

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



INÉRCIA E A 1ª LEI DE NEWTON: POTENCIALIDADES DE UMA SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA

Wellington Sampaio Ribeiro

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Instituto de Física da Universidade de Brasília, no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:
Prof. Dr. Fábio Menezes de Souza
Lima

BRASÍLIA - DF
Dezembro/2019

INÉRCIA E A 1ª LEI DE NEWTON: POTENCIALIDADES DE UMA
SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA

Wellington Sampaio Ribeiro

Orientador
Prof. Dr. Fábio Menezes de Souza Lima

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação do Instituto de Física da Universidade de Brasília, no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física

Aprovada por:

Prof. Dr. Fábio Menezes de Souza Lima - Universidade de Brasília

Prof. Dr. João Paulo Martins de Castro Chaib - SEFET-MG

Prof. Dr. Marcello Ferreira - Universidade de Brasília

BRASÍLIA - DF
Dezembro/2019

FICHA CATALOGRÁFICA

S??p Ribeiro, Wellington Sampaio

Inércia e a 1ª lei de Newton: Potencialidades de uma sequência de ensino investigativa / Wellington Sampaio Ribeiro; Orientador: Fábio Menezes de Souza Lima - Brasília, 2019.
80 p.

Dissertação (Mestrado -- MNPEF) - Universidade de Brasília, 2019.

1. Ensino de Física. 2. Sequência de Ensino Investigativa. 3. Leis de Newton. 4. Força de Inércia. 5. Análise de livros-texto. I. Lima, Fábio M.S., orient. II. Inércia e a 1ª lei de Newton: Potencialidades de uma sequência de ensino investigativa

Dedico este trabalho a minha mãe, por toda dedicação e amor, ao meu namorado pelo conforto emocional e paciência em refletir e discutir sobre as problemáticas da vida e aos meus queridos alunos, que sempre dispostos a enfrentar desafios e, por consequência, me incentivam na busca por novas estratégias de ensino.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Fábio Menezes de Souza Lima, pela eterna paciência e cuidado ao ensinar, se mostrando um professor excepcional, capaz de restaurar a minha paixão pelo ensino de Física.

À professora Marina e todos os profissionais do Centro Educacional 15 de Ceilândia, pelo acolhimento e presteza ao longo de todas as atividades.

Aos queridos colegas que trilharam junto a mim a difícil caminhada rumo ao título de mestre: Francisca Vânia, Kitéria Karoline e Giovanni Ribeiro.

Aos meus amigxs que estão sempre dispostos a enfrentar qualquer jornada com muita alegria e dedicação.

Aos professores do MNPEF, campus UnB, pelas contribuições significativas em minha formação profissional, em especial ao Prof. Dr. Marcello Ferreira e a Prof. Dr^a. Maria de Fátima Verdeaux, por fomentar a importância da pesquisa no ensino de Física.

À Universidade de Brasília e ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, pelas condições objetivas de realização do Mestrado.

À Banca Examinadora, Dr. João Paulo Martins de Castro Chaib e Dr. Marcello Ferreira, pelas precisas e valiosas contribuições, o que conferiu maior qualidade a este trabalho.

A todos aqueles que, mesmo de maneira indireta, contribuíram para que esta Dissertação fosse concluída.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

“Os professores de ciências imaginam que o espírito começa como uma aula, que é sempre possível reconstruir uma cultura falha pela repetição da lição, que se pode fazer entender uma demonstração repetindo-a ponto por ponto. Não levam em conta que o adolescente entra na aula de física com conhecimentos empíricos já constituídos: não se trata, portanto, de adquirir uma cultura experimental, mas sim de mudar de cultura experimental, de derrubar os obstáculos já sedimentados pela vida cotidiana. (...) Toda cultura científica deve começar por uma catarse intelectual e afetiva. Resta, então, a tarefa mais difícil: colocar a cultura científica em estado de mobilização permanente, substituir o saber fechado e estático por um conhecimento aberto e dinâmico, dialetizar todas as variáveis experimentais, oferecer enfim à razão razões para evoluir.”

Bachelard

RESUMO

Nos livros-texto de física adotados atualmente, o estudo do movimento é apresentado em duas etapas: (i) cinemática, ou seja, a descrição de como se dá o movimento (trajetória, espaço, tempo, velocidade e aceleração); e (ii) dinâmica, ou seja, o estudo das relações entre forças e movimento. Entretanto, na apresentação inicial da dinâmica, baseada nas três leis de Newton do movimento, nota-se a ausência da força de inércia (ou *vis insita*, ou *vis inertiae*), uma força identificada por Newton e que atua nos corpos sempre que eles se encontram em movimento acelerado em relação a um referencial inercial. Contudo, esta força é um ingrediente essencial para a explicação newtoniana do repouso e do movimento, tanto que ela aparece nas *definições* iniciais do *Principia*, antes mesmo das suas leis do movimento. Nos livros-texto, a inércia é sempre apresentada como uma *tendência natural* dos corpos em *permanecer* no estado de movimento em que ele se encontra (seja repouso ou MRU), na ausência de forças externas, e a 1ª lei de Newton é enunciada como se fosse um caso particular da 2ª lei, o que se afasta muito da concepção original, de Newton. Neste trabalho, após descrever a evolução histórica do conceito de inércia, nós contrastamos o conteúdo de inércia e 1ª lei de Newton encontrado nos livros-texto com os textos originais de Newton, identificando assim uma nítida diferença: o uso da força de inércia. Assim sendo, decidimos explorar a possibilidade de ensinar estes temas sem excluir a força de inércia, dentro de uma abordagem construtivista e realizando alguns experimentos bem simples e de baixo custo em sala de aula. Complementamos isso sugerindo estratégias alternativas para o ensino de Dinâmica Newtoniana que podem ser facilmente aplicadas mesmo em turmas de Ensino Médio. Assim, as atividades abordadas aqui constituem uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI) que certamente servirá como ponto de partida para outros professores interessados em aperfeiçoar as suas práticas e motivar seus alunos em busca de uma melhor alfabetização científica.

Palavras-chave: Ensino de Física. Sequência de Ensino Investigativa (SEI). Leis de Newton. Força de Inércia. Análise de livros-texto.

ABSTRACT

In the physics textbooks currently adopted, the study of motion is presented in two stages: (i) kinematics, in other words, the description of how the movement takes place (trajectory, space, time, velocity and acceleration); and (ii) dynamics, i.e. the study of the relations between forces and motion. However, in the initial presentation of dynamics, based on Newton's three laws of motion, it is possible to notice the absence of the force of inertia (or *vis insita*, or *vis inertiae*), a force identified by Newton that acts on bodies whenever their motion is accelerated with respect to an inertial frame of reference. However, this force is an essential ingredient in the Newtonian explanation of rest and motion, so much so that it appears in the initial definitions of the *Principia*, even before their laws of motion. In textbooks, inertia is always presented as a **natural tendency of bodies to remain in their state of motion** in which they are (either rest or MRU), in the absence of external forces, and Newton's 1st law is stated as if were a particular case of the 2nd law, which departs much from Newton's original conception. In this paper, after describing the historical evolution of the concept of inertia, we contrast the content of inertia and Newton's 1st law to Newton's original writings, thus identifying a clear difference: the use of the force of inertia. Therefore, we decided to explore the possibility of teaching these subjects without excluding the force of inertia, within a constructivist approach and by performing some very simple and inexpensive classroom experiments. In addition, we suggest alternative strategies for teaching Newtonian dynamics that can be easily applied even to high school classes. Thus, the activities covered here constitute an Inquiry-Based Teaching Sequence that will certainly serve as a starting point for other teachers interested in improving their practices and motivating their students in search of a better scientific literacy.

Keywords: Physics Teaching. Inquiry-Based Teaching Sequence (IBTS). Newton's Law. Force of Inertia. Textbook analysis.

Lista de Figuras

Figura 1 - Exemplo das atividades propostas por Sousa (2016).	22
Figura 2 - Exemplo das atividades propostas por Santos (2017).	23
Figura 3 - Cosmos	42
Figura 4 - Leitura do texto proposto.....	43
Figura 5 - Discussão em grupo.....	44
Figura 6 - Dinâmica realizada em sala: “Cabra cega: A saga dos Vetores”	45
Figura 7 - O Tesouro perdido	45
Figura 8 - Cabo de guerra	46
Figura 9 - Eu tenho a força?.....	47
Figura 10 - Participa ativa dos alunos	47
Figura 11 - Exemplos de fotografias editadas pelo aplicativo Zoetropic.....	48
Figura 12 - Exemplos de fotografias editadas pelo aplicativo Zoetropic.....	48
Figura 13 - Experimento I	50
Figura 14 - Último encontro	51
Figura 15 - Texto redigido pelo aluno A1	54
Figura 16 - Texto redigido pelo aluno A2.....	55
Figura 17 - Texto redigido pelo aluno A3.....	56
Figura 18 - Texto redigido pelo aluno A4.....	56
Figura 19 - Aluna A5 orientando a colega A6 na busca pelo tesouro.....	57
Figura 20 - A força é uma grandeza vetorial!.....	58
Figura 21 - Aplicação de força em um único sentido.....	58
Figura 22 - Aplicação de forças em sentido contrário.....	59
Figura 23 - Superfície de contato.	59
Figura 24 - A base é importante?	60
Figura 25 - Compra-se atrito!.....	60
Figura 26 - Imagens dinâmicas realizadas no aplicativo Zoetropic	61
Figura 27 - Experimentos simples e de fácil reprodução.....	62
Figura 28 - O que determinou o rompimento da linha?	63
Figura 29 - Diagrama de forças feito pelo aluno A8.	63
Figura 30 - Resposta do aluno A12	64
Figura 31 - Resposta do aluno A7	64
Figura 32 - Resposta do aluno A2	64
Figura 33 - Experimento II realizado incorretamente.....	65
Figura 34 - Diagrama de força feito pelo aluno A2	66
Figura 35 - Resposta do aluno A11	66
Figura 36 - Resposta do aluno A13.....	68
Figura 37 - Resposta do aluno A1.....	68
Figura 38 - Resposta do aluno A19.....	68
Figura 39 - Resposta do aluno A20.....	69

Sumário

INTRODUÇÃO	11
1 REFERENCIAL TEÓRICO	14
1.1. BNCC e o Ensino de Física	14
1.2. O Ensino de Física no Nível Médio	15
1.3. Ensino de Ciências por investigação: contexto histórico	16
1.3.1. Os papéis do aluno e professor no ensino por investigação ..	17
1.3.2. A Alfabetização Científica	17
1.3.3. Sequência de Ensino Investigativa (SEI): Estrutura.....	19
1.4. Revisão Bibliográfica	21
2 MECÂNICA NEWTONIANA ORIGINAL	24
2.1. A Física como arbitrário cultural.....	24
2.2. A evolução do conceito de inércia	25
2.3. Inércia e Leis de Newton	31
2.4. Livros didáticos	35
3 METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA.....	40
3.1. A Escola.....	40
3.2. Metodologia de Ensino	41
3.3. Estrutura da SEI	42
3.3.1. Encontro I.....	42
3.3.2. Encontro II.....	43
3.3.3. Encontro III.....	44
3.3.4. Encontro IV	49
3.3.5. Encontro V	51
3.4. Proposta de Avaliação	52
4 RESULTADOS E ANÁLISES	53
CONCLUSÕES	70
REFERÊNCIAS	71
APÊNDICE	77

Introdução

Ao longo da prática em sala de aula, o sentimento de dúvida por parte do professor de Ciências é comum e cotidiana. Afinal, o que ensinar? Quais serão as estratégias mais eficazes? Quais conteúdos são, de fato, vitais para que o aluno tenha consciência de mundo e seja um cidadão alfabetizado cientificamente? É importante que ele entenda a linguagem científica? Boa parte dessas perguntas estão em aberto, contudo é papel do professor buscar novas perspectivas e estratégias de ensino, preferencialmente incentivando o desenvolvimento do raciocínio crítico e da capacidade argumentativa dos alunos. Entretanto, atuar racionalmente dentro e fora do contexto escolar ainda é um desafio para boa parte dos professores. Freire (1967), por exemplo, sugere que somos seres inacabados e por este motivo, sofremos influências de fatores sociais, culturais, históricos, políticos e econômicos. Portanto, é necessário que o professor utilize novas metodologias que possam promover um saber crítico acerca de sua realidade social, conferindo aos alunos competências e habilidades para identificar, analisar e intervir em situações-problema.

O Ensino de Física carece de estratégias que motivem o aluno e possibilitem uma autonomia mínima para problematizar e discutir sobre qualquer tema científico. É perceptível a dificuldade que os alunos têm em tentar explicar fenômenos físicos que surgem em situações corriqueiras e a causa, em parte, pode ser atribuída às metodologias tradicionais, tão comuns no ambiente escolar. Faz-se, então, necessário que os alunos conheçam e entendam como os conceitos científicos foram (e são) formulados, além dos percalços históricos que fizeram destas teorias parte de um arbitrário cultural dominante, ou seja um paradigma.

O intuito desta pesquisa é a investigação de um potencial benéfico do ensino da Mecânica Newtoniana original como alternativa à Mecânica encontrada nos livros didáticos em vigor, podendo essa abordagem ser aplicada desde a Educação Básica até o nível Superior. Para tal, nos concentraremos no tema “inércia e 1ª lei de Newton”, usando como subsídio alguns textos históricos, a fim de desmistificar o conceito de inércia como uma tendência natural, mostrando, com o auxílio de experimentos bem simples realizados em sala de

aula, a presença da força de inércia, peça-chave da teoria de movimento originalmente proposta por Newton.

Na tentativa de desenvolver uma proposta educacional que, de forma inovadora, auxilie no discernimento dos conceitos básicos da Dinâmica Newtoniana, começamos produzindo uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI) para Mecânica que contempla **a evolução do conceito de inércia ao longo da história da Ciência**, assim como a necessidade em se discutir a possível realidade das forças “fictícias”. Completamos essa discussão, realizando alguns experimentos simples em sala de aula, visando a tornar evidente a presença da força de inércia.

A Mecânica Newtoniana é ensinada tradicionalmente na 1ª série do Ensino Médio (EM), quando então apresenta-se as Leis de Newton e suas aplicações em atividades cotidianas, como sugerem os livros didáticos e a Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Como ficará claro nos próximos capítulos, na prática, a mecânica apresentada na literatura científica corrente é fruto de “revisões” realizadas por Euler e seus contemporâneos, após as quais a força de inércia passou a ser considerada como *aparente* (ou *fictícia*). Note que, para estes autores não faria sentido qualquer discussão sobre a origem de uma força que não fosse real! Entretanto, devido às evidências experimentais observadas em referenciais acelerados, como, por exemplo, no clássico problema do pêndulo fixado no teto do vagão de um trem acelerado, a ontologia da inércia ainda gera discórdia entre pesquisadores, como atesta o trecho abaixo.

Apesar da posição hegemônica adotada na mecânica escolar quanto ao *status* ontológico das forças inerciais, é preciso reconhecer que a controvérsia histórica sobre **a possível realidade das forças “fictícias” nunca esteve completamente resolvida**. [...] (LIMA *et al.*, 2013, p. 201, grifo nosso).

É importante que os alunos entendam uma das características intrínsecas da Ciência: a investigação teórica e experimental. Para tal, questiona-se o *status* ontológico das forças inerciais, ou seja, a força centrífuga existe ou são forças fictícias como sugerem os livros didáticos? Ao longo da prática docente, a distinção conceitual entre força centrípeta e centrífuga é um desafio para qualquer professor de física. Além de confusa, esta apresentação não esclarece diversos fenômenos associados à natureza de corpos em movimento acelerado.

Gil-Pérez (2005), Carvalho (2011) e Santos (2016) sugerem que a experimentação tem um papel de grande importância no ensino de física, por ser capaz de desencadear situações argumentativas e, por consequência, proporcionar a Alfabetização Científica¹. Sendo assim, foram propostas atividades capazes de incitar a participação ativa dos alunos, valorizando o seu conhecimento prévio e orientando-os de acordo com a sistematização do conhecimento científico.

A inclusão de recursos tecnológicos, tão em voga no contexto escolar atual, tem se revelado como uma ferramenta eficaz para o ensino de vetores, por mesclar o interesse no uso de *smartphones* (tecnologias móveis) com as atividades propostas em sala de aula. É inevitável e imprescindível que os alunos entendam a importância do uso de recursos matemáticos para a montagem de teorias quantitativas a respeito de qualquer fenômeno em que estejam interessados. Isso é importante para a separação entre conhecimento vulgar e conhecimento científico, pois este último deve ser, *a priori*, baseado em grandezas físicas, compondo uma teoria experimentalmente testável.

Para abordar o tema “inércia e 1ª lei de Newton” em turmas do Ensino Médio, investigando os conceitos de vetores, velocidade, aceleração (tangencial e centrípeta), e força, dividimos as atividades em cinco encontros consecutivos. Na transição da cinemática para a dinâmica, decidimos visitar as obras de alguns filósofos consagrados ao longo da história da Ciência, no intuito de esclarecer a origem do conceito de inércia e seu papel no entendimento do movimento. Para tal, propusemos algumas estratégias alternativas ao ensino tradicional, desenvolvendo atividades que incentivam a busca por novos conhecimentos científicos, por meio de textos complementares, dinâmicas em sala de aula e situações-problema que possam propiciar uma aprendizagem satisfatória de acordo com o referencial teórico escolhido, tornando essa atividade prazerosa tanto para os alunos quanto para o professor.

¹ Capecchi e Carvalho (2006) entendem a Alfabetização Científica como enculturação, ou seja, um novo olhar sobre como as atividades propostas nas aulas de física podem ser benéficas na construção de um conhecimento científico que compreenda também aspectos sociais, políticos e culturais.

1 Referencial Teórico

1.1. BNCC e o Ensino de Física

Diante das dificuldades mais comuns encontradas no Ensino de Física, e que tem sido verificada repetidamente ao longo de muitos anos, o MEC tem trabalhado, desde 2013, na formulação de um documento que possa orientar os professores em sua prática, além de estabelecer diretrizes (conteúdos, competências e habilidades específicas) a serem desenvolvidas nas escolas do país. Este documento, conhecido com BNCC (Base Nacional Comum Curricular), será implementado a partir de 2022. Na sua proposta inicial, lemos o seguinte:

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) é um documento de caráter normativo que define o conjunto orgânico e progressivo de aprendizagens essenciais que todos os alunos devem desenvolver ao longo das etapas e modalidades da Educação Básica, de modo a que tenham assegurados seus direitos de aprendizagem e desenvolvimento, em conformidade com o que preceitua o Plano Nacional de Educação (PNE). Este documento normativo aplica-se exclusivamente à educação escolar, tal como a define o § 1º do Artigo 1º da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB, Lei nº 9.394/1996), e está orientado pelos princípios éticos, políticos e estéticos que visam à formação humana integral e à construção de uma sociedade justa, democrática e inclusiva, como fundamentado nas Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica (DCN) (BRASIL, 2017, p. 7).

Esse documento foi idealizado por diversos grupos de trabalho, contendo, dentre outros, pesquisadores em educação e profissionais de ensino. Em sua terceira versão, a BNCC tem sido alvo de diversas críticas, desde a formação destes grupos de trabalho até a normatização do conteúdo a ser aplicado nas escolas.

A BNCC parece não corroborar as ideias propostas por algumas linhas de pesquisa no ensino de Física, mesmo sendo formulada a partir dos PCN's (Parâmetros Curriculares Nacionais) e prevista no PNE (Plano Nacional de Educação). Pouco detalhada, ela prevê a flexibilização de boa parte do conteúdo a ser ensinado, como evidencia Marcondes (2018). Esta autora ainda defende que as escolas possam acrescentar conteúdos a partir de seus projetos políticos pedagógicos (PPPs), valorizando a cultura e as necessidades regionais.

Entretanto, a BNCC não esclarece como isso será realizado e não fornece diretrizes para a efetivação desta proposta.

(...) seria de muita valia traduzir a noção de problematização. No documento atual não há um bloco ou seção onde se apresente o **entendimento do que é a ciência, seus métodos de produção, os valores adotados pelos cientistas, em resumo um posicionamento epistemológico, axiológica e ontológico sobre as ciências naturais.** (PIETROCOLA, 2016, p.1, grifo nosso)

Note que Pietrocola (2016) insiste em um ensino de Física voltado a enculturação científica, experimentação relacionada à evolução dos conceitos de física e às necessidades sociais de cada época. Nesse aspecto, Santos (2016) concordam com o autor supracitado e ainda defendem a alfabetização em ciência e tecnologia como algo fundamental para a sociedade contemporânea.

Por fim, Flôr e Trópia (2018) demonstram uma preocupação com a construção curricular da BNCC, tendo em vista que as diversas alterações realizadas após as duas primeiras versões acabaram revelando interesses políticos em detrimento dos didático-pedagógicos.

1.2. O Ensino de Física no Nível Médio

Uma abordagem tradicional no ensino de física já é tida como padrão para boa parte dos professores. Moreira (1999) apresenta argumentos interessantes a respeito da educação científica no Brasil. Para o autor, além das más condições de trabalho e do despreparo dos professores, o ensino da Física tem estimulado a aprendizagem mecânica de conteúdos desatualizados, em detrimento de um melhor entendimento dos conceitos físicos, abordados dentro de uma visão construtivista, complementado com discussões de temas atuais. Com o intuito de contornar tal situação, Carvalho (2011), Capecchi e Carvalho (2006) e Pietrocola (2016) sugerem que o ensino por investigação pode ser uma estratégia alternativa ao ensino tradicional, podendo ser fomentada ao longo de toda a educação básica.

Adotando-se, por exemplo, o Ensino por investigação, o aluno será o protagonista em busca de soluções para um problema, tornando-se crítico e atento às informações relacionadas ao fenômeno analisado, a fim de

compreender as consequências advindas de uma descoberta científica. Segundo Carvalho (2011), para que a SEI seja eficaz é necessário que o professor evidencie claramente a situação-problema ao aluno e que esta faça sentido em seu cotidiano. É importante que o professor torne possível a interação entre grupos, formulando atividades que propiciem a problematização do fenômeno a ser estudado, incentivando os alunos a exporem seus conhecimentos prévios, mediando a relação aluno-aluno, propondo ideias alternativas ao que está sendo discutido e incentive o uso da linguagem científica.

1.3. Ensino de Ciências por investigação: contexto histórico

Em meados do século XX, a educação científica ganha um maior destaque em consequência da acirrada corrida espacial. Com o lançamento do satélite *Sputnik*, em outubro de 1957, o governo americano foi compelido a buscar novos métodos pedagógicos que propiciassem o tão esperado progresso científico. A partir daí, passou-se a questionar com maior rigor, a qualidade dos currículos escolares e as habilidades a serem desenvolvidas pelos alunos. Diversos programas foram criados em busca de uma renovação do ensino de Física. Pena (2012), por exemplo, destaca a criação de diversos programas educacionais, dentre eles, o *Physical Science Study Committee* (PSSC) que, inclusive, aportou em terras tupiniquins na década de 1960.

Foi, portanto, a partir de uma visão instrumentalista e adepta à atitude inquieta de busca que Dewey criticou o ensino de ciência em seu tempo, argumentando que **a educação enfatizava o acúmulo de informações acabadas**, com as quais os estudantes deveriam estar familiarizados. Para Dewey este tipo de abordagem **não é o bastante para entender a ciência como um método de pensamento e uma atitude mental que ajuda a transformar formas de pensamento**. (RODRIGUES e BORGES, 2008, p.5, grifo nosso).

Isto é, a partir da sistematização do conhecimento (realização de uma sequência de etapas), do incentivo a busca por hipóteses e intervenções, o aluno teria contato com o método científico e condições de vivenciá-lo em seu cotidiano.

O ensino de ciências ainda seria reformulado diversas vezes ao longo das décadas, até chegar à proposta desta pesquisa, com ênfase na experimentação

(laboratório aberto), com o auxílio da história da Ciência e uso de ferramentas digitais em prol de uma alfabetização científica de qualidade.

1.3.1. Os papéis do aluno e professor no ensino por investigação

Ao adotar-se uma postura pautada num ensino por investigação, é imprescindível contextualizá-lo à realidade dos alunos, ou seja, apresentar ferramentas que possam proporcionar autonomia e criticidade, seja na elaboração de hipóteses ou na formulação de uma proposta de intervenção acerca de uma situação-problema. Edwards e Mercer (1987) destacam a importância da construção do conhecimento em sala de aula a partir da enculturação, ou melhor, da apropriação da linguagem e dos significados específicos de determinada área, negociados e compartilhados entre alunos e professores. No ensino de física não seria diferente, pois a apropriação de conceitos científicos é importante para que o aluno consiga lidar com a tecnologia ao seu redor, possua habilidades para resolver problemas e seja capaz de buscar soluções diversas por meio da linguagem científica.

Para esta pesquisa, a utilização de uma metodologia investigativa na sequência didática se justifica pelo desencadeamento de situações argumentativas e, por consequência, ser capaz de proporcionar a tão esperada Alfabetização Científica (AC), como esclareceremos a seguir.

1.3.2. A Alfabetização Científica

O ensino por investigação e a argumentação são modalidades de interação importantes para o desenvolvimento da Alfabetização Científica em sala de aula. Capaz de propiciar ao aluno ler, compreender e discutir ideias a respeito dos fenômenos que ocorrem ao seu redor, proporcionando a interação com uma nova cultura, ratificando assim a importância do saber científico.

A aprendizagem como **enculturação** ou alfabetização científica traz um novo olhar sobre os conteúdos e atividades trabalhados nas aulas de Física, abrangendo aspectos diversos da construção dos conhecimentos científicos, desde seu caráter de produção humana até a importância dos símbolos na construção dos conceitos científicos (CAPECCHI e CARVALHO, 2006, p.3).

Santos (2016) coaduna com as dificuldades apresentadas pelos professores em efetivar a AC, entendendo que é preciso superar o ensino superficial e descontextualizado, além de colocar em ação estratégias de ensino que possibilitem a construção do conhecimento científico, mediante a problematização, o estudo de temáticas locais e a utilização de recursos tecnológicos, imprescindíveis para a compreensão do mundo contemporâneo, de acordo com Fourez (2005). Gil (2005), Carvalho (2011) e Fourez (2005) entendem que trazer o processo de construção científica (em sua totalidade) para a sala de aula não é viável, entretanto, é possível **elaborar unidades didáticas que se aproximem do trabalho científico**, ressaltando assim a enculturação e promovendo autonomia para que o aluno transforme o ambiente em que está inserido. Com isso Fourez sugere que o aluno apresente as seguintes habilidades, necessárias para que se atinja a AC:

- 1- Utiliza os conceitos científicos e é capaz de integrar valores, e sabe tomar decisões responsáveis no dia-a-dia;
 - 2 - Compreende que a sociedade exerce controle sobre as ciências e as tecnologias, bem como as ciências e as tecnologias refletem a sociedade;
 - 3 - Compreende que a sociedade exerce controle sobre as ciências e tecnologias por meio do viés das subvenções que a elas concede;
 - 4 - Reconhece também os limites da utilidade das ciências e das tecnologias para o progresso do bem-estar humano;
 - 5 - Conhece os principais conceitos, hipóteses e teorias científicas e é capaz de aplicá-los;
 - 6 - Aprecia as ciências e as tecnologias pela estimulação intelectual que elas suscitam;
 - 7 - Compreende que a produção dos saberes científicos depende, ao mesmo tempo, de processos de pesquisas e de conceitos teóricos;
 - 8 - Faz a distinção entre os resultados científicos e a opinião pessoal;
 - 9 - Reconhece a origem da ciência e compreende que o saber científico é provisório e sujeito a mudanças, a depender do acúmulo de resultados;
 - 10 - Compreende as aplicações das tecnologias e as decisões implicadas nestas utilizações;
 - 11 - Possui suficientes saber e experiência para apreciar o valor da pesquisa e do desenvolvimento tecnológico;
 - 12 - Extrai da formação científica uma visão de mundo mais rica e interessante;
 - 13 - Conhece as fontes válidas de informação científica e tecnológica e recorre a elas quando diante de situações de tomada de decisões e;
 - 14 - Uma certa compreensão da maneira como as ciências e as tecnologias foram produzidas ao longo da história.
- (GERARD FOUREZ, 1994 apud SASSERON; CARVALHO, 2011, p.67).

Sendo assim, acreditamos que o currículo de ciências deve ser relevante para a vida de todos os alunos e que a AC se desenvolverá ao longo de sua vida, variando de acordo com os estímulos e oportunidades que estes terão. Ou seja, mesmo que esta proposta de SEI seja aplicada em diversas turmas, os resultados obtidos serão diferentes, já que o currículo deve refletir as mudanças sócio-culturais-históricas de cada grupo social. Assim,

O currículo de ciências deve ser relevante para a vida de todos os estudantes, e não só para aqueles que pretendem seguir carreiras científicas, e os métodos de instrução devem demonstrar cuidados para a diversidade de habilidades e interesses dos estudantes. (BYBEE e DEBOER, 1994, p. 376).

1.3.3. Sequência de Ensino Investigativa (SEI): Estrutura

Nesta etapa discutiremos as problematizações a serem realizadas ao longo da formulação de uma SEI, as possíveis estratégias a serem desenvolvidas em sala de aula e o vínculo com as etapas existentes na construção do conhecimento científico. Carvalho (2004) defende que as formas de raciocínio comumente utilizadas pelos cientistas são possibilidades favoráveis, com os devidos ajustes em sala de aula, na busca de uma aprendizagem sistemática e crítica. Para tal, se faz necessário o entendimento das características campo-dependentes da argumentação científica, conforme elucida o quadro abaixo.

Quadro 1 - Características campo-dependentes da argumentação científica

Características Campo - Dependentes	Descrição
Seriação	Lista de dados trabalhados ou para trabalhar. Estabelece as bases para a investigação.
Classificação e organização de informações	Trata-se da busca por similaridades em um arranjo de informações, podendo criar-se hierarquias entre elas.
Levantamento e teste de hipóteses	Suposições sobre um tema em estudo, que são colocadas à prova.
Justificativa	Cria a base para sustentar uma alegação que leva a uma conclusão, pode ser: uso de definição, apelo à analogia ou comparações, exemplos, atributos, consistência com outros conhecimentos – incluindo a experiência e a metafísica – e plausibilidade.

Explicação	Relaciona informações e hipóteses, geralmente após a justificativa.
Previsão	Antecipar ações e/ou fenômenos relacionando acontecimentos.
Abdução	Uso de uma hipótese/regra como justificativa para explicar um conhecimento novo, de forma a criar dados para amparar uma conclusão.
Dedução	Raciocínio do geral para o particular.
Indução	Conclusão apoiada em uma inferência, das partes para o todo.
Raciocínio lógico e proporcional	A forma como o pensamento é estruturado e como se relacionam as variáveis no mesmo.

Fonte: Carvalho (2013, p. 35).

Os conhecimentos prévios dos alunos devem ser valorizados e utilizados como hipóteses de pesquisa a serem testadas ao longo dos experimentos investigativos previstos. Historicamente, a busca por padrões e evidências empíricas tem se mostrado relevante na construção de teorias científicas e na ratificação de conceitos. Gurgel (2011) ressalta a importância da experimentação na educação básica:

(...) radicados no sensorial e no imediato, que levam à descoberta de fatos novos, induzindo a pressuposição de que a construção de ideias parte de fatos e não de um sistema de significação já existente nos indivíduos. Além disso, a experimentação, sob esta perspectiva, poderá levar à pressuposição da existência de um método único de investigação da realidade, fazendo prevalecer o método sobre o sujeito pensante, mascarando ou escondendo o caráter revolucionário do conhecimento processo-produto. (GURGEL, 2011, p. 9).

Assim como na SEI proposta, o autor trata a experimentação como uma estratégia indispensável no ensino de física, permitindo a sistematização de atividades de observação, registro e discussão de fenômenos. Além da experimentação, utilizamos diversas estratégias de ensino como: reflexões acerca de textos históricos, debates em grupo, uso de recursos audiovisuais e interações com tecnologias móveis, de maneira a proporcionar uma visão mais ampla das contribuições científicas ao melhor entendimento do fenômeno “movimento”.

Para que a investigação tenha sucesso, é importante que o aluno entenda a importância do problema e se sinta impelido a buscar soluções para tal. Com isso, o professor deve estar atento ao planejamento idealizado pelos alunos na tentativa de gerar hipóteses sobre a situação problema e, se necessário, intervir

para que a investigação não seja reduzida a um punhado de achismos. Incentivar o registro das informações e dados obtidos, a fim de que essas ideias sejam compreendidas e possam dar significado a uma reflexão crítica dos resultados.

(...) O estudante precisa mostrar organização de ideias, memória e compreensão do que aprendeu. **Uma atividade experimental cria um espaço no qual o estudante pode participar**, desenvolver, usar ferramentas culturais e escrever na linguagem científica. Tabelas, esquemas, gráficos ou relatórios são formas de registro pertinentes para uma aproximação dos estudantes com as práticas da cultura científica. (MARTINS, 2017, p. 2, grifo nosso).

Bellucco e Carvalho (2013) constataam que as características campo-dependentes da argumentação devem perpassar, em maior ou menor grau, por todas essas etapas da SEI, sem a necessidade de intervenções extras do professor.

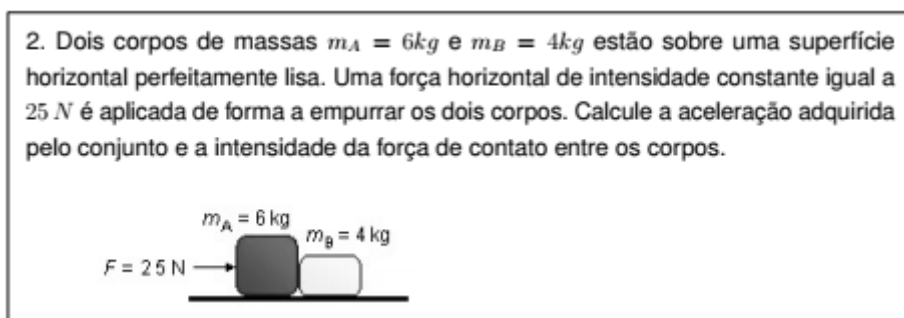
(...) ao usar o conhecimento prévio como hipótese de pesquisa, um estudante pode recorrer a um raciocínio *abduativo* que tente explicar e justificar a resposta ao problema proposto, ou ainda, ao manipular um aparato experimental, no processo de reconhecimento das variáveis envolvidas no fenômeno, o aluno procure *seriar, classificar e organizar* as informações observadas com base em seu arcabouço teórico. (BELLUCO e CARVALHO, 2013, p. 39).

1.4. Revisão Bibliográfica

Propostas de ensino que contemplam as leis de Newton são recorrentes em trabalhos da pós-graduação em Física; entretanto, poucos identificam a importância da força de inércia para a 1ª lei, como é tratado nesta pesquisa.

Sousa (2016) defende o uso de simulações ao inserir as Leis de Newton em sua prática em sala. Entende a importância desta ferramenta, principalmente, para escolas que não detêm um laboratório de física bem equipado.

Figura 1 - Exemplo das atividades propostas por Sousa (2016).²



Fonte: Sousa (2016, p. 57)

Sua pesquisa se mantém dentro do paradigma dominante, ao limitar a análise dos fenômenos propostos com o uso de atividades tradicionais que privilegiam a memorização e a mera replicação de equações matemáticas (i.e., $F_R = ma$), sem o devido cuidado ao tratar da natureza das forças existentes, se afastando assim do que foi redigido por Newton no seu livro *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*, mais conhecido por *Principia* (NEWTON, 1687), onde duas classes de força são estabelecidas logo no início: *vis insita* (ou *vis inertiae*), identificada na Def.III, e *vis impressa*, identificada na Def.IV. Como avaliação, a autora utiliza pré e pós-testes, técnica que pode não ser efetiva no ensino de Física, devido às características de aplicação e dimensão dos resultados, como já explorado por outros pesquisadores.

Santos (2017) sugere uma sequência didática que motive os alunos a aprender física por meio da História e Filosofia da Ciência. Entretanto, suas atividades se resumem a uma reprodução de dados históricos, como evidenciado na Figura 2, abaixo, não motivando reflexões e discussões sobre as necessidades sociais da época e utilizando uma evolução muito linear dos conceitos, dando a entender que não existiam explicações alternativas (e até contrárias) para os fenômenos. Ao professor é dada a tarefa de elucidar o contexto histórico, ou seja, a participação dos alunos estaria limitada a responder o questionário proposto.

² No Apêndice, mostramos que este exercício pode ser resolvido de forma mais inteligível usando-se a força de inércia.

Figura 2 – Exemplo das atividades propostas por Santos (2017).

1. Quem formulou as Leis de Newton?
2. Newton realizou seu trabalho de forma independente ou se baseou em teorias estabelecidas antes dele?
3. A Física como ciência exata, pode ser modificada, ou as leis que já foram descobertas são imutáveis?
4. A sociedade sofre influência das descobertas científicas? Cite exemplos.
5. O que motiva uma pesquisa científica?

Fonte: (Santos, 2017, p.29)

Por fim, Fialho (2018), Pereira (2015) e Silva (2015) tratam a inércia de acordo com o paradigma dominante, ao assumir que um corpo tem uma “*tendência natural*” de se manter no estado de movimento ou repouso, como sugerem os livros didáticos, algo que será problematizado nos próximos capítulos. Diferentemente das dissertações já produzidas e que tomamos conhecimento³, Fialho (2018), Pereira (2015) e Silva (2015) propõem atividades que destoam do ensino tradicional, incorporando a experimentação e o uso de recursos tecnológicos nas suas atividades, além de fomentar discussões entre os próprios alunos sobre os temas que estão sendo abordados. Pereira (2015) também sugere, em sua sequência didática, o clássico experimento em que uma folha de papel apoiada sobre um copo (vazio) sustenta uma moeda acima do copo. Ao puxar rapidamente o papel, a moeda cai verticalmente dentro do copo. Uma atividade semelhante será apresentada em nossa SEI, porém com ênfases e reflexões diferentes das usuais.

³ Pesquisa realizada em diversos periódicos voltados para o ensino de Física. Priorizamos as dissertações já defendidas no MNPEF sobre o tema.

2 Mecânica Newtoniana original

2.1. A Física como arbitrário cultural

A mecânica é ensinada tradicionalmente na 1ª série do Ensino Médio (EM), na qual as leis de Newton e suas aplicações são associadas com atividades cotidianas, conforme sugerem os livros didáticos e a BNCC. Entretanto, na prática, a mecânica apresentada nos livros-texto não é aquela originalmente proposta por Newton no seu *Principia* (1687), parecendo mais a que foi proposta por Euler na sua *Mechanica* (1736), na qual a força impressa é um conceito físico fundamental (*a priori*), na qual as forças e a aceleração são representadas por vetores e as trajetórias são determinadas resolvendo-se equações diferenciais ordinárias de 2ª ordem. Além disso, a força de inércia, inicialmente presente nos textos de Euler, acabou sendo tratada como uma *força aparente* (ou seja, *fictícia*) por Clairaut, em 1745, e, em seguida, por d'Alembert e Euler.

Bourdier e Passeron (2009) entendem o arbitrário cultural como qualquer sistema simbólico que não tenha sido definido exclusivamente por princípios universais, ou seja, como qualquer teoria que dependa de conceitos que possam ser considerados mutáveis. Concordando com esta visão, Lima *et al.* (2013) ainda ressalta a importância de uma análise crítica acerca do contexto histórico-social em que surge o paradigma. Isto, é claro, também se aplica ao caso particular da inércia enquanto tendência natural, uma interpretação dentro da qual a *vis inertiae* não poderia ser uma força real.

Assim como há um padrão de beleza largamente adotado e explorado pela sociedade, dentro da comunidade científica também há diversas ideias conservadoras que, além de não solucionar boa parte das problemáticas vigentes, limitam a curiosidade e o debate, dificultando assim o avanço científico. Infelizmente, os argumentos de autoridade ainda são rotineiramente utilizados no ensino de física, o que limita a participação dos alunos na construção do conhecimento. Muitas vezes o professor acaba usando o seu *status* de liderança para impor o seu ponto-de-vista, reduzindo a sua prática a uma mera reprodução do conteúdo do livro-texto adotado. Isto frequentemente decorre da sua falta de conhecimentos históricos relativos ao assunto tratado em sala de aula. No caso

da inércia e a 1ª lei de Newton, os professores invariavelmente omitem a força de inércia enquanto ente real, como ficará mais claro nos próximos capítulos.

2.2. A evolução do conceito de inércia

O embate a respeito das causas e características do movimento fez com que sua compreensão tenha mudado significativamente desde os filósofos gregos da Antiguidade até os tempos de Newton, quando a inércia se tornou um conceito físico fundamental. Para Aristóteles (384 a 322 a.C.), o repouso no lugar natural seria o único estado natural das coisas no mundo sublunar; portanto, todo movimento teria que ser ou natural (em direção ao lugar natural) ou forçado, sendo que este último exige a ação contínua de um agente externo. No livro VIII de sua obra *“Physica”*, Aristóteles (2008) afirma que *“(...) um corpo em movimento pode manter esse movimento somente se ele permanecer em contato com [a mão] do lançador”*. Como ele sabe que uma pedra arremessada horizontalmente no ar não vai parar imediatamente após deixar a mão do atirador, ele adotou a ideia de *antiperístase*, ou seja, quando a pedra perde o contato com a mão do atirador, esta desloca o ar que está a sua frente e o ar, por sua vez, tenderá a ocupar o lugar da posição anterior, empurrando assim a pedra para frente.⁴ Embora essa explicação pareça simples e intuitivamente correta, ela logo foi contestada por Epicuro (341-270 a.C.), que postulou que o estado natural da matéria (composta por átomos) é o movimento contínuo e aleatório (LUCRETIUS, 1988). Mais tarde, Hiparco (190 a 120 a.C.) e Plutarco (46 a 120 d.C.) também discordaram de Aristóteles, defendendo que o movimento deve ser mantido por algo dentro do corpo.

No início da Idade Média, a oposição mais significativa à teoria aristotélica veio de John Philoponus (490-570), que argumentou que a antiperístase deveria estar errada, caso contrário poderíamos disparar uma flecha colocada sobre uma mesa soprando ar em sua extremidade, usando um fole (SORABJI, 1987). Isso o levou a propor que o movimento fosse mantido por alguma propriedade embutida (ou impressa) no corpo quando ela é acionada por um agente. Suas ideias foram contestadas por Simplicius e depois esquecidas, até serem

⁴ O movimento cessa quando a resistência do ar fizer parar o movimento da pedra.

redescobertas cinco séculos depois por alguns sábios orientais como Avicena (980-1037), Avempace (1085-1138) e Averroes (1126-1198). Avicena (WINTER, 1961) argumentou que “*Ninguém inicia um movimento ou retorna ao repouso por si só*”. Os comentários de Averroes à física de Aristóteles foram as críticas mais influentes: ele definiu a força como uma ação que pode mudar o movimento e percebeu que os corpos tinham **uma resistência inerente a mudanças em seus movimentos**. No mundo ocidental, a noção de uma propriedade impressa foi retomada no século XIV por Jean Buridan (~1295-1358), um discípulo de Guilherme de Ockham (~1285-1347),⁵ que a batizou de *impetus*, uma força motriz interna que empurra as coisas para frente, contra a tendência natural de desacelerar, mencionada por Aristóteles (FRANKLIN, 1976). Tal *impetus* permaneceria no corpo, sendo reduzido somente por forças externas (opostas). Esse conceito também foi adotado por seu discípulo Nicole Oresme (1320-1382), bem como Nicolau de Cusa (1401-1464), Giovanni Benedetti (1530-1590) e Giordano Bruno (1548-1600), que contribuíram para torná-lo um precursor da **quantidade de movimento** de Descartes. De acordo com Hecht (2017), Benedetti e Giordano Bruno chegaram a antecipar Descartes ao tomar o produto das *velocitas* e *quantitas materiae* como uma medida do *impetus*. A diferença com o conceito cartesiano é que o *impetus* seria **algo** transmitido da mão do lançador para o corpo, enquanto a quantidade de movimento é apenas uma medida do movimento.⁶

Em 1543, Copérnico retomou a visão heliocêntrica de mundo proposta por Aristarco de Samos no século III a.C., com todos os planetas (incluindo a Terra) em movimento circular ao redor do Sol.⁷ Ele foi um dos destaques entre aqueles que defendiam o heliocentrismo. Este afastamento da Física de Aristóteles motivou os filósofos naturais a repensar o movimento. Uma das primeiras explicações foi proposta por Johannes Kepler (1571-1630) na sua *Epitome Astronomiae Copernicanae* (1618), no qual a palavra inércia (do latim *inertiae*, que significa inatividade) aparece pela primeira vez na física significando uma

⁵ A navalha de Ockham é um princípio filosófico que nos instrui a escolher a teoria mais simples dentre teorias que explicam um dado conjunto de fenômenos. Aqui, a simplicidade significa um menor número de hipóteses não provadas.

⁶ Em 1585, Benedetti chegou até mesmo a especular que o *impetus* seria uma tendência natural ao movimento retilíneo (BENEDETTI, 1585).

⁷ Com a publicação do livro de Copérnico “*Das revoluções das esferas celestes*”, o termo revolução ganhou novos significados, tamanha a quebra de paradigmas da época.

tendência natural de todos os corpos (terrestres e celestes) a se manterem em repouso (KEPLER, 1967). Para Kepler, uma vez que um bloco (ou um planeta) não tem vida, sem nenhuma força interna própria (inanimado), então ele não poderia colocar-se em movimento, nem manter seu próprio movimento (GALILI e TSEITLIN, 2003). Ele então argumentou que não há movimento natural, nem lugar natural (ou posição privilegiada), **só há movimento forçado**. Ele identificou que “*cada corpo, em proporção à sua matéria, possui uma certa resistência inercial ao movimento*”. Neste ponto, nós concordamos com Cohen (1978) que o conceito de inércia como “uma resistência para começar a se mover” foi o primeiro passo em direção a *vis inertiae* de Newton.

O cientista e filósofo holandês Isaac Beeckman (1588-1637), que leu extensivamente Kepler, logo se tornará uma influência comum para Galileu, Gassendi e Descartes. Aparentemente, embora ele reconhecesse que repouso e movimento retilíneo uniforme seriam estados indistinguíveis, ele disseminou uma visão de dois movimentos inerciais: horizontal (ou circular, em torno da Terra) e retilíneo. Ele também tomou o produto da quantidade de *corporalidade* com a velocidade como uma medida do movimento, definição esta que logo seria adotada por Descartes, que o visitou na Holanda em 1618 (HECHT, 2017; JAMMER, 1999). Quando tomou conhecimento das análises de Descartes sobre colisões, ele disseminou a ideia de que “o movimento é conservado” e também que “o movimento, uma vez criado por Deus, é preservado pela eternidade, tanto quanto a massa” (HECHT, 2017; VAN BERKEL, 2013).

Galileu Galilei (1564-1642), um contemporâneo de Kepler, iniciou seus estudos de movimento investigando a queda livre dos corpos, conforme registrado no seu *De motu* (1590). De fato, ele nunca mencionou a *inércia* explicitamente nem enunciou uma lei com esse nome, mas ele redefiniu as explicações do movimento de forma tal que reconhecemos nos seus trabalhos um princípio de inércia, como ilustra a frase a seguir, retirada de uma carta de Castelli, em 1607: “(...) Galileu tem uma “doutrina” de movimento (...) [segundo a qual] um agente é necessário para iniciar o movimento, mas para que este se mantenha, a ausência de resistência é o suficiente” (HALL, 1965, p. 192). Em 1610, Galileu (2010) voltou sua atenção para o uso de telescópios na investigação de corpos celestes, fazendo algumas grandes descobertas contrárias à perfeição e imutabilidade dos corpos celestes, postulada por

Aristóteles (ARISTÓTELES, 2014). Em 1613, ele descreveu os movimentos circulares como naturais e perfeitos:

(...) os corpos têm uma inclinação natural a algum movimento — os pesados, por exemplo, tendem a descer — e exercem esse movimento por meio de um princípio intrínseco e sem a necessidade de uma força externa específica, desde que não haja resistência (...) Por fim, são indiferentes a alguns movimentos - como os corpos pesados são ao movimento **horizontal** (...). E, portanto, com todas as resistências externas removidas, um corpo pesado em uma **superfície esférica concêntrica à Terra** será indiferente ao repouso e o movimento em direção a qualquer parte do horizonte permanecerá no estado em que foi colocado. (GALILEI, 2010, p. 124, grifo nosso)

Esta **inércia circular** explicaria o movimento da Lua em torno da Terra como um movimento natural, sem a necessidade de uma força atrativa. Ele retomou a investigação do movimento em seus livros *Motu locali* (1627) e *Dialogo* (1632), onde é perceptível o seu contato com as ideias de Philoponus por meio dos comentários escritos por Simplicio (isto explica o nome do personagem aristotélico ingênuo). No *Dialogo*, Galileu evidencia claramente ser favorável a uma inércia horizontal, contra uma tendência natural de movimento retilíneo.

[Primeiro dia] (...) movimento linear sendo por natureza infinito (porque uma linha reta é infinita e indeterminada), **é impossível que qualquer coisa deva ter por natureza o princípio de se mover em linha reta**; ou, em outras palavras, em direção a um lugar onde é impossível chegar, não havendo um fim. Pois a Natureza, **como sugere Aristóteles**, nunca se compromete a fazer o que não pode ser feito, nem se esforça para ir aonde é impossível chegar”. (GALILEI, 1914, p. 1, grifo nosso)

Em seu último livro, o *Discorsi* (1638), Galileu desenvolveu experimentos com pêndulos na tentativa de justificar suas ideias sobre a inércia horizontal.

[Terceiro dia] (...) ao longo de um plano horizontal, o movimento é uniforme, pois aqui ele não experimenta aceleração nem retardo (...) qualquer velocidade, uma vez transmitida a um corpo em movimento, será mantida rigidamente enquanto as causas externas de aceleração ou retardo não forem removidas, condição encontrada apenas em planos **horizontais** [sem atrito]. (GALILEI, 1914 p. 153, grifo nosso)

Assim, Galileu conclui, diferentemente de Aristóteles, que corpos em movimento não tem uma tendência natural para desacelerar. Embora isso pareça uma reafirmação de sua crença em uma inércia circular (ao redor da Terra), ele parece ter mudado de opinião em relação a uma inércia retilínea, conforme o comentário seguinte: *“Levaria o corpo uniformemente até o infinito”*.

Isso é confirmado na próxima jornada, com o seguinte experimento de imaginação:

[Quarto dia] **Imagine** qualquer partícula projetada ao longo de um plano **horizontal** sem atrito; então, sabemos (...) se moverá ao longo deste plano com um movimento uniforme e perpétuo, desde que o plano não termine. (GALILEI, 1914, p. 244, grifo nosso)

Ele corretamente atribui a desaceleração observada ao atrito, sem o qual o movimento continuaria perpetuamente. Portanto, nenhuma força seria necessária para manter a partícula em movimento. Ele não conseguiu identificar a causa da aceleração dos corpos em queda livre, nem a do movimento da Lua ao redor da Terra (MCU), ou seja, **a força gravitacional**. Isto sugere que Galileu, no fundo, continua confiante na ideia de uma inércia circular.

Um movimento inercial também foi proposto por Pierre Gassendi (1592-1655), que tentou reconciliar o atomismo epicurista com o cristianismo. Para ele, um corpo em repouso só podia entrar em movimento pela ação de uma força externa e, uma vez em movimento, este se moveria para sempre *em linha reta e com velocidade constante*. No entanto, ele também adotou uma inércia circular para movimentos específicos (PAV, 1966). Também abordou a queda livre dos corpos em seu *De motu* (1642) e *De Proportione qua Gravia decidentia accelerantur* (1646), apontando que uma pedra abandonada do mastro de um navio deve conservar o seu movimento horizontal. Charleton (1654, p. 467) retomou a visão de inércia de Gassendi da seguinte forma: *"Todo movimento, uma vez impresso, é por si só indelével e não pode ser diminuído (...), somente por alguma causa externa"* (PAY, 1966).

Certamente influenciado por Beeckman e Gassendi, Descartes (1596-1650) apresentou uma teoria mais completa do movimento com a **inércia retilínea**, uma consequência de suas convicções metafísicas/teológicas (em vez de experimentos), da qual deduziu a *conservação da quantidade de movimento*, cuja origem seria um impulso primordial dado por Deus, a fonte de todos os movimentos. De fato, sua primeira formulação dessa lei de conservação apareceu no seu *Le Monde* (~1630), que acabou sendo publicado postumamente, mas vamos nos restringir a seus *Principia Philosophiae* (1644), que certamente influenciou Newton. Na parte II de seu tratado, Descartes propõe:

37. Que cada coisa, na medida do possível, **permanece** sempre no mesmo estado; e, conseqüentemente, uma vez em movimento, **ela sempre continuará a se mover**. (...)

39. Que todo movimento é, **por si mesmo, em linha reta**; e conseqüentemente, os corpos em movimento circular sempre tendem a se afastar do centro do círculo que estão descrevendo. (DESCARTES, 1982, p. 59, grifo nosso)

Claramente, Descartes entende a inércia como uma **tendência natural** dos corpos. Embora aborde o movimento inercial como o poder de permanecer em um estado, rejeitando a ideia de inércia como uma propriedade inata da matéria. Em uma carta a Mersenne, em 1630, ele disse: "*Não reconheço nenhuma [força de] inércia ou [resistência] natural nos corpos*" (KOYRE, 1968, p.69). Como Gabbey (1980) enfatiza, Descartes não aceita a inércia como uma propriedade intrínseca de um corpo servindo como um princípio explicativo, ou como um atributo definidor deste corpo. Nas próprias palavras de Descartes: "*Eu mantenho [a ideia de] que existe em toda matéria criada, uma certa **quantidade de movimento** que nunca aumenta ou diminui*". (GABBEY, 1980, p. 288). Então o movimento uniforme ao longo de uma linha reta não seria um processo (que, segundo Aristóteles, exigiria uma causa), mas um estado no qual um o corpo continua sem a necessidade de força. No entanto, uma inércia retilínea implica que as órbitas dos planetas exigiriam uma força gravitacional, uma ação sem contato que viaje através do vazio, a qual Descartes jamais aceitaria. Ele contornou esse problema assumindo um *aether* invisível feito de partículas girando em vórtices, conduzindo os planetas ao redor do Sol.

Todas as dificuldades em explicar o movimento relatadas acima foram superadas com a publicação do *Principia* de Newton (1687). Ele rejeita a ideia cartesiana de conservação da quantidade de movimento e a teoria planetária em que as órbitas seriam causadas por vórtices do éter; assume que Deus age continuamente na natureza; **apresenta a *vis inertiae*, uma força inerente da matéria que faz com que todo corpo persevere em seu estado atual de movimento**; introduz o conceito moderno de força impressa e propõe uma teoria universal da gravitação que finalmente trata a gravidade como uma força (uma ação a distância) e não como uma tendência natural, o que lhe permitiu explicar a queda de uma maçã e o período da órbita lunar a partir dos mesmos princípios, eliminando as dicotomias aristotélicas e colocando a força de inércia em uma base sólida, embora distinta da cartesiana.

Tudo isso dito, parece estranho que os livros didáticos modernos apresentem as leis do movimento de Newton sem mencionar a *vis inertiae*, uma força que ocupa uma posição de destaque na explicação do movimento no *Principia*. Na próxima seção, analisaremos essa omissão contrastando alguns textos originais de Newton com o típico conteúdo encontrado nos livros didáticos modernos.

2.3. Inércia e Leis de Newton

Nos escritos de Newton, o conceito de inércia evoluiu de uma tendência natural da matéria, como era esperado de qualquer jovem estudante, naqueles tempos cartesianos, para uma perseverança ativa contra mudanças no estado de movimento. Sua primeira menção à inércia aparece em sua obra *De gravitatione*, um ensaio inédito em que ele critica as visões cartesianas de espaço e movimento (~ 1670):

Def. 5. **Força é o princípio causal do movimento e do repouso.** É algo externo que gera, ou destrói, ou altera o movimento impresso em algum corpo; **ou é um princípio interno pelo qual um movimento ou repouso existente se conserva em um corpo** e pelo qual, qualquer corpo persevera no seu estado e opõe resistência [a ações externas].
Def. 8. **A inércia é uma força interna ao corpo**, que previne que seu estado seja facilmente alterado por uma força externa. (NEWTON, 1962, p. 148, grifo nosso)

A inércia passa, então, a ser identificada como uma força e não como uma tendência natural. Isso não mudará nos trabalhos futuros de Newton, apenas será refinado. No primeiro tratado "*De motu corporum*" (1684), lê-se:

Def. 2. E a **força** de um corpo – isto é, **inata** – eu identifico como aquela que o faz persistir em seu movimento seguindo uma linha reta.
Hipótese 2. Todo corpo, **apenas por sua força inata**, prossegue uniformemente até o infinito, seguindo uma linha reta, a menos que seja impedido por algo externo. (WHITESIDE, 1974, p. 257-258, grifo nosso)

Agora, a inércia de um corpo é uma força que o mantém continuamente em movimento retilíneo. No Apêndice 1 do "*Augmented tract De motu corporum*" (1684), a Hipótese 2 é promovida a uma lei da natureza:

Lei 1. Somente por sua **força inata**, um corpo **permanece** se movendo uniformemente em linha reta, se nada o impedir. (WHITESIDE, 1974, p. 125, grifo nosso)

No tratado reformulado "*De motu corporum in medijs regulariter cedentibus*" (início de 1685), Newton faz pequenas, porém relevantes, alterações:

Def. 12. **A vis insita de um corpo é o poder inerente e essencial pelo qual ele persevera** em seu estado de repouso ou de movimento uniforme em linha reta, sendo proporcional à quantidade de matéria que ocupa o seu volume (...)

Lei 1. **[Somente] por sua vis insita todo corpo persevera** em seu estado de repouso ou movimento uniforme em linha reta, exceto na medida em que é compelido por forças impressas a mudar esse estado (...) (WHITESIDE, 1974, p. 97, grifo nosso)⁸

Segundo Balola (2011), Newton agora entende o repouso e o MRU como estados equivalentes. O mais importante é que a inércia é tida como uma força essencial que faz os corpos **perseverarem** em seu estado atual de movimento. Daí em diante, Newton sempre usará essa forma verbal, em vez de "continuar" (em latim, *pergere*) ou "permanecer", que são formas *passivas* mais condizentes com uma *tendência natural*. Infelizmente, essas formas passivas se tornaram dominantes nas traduções do *Principia* e nos livros modernos, como será exposto na próxima seção. Ressaltamos que Newton está inovando quando ele assume que um corpo mantém seu estado de movimento (ou repouso) inalterado devido a uma força, a *vis insita*, que o torna resistente (ativamente) às tentativas externas de mudança. Na Lei 1, acima, Newton atribui explicitamente essa perseverança à *vis insita*, o que não ocorrerá no *Principia* (1687), nem nas 2ª e 3ª edições, de 1713 e 1726, respectivamente. No entanto, isso não pode ser considerado um retorno à tendência natural cartesiana, pois Newton esclarece, logo após a sua Def. IV (*vis impressa*), que: "*Pois um corpo persevera em cada novo estado [de movimento] somente pela força de inércia*" (NEWTON, 1999, p. 405). Isso mostra que ele achou redundante mencionar a *vis insita* novamente em sua 1ª lei do movimento. De qualquer forma, todas essas correções

⁸ Esta é uma tradução livre do original (em latim):

"*Def. 12. Corporis vis insita, innata et essentialis est potentia qua id perseverat in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in linea recta, estque corporis quantitati proportionalis (...)*"

"*Lex 1. Vi insita corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in linea recta nisi quatenus viribus impressis cogitur statum illum mutare (...)*"

cuidadosas indicam, por si só, a grande relevância que ele atribuiu à força de inércia. Por fim, no *Principia*, a força da inércia é definida como:

Def. III: A vis insita, ou força inata da matéria, é um poder de resistência pelo qual todo corpo, conquanto possa, persevera em seu estado, seja ele repouso ou movimento uniforme em linha reta. (NEWTON, 1999, p. 405).

A fim de esclarecer a natureza dessa força e distingui-la da *vis impressa*, Newton explica que

Essa **força** é sempre proporcional [à massa do] corpo e **não difere em nada da inércia da massa**, a não ser pela maneira como é concebida. Devido à inércia da matéria, somente com dificuldade todo corpo é afastado do seu estado de repouso ou de movimento. **Consequentemente, a vis insita pode, por um nome mais adequado, ser chamada de vis inertiae (...).** Porém, um corpo exerce essa força somente quando outra força, impressa nele, tenta mudar essa condição; (...) (NEWTON, 1999, p. 405).

Isso revela muito sobre a visão de inércia de Newton. Ele nota claramente a presença de uma força, a *vis inertiae*, nos fenômenos de inércia. Segundo Chaib (2016), a inércia apresenta as características típicas de um fenômeno causado por uma força, ou seja, uma ação com uma direção bem definida, **sempre oposta à aceleração do corpo e proporcional à sua massa**. Já que toda ação externa (gravitacional, elástica, tensão, fricção, pressão do fluido etc.) tem uma fonte bem definida, necessária para formar um par ação-e-reação, e Newton não conseguiu identificar uma fonte externa para a *vis inertiae* (o espaço absoluto, desprovido de uma estrutura material, não seria capaz de sustentar uma reação), então ele considerou a força de inércia como uma força distinta da *vis impressa*, vinda do interior do corpo (isto é, *vis insita*). Essa distinção permanece na 2ª lei do movimento:

O leitor moderno também ficará impressionado com o fato de Newton usar a palavra "força" em relação a "inércia" ("*vis inertiae*"), embora (...) esta seja uma força interna e não o tipo de força que (de acordo com a segunda lei) age externamente para mudar o estado de repouso ou movimento de um corpo. A menos que sigamos as instruções de Newton e façamos uma distinção acentuada entre essa "força" interna e as forças externas, deixaremos de entender completamente a formulação newtoniana da ciência da dinâmica. (NEWTON, 1999, p. 405).

Apesar da característica singular de ser *insita*, Newton nunca considerou a *vis inertiae* como uma ação **aparente** (isto é, uma ação que realmente não estaria ali). Portanto, a atribuição da causa dos fenômenos inerciais às forças

“fictícias”, como encontrada nos livros modernos, difere totalmente da concepção original de Newton.⁹

Logo após as definições, Newton distingue espaços absolutos e relativos, o que é importante porque ele estava interessado em estabelecer as leis referentes ao **movimento com relação ao espaço absoluto**: “(...) em vez de lugares e movimentos absolutos, utilizaremos relativos; e isso sem qualquer inconveniente; mas em discussões filosóficas, devemos recuar de nossos sentidos.” Ele enfatiza que o espaço absoluto “de sua própria natureza sem referência a algo externo permanece sempre homogêneo e imóvel.” O espaço absoluto tem o inconveniente de ser invisível e inacessível, mas Newton superou esse problema no Corolário I da Prop. XIV (Livro III), onde lemos: “*As estrelas fixas também estão em repouso [em relação ao espaço absoluto], porque mantêm determinadas posições em relação aos afélios e nós*”. Ele, então, declara suas leis do movimento:

Lei I: Todo corpo **persevera** em seu estado de repouso ou de movimento uniforme em linha reta, a menos que seja compelido a mudar esse estado por forças impressas sobre ele. (NEWTON, 1999, p. 19, grifo nosso).

Após as outras duas leis e alguns corolários, Newton apresenta um *Scholium*, onde atribui essa lei a Galileu. No entanto, como apontado por Galili e Tseitlin (2003), Newton vai além das extrapolações imaginárias de Galileu (corpos se movendo em condições ideais, sem atrito e resistência do ar), pois ele tende a analisar fenômenos reais, **a partir dos quais chegou à conclusão de que apenas pela vis inertia um corpo persevera contra mudanças em seu movimento**. Esses autores concluíram que “*a inércia apresentada por Newton era uma entidade muito real*.” (Galili e Tseitlin, 2003, p. 67).

⁹ Ao assumir que a inércia é uma *tendência natural* dos corpos, os autores modernos são levados a considerar as forças inerciais como **aparentes**. Isso impede qualquer discussão sobre sua origem, bem como qualquer tentativa de associá-la a uma interação fundamental. Entretanto, de acordo com a visão de Mach, a *vis inertiae* resultaria de uma interação real do corpo com todos os corpos celestes, restando somente a opção gravitacional, uma vez que as forças nucleares são de curto alcance e as forças eletromagnéticas exigiriam corpos celestes carregados eletricamente.

2.4. Livros didáticos

Podemos, agora, comparar a abordagem original de Newton, descrita acima, com a típica apresentação de inércia encontrada em livros de física básica e mecânica clássica. Por exemplo, em Halliday *et al.* (2014), um dos livros de física básica mais adotados no mundo, a inércia é introduzida a partir da observação comum de um disco deslizando sobre uma mesa muito lisa. Ele se move ao longo de uma linha reta com uma velocidade que tende a permanecer constante à medida que reduzimos o atrito, concluindo que um corpo permaneceria em MRU na ausência de atrito. A versão deles da 1ª lei do movimento é:

Se nenhuma força resultante atua sobre um corpo ($\vec{F}_R = 0$), a velocidade do corpo não pode mudar; isto é, o corpo não pode acelerar. (HALLIDAY *et al.*, 2014, p. 95).

Em seguida, os autores alertam que a 1ª lei de Newton não é válida em todos os referenciais, mas que sempre existirá um em que esta lei será válida, ou seja, um *referencial inercial*. Eles concluem com um exemplo realista, no qual uma pessoa sentada no banco de um carro afirma estar sendo empurrada para trás, contra o encosto do banco, sempre que o carro é acelerado para frente. Mesmo assim, os autores insistem que esta é uma força *inexistente*.

Na seção 5.2 do livro de Serway e Jewett (2014, p. 97), intitulada “*Primeira lei de Newton e referenciais inerciais*”, encontramos a análise do movimento de um disco de *hockey* em uma mesa de ar horizontal. Segundo os autores, o disco permanecerá em repouso quando for colocado sobre a mesa, e continuará em repouso quando a mesa estiver em um trem em MRU. Uma vez que o este acelera, o disco permanece com o mesmo MRU para um observador fixo fora dele, enquanto acelera para trás para um observador fixo ao trem. Essa diferença de descrições é tomada como uma motivação para introduzir a 1ª lei de Newton como uma maneira de determinar se um determinado referencial é inercial:

Outra afirmação da primeira lei de Newton: na ausência de forças externas e quando visto de um referencial inercial, um objeto em repouso permanece em repouso e um objeto em movimento continua em movimento com velocidade constante (...) (SERWAY e JEWETT, 2014, p.113).

Um exemplo físico de referencial é então sugerido: “Um referencial que se move com velocidade constante em relação às **estrelas distantes** é a melhor aproximação de um referencial inercial” (Serway e Jewett, 2014, p. 98). Isso naturalmente nos leva a perguntar: por que as estrelas distantes são a melhor aproximação? Isto não seria uma forte indicação de que a inércia vem de uma interação com os corpos celestes? Bem, não para os autores que tratam as forças inerciais como fictícias. Eles, então, concluem explicitando sua definição de inércia: “A **tendência [natural]** de um objeto de resistir a qualquer tentativa de mudar sua velocidade é chamada de inércia” (Serway e Jewett, 2014, p. 98, grifo nosso).

Recentemente, Young e Freedman reeditaram um livro popular de Sears e Zemansky, no qual a inércia também é introduzida como uma *tendência natural*: “A *tendência [natural]* de um corpo para se manter em movimento quando aplicada uma força é chamada de inércia. (...) A inércia também é a *tendência [natural]* de um corpo em repouso permanecer em repouso” (Young e Freedman, 2016, p. 109). O popular ‘truque do garçom’, no qual um objeto está em repouso sobre uma mesa e mantém-se praticamente parado quando a toalha-de-mesa é puxada, é mencionado para reforçar sua visão de inércia. Este truque é explicado por eles como uma consequência da força de atrito exercida sobre o objeto pela toalha de mesa, não sendo forte o suficiente para mover consideravelmente o objeto quando a toalha é retirada. Sua declaração para a 1ª lei é concisa:

1ª Lei de Newton: um corpo sob ação de uma força resultante, tem velocidade constante (que pode ser zero) e aceleração zero. (YOUNG E FREEDMAN, 2016, p. 115).

De fato, a constância da velocidade (ou, equivalentemente, aceleração nula) de um corpo quando a resultante das forças externas é nula é mencionada em praticamente todos os livros didáticos de física, mesmo os direcionados ao Ensino Médio, o que revela a crença desses autores de que a inércia é uma tendência natural dos corpos, uma visão cartesiana que os leva a considerar a 1ª lei do movimento como um caso particular da 2ª lei (a saber, aquele em que a força resultante externa é nula), o que claramente se afasta da abordagem original de Newton. Como apontado por Oliveira (2017), esse retorno à visão cartesiana da inércia pode ser atribuído a alguns grandes matemáticos do século

XVIII, principalmente Daniel Bernoulli (1700-1782), Leonard Euler (1707-1783), Alexis Clairaut (1713). –1765) e Jean d'Alembert (1717–1783). No vol. 1 de sua *Mechanica* (1736), Euler seguiu a visão de Newton, como visto na sua Def. 9: “**Vis inertiae** is illa in omnibus corporibus insita facultas vel in quiete **permanendi** vel motum uniformiter in directum continuandi” (EULER, 1912). Esta definição é seguida por um *Scholium*, ao que ele identifica que Kepler foi o primeiro perceber que a inércia é manifestada por uma força. Euler trabalhou bastante para esclarecer e desenvolver os conceitos newtonianos, complementá-los e indicar como problemas reais poderiam ser resolvidos. Ao tratar as forças impressas como um conceito fundamental (*a priori*) da dinâmica, empregando vetores para representar forças e acelerações e resolvendo equações diferenciais, ele colocou a mecânica em uma abordagem moderna, por isso **devemos reconhecer que todos aprendemos a mecânica de Euler, não a de Newton** (TRUESDALL, 1968). D'Alembert (1921), por outro lado, foi educado sob a filosofia cartesiana, então ele tomou isso como base para uma “reorganização” conceitual da mecânica newtoniana em seu *Traité de Dynamique* (1743, reeditado em 1758), em que ele adota três princípios para o movimento dos corpos: princípio da inércia, semelhante à 1ª lei de **Descartes**, composição de movimentos e equilíbrio. Desses princípios, ele deduziu o *Princípio do Equilíbrio*

Dinâmico, embora não em sua forma moderna $\sum_k \vec{F}_k^{ext} + (-m\vec{a}) = \vec{0}$, que é

devido a Lagrange (1788). Utilizando apenas as leis da estática, esta forma é extremamente útil para resolver problemas de dinâmica em referenciais acelerados, o que será retomado ao final desta seção. Para determinar o movimento de um corpo em um referencial não-inercial (por exemplo, quando uma massa pontual desce por um plano inclinado apoiado sobre uma mesa sem atrito), Clairaut (1745) introduziu o **princípio do movimento relativo**, sendo o primeiro a interpretar efeitos inerciais como sendo causados por uma “**força aparente**”, sempre proporcional à massa do corpo e oposta à aceleração desse referencial (com relação a algum referencial inercial). Euler então enunciou esse princípio mais claramente e usou-o para obter soluções corretas para problemas complexos em **referenciais acelerados**, seguindo a visão de Clairaut sobre forças aparentes. Os livros produzidos por esses matemáticos logo se tornaram

clássicos, influenciando todas as gerações subsequentes. Por exemplo, Kant (1786, p. 336) escreveu, que “a inércia da matéria é, e significa, **nada mais do que sua falta de vida, como a própria matéria**”. Com o passar dos anos, esse retorno à visão cartesiana da inércia tornou-se mais e mais dominante e hoje a maioria dos físicos não pensa mais nos termos de Newton.

Nos livros didáticos mais avançados, a visão cartesiana da inércia aparece de forma ainda mais explícita! Por exemplo, em um livro amplamente adotado em cursos de mecânica para engenheiros, lê-se na Seção 12.2:

Observamos que, se a resultante das forças $\sum \mathbf{F}$ que atuam na partícula é zero, segue-se da Eq. (12.2) [$\sum \mathbf{F} = m \mathbf{a}$] que a aceleração \mathbf{a} da partícula também é zero. Se a partícula estiver inicialmente em repouso ($\mathbf{v}_0 = \mathbf{0}$) em relação a um referencial newtoniano [inercial], ela permanecerá em repouso ($\mathbf{v} = \mathbf{0}$). Se originalmente se mover com uma velocidade \mathbf{v}_0 , a partícula irá manter uma velocidade constante $\mathbf{v} = \mathbf{v}_0$ (...). Lembramos que esta é a afirmação da primeira lei de Newton (Sec. 2.10). **Assim, a primeira lei de Newton é um caso particular da segunda lei de Newton, e pode ser omitida dos princípios fundamentais da mecânica.** (BEER *et al.*, 2013, p. 36, grifo nosso).

Discordamos completamente desta conclusão! Isso só estaria certo se adotássemos a versão deles da 1ª lei do movimento, conforme encontrado na Seção. 2.10:

Se a força resultante que atua sobre uma partícula é zero, a partícula **permanecerá** em repouso (se originalmente estiver em repouso) ou se moverá com velocidade constante em uma linha reta (se originalmente estiver em movimento). (BEER *et al.*, 2013, p. 36, grifo nosso).

No final da Seção. 12.3, eles assumem explicitamente a visão cartesiana da inércia:

Esse é o princípio da **conservação do momento linear** de uma partícula, que pode ser reconhecido como uma afirmação alternativa da primeira lei de Newton (Seção 2.10) (BEER *et al.*, 2013, p. 36, grifo nosso).

Por fim, esta versão da 1ª lei do movimento, que é essencialmente a mesma na maioria dos livros modernos, difere da afirmação original de Newton. De fato, para Newton, a 1ª lei é independente da 2ª lei justamente por atribuir uma força a uma perseverança geral dos corpos contra mudanças em seus movimentos, como observada na natureza. Tanto que, no *Principia*, ele menciona alguns fenômenos que envolvem a *vis inertia*, como podemos verificar logo após a 1ª lei do movimento:

Os projéteis **perseveram** em seus movimentos, desde que não sejam retardados pela resistência do ar ou impelidos para baixo pela força da gravidade. Um peão, cujas partes, por coesão, são perpetuamente afastadas do movimento retilíneo, não cessa sua rotação, a não ser quando retardado pelo ar. Os corpos maiores dos planetas e dos cometas, encontrando menos resistência em espaços livres, preservam seus movimentos progressivos e circulares por um tempo muito maior. (NEWTON, 1999, p. 416, grifo nosso).

Outra tendência encontrada nos livros de mecânica clássica é levar em conta a primeira lei de Newton apenas para definir referenciais inerciais (IRO, 2002), ou apenas para declarar que esses referenciais existem. Por exemplo, em um livro de Kleppner e Kolenkow, lê-se:

(...) É sempre possível encontrar um sistema de coordenadas com relação ao qual corpos isolados movam-se uniformemente. (...) A primeira lei do movimento de Newton é a afirmação de que existem sistemas inerciais. A primeira lei de Newton é descrita em parte por definições e por fatos experimentais. Os corpos isolados se movem uniformemente nos sistemas inerciais em virtude da **definição de um sistema inercial**. Por outro lado, a existência de sistemas inerciais é uma afirmação sobre o mundo físico. (KLEPPNER e KOLENKOW, 2014, p. 51, grifo nosso).

Claramente, essa é uma deturpação moderna de significados, **já que nada é dito no enunciado original da 1ª lei de Newton, como encontrado no *Principia*, sobre referenciais inerciais**. De fato, Newton deixa explícito que a inércia é um fenômeno causado por uma força, a *vis inertia*, que surge quando, e somente quando, o corpo é acelerado, seja em relação à Terra (um referencial inercial razoável), ou ao espaço absoluto, ou um referencial inercial, ou as estrelas fixas, ou galáxias distantes, etc.

3 Metodologia de desenvolvimento da pesquisa

Neste capítulo, estão descritos o método de desenvolvimento da pesquisa, a abordagem do tema de pesquisa nos livros didáticos, a metodologia de ensino baseada na SEI – *Sequência de Ensino Investigativa* –, as estratégias de ensino e a metodologia de coleta dos dados.

As atividades foram elaboradas com o intuito de incentivar o trabalho em grupo, por meio de discussões, dinâmicas, experimentos e uso de recursos tecnológicos. Em todos os encontros, haviam tarefas a serem entregues ao professor, afim de assegurar uma fonte de coleta de dados para um momento oportuno.

O objetivo geral da pesquisa era investigar se a SEI proposta contribuiu de forma significativa tanto para o desenvolvimento dos conteúdos da Mecânica, quanto para a inserção da força de inércia no arcabouço teórico do aluno, de modo a propiciar futuras reflexões sobre como o conhecimento científico é disseminado, além de identificar a física como uma construção cultural arbitrária.

Para a coleta de dados, o professor fez uso de um diário de campo para fazer suas anotações. Estas foram importantes para ponderar o modo como as atividades foram aplicadas, evidenciar possíveis falhas e, se necessário, refletir sobre a ação, ou seja, possibilitar meios alternativos para garantir que a SEI fosse efetivada. Também útil para relatar suas impressões a respeito de como os estudantes se comportaram durante os encontros.

3.1. A Escola

Localizada em Ceilândia, cidade periférica de Brasília – DF, o Centro Educacional 15 foi a escola escolhida para a aplicação do produto educacional. A coordenação pedagógica, a direção e a professora regente foram extremamente solícitas em disponibilizar qualquer material necessário para otimizar a experiência dos alunos com o projeto. Pública e caracterizada por uma comunidade escolar diversa, se mostrou um ambiente favorável para o desenvolvimento das atividades além da possibilidade de se explorar uma reflexão crítica entre ciência, tecnologia e sociedade.

A SEI foi aplicada em três turmas da 1ª Série do EM, no turno regular, ao longo de cinco semanas consecutivas. Os encontros duraram 90 minutos e ocorreram uma vez por semana. Os alunos já tinham uma noção superficial da Dinâmica Newtoniana, por meio de duas aulas introdutórias ministradas pela professora regente. Ela identificou que a turma teve dificuldade em entender e realizar cálculos simples em relação a Cinemática, pontuando também a ausência de muitos alunos, assim como a crescente desmotivação das turmas em aprender Física.

Foram utilizadas salas de aula convencionais, entretanto não se anula a possibilidade de que as atividades ocorram no pátio ou no laboratório de Ciências, de acordo com a disponibilidade de cada escola.

As atividades foram aplicadas pelo professor-pesquisador ao longo de toda a sequência, contudo, a professora regente só esteve presente no primeiro encontro em prol da apresentação do projeto aos alunos.

3.2. Metodologia de Ensino

O desenvolvimento desta SEI fundamentou-se na proposta pedagógica do ensino por investigação, que tem como principal objetivo incitar a participação ativa do aluno na formulação de hipóteses em relação a um determinado fenômeno.

Começamos com uma problematização histórica que visa à construção da noção de movimento e o seu impacto nas relações cotidianas, além de ressaltar o contexto social de cada descoberta científica. Foram introduzidas diversas atividades que estimulam a reflexão sobre as três leis de Newton à luz da Mecânica Relacional, bem como proporcionar ferramentas matemáticas para a análise do movimento. A seguir os detalhes de cada atividade da SEI em termos dos conteúdos e suas potencialidades para produzir situações argumentativas.

3.3. Estrutura da SEI

3.3.1. Encontro I

A primeira aula foi dedicada à exibição do episódio três da aclamada série *Cosmos*¹⁰, vide Figura 3. Com duração de 43 min, o vídeo apresenta diversos recortes históricos a respeito da vida de Newton, desde a relação conturbada com os seus pais até o triunfo profissional ao se tornar presidente da Royal Society. Espera-se que o aluno vislumbre as contribuições científicas de Newton, Haley, Hooke e outros contemporâneos, relacionando-as com os conflitos ocorridos à época.

Figura 3 - Cosmos



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nesta primeira etapa é importante que o professor se atenha aos conhecimentos prévios de cada aluno, o encoraje a perguntar, não seja autoritário em suas argumentações e, assim como reforça Carvalho (2011), evidencie claramente as situações problemas exibidas ao longo do vídeo, relacionando-as com o cotidiano.

É importante também que o professor proponha um espaço de fala ao aluno, teça comentários pertinentes e elucide as dúvidas relacionadas aos acontecimentos históricos. Contudo, em relação a questões relativas a

¹⁰ Esta obra audiovisual está disponível em DVD e acessível via *streaming* pela *Netflix*.

grandezas, natureza da força e do movimento, sugere-se que sejam abordadas nos próximos encontros, com o auxílio das atividades propostas na SEI.

O professor pode incrementar sua aula com as informações contidas no produto educacional desenvolvido.¹¹

3.3.2. Encontro II

Para incrementar as informações suscitadas na aula anterior, a atividade deste encontro também está centrada na história da ciência. Os alunos foram distribuídos em grupos de, no máximo, cinco pessoas. Com o auxílio do texto “Princípios matemáticos da filosofia natural: A Lei da Inércia”,¹² foram motivados a discutir sobre as situações apresentadas tanto no texto, quanto do vídeo exibido na aula anterior.

Para instigar as discussões, foram feitas as seguintes problematizações:

- Há relação entre o texto e o vídeo exibido na aula anterior? Quais?
- As contribuições científicas de Newton são aplicadas ao seu cotidiano?
- É importante entender as causas do movimento e as suas consequências?

É preciso que o professor fomente e discorra sobre as principais relações entre as atividades, caso isso não fique explícito ao longo das discussões.

Figura 4 - Leitura do texto proposto



Fonte: Elaborado pelo autor.

¹¹ O produto educacional se encontra no Apêndice A.

¹² Vide Apêndice A.

Figura 5 - Discussão em grupo



Fonte: Elaborado pelo autor.

A título de avaliação, foi proposto que os alunos redigissem um texto (manuscrito) com respostas à essas perguntas. Diferente da atividade anterior, o texto deveria ser redigido individualmente e entregue ao professor pesquisador ao final deste encontro.

3.3.3. Encontro III

Nesta etapa, é importante que o professor tenha informações sobre as habilidades matemáticas dos alunos, além de ressaltar a natureza intrínseca dessa ferramenta na análise dos fenômenos físicos e, conseqüentemente, nas grandes descobertas científicas.

Com este objetivo em mente, foi realizada uma dinâmica envolvendo o conceito e as características de uma grandeza vetorial. Intitulada “**Cabra cega, a Saga dos Vetores**” propiciou habilidades de como deve ser feita uma análise de movimento, além de incentivar o uso de termos corriqueiros no meio acadêmico.

Em espaço delimitado, seja a sala de aula convencional ou similar, o professor escolheu três duplas para participar da atividade (recomenda-se que não seja toda a turma, visto o tempo diminuto). Após a escolha das duplas, o professor solicitou que um integrante fosse vendado e o outro tivesse a função de auxiliar o seu colega durante a locomoção em sala, observe a Figura 6.

Os alunos restantes modificaram a ordem das cadeiras de modo a criar caminhos, com alguns obstáculos, para que o aluno vendado encontrasse o “tesouro” escondido previamente pelo professor.

Figura 6 - Dinâmica realizada em sala: “Cabra cega: A saga dos Vetores”



Fonte: Elaborado pelo autor.

Inicialmente, é imprescindível que o professor solicite aos alunos que meçam o passo do aluno vendado e instrua o orientador a utilizar uma linguagem que facilite a compreensão do seu colega. Espera-se que esta linguagem seja aperfeiçoada ao longo da atividade para que o movimento seja mais fluido e que o tesouro seja encontrado. Também é importante ressaltar que o professor esteja ciente do local dos tesouros e que os alunos da sala não os coloquem em locais de difícil acesso (vide Figura 7).

Figura 7 - O Tesouro perdido



Fonte: Elaborado pelo autor.

O professor pode sugerir, paulatinamente, exemplos de como melhorar a locomoção. Se as duplas entrarão na sala ao mesmo tempo e o conteúdo do tesouro, também ficam a seu critério. Recomenda-se que o professor não escolha um número superior a três duplas, visto a dificuldade em manter uma organização mínima (e atrapalhar as outras turmas), além do tempo ser escasso. Com o intuito de ressaltar a natureza vetorial da força e aproveitar a desorganização das cadeiras, o professor irá incitar diversas atividades que meschem o movimento corporal dos alunos com conceitos a serem explorados ao longo das próximas aulas, como exemplifica a Figura 8.

Figura 8 - Cabo de guerra



Fonte: Elaborado pelo autor.

Munidos de faixas típicas de lutadores de artes marciais, o professor incitou puxões aleatórios com direção e sentidos diferentes, como sugere a Figura 9. Disputas comuns como o cabo-de-guerra, dentre outras atividades lúdicas que propiciem a compreensão que a força é uma grandeza caracterizada tanto pela intensidade quanto por direção e sentido, concatenando com a ideia proposta na dinâmica da cabra-cega, realizada anteriormente. É importante que os alunos identifiquem que o movimento depende da quantidade de pessoas envoltas na faixa, da superfície onde ocorre a dinâmica, da massa de cada um dos participantes e de como será realizado esse puxão.

Figura 9 - Eu tenho a força?



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 10 - Participa ativa dos alunos



Fonte: Elaborado pelo autor.

Estas atividades devem ser realizadas pelos alunos, no intuito de contemplar o interacionismo proposto pela SEI. O professor deve problematizar sobre o conceito de força e como este se apresenta em nosso cotidiano.

Por fim, o professor fará um desafio aos seus alunos. Por meio do aplicativo Zoetropic,¹³ eles fotografaram um objeto (ou a si mesmos), com o intuito de tornar esta imagem estática em uma imagem com movimento. Este aplicativo dispõe de diversas ferramentas que possibilitam a inclusão de vetores que darão movimento a determinadas áreas escolhidas previamente pelo usuário. É necessário que o professor sugira que os alunos façam o *download* do aplicativo no encontro anterior, a fim de evitar problemas de conexão com a *internet*.

Recomenda-se que o professor utilize o tutorial incluso no produto educacional e os direcione, passo-a-passo, em como utilizar as ferramentas

¹³ Aplicativo para telefones móveis: gratuito e de fácil acesso. Disponibilizado pela *Play* e *Apple Store*.

básicas do aplicativo (as Figuras 11 e 12 foram projetadas em sala para o breve tutorial). Também é importante que esta atividade seja realizada individualmente (de acordo com as características de cada grupo social, obviamente) em sala ou como atividade para casa.

Figura 11 - Exemplos de fotografias editadas pelo aplicativo Zoetropic.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 12 - Exemplos de fotografias editadas pelo aplicativo Zoetropic.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3.4. Encontro IV

Nesta etapa foram realizados dois experimentos consecutivos, nos quais os alunos se dividiram em grupos de acordo com as atividades propostas nas aulas anteriores. Munidos de, ao menos, um celular gravaram as etapas da investigação para uma futura análise e, se necessário, a repetição do experimento em casa. Os materiais utilizados nos experimentos são simples e de fácil obtenção: linha de costura, estojo escolar (ou qualquer outro objeto com massa similar), folha de papel e uma mesa.

Experimento I

Esta atividade foi dividida nas seguintes etapas:

1. Os alunos devem cortar um pedaço de linha de aproximadamente 1m (não se faz necessário uma precisão demasiada, um comprimento suficiente para que eles possam segurar o fio entre as mãos e consigam puxar as suas extremidades);
2. Solicite que os alunos puxem vagarosamente as extremidades até que o fio se rompa. Devido à ausência de forças de atrito isso não ocorrerá, contudo solicite que os alunos enrolem a ponta dos dedos no fio e repitam a ação;
3. Após a etapa anterior, o professor deve evidenciar as marcas deixadas pelo fio nos dedos dos alunos e suscitar diversos questionamentos¹⁰ sobre a intensidade e o sentido da força aplicada;
4. Novamente solicite que os alunos cortem um pedaço de linha de aproximadamente 1m;
5. Eles devem amarrar uma das extremidades do fio ao estojo;
6. Aplicar um puxão vertical. Nesta etapa é importante que um dos integrantes do grupo grave toda a ação. Se possível, utilize a função *slow motion* (câmera lenta) presente em boa parte dos smartphones;
7. Observem o que ocorre com o objeto.

Figura 12 - Experimento I



Fonte: Elaborado pelo autor.

Experimento II

1. Solicite que um dos alunos coloque um objeto (material didático de fácil acesso, como por exemplo, um estojo de lápis) sobre uma folha de papel A4 e que esta sobressaia uns 5 cm da borda de uma mesa.
2. Após a disposição dos materiais, sugira que o aluno puxe a folha vagorosamente e observe o ocorrido.
3. Solicite que repitam a ação anterior, contudo encostem o dedo no objeto fazendo com que ele se mantenha na mesma posição (força contrária ao movimento da folha).
4. Após as etapas anteriores (é imprescindível que a ordem destas etapas seja seguida para que as problematizações tenham o efeito esperado), solicite que os alunos puxem a folha o mais rápido que puderem e observem o ocorrido.
5. É importante que o professor suscite a importância da repetição dos experimentos em prol da maior acurácia possível.

De fácil reprodução, o mais importante serão as problematizações realizadas pelo professor ao longo da atividade. É importante que os experimentos sejam repetidos e filmados, por conseguinte uma análise mais apurada posteriormente.

Após a realização das duas atividades, os alunos deverão transcrever o que visualizaram e, por meio de diagramas vetoriais, identificar todas as forças envolvidas, além de responder aos seguintes questionamentos:

- *Durante o puxão, o que fez a corda se romper?*
- *O que aconteceu com o objeto após a folha entrar em movimento?*
- *A variação da velocidade interfere no comportamento dos objetos?*

3.3.5. Encontro V

O último encontro será dedicado a aplicação de um questionário¹⁴ (com questões abertas sobre todas as atividades realizadas ao longo da SEI) e a análise dos experimentos realizados no encontro anterior. Destrinchamos toda a matemática envolvida com o auxílio dos diagramas de força e os vídeos produzidos pelos alunos, esclarecendo possíveis erros e destacando a presença de uma força desconhecida, a força de inércia (Figura 14).

Figura 13 - Último encontro.



Fonte: Elaborado pelo autor.

¹⁴ Disponível no Apêndice A.

Por fim, é imprescindível que o professor reafirme a matemática envolvida nos fenômenos investigados, além de visitar todas as atividades discutidas anteriormente. Se faz necessário a comparação entre as leis de Newton publicadas no *Principia* e as ideias grafadas no livro didático adotado pela escola, a fim de possibilitar uma reflexão sobre a inércia. É interessante que o professor requisite novos exemplos por parte dos alunos, criando condições para uma melhor contextualização dos fenômenos apresentados.

3.4. Proposta de Avaliação

A avaliação da SEI será somativa, ou seja, ocorrerá ao longo de toda a sequência. Serão analisados todos os documentos produzidos pelos alunos, a fim de identificar o nível de compreensão alcançado sobre as Leis de Newton e os conceitos construídos ao longo das atividades.

Após cada atividade realizada nos encontros, o professor-pesquisador buscou as percepções dos alunos frente aos fenômenos problematizados. Foi realizada uma discussão a partir de algumas questões abertas, propostas pelo professor. Para Carvalho (2013) é imprescindível oportunizar essa etapa de discussão em pequenos grupos, além da necessidade de uma produção escrita individual a fim de realçar a construção pessoal do conhecimento, logo, cada aluno deve entregar uma folha com as suas respostas. Na aula posterior o professor deve discutir as respostas e uma possível solução para os problemas.

4 Resultados e Análises

A análise das atividades aplicadas ao longo da SEI foi desenvolvida a partir das habilidades que Fourez (2005) julga necessária para se atingir a Alfabetização Científica. Carvalho (2011) corrobora e acrescenta que é responsabilidade do professor:

(...) dar sentido nas diversas explicações dos alunos sobre a resolução do problema trabalhado - quer seja ele um problema experimental, teórico, de lápis e papel, ou mesmo a leitura de um texto. Para isso ele precisa elaborar questões que dirijam o raciocínio dos alunos, tais como: questões sobre o que fizeram, isto é, que levem a sistematizar os dados obtidos; perguntas sobre como fizeram, isto é, que levem a tomar consciência de suas ações e sistematizar as relações entre variáveis; **questões sobre o porquê científico, isto é, que levem os alunos a buscarem justificativas e explicações** (...) (CARVALHO, 2011, p. 258, grifo nosso).

Para melhor compreensão, organização dos dados coletados e com o intuito de preservar a identidade dos alunos, as respostas foram categorizadas da seguinte forma: A1, A2, A3 e assim por diante, no qual cada conjunto de letra e número representa um aluno diferente. Também é importante ressaltar o caráter qualitativo da pesquisa a seguir.

1.1. História e Filosofia da Ciência (Encontros I e II)

Como sugerido inicialmente, acreditamos que a inserção de HFC nas atividades proporcionadas pela SEI pode gerar reflexões sobre a necessidade de disseminação do conhecimento científico, bem como a inter-relação entre ciência e tecnologia e sua aplicação no cotidiano. Em outras palavras, pode garantir que AC seja alcançada.

O aluno A1 entende a importância de se conhecer os fatos históricos que desencadearam as diversas invenções científicas, assim como a necessidade do “aprender ciências” visto que isso implica em suas atividades cotidianas e pode promover o que Fourez (2005) entende como um incentivo a uma visão de mundo mais rica e interessante. É importante ressaltar que esta atividade revelou, ao longo das discussões, os conhecimentos prévios de cada aluno, provocando embates e desmistificando a figura do cientista como um gênio solitário, evidenciado nas Figuras 15 e 16.

Após as discussões, os alunos notam claramente a figura do cientista como qualquer outro indivíduo, passível de erros e acertos. Ou seja, é importante que o professor ressalte que a Ciência é para todos, que deve ser democratizada a fim de atingir todos os grupos sociais, principalmente as comunidades que demonstram maior vulnerabilidade social e econômica. De acordo com o referencial teórico da SEI, esta atitude deve ser inerente as atividades propostas.

Figura 14 - Texto redigido pelo aluno A1

A relação que existe entre a vídeo e o texto é que o assunto principal fala de astrologia, movimentos da Terra, a relação da Terra e do Sol, os corpos celestes e teorias de cientistas e conhecidos. A Terra como um todo está sempre em movimento, e esses cientistas procuram entender esse e cada movimento existente na Terra, e com base em suas informações, pesquisas e teorias, vários tipos de inovações surgiram ao longo do tempo, um exemplo disso é o avião, pois ele utiliza várias peças estudadas por esses cientistas, assim também como o automóvel, cinto de segurança, foguete, satélite, etc. É importante sabermos como cada destes funcionam, pois no futuro, eu poderei melhorar, concertar em caso de falha, resolver ou até mesmo criar mais inovações que possam utilizá-las como base.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 15 - Texto redigido pelo aluno A2

Porque os deus falam sobre o universo, sobre os movimentos de rotação e translação, fala sobre a Terra está no centro do universo geocêntrico, corpos celestes. Porque newton foi uma pessoa fascinante, suas ideias brilhantes é a sua maneira de pensar. Ele era um homem muito inteligente mas porque ele era um homem inteligente que não tinha ideias erradas e também ideias boas. Mas também para se aprofundar nas suas ideias e nos livros que ele fez por que talvez podermos encontrar coisas novas. Muitos, mas as que mais são ^{as} as três leis de newton: Inércia, Força resultante e a Ação e Reação

Fonte: Elaborado pelo autor.

O uso da tecnologia figurou bastante ao longo dos textos redigidos. Sasseron e Carvalho (2011) corroboram conosco ao sugerir que a compreensão dos termos tecnológicos possibilita reflexões acerca da relação entre ciência e tecnologia, e conseqüentemente, uma AC de qualidade.

(...) essa proposição considera como inaceitável ensinar as ciências de maneira exclusivamente teórica que as mostre sem vínculo com a possibilidade de realizações na vida cotidiana”

[O aluno deve] “Compreender que a sociedade exerce controle sobre as ciências e as tecnologias, bem como as ciências e as tecnologias refletem a sociedade. (GERARD FOUREZ, 1994 apud SASSERON; CARVALHO, 2011, p.67).

Figura 16 - Texto redigido pelo aluno A3

Existente uma grande relação entre o vídeo e o texto que foi estudado e o vídeo, pois ambos falam sobre os grandes cientistas que fizeram descobertas muito importantes como por exemplo Robert Hook, que inventou o microscópio e descobriu as células. Além disso Hook criou a lei da elasticidade.

É muito interessante estudar sobre a história dos criadores dos objetos que usamos no dia-a-dia. Isaac Newton era um grande cientista que estudava as estrelas, os planetas, os cometas e as galáxias, e foi através das estrelas que Newton criou o mapa. Mas ele não fez tudo isso sozinho, Newton precisou da ajuda de seu amigo Edmund Halley.

Isaac Newton não era o único que estudava os cometas. San hônt foi a primeira pessoa que descobriu a distância do sol e o centro de nossa galáxia, ele também descobriu que no centro de nossa galáxia era um lugar de grandes explosões. Em sua homenagem criaram

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 17 - Texto redigido pelo aluno A4

O que há relação entre o vídeo e o texto é a explicação de que o sol não gira em torno da terra e sim a terra que gira em torno do sol. Assim como o texto relata sobre o movimento das coisas, Aristóteles a muito tempo ele tentou entender as coisas da física porque antes não existia física nem química, mas naquela época só existia filosofia. Estudamos sobre Newton porque faz parte do nosso dia-a-dia, porque tudo o que fazemos tem haver com movimento, precisamos de física para tudo, por exemplo, medicina, vamos como, como para andar um ônibus, não necessariamente ele vai parar quando eu der o sinal.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim como outros alunos, o A4 (vide Figura 18) entende a ligação entre as atividades propostas nos encontros I e II, nota que a busca pela compreensão do movimento das coisas é um problema que antecede os filósofos gregos e ainda hoje é objeto de estudo dos cientistas.¹⁵

¹⁵ É sempre importante que o professor ressalte a possibilidade de que o aluno faça parte da comunidade científica.

1.2. Cabra cega: “A saga dos Vetores” (Encontro III)

No decorrer das dinâmicas realizadas em sala, ficou bem evidente para os alunos as características vetoriais da força, assim como as operações matemáticas a serem efetuadas em busca da força resultante. Ressalta-se a importância da participação ativa dos alunos nas atividades, além de motivá-los a problematizar sobre os fenômenos sugeridos, os alunos conseguiram enxergar o caráter fundamental da matemática na análise dos fenômenos naturais.

De início, os alunos utilizaram do senso comum para orientar o seu colega ao longo de diversos trajetos em busca do tesouro (vide Figura 19). Vários termos foram citados no decorrer da atividade: *“vai pra lá, vem pra cá, segue, vira, tá errado... é do outro lado, você não tá vendo?”*. Após muitos pontapés e colisões perceberam a necessidade de uma linguagem específica para guiar seu amigo. Foi neste momento que o professor precisou interceder sugerindo palavras que pudessem proporcionar um movimento mais fluido.

Figura 18 - Aluna A5 orientando a colega A6 na busca pelo tesouro.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O tamanho dos passos (bem como o tamanho do vetor a ser representado no diagrama de forças) também foi preponderante para que a atividade tivesse êxito. Frente a isso, os alunos utilizaram trenas para medir (antes de iniciar as orientações) os passos de cada participante, no intuito de melhorar a orientação

dos colegas. Algumas duplas não deram a devida importância para essa medida, com isso o tempo para achar o tesouro aumentou consideravelmente.

Para a realização da próxima dinâmica, a posição dos alunos em sala foi alterada (Figura 20), de modo a figurarem um círculo, no intuito de melhorar a visibilidade das atividades e criar um ambiente em que se sentissem seguros para falar e participar.

Figura 19 - A força é uma grandeza vetorial!



Fonte: Elaborado pelo autor.

A utilização das faixas foi importante para que os alunos visualizassem as características vetoriais da força, assim como o entendimento básico de como se calcula a *força resultante*.

Figura 20 - Aplicação de força em um único sentido



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nas Figuras 22 e 23, ao participar da dinâmica, ficou bem evidente para os alunos quando há a soma ou a subtração dos vetores, bem como a necessidade de aumentar a intensidade da força na situação representada na Figura 21, quando é acrescida uma massa ao conjunto. Note que o professor foi

acrescentando alunos paulatinamente para que a percepção fosse ampliada e o par ação-reação ficasse nítido.

Figura 21 - Aplicação de forças em sentido contrário.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 22 - Superfície de contato.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 23, fica evidente o quão será diferente a intensidade da força aplicada no conjunto. Os alunos perceberam empiricamente que ao sentar no chão, aumentando a área de contato, o movimento seria dificultado. Tentaram diminuir esta resistência ao movimento de várias maneiras (contanto que se mantivessem sentados), sem obter sucesso.

Já na Figura 24, o intuito era que a aluna (A7) percebesse como o seu equilíbrio seria afetado a partir da força aplicada pelo professor. O professor aplicou a mesma força em duas situações distintas, ora a aluna estava em pé (repouso), ora estava um pouco curvada (como se estivesse cavalgando). Foi perceptível a dificuldade em movimentá-la estando na segunda situação. Isto também ocorreu no “cabo de guerra”, no qual os alunos foram experimentando

diversas bases¹⁶ a fim de entender como se dá o equilíbrio e qual a sua relação com as forças externas.

Figura 23 - A base é importante?



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 24 - Compra-se atrito!



Fonte: Elaborado pelo autor.

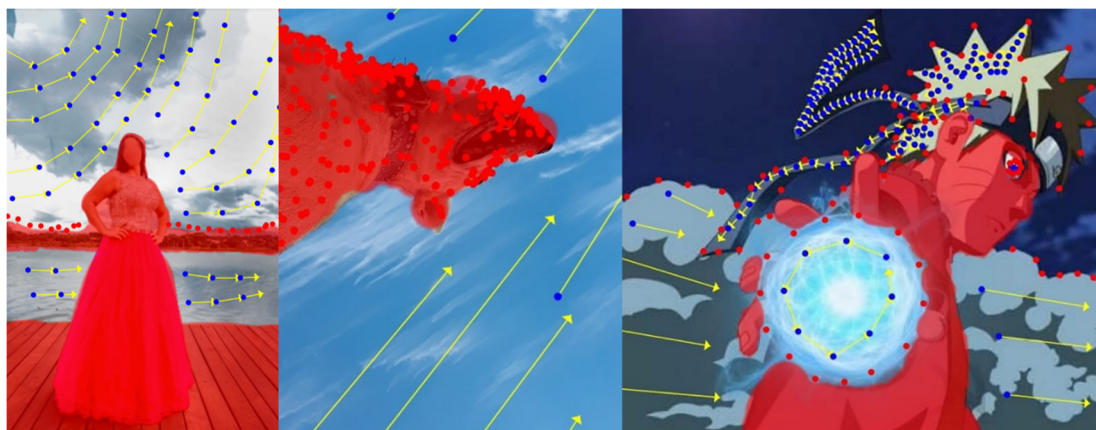
“Tira o tênis!” gritou uma aluna, percebendo claramente como a força de atrito funciona e como ela facilita (ou dificulta) o movimento. No decorrer da atividade, várias problematizações surgiram: “Essas forças são iguais? [Ao desenhar os vetores] as setas tem o mesmo tamanho? Estão na mesma direção? E o sentido? Há forças entre os participantes?”, e com isso a interação entre eles e a busca por soluções vieram à tona. É importante ressaltar que todas as atividades foram representadas por diagramas de forças no quadro durante o

¹⁶ Termo utilizado nas artes marciais para caracterizar a maneira como os atletas se portam frente ao adversário. Esta abordagem é importante porque os motiva e demonstra a relação dos conteúdos problematizados em sala com o seu cotidiano.

decorrer da atividade. O professor solicitou que a turma atribuisse os vetores responsáveis por cada movimento realizado durante a dinâmica. A partir de relatos orais e pelo diagrama feito no quadro, ficou evidente que eles entenderam a proposta.

Para concluir este encontro e efetuar uma parte da avaliação, o professor os instigou a criar um gif¹⁷ (ou vídeo) a partir de uma foto ou imagem estática. Abaixo seguem as atividades confeccionadas pelos alunos A8, A9 e A10:

Figura 25 - Imagens dinâmicas realizadas no aplicativo Zoetropic



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após diversas tentativas, ficou evidente a preocupação dos alunos em aperfeiçoarem o movimento dos seus gifs. Modificaram a direção, o sentido e as intensidades dos vetores. Perceberam claramente a natureza vetorial da força, associaram que o movimento *também pode* ocorrer a partir de uma força externa.

1.3. Experimentos abertos (Encontro IV)

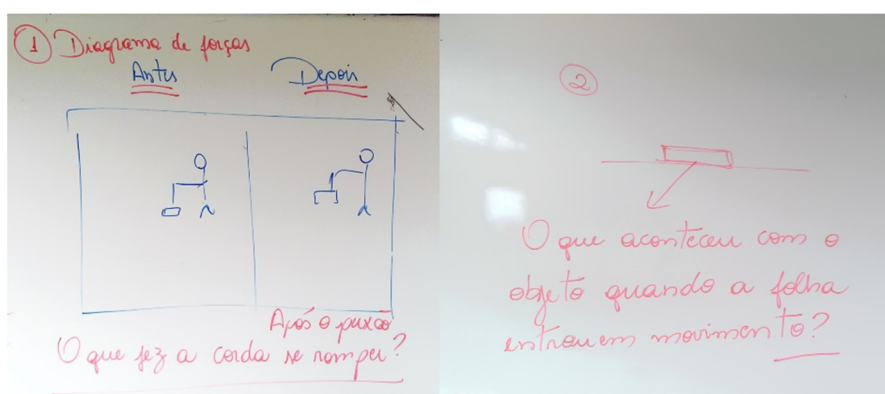
Foram realizados dois experimentos durante este encontro e, assim como nas atividades anteriores, os alunos deveriam desenhar o diagrama de forças referente a cada situação, aplicando os vetores de acordo com o movimento que eles observaram.

¹⁷ GIF = *Graphics Interchange Format*. É um formato de imagem muito utilizado em mídias móveis, visto o seu tamanho de armazenamento diminuto. Conjunto de imagens sobrepostas que se assemelha a um vídeo.

A fim de que nenhum movimento passasse despercebido, foi solicitado que eles gravassem todos os experimentos com o auxílio da ferramenta *slow motion*, comum em seus *smartphones*. Inicialmente, os alunos tiveram total liberdade para buscar meios de realizar os dois experimentos. Eles poderiam repetir os experimentos quantas vezes fossem necessárias para a coleta de dados; modificar as massas, o comprimento dos fios; o papel a ser utilizado e assim por diante. Entretanto, deveriam seguir as orientações básicas sugeridas na metodologia da pesquisa (seção anterior) a fim de não descaracterizar a SEI.

Esta atividade incita o uso dos conhecimentos prévios a fim de gerar hipóteses que contemplem o observado. “(...) ela oportuniza a passagem da ação manipulativa para a ação intelectual, na qual os conhecimentos prévios são tomados como hipóteses a serem testadas durante o manuseio do experimento”. (BELLUCCO e CARVALHO, 2013, p. 42).

Figura 26 - Experimentos simples e de fácil reprodução.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nesta etapa, testamos a resistência de um fio (linha de costura comum) à tensões longitudinais para verificar a presença da *vis inertia* em um corpo acelerado verticalmente. Como é sabido, qualquer corda quebra quando há uma tensão (tração) grande o suficiente aplicada às suas extremidades, ultrapassando um valor $T_{máx}$. Como é impossível quebrar a corda puxando apenas uma de suas extremidades (fato este corroborado com os alunos nas orientações iniciais), foi solicitado que os alunos investigassem o ocorrido ao puxar a linha para cima o mais rápido possível.

Figura 27 - O que determinou o rompimento da linha?

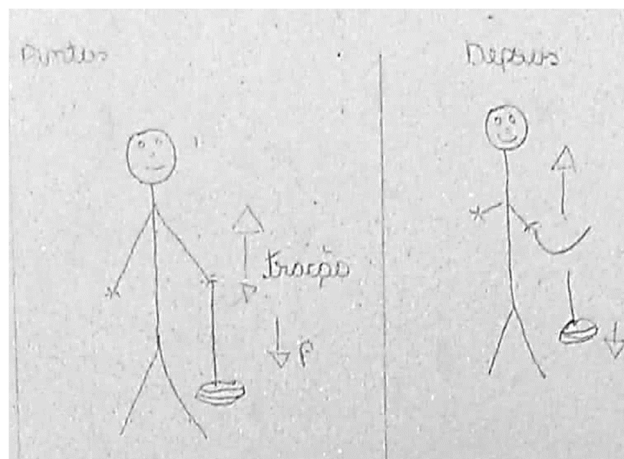


Fonte: Elaborado pelo autor.

Os alunos observaram que a linha quase sempre se rompe alguns centímetros acima do estojo, como visto na Figura 28. Com isso, o professor realizou os seguintes questionamentos:

- *O que fez a linha se romper?*
- *O que ocorreu com a tração T durante o puxão?*
- *Ela [a tração] é maior que a tração inicial T_0 (ou seja, o peso do cilindro)?*

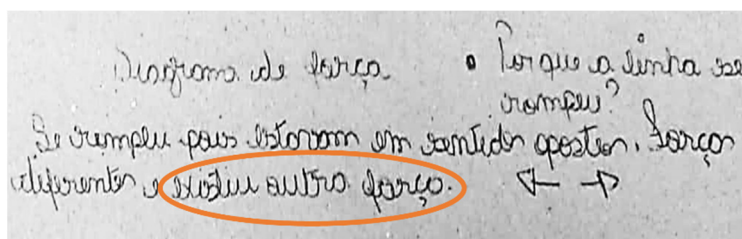
Figura 28 - Diagrama de forças feito pelo aluno A8.



Fonte: Elaborado pelo autor.

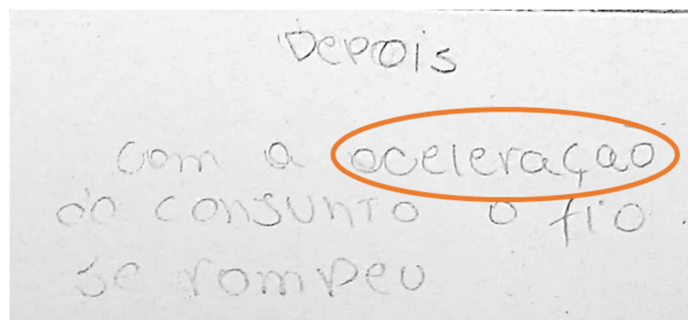
Os resultados foram os mais diversos possíveis. Boa parte dos alunos entenderam que há forças opostas antes e após o puxão, e estas deveriam ter tido um acréscimo de intensidade, senão o fio não teria se rompido, como sugere A2 (Figura 30). Já A12 corrobora com A7 quando relata que o rompimento da linha só ocorreu devido à aceleração produzida pelo puxão, além de instigar os colegas do seu grupo ao sugerir a possibilidade de uma outra força ter atuado, além das já identificadas antes do puxão (Figura 29).

Figura 29 - Resposta do aluno A12



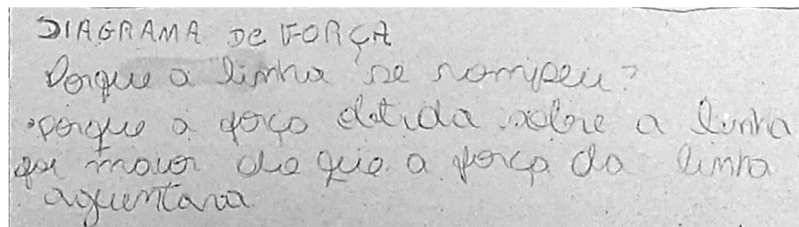
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 30 - Resposta do aluno A7



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 31 - Resposta do aluno A2

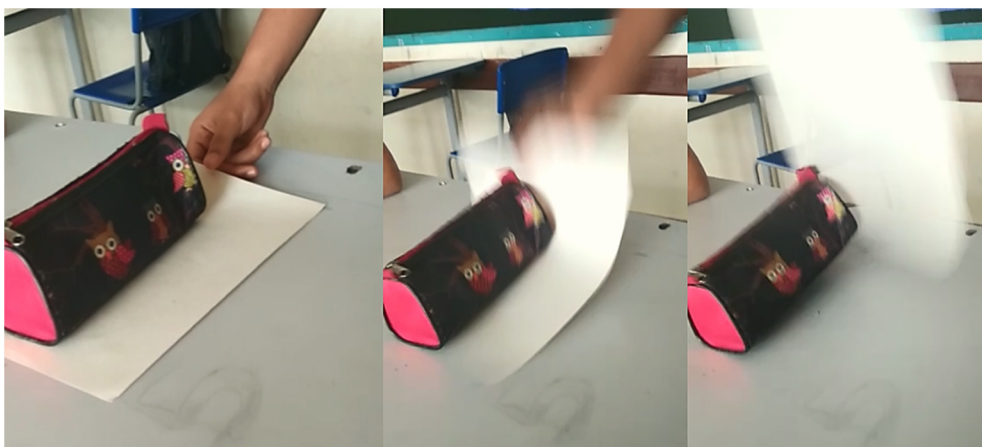


Fonte: Elaborado pelo autor.

Esta atividade experimental revela que a tração T no estojo supera $T_{\text{máx}}$ verificada na etapa anterior. A explicação mais simples, compatível com o que foi observado, é que uma força descendente (outra que não o peso) atua no cilindro assim que ele é acelerado para cima. Não seria essa força a *vis inertia*?

O segundo experimento proposto foi uma versão simplificada do popular “truque do garçom”, envolvendo apenas uma folha de papel comum sobre uma mesa e o mesmo estojo utilizado no experimento anterior (ou outra massa qualquer, a critério dos alunos), inicialmente em repouso sobre a folha. O professor pediu que os alunos puxassem o papel lentamente a fim de que eles percebessem que o atrito estático entre o estojo e a folha é forte o suficiente para movê-lo. Em seguida, pedimos que um dos alunos tocasse o estojo com um dedo, de modo a impedir que este seja deslocado enquanto o papel desliza por baixo dele. O aluno então ‘sente’ o estojo empurrando o dedo com uma força significativa igual ao atrito cinético que atua no estojo, o qual é quase tão forte quanto o atrito estático.

Figura 32 - Experimento II realizado incorretamente.



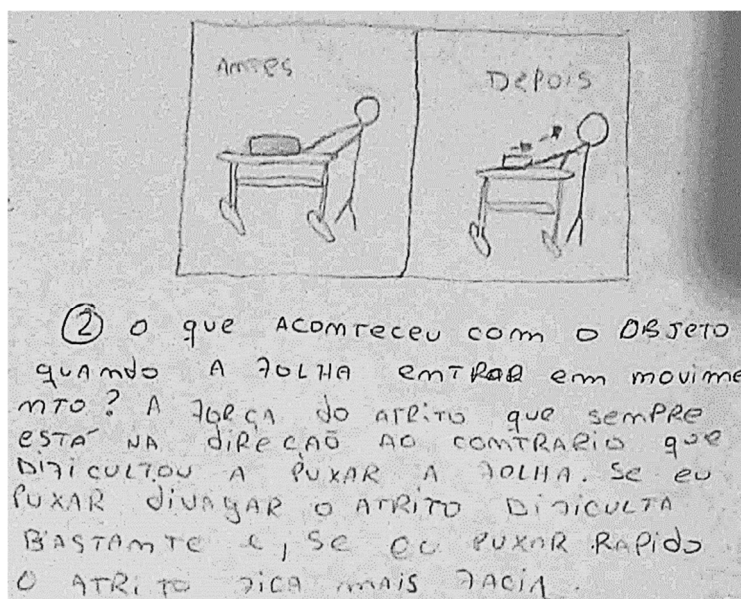
Fonte: Elaborado pelo autor.

Na última etapa, que surpreende a maioria dos alunos, com o estojo livre para se mover horizontalmente, o papel é puxado rápido o suficiente para fazê-lo deslizar abaixo do estojo, e este permanece praticamente imóvel.

A Figura 33 evidencia uma das primeiras tentativas dos alunos ao puxar o papel, claramente sem sucesso, visto que a força aplicada no papel deveria ser exclusivamente horizontal. Para alguns alunos (os que não participaram efetivamente das dinâmicas), as forças aplicadas na horizontal não têm

relação/influência com as forças verticais, contrastando com o nosso objetivo ao longo da SEI.

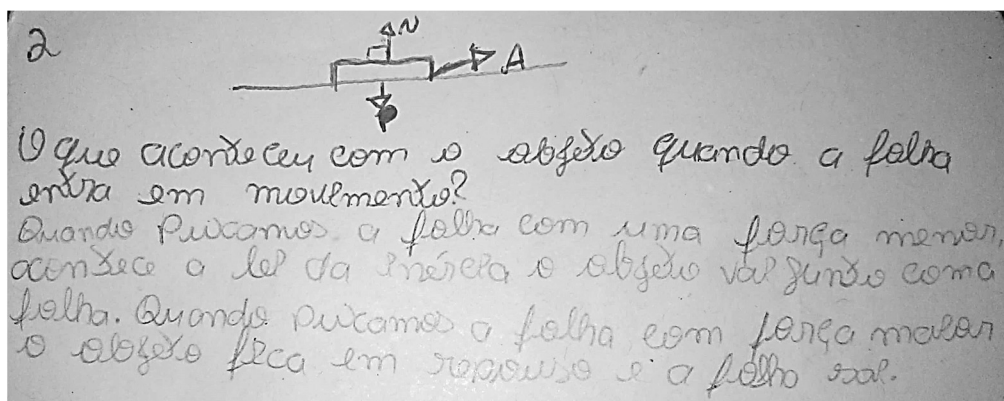
Figura 33 - Diagrama de força feito pelo aluno A2



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para facilitar a interpretação dos fenômenos e fomentar uma análise mais apurada, os alunos foram incentivados a desenhar todas as atividades propostas (Figuras 34 e 35, por exemplo), inserindo vetores, relacionando causa e consequência, mesmo sem domínio da linguagem científica. Isto é importante porque retoma os pressupostos da SEI: Classificação e organização de informações, ou seja, métodos típicos do fazer científico aplicado em sala de aula na busca por similaridades em um arranjo de informações, podendo criar-se hierarquias entre elas e possibilitar o levantamento de hipóteses e, conseqüentemente, justificativas para a situação-problema.

Figura 34 - Resposta do aluno A11



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nas Figuras 34 e 35 ficou evidente a tentativa dos alunos A5 e A8 em buscar hipóteses que pudessem resolver o problema inicial. Apesar de ser nítida a dificuldade na interpretação do fenômeno, os alunos conseguiram apontar as principais forças aplicadas e o que ocorre com o movimento do objeto devido à força de atrito.

Como a força de atrito cinético $f_c = \mu_c N$, onde $N = mg$ é a força normal da mesa sobre o estojo, praticamente não muda com a velocidade, então é esperado um deslocamento significativo do estojo na direção do puxão do papel, ao contrário do que é observado. Claramente, alguma outra força além do atrito atua no bloco **em uma direção oposta à força de atrito**. Quem desempenhou o papel do dedo nesta última etapa? Essa força (oposta à aceleração) não seria a *vis inertia*?

1.4. Questões abertas (Encontro V)

O último encontro foi marcado pelo preenchimento de um questionário contendo questões abertas a respeito de todas as atividades já realizadas ao longo dos encontros semanais, assim como uma avaliação da SEI. No decorrer da análise deste questionário, nota-se que a linguagem científica ainda é um obstáculo a ser superado em busca de uma AC de qualidade. Foram obtidos diversos conceitos para a grandeza força, principalmente relacionando-a com as interações cotidianas: seja andar de bicicleta, pentear os cabelos ou calcular a velocidade de escape de um foguete. Para alguns, ainda não é claro que o movimento pode ocorrer sem a aplicação de uma força externa (Figura 22). O aluno A19 salientou, em uma de suas respostas, a curiosidade pela “**força inversa**” observada no experimento 1. Sugeriu também que as aulas experimentais tivessem um espaço maior nas aulas de Física.

Figura 35 - Resposta do aluno A13.

1) A força é um movimento que fazemos em determinadas coisas e essa coisa tem uma direção, uma pressão também é de uma forma de força. Por exemplo: uma pessoa levanta uma mala, ela está exercendo uma força sobre o objeto. Ou até mesmo quando um carro para de funcionar, o tempo que um pneu de. Quando uma pessoa está movendo força se um carro movendo sem direção.

2) Sim. Consegui observar a força mais estendida (prolongada) e a força menor estendida (simples). Como a força que se usa para levantar algo. A força peso, é quando um objeto cai de cima de alguma coisa por conta do peso. Força normal é a força que usamos para andar em pé por ex. Força atrito: ex: Peixemalta para grudada pelo chão em um piso liso, e grudada desliza com facilidade mesmo tendo mais peso que peixemalta, ou seja falta de atrito.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 36 - Resposta do aluno A1.

6º Foram muitas coisas, me chamaram atenção as forças que atuam sobre a bola que se movimenta sobre a superfície e as leis de Newton que foi um grande cientista, foi motivado com muitas ideias. As aulas foram ótimas mas acho que ter feito mais experimentos.

Fonte: Elaborado pelo autor.

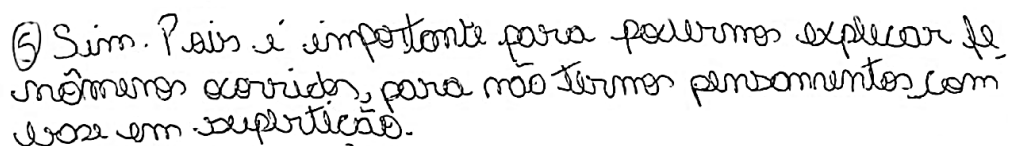
Figura 37 - Resposta do aluno A19.

6-0 que mais me chamou atenção foi o mundo não se movimentar junto com o planeta ele só está dentro para baixo, eu entendo que ele não vai sair junto com o planeta mais se a gente puxar o planeta e o mundo vai dentro do planeta.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A experimentação e as constantes indagações do professor-pesquisador foram preponderantes para incentivar a formulação de hipóteses e intervenções na busca por uma solução viável para a situação-problema (Figuras 23 e 24). Ao longo das atividades, notou-se maior preocupação dos alunos por uma busca pelo saber científico. Mesmo não contemplando todos os alunos, este sentimento gerou, paulatinamente, uma maior participação nas atividades posteriores, principalmente nas dinâmicas, devido ao seu caráter discrepante frente ao ensino tradicional e o conteúdo do livro-texto adotado. O discurso dialógico também surtiu efeito, incentivando uma maior interação aluno-aluno e professor-aluno.

Figura 38 - Resposta do aluno A20



Sim. Pais é importante para podermos explicar de
momentos ocorridos, para não termos pensamentos com
voz em suposição.

Fonte: Elaborado pelo autor.

É importante salientar o papel da HFC ao desmistificar a imagem do cientista como um gênio solitário, identificada pelo professor-pesquisador em diversos alunos. A maioria dos alunos conseguiu relacionar as contribuições científicas de outrora com a tecnologia atual, assim como desmistificar diversos conceitos propagados ao longo do tempo. É notório a compreensão dos alunos frente a relação entre ciência, tecnologia e sociedade, principalmente ao associar o seu conhecimento científico com um melhor entendimento das modernas ferramentas tecnológicas que ele próprio usa.

Conclusões

Foi proposto uma SEI que possibilita aos alunos uma investigação mais apurada sobre a mecânica newtoniana, além da possibilidade de elencar hipóteses sobre a causa do movimento dos corpos e a identificação de diversos tipos de forças observadas em nossas atividades cotidianas.

O uso da História da Ciência nas atividades da SEI se mostrou importante ao aumentar a bagagem cultural dos alunos e aguçar a sua curiosidade. Serve também para proporcionar uma alternativa interessante à abordagem tradicional. Destarte, esse tipo de estratégia de ensino pode ser preponderante para a formação de um aluno crítico e atuante em seu meio social, quando necessário.

Enobrecemos a atividade experimental como uma ferramenta propícia em busca de uma AC de qualidade capaz de proporcionar a interação entre os alunos, incentivar sua participação ativa na investigação do fenômeno, além de oportunizar a contra-prova, de vital importância no desenvolvimento de uma teoria científica. Agindo assim, os alunos certamente vão se sentir incentivados a pensar fora do paradigma (arbitrário cultural dominante). Valorizamos, assim, o pensar enquanto caminho para encontrar explicações acerca dos fenômenos, ou seja, a premissa básica do conhecimento científico.

As atividades propostas e desenvolvidas em sala de aula visaram contrapor a concepção original de Newton para o movimento e suas causas com a típica explicação encontrada nos livros didáticos atuais, que invariavelmente pode ser reduzida a uma visão cartesiana da inércia como uma **tendência natural**, a qual é mais difícil de ser digerida pelos alunos que detectaram a força de inércia nos experimentos realizados. Acreditamos que é mais natural (e simples) explicar os fenômenos inerciais levando em consideração a força de inércia, a qual sempre surge em corpos acelerados, como já é feito em alguns livros de dinâmica para engenheiros, mesmo que seus autores continuem tratando a força de inércia como uma força aparente (ou fictícia), seguindo a tradição de Clairault.

Por fim, acreditamos que a SEI é uma estratégia de ensino válida por priorizar a contextualização dos conteúdos e abordar características importantes da argumentação científica.

Referências Bibliográficas

- ARISTÓTELES. **Do Céu**. Traduzido por Edson Bini. Edipro, Brasil, 2014.
- ARISTÓTELES. **Physics**. Traduzido por Robin Waterfield. Oxford University Press, Oxford, 2008.
- BALOLA, R. **Princípios matemáticos da filosofia natural: a lei da inércia**. 2011. 119 f. Dissertação (Mestrado em Estudos Clássicos) – Departamento de estudos Clássicos, Faculdade de Letras, Universidade de Lisboa, Lisboa. Disponível em: <http://repositorio.ul.pt/handle/10451/5363>. Acesso em: 01 jul. 2019.
- BEER, F. P; JOHNSTON, E. R; MAZUREK, D. F; CORNWEL, P. J. **Mechanics for Engineers**, 10th ed. New York: McGraw-Hill, 2013.
- BELLUCCO, Alex; CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. Uma proposta de sequência de ensino investigativa sobre quantidade de movimento, sua conservação e as leis de Newton. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 31, n. 1, p. 30-59, nov. 2013. ISSN 2175-7941. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/21757941.2014v31n1p30>. Acesso em: 20 ago. 2019.
- BENEDETTI, G. B. **Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber**. Bevilacqua. Turim, 1585.
- BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2017. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_20dez_site.pdf. Acesso em: 10 out. 2019.
- BOURDIEU, P.; PASSERON, J. C. **A reprodução**: elementos para uma teoria do sistema de ensino. 2. ed. Petrópolis: Vozes, 2009.
- BYBEE, R.W; DEBOER, G.E. **Research on Goals for the Science Curriculum**, In: Gabel, D. L. (ed.), *Handbook of Research in Science Teaching and Learning*, New York, McMillan, 1994.
- CAPECCHI, M.C.M.; CARVALHO, A.M.P. Atividades de Laboratório como Instrumentos para a Abordagem de Aspectos da Cultura Científica em sala de aula. **Pro-Posições**, v.17 n.1, (49), pp.137-153. 2006.
- CARVALHO, A. M. P. Ensino e aprendizagem de Ciências: referenciais teóricos e dados empíricos das sequências de ensino investigativas (SEI). In: LONGHINI, M. D. (Org.). **O uno e o Diverso na Educação**. Uberlândia: EDUFU, 2011.
- CARVALHO, A. M. P. O ensino de ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. In: CARVALHO, A. M. P. (Org.) **Ensino de ciências por investigação - Condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

CHAIB, João P.M.C.; AGUIAR, M.. Força de inércia: aprofundando o debate. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 33, n. 1, p. 142-161, abr. 2016. ISSN 2175-7941. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/21757941.2016v33n1p14>. Acesso em: 13 jun. 2019.

CHARLETON, W. **Physiologia Epicuro-GassendoCharltoniana** (or A fabrick of science natural, upon the hypothesis of atoms founded by Epicurus, repaired by Petrus Gassendus; augmented by Walter Charleton) London, Tho. Newcomb, 1654.

CLAIRAUT, A. **Sur quelques principes qui donnent la solution d'un grand nombre de problèmes de dynamique**. Paris: Mém. Acad. Sci. 1745.

COHEN, I. B. **Introduction to Newton's Principia**. Harvard University Press. Cambridge, 1978.

D'ALEMBERT, J. **Traité de Dynamique**. Gauthier-Villars et Cie. Editions, 1921.

DESCARTES, R. **Principles of philosophy**. Traduzido por V. R. Miller and R. P. Miller, Kluwer Acad. Publisher, Dordrecht. 1982.

DRIVER, R., SCOTT, P., ASOKO, H., LEACH, J., e MORTIMER, E. Construindo conhecimento científico na sala de aula. **Química Nova na Escola**, nº 9: p. 31-40, maio, 1999.

EDWARDS, D e MERCER, N. **Common knowledge: the development of understanding in the classroom**. Londres: Methuen, 1987.

EULER, **Mechanica sive motus scientia analytice exposita**. Republished in: Leonhardi Euleri Opera Omnia (Societatis Scientiarum Naturalium Helveticae, Geneva, serie secunda, vol. I, edited by P. Stackel, 1912.

FERREIRA, M.; FILHO, O. L. S. **Proposta de plano de aula para o ensino de física**. *Physicae Organum*, v. 5, n. 1, p. 39-44, Brasília, 2019.

FIALHO, H. P. **Do Movimento às forças de inércia: uma abordagem da mecânica para o ensino**. 2018. 174f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras. Mestrado Profissional em Ensino de Física. 2018. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/handle/1/32479>. Acesso em: 18 out. 2019.

FRANKLIN, A. Principle of inertia in the middle ages. **American Journal of Physics**, v. 44.

FLÔR, Cristhiane Carneiro Cunha; TRÓPIA, Guilherme. Um olhar para o discurso da Base Nacional Comum Curricular em funcionamento na área de ciências da natureza. **Horizontes**, v. 36, n. 1, p. 144-157, abr. 2018. Disponível em: <https://revistahorizontes.usf.edu.br/horizontes/article/view/609>. Acesso em: 18 out. 2019.

FOUREZ, G. **Alfabetización científica y tecnológica: acerca de las finalidades de la enseñanza de las ciencias**. Buenos Aires: Colihue, 2005.

FREIRE, P. **Educação como prática da liberdade**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1967.

GABBEY, A. **Force and Inertia in the Seventeenth Century: Descartes and Newton**. In: S. Graukroger [ed.], *Descartes: Philosophy Mathematics & Physics*. Totowa, New Jersey, 1980.

GALILEI, G. **Sidereus Nuncius**. Traduzido por H. Leitão, Fundação Calouste Gulbenkian, 2010.

GALILEI, G. **Istoria e Dimostrazioni intorno alle Macchie Solari**. Traduzido por Christoph Scheiner, University of Chicago Press, Chicago, 2010.

GALILEI, G. **Dialogue Concerning the Two Chief World Systems**. Traduzido por S. Drake. Berkeley, CA, The University of California Press, 1953.

GALILEI, G. **Dialogues concerning two new sciences**. Traduzido por H. Crew and A. Salvio. New York, The MacMillan Co., 1914.

GALILI, I; TSEITLIN, M. Newton's first law: text, translations, interpretations and physics education, **Science & Education**, 2003.

GIL-PÉREZ, D.; CARVALHO, A. M. P.; **Formação de professores de ciências: tendências e inovações**. Questões de Nossa Época. 2. ed. São Paulo: Cortez, 1995.

GURGEL, Célia Margutti do Amaral. **A experimentação em sala de aula e a construção do conhecimento pelo aluno**. In: *O livro da experimentoteca: educação para as ciências da natureza através de práticas experimentais*. Piracicaba (SP): UNIMEP/USP/VITAE, 2000.

HALL, A. R. Galileo and the science of motion. **British J. Hist.**, 1965. vol. 2, n.º 3 (Jun.), 1965, pp. 185-199.

HALLIDAY, D; WALKER, J; RESNICK, R. **Fundamentals of Physics**, 10th ed. Wiley, Hoboken, NJ, 2014.

HECHT, E. Kepler and the origins of pre-Newtonian mass. **American Journal of Physics**. 2017.

IRO, H. **A Modern Approach to Classical Mechanics**. World Scientific, World Scientific Publishing Company, 2002.

JAMMER, M. **Concepts of Force: A Study in the Foundations of Dynamics**. Dover, New York, 1999.

KANT, I. **Metaphysical Foundations of Natural Science**. Traduzido por Michael Friedman, Cambridge University Press, Cambridge, 2004.

KLEPPNER, D; KOLENKOW, R. **An Introduction to Mechanics**. 2nd edition Cambridge: Cambridge University Press, 2014.

KEPLER, J. **Kepler's somnium: the dream, or posthumous work on lunar astronomy**. Traduzido por E. Rosen, University of Wisconsin Press, Madison, 1967.

KOYRE, A. **Newtonian Studies**. University of Chicago Press, Chicago, 1968.

LAGRANGE, J.L. **Mécanique Analytique**. Ed. J. Bertrand. Paris. 1788. Disponível em: <https://archive.org/details/mcaniqueanalyt02lagr/page/12>. Acesso em: 20 out. 2019.

LIMA JÚNIOR. P.; OSTERMANN. F.; REZENDE. F. A Física como arbitrário cultural: Uma reflexão a partir da sociologia do conhecimento de Pierre Bourdieu. In: **Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, 9., Águas de Lindóia, 2013. Atas... Águas de Lindóia, 2013.

LUCRETIUS. **On the Nature of Things**. London: Penguin, 1988.

MARCONDES, M. E. R. **As Ciências da Natureza nas 1ª e 2ª versões da Base Nacional Comum Curricular**. Estud. av., São Paulo , v. 32, n. 94, p. 269-284, 2018. Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010340142018000300269&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 15 ago. 2019.

MARTINS, L. F.; MARTINS, Isabel. Introduzindo a linguagem científica nas séries iniciais do Ensino Fundamental: o potencial das narrativas. In: Anais do VI ENPEC, 2007, Florianópolis. **Anais do VI Enpec**. Belo Horizonte: ENPEC, 2007.

MOREIRA, Marco Antônio. **Teorias de Aprendizagem**. São Paulo: EPU, 1999

NEWTON, I. **The Principia: mathematical principles of natural philosophy**, 3rd ed. Traduzido por I. B. Cohen and A. Whitman. UC Press, San Francisco, CA, 1999.

NEWTON, I. De Gravitatione et aequipondio fluidorum. Traduzido por A. R. Hall and M. B. Hall, **Unpublished Scientific Papers of Isaac Newton** (Cambridge University Press, Cambridge, 1962.

OLIVEIRA, A. R. E. **D'Alembert: Between Newtonian Science and the Cartesian Inheritance**, Advances in Historical Studies, 2017.

PAY, P. A. **Gassendi's statement of the principle of inertia**. Isis 57(1), 24-34, 1966.

PENA, F. L. A. Sobre a presença do Projeto Harvard no sistema educacional brasileiro. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n. 1, p. 1-4, 2012.

PEREIRA, D. V. **O Ensino de inércia com desenhos animados, utilizando futurama como ferramenta lúdica**. 2015. 105f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília. Mestrado Profissional em Ensino de Física. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/20513>. Acesso em: 10 jul. 2019

PIETROCOLA, M. **Parecer sobre a Ciências Naturais da Base Nacional Comum Curricular (BNCC)**. Disponível em http://historiadabncc.mec.gov.br/documentos/relatoriosanaliticos/pareceres/Mauricio_Pietrocola_CIENCIAS.pdf. 2016. Acesso em: 10 jul. 2019.

RODRIGUES, B.A.; BORGES, A.T. **O ensino de ciências por investigação: uma reconstrução histórica**. Anais do XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. Curitiba, 2008.

SANTOS, F. M. T. **Parecer sobre o documento preliminar da Base Nacional Comum Curricular: documentos da área de ciências da natureza**. Disponível em http://historiadabncc.mec.gov.br/documentos/relatorios-analiticos/pareceres/Flavia_Maria_Teixeira_Santos.pdf. 2016. Acesso em: 10 jul. 2019.

SANTOS, I. N. D. dos. **Uma Sequência de Ensino para Inserção da História e Filosofia da Ciência no Ensino de Física: Uma Experiência de Ensino das Leis de Newton**. 2017. 73f. Dissertação (Mestrado) Universidade Regional do Cariri. Mestrado Profissional em Ensino de Física. 2017. Disponível em: http://www1.fisica.org.br/mnpef/sites/default/files/dissertacao_italo_0.pdf. Acesso em: 10 jul. 2019.

SANTOS, R. A. **O desenvolvimento de Sequências de Ensino Investigativas como forma de promover a alfabetização científica dos alunos dos anos iniciais do ensino fundamental**. 2016. 159f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Santa Cruz. Mestrado Profissional em Educação. 2016.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. **Alfabetização científica: uma revisão bibliográfica**. Investigações em ensino de Ciências, v. 16, n. 1, 59-77, 2011. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/246/172>. Acesso em 30 set. 2019.

SERWAY, R. A.; JEWETT, J.W. **Physics for Scientists and Engineers**, 9th ed. Boston, MA, Brooks/Cole, 2014.

SILVA, F. J. M. **Proposta de uma metodologia para o ensino da inércia no Ensino Médio utilizando os conceitos de equilíbrio dos corpos**. 2015. 130f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília. Mestrado Profissional em Ensino de Física. 2015. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/22592>. Acesso em: 30 set. 2019.

SORABJI, R. **Philoponus and the rejection of Aristotelian Science**. London: Gerald Duckworth, 1987.

SOUSA, E. F. **Aprendizagem das Leis de Newton por meio de simulação na linguagem computacional Python**. 2016. 99f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Roraima. Mestrado Profissional em Ensino de Física. 2016. Disponível em: http://www1.fisica.org.br/mnpef/sites/default/files/dissertacao_eliane.pdf. Acesso em: 30 set. 2019.

TRUESDALL, C. **Essays in the history of mechanics**, New York: Springer, 1968.

VAN BERKEL, K. **Issac Beeckman on matter and motion**, Johns Hopkins U. P., Baltimore, 2013.

WHITESIDE, D. T. **The Mathematical Papers of Issac Newton**. Cambridge University Press, Cambridge, 1974.

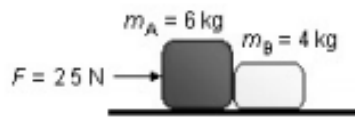
WINTER, H. J. J. The Arabic Achievement in Physics. **Toward Modern Science**, vol. 1, edited by R. M. Palter, The Noon-day Press, New York, 1961.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R.A. **Physics**, 14th ed. San Francisco, Pearson CA, 2016.

Apêndice

A atividade proposta por Sousa (2016) pode ser resolvida de forma mais inteligível usando-se a força de inércia:

2. Dois corpos de massas $m_A = 6\text{kg}$ e $m_B = 4\text{kg}$ estão sobre uma superfície horizontal perfeitamente lisa. Uma força horizontal de intensidade constante igual a 25 N é aplicada de forma a empurrar os dois corpos. Calcule a aceleração adquirida pelo conjunto e a intensidade da força de contato entre os corpos.



Fonte: (Sousa, 2016, p.57)

Como os dois blocos se movem solidariamente, suas acelerações serão iguais, logo:

$$\begin{aligned}\sum_k \vec{F}_k^{ext} + \vec{F}_i &= \vec{0} \\ 25\hat{i} + (-m_A \vec{a}) + (-m_B \vec{a}) &= \vec{0} \\ 25\hat{i} &= (m_A + m_B)\vec{a} \\ a &= \frac{25}{6 + 4} = \mathbf{2,5\ m/s^2} \\ F_{AB} &= 4 \times 2,5 = \mathbf{10\text{ N}}\end{aligned}$$