Justifique sua resposta.

ANEXO V
Questionário do Texto II

As questões propostas a seguir retomam o texto.

O questionário deve ser respondido em uma folha à parte e entregue ao professor.

1. É possível identificar, ao longo do texto, a ideia de que fatores externos à ciência influenciaram o seu desenvolvimento? Você acredita que isso possa ocorrer hoje em dia? Justifique cada uma das perguntas.

2. Qual a grande contribuição de Galileu para a construção do conceito de inércia?

3. Suponhamos a seguinte situação: um homem encontra-se no interior de um trem lançando dardos em um alvo fixo. Inicialmente, com o trem em repouso em relação um referencial fora do trem, o homem acerta os dardos bem no centro do alvo. Em outro momento, o trem passa a se deslocar em movimento retilíneo e uniforme em relação ao mesmo referencial. Para cada uma das situações abaixo, como esse homem deverá fazer a mira para que continue acertando o centro do alvo.

a) para o alvo localizado em direção oposta ao deslocamento do trem. Justifique.



b) para o alvo localizado em direção perpendicular ao deslocamento do trem.



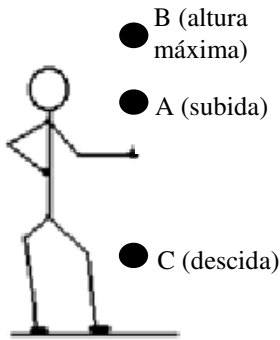
4. O que você acredita haver aprendido sobre o desenvolvimento do conhecimento científico após o estudo desses dois textos históricos?

ANEXO VI
Questionário do Final

Nome: _____

PARTE I

As questões 1, 2, 3 e 4 referem-se ao seguinte enunciado:



Um homem lança verticalmente para cima uma pequena esfera. Os pontos A, B e C identificam algumas posições da bola após o lançamento (quando não há mais o contato entre a mão do lançador e a esfera). Despreze a resistência do ar. As questões referem-se à representação da velocidade da esfera e da ação da(s) força(s) sobre ela.

1. Indique, dentre as alternativas abaixo, a que melhor representa a ação da(s) força(s) no ponto A, quando a esfera está se deslocando para cima.

- A) B) C) D) E) Iguais

2. Indique, dentre as alternativas abaixo, a que melhor representa a ação da(s) força(s) no ponto B, na posição mais alta da trajetória.

- A) B) Iguais C) D) E) Nula

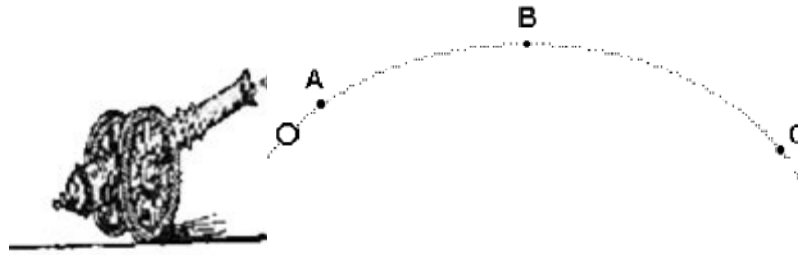
3. Indique, dentre as alternativas abaixo, a que melhor representa a ação da(s) força(s) no ponto C, quando a esfera está se deslocando para baixo.

- A) B) C) D) Nula E)

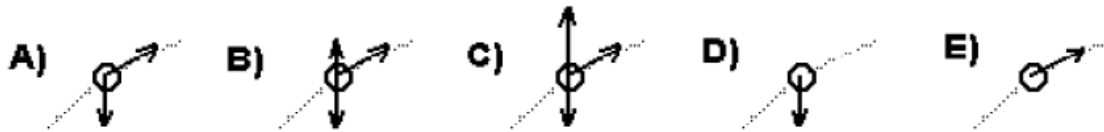
4. No ponto B, onde a altura é máxima, qual alternativa representa melhor a velocidade da esfera?

- A) B) C) D) E) Nula

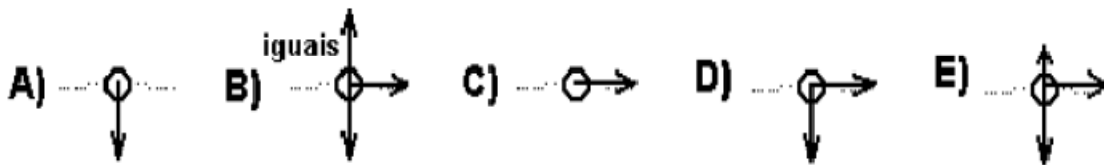
Um canhão lança uma bola, que descreve a trajetória indicada na figura a seguir. Sendo B o ponto mais alto da trajetória e considerando-se desprezível a resistência do ar, analise as questões 5, 6 e 7.



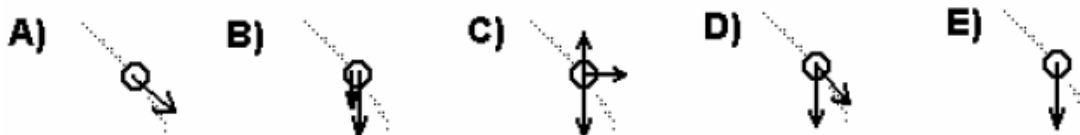
5. Assinale a alternativa que representa a(s) força(s) sobre a esfera no ponto A.



6. Assinale a alternativa que representa a(s) força(s) sobre a esfera no ponto B.



7. Assinale a alternativa que representa a(s) força(s) sobre a esfera no ponto C.



8. Na superfície inclinada, conforme a figura abaixo, uma esfera é abandonada do repouso em A e desloca-se sobre a superfície AO. Consideremos todas as superfícies perfeitamente polidas e que a esfera desliza sem atrito. Despreze a resistência do ar.

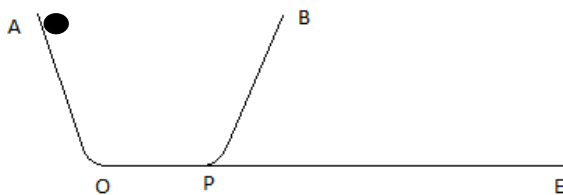
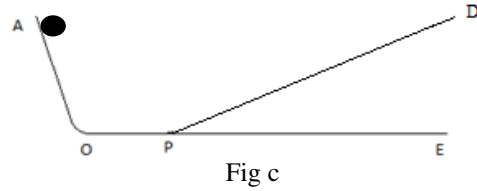
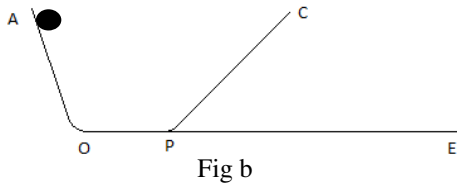


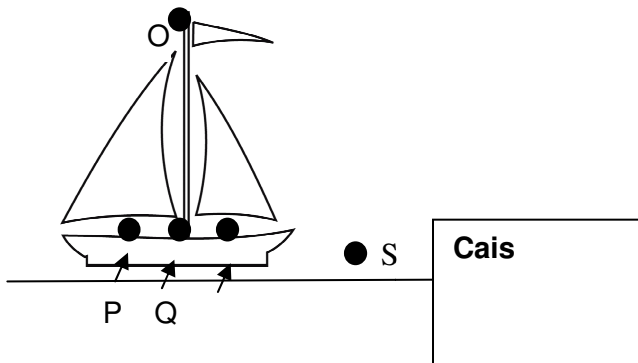
Fig a

a) Indique, na figura acima, a altura máxima atingida pela bola ao subir pelo plano PB. Considere, agora, que a inclinação do plano ascendente seja gradualmente reduzida, formando os planos PC (fig. b) e PD (fig. c) representados abaixo:



- b) Qual a altura máxima atingida pela esfera em cada uma das situações ilustradas acima? Indique nas figuras e **justifique sua resposta**.
- c) O que aconteceria se não houvesse os planos ascendentes e a esfera, após atingir o ponto O, se deslocasse no sentido OE? Lembre-se de considerar inexistente qualquer tipo de dissipação. **Explique sua resposta**.

9. A figura abaixo representa uma escuna atracada ao cais.



Imagine que a escuna está parada em relação ao cais. Deixa-se cair uma bola de chumbo do alto do mastro - ponto O. Nesse caso, ela cairá ao pé do mastro - ponto Q. Quando a escuna se afastar do cais (movimento para esquerda), com velocidade constante, e desprezada a resistência do ar, se a mesma bola for abandonada do mesmo ponto O, em que ponto cairá? Justifique a sua resposta.

PARTE II

1. Que objetivos ou finalidades tem a ciência, no seu ponto de vista?
2. Para você, o que diferencia a ciência de outras formas de conhecimento, como a religião ou a filosofia, por exemplo?
3. Em sua opinião, os conhecimentos científicos (leis, princípios, teorias) uma vez estabelecidos são definitivos? Justifique sua resposta.

4. O método científico costuma ser descrito pelas seguintes etapas: observação de fenômenos naturais, formulação de hipótese explicativa, teste da hipótese através de experimentos, modificação da hipótese em caso de falha nos testes ou, em caso de validação desta, a elaboração de uma teoria. Em sua opinião, esse é o método a ser seguido para se produzir conhecimento científico? Justifique a sua resposta seja ela afirmativa ou não.

5. Sobre fatores que podem influenciar a prática científica, em sua opinião:

- a) O contexto histórico e social são fatores de influência? Justifique e dê um exemplo que reforce a sua opinião.
- b) Fatores como crenças pessoais, posições morais, religiosas, políticas etc. podem influenciar esse desenvolvimento? Justifique e dê um exemplo que reforce a sua opinião.

6. Quando cientistas diferentes observam o mesmo conjunto de dados, eles chegam às mesmas conclusões (mesmos modelos, leis ou teorias)? Justifique sua resposta.

7. Uma importante teoria estudada na física é a Teoria da Relatividade Restrita. Nela, Einstein postula que a velocidade da luz, no vácuo, é constante e independente da fonte. Também postula a validade das mesmas leis físicas independentemente do referencial inercial. Esta teoria é aceita pela comunidade científica e os resultados de diversos experimentos estão de acordo com ela. Você acredita que a Teoria da Relatividade Restrita pode sofrer mudanças, futuramente? Ela pode perder a validade? Comente.

8. A primeira lei de Newton estabelece que **“Todo corpo persevera em seu estado de repouso, ou de movimento uniforme em linha reta, a menos que seja compelido a modificar esse estado por forças imprimidas sobre ele”**. Geralmente, o conceito de inércia é ensinado desse modo (como se fosse praticamente intuitivo). Citam-se alguns exemplos e passa-se à segunda lei de Newton e suas aplicações (geralmente, exercícios quantitativos). Dessa maneira, desconsidera-se toda complexidade da construção do conhecimento. Com base no exposto acima, responda:

- a) Você acreditar ser realmente importante conhecer a história da ciência? Justifique.
- b) O conceito de Inércia ficou mais claro a partir dessa abordagem? Comente.