



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
LICENCIATURA EM FÍSICA

DANILO RICARDO ROSA DE SÁ

**ANÁLISE EPISTEMOLÓGICA DO CONCEITO DE INÉRCIA NO ENSINO DE
FÍSICA EM DESCARTES E NEWTON**

MARINGÁ
2017

DANILO RICARDO ROSA DE SÁ

**ANÁLISE EPISTEMOLÓGICA DO CONCEITO DE INÉRCIA NO ENSINO DE
FÍSICA EM DESCARTES E NEWTON**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Departamento de Física como requisito parcial
para obtenção do grau de Licenciado em Física
pela Universidade Estadual de Maringá.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Gardelli

MARINGÁ
2017

DANILO RICARDO ROSA DE SÁ

**ANÁLISE EPISTEMOLÓGICA DO CONCEITO DE INÉRCIA NO ENSINO DE
FÍSICA EM DESCARTES E NEWTON**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Departamento de Física como requisito
parcial para obtenção do grau de Licenciado
em Física pela Universidade Estadual de
Maringá.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. DANIEL GARDELLI - Orientador
Universidade Estadual de Maringá - UEM

Prof. Dr. BRENO FERRAZ DE OLIVEIRA
Universidade Estadual de Maringá - UEM

Prof. Dr. MARCOS CESAR DANHONI NEVES
Universidade Estadual de Maringá - UEM

Maringá - PR

2017

Dedico este trabalho a minha mãe.

*“Cantamos as guerras. Os reis, cegos e
sanguinolentos,
Dirigem-se para seus tronos com uma música
épica.
Não tens canção, então, para aquela guerra
mais nobre?
Daqueles que lutam pela luz, mas não podem
sonhar,
Mesmo com aquela vitória que ajudaram a
conseguir,
Descobridores silenciosos, pioneiros solitários,
Prisioneiros exilados, mártires de verdade,
Cujos facho conduzem de era em era...”*

*(NOYES, Alfred, Os condutores do facho,
Prólogo: O Observatório. In: RONAN, Colin
A. História Ilustrada da Ciência, Volume I.
Das origens à Grécia, 2001. pág.9.)*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a minha mãe Silvia por todo o suporte e carinho.

Agradeço a Karolline, por todo amor, carinho e paciência ao me ensinar cálculo. Aos mimos constantes, muito obrigado.

Agradeço ao meu amigo Hugo, pelas conversas e discussões sobre ciência e política e por me ajudar muitas vezes durante a graduação.

À pequena felina de pelos pretos Naat, pela companhia incessante durante as noites de estudo e dedicação. Também agradeço à felina Nina por sempre estar presente.

Ao Professor Jurandir, por sempre ajudar e colaborar de forma humana dentro do curso.

Ao Professor Breno Ferraz, por me ensinar a usar o programa de diagramação de textos.

Ao Professor Daniel Gardelli, pela orientação, suporte, paciência de suportar meus questionamentos e pelas aulas inspiradoras não só de ciência e educação, como também de vida.

Agradeço também ao Professor Marcos Danhoni por ser o primeiro professor a cultivar em mim o desejo pela história da ciência e da política.

Aos membros da banca, pela disponibilidade em ler meu trabalho.

A todos vocês, por terem ajudado nessa primeira etapa como parte de um ser em sua totalidade, minha sincera gratidão.

Obrigado!

RESUMO

O trabalho tem como ponto de partida, avaliar alguns fatores sobre uma discussão relativamente recente e bastante persistente no Ensino de Física envolvendo História da Ciência (Matthews; Brush). São apresentados alguns equívocos, por meio de uma investigação realizada com os professores, que frequentemente ocorrem durante a construção do conhecimento do aluno sobre a Primeira Lei de Newton, conhecida como Princípio da Inércia. Esses equívocos são devidamente justificados pela ausência da História da Ciência no curso de graduação em Física, seja por motivos de carência do conhecimento histórico, ou pela pouca importância dada a esse tipo de prática. Com base na crítica de Feynman (1985) feita durante uma palestra no Brasil, este trabalho também tem como objetivo realizar um estudo de como os livros textos mais utilizados durante a graduação abordam o conceito de inércia. Usando como apoio para as investigações citadas anteriormente, o trabalho constará de uma análise sobre as leis da natureza de Descartes e a primeira lei do movimento de Newton.

Palavras-chave: Inércia; Estado de Repouso e de Movimento; Newton; Descartes.

ABSTRACT

The work has as its starting point, to evaluate some factors about a relatively recent and very persistent discussion in Physics Teaching involving the History of Science (Matthews; Brush). Some misunderstandings are made through an investigation carried out with professors, which often occur during the student's construction of Newton's First Law, known as the Principle of Inertia. These misconceptions are duly justified by the absence of the History of Science in the undergraduate course in Physics, either for reasons of lack of historical knowledge, or for the little importance given to this type of practice. Based on Feynman's (1985) criticism during a lecture in Brazil, this paper also aims to study how the textbooks most used during undergraduate courses deal with the concept of inertia. Using as support for the aforementioned investigations, the work will consist of an analysis of the laws of nature of Descartes and Newton's first law of motion.

Keywords: Inertia; State of Rest and of Motion;. Newton; Descartes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Um exemplo de ConcepTest	19
Figura 2	Conteúdo do conceito de força média normalizada $\langle g \rangle$ para física introdutória baseada em cálculo, Harvard University, outono 1990 - outono 1997 e para a física introdutória baseada em álgebra, Harvard University, outono 1998-outono 2000. As barras brancas indicam cursos tradicionalmente ensinados e as barras pretas indicam cursos ensinados com PI. As linhas pontilhadas correspondem a $\langle g \rangle = 0,23$, o ganho típico de um curso tradicionalmente ministrado, e $\langle g \rangle = 0,48$, o ganho típico de um curso interativo.	19
Figura 3	Imagem representativa das regiões supralunar e sublunar de Aristóteles.	33
Figura 4	Ilustração do comportamento do agente motor da flecha dentro da concepção de <i>antiperistasis</i> .	34
Figura 5	Representação de uma pedra acoplada em uma funda.	36

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	O CONCEITO DE INÉRCIA NO ENSINO DE GRADUAÇÃO	11
2.1	LIVROS DIDÁTICOS	11
2.2	PROFESSORES	16
3	A HISTÓRIA DA CIÊNCIA	20
3.1	A NÃO OBVIÉDADE DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA	20
3.2	A IMPORTÂNCIA DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA NO ENSINO DE FÍSICA	22
4	DESCARTES	29
4.1	ASPECTOS BIOGRÁFICOS DE DESCARTES	29
4.2	O PRINCÍPIO DE CONSERVAÇÃO DO MOVIMENTO DE DESCARTES E SUA FUNDAMENTAÇÃO TEOLÓGICA	31
5	NEWTON	41
5.1	ASPECTOS BIOGRÁFICOS DE NEWTON	41
5.2	LEI DA INÉRCIA DE NEWTON E SEU PRINCÍPIO ATIVO DA MATÉRIA	44
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
	REFERÊNCIAS	49
	Anexo A PERGUNTAS PARA ENTREVISTA	52
	Anexo B CONCEPTEST	54
	Anexo C GRÁFICO/LEGENDA - PEER INSTRUCTION	55

1 INTRODUÇÃO

É muito comum encontrarmos práticas tradicionais, e a aplicação do método científico como critério único de produção e elaboração da Ciência, tanto no Ensino Médio quanto no Ensino Superior, aplicadas principalmente por professores com mais experiência de atuação. Resumindo de maneira bem simplória, a aula tradicional consiste na definição e enunciação do fenômeno ou do conceito em que a Lei Física faz referência. Após acontecer esse tipo de abordagem, o foco é direcionado para a resolução de inúmeros exercícios matemáticos envolvendo as tais Leis.

Um problema bastante natural, ocorre quando se apresentam as três Leis de Newton. São enunciadas as três leis e em seguida acontece a resolução de exercícios. Apesar de alguns professores tentarem justificar a importância da primeira Lei efetuando indagações que tem a finalidade de definir o referencial inercial, não realizam nenhuma abordagem histórica que mostre a concepção metafísica que acaba ficando oculta por traz dessa prática tradicional. Isso pode levar a um equívoco conceitual sobre o assunto e acarreta uma formação rasa e desestimulante para o aluno. Este trabalho defende que apresentar a História da Ciência de forma bem estruturada e em determinados temas como a inércia, possa colaborar com um maior interesse por parte dos alunos e uma maior aprendizagem.

Se tratando do Princípio da Inércia, podemos assumir que seu conceito é de elevada importância dentro de um curso de formação em Física. Visto que há uma porcentagem abundante de disciplinas que trabalham em referenciais inerciais.

Analisando e comparando os escritos de Newton (NEWTON, 2012) e Descartes (DESCARTES, 2007) sobre o movimento, podemos notar uma grande semelhança entre suas leis que descrevem o comportamento do movimento dos corpos. Apesar de não existir, para Descartes, o termo Inércia como conhecemos hoje, ele trata em suas leis o aspecto inercial. Se as duas leis, de Newton e de Descartes, são aparentemente a mesma, como podemos diferenciá-las? Por que a lei vigente não é a de Descartes ao invés da de Newton, já que descrevem o mesmo comportamento? E como eles chegaram nessa concepção inercial?

O que acaba acontecendo na prática é uma equívoca apresentação das leis da natureza enunciada através de Descartes no lugar da Lei de Newton, e mais que isso, sem a fundamentação teológica que está presente na teoria do filósofo francês, e sem contar, o princípio ativo e intrínseco da matéria contida na formulação de Newton.

A justificativa desses equívocos durante a prática do ensinar, está muito relacionada com a pouca valorização que ainda se tem com a inclusão da História da Ciência no Ensino. Abordaremos um percurso de discussão, em que houve muitos pensadores que criticavam essa abordagem contextualizada e alternativa apresentando várias causalidades negativas à

implementação de um contexto histórico como “[...] a maioria dos professores de ciências não está disposta a fazer mais do que um uso superficial da história na formação de cientistas” (BRUSH, 1995, p. 1165). Até mesmo Kuhn critica todo um conjunto de metodologias envolvendo história, literaturas originais e fundamentações.

2 O CONCEITO DE INÉRCIA NO ENSINO DE GRADUAÇÃO

2.1 LIVROS DIDÁTICOS

Os livro-textos, que são utilizados no ensino médio e na graduação, são temas de discussão nos últimos anos fazendo relação com a eficiência e qualidade do material. Para o Ensino Médio, existe um programa chamado PNL D que apresenta uma lista dos livros didáticos que foram classificados como aptos para a utilização e que em seguida são avaliados, e somente uma coleção é escolhida pelos professores de cada escola para fazer parte do corpo docente e discente. Apesar de haver uma melhora significativa com a colaboração dessas avaliações, os livros-didáticos do Ensino Médio ainda apresentam muitas falhas.

As análises são realizadas em vários aspectos, desde coloração das páginas, layout, até conteúdo, erros de impressão e suporte ao professor. Ainda podemos encontrar muitos erros na apresentação de informação. Por exemplo, no livro do Bonjorno de 2017, ao que se refere à uma breve explicação do campo magnético aparece: “Ampère verificou que a intensidade do campo criado pela corrente elétrica variava com a intensidade da corrente i no condutor retilíneo e com a distância r entre o ponto externo considerado e o condutor.”. Ampère tinha uma concepção teórica diferente da ideia da utilização de campos. Resumindo, ainda podemos encontrar muitos erros históricos, erros de conceituação, entre outros.

Porém, o foco deste trabalho está nos livros-texto do Ensino Superior. Também será apresentado uma análise de como o conceito de inércia é abordado nos livros: Halliday, Tipler, Sears & Zemansky e Moysés. Entretanto, para melhor entendimento da análise dos livros, vejo como importante apresentar as críticas feitas à educação brasileira na perspectiva de Richard P. Feynman.

Feynman é um nova-iorquino estadunidense que estudou no M.I.T. e Princeton na área de Física Dura, lecionou no Instituto de Tecnologia da Califórnia e em Cornell, também ganhou o Nobel em 1965, e na década de cinquenta, por quase um ano, ministrou aulas no Rio de Janeiro (FEYNMAN, 1985, p. 129-141). Feynman critica o Ensino de Ciências de maneira muito dura em uma palestra ao final de sua experiência no Brasil. Ele conta que durante as aulas, ao questionar sobre os assuntos físicos, os alunos parecem responder muito bem às definições, mas que o entendimento das mesmas não ocorria:

Depois de muita investigação, finalmente descobri que os estudantes tinham decorado tudo, mas não sabiam o que queria dizer. Quando ouviram “luz que é refletida por um meio com um índice de refração”, não sabiam que isso significava um material como a água. Eles não sabiam que “a direção da luz” é a direção na qual você vê alguma coisa quando está olhando, e assim por diante. Tudo estava totalmente decorado, mas nada havia sido traduzido em palavras que fizessem sentido. Assim, se eu perguntasse “o que é o ângulo de Brewster?”, eu estava entrando no computador com a senha correta. Mas se

eu digo “Observe a água”, nada acontece - eles não têm nada que responda ao comando “Observe a água”!¹ (FEYNMAN, 2006, p. 206).

As práticas tradicionais e as “avaliações” que são aplicadas mostram essa incoerência. Não é difícil encontrar, entre os colegas de graduação, este tipo de comportamento em que muitos que são bem avaliados nos exames não sabem realmente o que fizeram, ou acabam esquecendo o conteúdo em poucos dias, pois estão incluídos em um sistema de aprendizagem mecânico em que a resolução de listas que contêm uma grande quantidade de exercícios é a parte central para a admissão nos exames. Isso significa que a aprendizagem não foi realizada. Uma aprendizagem de fato tem um caráter duradouro e uma certa habilidade de manipulação, ou seja, é possível correlacionar-se com outros assuntos. Pela contribuição de Feynman, podemos ver que essa situação de decorar os conteúdos é um problema que vem antes da década de cinquenta e acontece até hoje.

De acordo com psicólogo estadunidense Burrhus Frederic Skinner (1904-1990), em sua teoria do behaviorismo radical, o indivíduo dá uma certa resposta a um estímulo provocado pelo meio externo e que acaba moldando o comportamento do sujeito. Pode ser dito, então, que o comportamento dos estudantes é decorrente de um meio externo que o molda. Logo, o que pode, aparentemente, servir como estímulo externo a este tipo de comportamento? Além do modelo de exame aplicado (o foco do trabalho não é o sistema avaliativo, por isso deixaremos esse tema de lado), uma das possíveis respostas que devem ser consideradas é o livro-texto. Uma outra pode ser a metodologia aplicada durante as aulas. Vejamos um exemplo contado por Feynman:

Depois assisti a uma aula na faculdade de engenharia. A aula foi assim: “Dois corpos... são considerados equivalentes... se torques iguais... produzirem... acelerações iguais. Dois corpos são considerados equivalentes se torques iguais produzirem acelerações iguais.” Os estudantes estavam todos sentados lá fazendo anotações e, quando o professor repetia a frase, checavam para ter certeza de que haviam anotado certo. Então eles anotavam a próxima frase, e a outra, e a outra. Eu era o único que sabia que o professor estava falando sobre objetos com o mesmo momento de inércia, e era difícil descobrir isso. Eu não conseguia entender como eles aprenderiam qualquer coisa daquela maneira. Falava-se sobre momentos de inércia, mas não se discutia quão difícil é empurrar uma porta e abri-la quando você aplica forças intensas longe do eixo, em comparação à situação em que você coloca perto da dobradiça - nada!² (FEYNMAN, 2006, p. 207).

¹No original: After a lot of investigation, I finally figured out that the students had memorized everything, but they didn't know what anything meant. When they heard “light that is reflected from a medium with an index”, they didn't know that it meant a material such as water. They didn't know that the “direction of the light” is the direction in which you see something when you're looking at it, and so on. Everything was entirely memorized, yet nothing had been translated into meaningful words. So if I asked, “What is Brewster's Angle?” I'm going into the computer with the right keywords. But if I say, “Look at the water”, nothing happens - they don't have anything under “Look at the water”! (FEYNMAN, 1985, p. 137-138).

²No original: Later I attended a lecture at the engineering school. The lecture went like this, translated into

A educação brasileira tem muitos pontos a serem corrigidos. E culturalmente, podemos observar vários aspectos que atrapalham o aprendizado que também é citado por Feynman, como o modo pouco ativo e a falta de discussão e de perguntas por parte dos alunos. Porém, a intenção é apresentar um enfoque na abordagem mecânica que os livros-texto trazem e que são, muitas vezes, reproduzidos em sala de aula. Em uma palestra no final do ano letivo, ainda no Brasil, Feynman realizou sua crítica mais dura:

O principal propósito da minha apresentação é provar aos senhores que não se está ensinando ciência alguma no Brasil!

[...] Então ergui o livro de física elementar que eles estavam usando. “Não são mencionados resultados experimentais em lugar algum neste livro, exceto em um lugar onde há uma bola, descendo um plano inclinado, onde ele diz a distância que a bola percorreu em um segundo, dois segundos, três segundos, e assim por diante. Os números têm erros - ou seja, se você olhar, você pensa que está vendo resultados experimentais, porque os números estão um pouco acima ou um pouco abaixo dos valores teóricos. O livro fala até sobre ter de corrigir os erros experimentais - muito bem. No entanto, uma bola descendo em um plano inclinado, se realmente for feito isso, tem uma inércia para entrar em rotação e, se você fizer a experiência, produzirá cinco sétimos da resposta correta, por causa da energia extra necessária para a rotação da bola. Dessa forma, o único exemplo de ‘resultados’ experimentais é obtido de uma experiência falsa. Ninguém fez rolar tal bola, ou jamais teriam obtido tais resultados!”

“Descobri mais uma coisa”, continuei. “Ao folhear o livro aleatoriamente e ler uma sentença de uma página, posso mostrar qual é o problema, isto é, que não há ciência, mas sim memorização, em todos os casos.”

[...] “coloquei meu dedo em uma página e comecei a ler: Triboluminescência. Triboluminescência é a luz emitida quando os cristais são friccionados...”

Digo: “E aí, você fez ciência? Não! Apenas foi dito o que uma palavra significa em termos de outras palavras. Não foi dito nada sobre a natureza - quais os cristais que produzem luz quando você os fricciona, por que eles produzem luz. Alguém viu algum estudante ir para casa e verificar isto experimentalmente? Ele não pode.”

“Mas, se em vez disso, estivesse escrito: ‘Quando você pega um torrão de açúcar e o pressiona com um alicate no escuro, pode-se ver um clarão azulado. Alguns outros cristais também fazem isso. Ninguém sabe o motivo. O fenômeno é chamado triboluminescência.’ Aí alguém vai para casa e tenta. Nesse caso, há uma experiência científica.” Usei aquele exemplo para chamar a atenção deles, mas não faria qualquer diferença em que página eu pusesse meu dedo; o livro era desse jeito em quase todas as páginas.³ (FEYNMAN, 2006, p. 209-2011).

English: “Two bodies . . . are considered equivalent . . . if equal torques . . . will produce . . . equal acceleration. Two bodies, are considered equivalent, if equal torques, will produce equal acceleration.” The students were all sitting there taking dictation, and when the professor repeated the sentence, they checked it to make sure they wrote it down all right. Then they wrote down the next sentence, and on and on. I was the only one who knew the professor was talking about objects with the same moment of inertia, and it was hard to figure out. I didn’t see how they were going to learn anything from that. Here he was talking about moments of inertia, but there was no discussion about how hard it is to push a door open when you put heavy weights on the outside, compared to when you put them near the hinge - nothing! (FEYNMAN, 1985, p. 138).

³No original: The main purpose of my talk is to demonstrate to you that no science is being taught in Brazil!

Utilizando um pouco dessa crítica realizada por Feynman, será feito uma análise de quatro livros-texto visando, uma reaproximação da História da Ciência e a Metafísica.

No livro *Física I*, de Resnick, Halliday e Krane, não existe um capítulo destinado à uma discussão do que é física, qual sua importância e nem comenta sobre o método científico. O primeiro capítulo é referente às grandezas físicas, padrões e unidades. Ao início deste capítulo, o autor faz uma introdução que dá a entender que a física é baseada praticamente da parte experimental e no contexto em que foi introduzido, para dar início ao tema das unidades de medida, aparenta uma certa coerência. Porém, não há comentários e nem exposições de outras visões de como acontece a produção de conhecimento científico:

Apesar da beleza matemática de algumas das suas teorias mais complexas e abstratas, a física é acima de tudo uma ciência experimental. Portanto, é essencial que aqueles que realizam medições precisas adotem padrões aceitos por todos para representar os resultados dessas medições[...] (HALLIDAY; RESNICK; KRANE, 2003, p. 1).

No livro de Paul Tipler, de 1978, também aparecem sinais de uma física nascida exclusivamente de uma ciência empirista. “As leis da física são generalizações de observações e de resultados experimentais.”(TIPLER, 1978, p. 3). Apesar da referência ser o livro de 1978, a edição “Física Para Cientistas e Engenheiros”, de 2009, também inclui a mesma linha de pensamento.

Como toda ciência, a física é um corpo de conhecimento organizado de forma específica e racional. Os físicos elaboram, testam e relacionam modelos em um esforço para descrever, explicar e prever a realidade. Este processo envolve hipóteses, experimentos reprodutíveis e observações, e novas hipóteses. (TIPLER, 2009, p. 3).

[...] Then I held up the elementary physics textbook they were using. “There are no experimental results mentioned anywhere in this book, except in one place where there is a ball, rolling down an inclined plane, in which it says how far the ball got after one second, two seconds, three seconds, and so on. The numbers have ‘errors’ in them—that is, if you look at them, you think you’re looking at experimental results, because the numbers are a little above, or a little below, the theoretical values. The book even talks about having to correct the experimental errors—very fine. The trouble is, when you calculate the value of the acceleration constant from these values, you get the right answer. But a ball rolling down an inclined plane, if it is actually done, has an inertia to get it to turn, and will, if you do the experiment, produce five-sevenths of the right answer, because of the extra energy needed to go into the rotation of the ball. Therefore this single example of experimental ‘results’ is obtained from a fake experiment. Nobody had rolled such a ball, or they would never have gotten those results!”

“I have discovered something else,” I continued. “By flipping the pages at random, and putting my finger in and reading the sentences on that page, I can show you what’s the matter-how it’s not science, but memorizing, in every circumstance.”

[...] “I stuck my finger in, and I started to read: “Triboluminescence. Triboluminescence is the light emitted when crystals are crushed...”

I said, “And there, have you got science? No! You have only told what a word means in terms of other words. You haven’t told anything about nature-what crystals produce light when you crush them, why they produce light. Did you see any student go home and try it? He can’t.” “But if, instead, you were to write, ‘When you take a lump of sugar and crush it with a pair of pliers in the dark, you can see a bluish flash. Some other crystals do that too. Nobody knows why. The phenomenon is called triboluminescence.’ Then someone will go home and try it. Then there’s an experience of nature.” I used that example to show them, but it didn’t make any difference where I would have put my finger in the book; it was like that everywhere.(FEYNMAN, 1985, p. 139-141).

No livro *Física 1* de Sears & Zemansky, de 2008, também não existe uma sessão em que é abordado o assunto do que é ciência, como se faz ciência e também não comenta sobre método científico. Mas é possível ver ideias de uma perspectiva da física como unicamente empírica.

A física é uma ciência experimental. O físico observa fenômenos naturais e tentar achar os padrões e os princípios que relacionam esses fenômenos. Esses padrões são denominados teorias físicas ou, quando bem estabelecidas e de largo uso, leis e princípios físicos. (SEARS; ZEMANSKY, 2008, p. 1).

O livro *Curso de Física Básica 1*, de Moysés Nussenzveig, de 2002, é o único entre os selecionados que apresenta um capítulo destinado a uma abordagem mais abrangente da serventia da física, da relação com outras ciências e com o método científico. Embora traga uma abordagem simplista sobre método científico, o livro traz uma tímida preocupação com a relação da coleta de dados e a construção da ciência, embora diga que “observação e experimentação são o ponto de partida e ao mesmo tempo o teste crucial na formulação das leis naturais”. (MOYSÉS, 2002, p.3).

Embora a ciência se construa com dados experimentais, da mesma forma que uma casa se constrói com tijolos, uma coleção de dados experimentais ainda não é ciência, da mesma forma que uma coleção de tijolos não é uma casa (POINCARÉ *apud* NUSSENZVEIG, 2002, p. 3).

Seguindo a sequência já disposta anteriormente, elaboramos uma análise sucinta da abordagem do princípio de inércia.

Iniciando com o livro de Halliday, Resnick e Krane, é possível notar que a contextualização história é praticamente nula. O que aparece são poucas informações e datas que pouco representam a realidade. Não há comentários sobre o espaço absoluto e nem sobre o experimento do balde realizado por Newton. A concepção mostrada de espaço é bastante simples e não apresenta nenhuma ligação com a inércia. Na quarta edição, apresentavam a primeira lei como um caso particular da segunda. Na quinta edição, não é diferente. Apesar de possuir um capítulo destinado à massa, em nenhum momento comenta-se sobre massa inercial e sua relação com a segunda lei de Newton.

No livro de Paul Tipler, existe uma introdução interessante que aponta para um lado mais humano, dizendo que Newton estudou vários outros pensadores como Galileu e Kepler, diferentemente dos livros mais comuns que trazem Newton como gênio que fez ciência como se fosse mágica. Embora a introdução tenha esse aspecto, é bastante acanhado e pouco abrangente. Fora esse pequeno detalhe, o livro apresenta uma conceituação muito mais resumida, mas as ideias abordadas são praticamente as mesmas.

A abordagem histórica é praticamente nula no livro de Sears e Zemansky, apresentando os mesmos problemas dos livros anteriores. Não há comentários, por exemplo, sobre o

experimento do balde, forças fictícias, espaço absoluto e massa inercial. O que é abordado, é feito de maneira bastante prática e direta.

Em contrapartida, o livro de Nussenzveig é o único que parece se preocupar com um contexto mais histórico, em que apresenta comentários sobre a visão de mundo de Aristóteles e um texto de Galileu *Diálogos Sobre os Dois Principais Sistemas de Mundo* como ponto de partida para a conceituação do Princípio da Inércia. É o único que fala de maneira breve sobre o experimento do balde e o princípio de Mach, faz relação de massa inercial com massa gravitacional e mostra a angústia de Newton em desacreditar da interação dos corpos a distância sem um meio intermediário. Assim, o livro do físico brasileiro mostra-se muito mais completo e interessante, ainda que todo esse material seja disponível somente ao final do livro e de maneira pouco aprofundada. Apesar das considerações, esse livro contém problemas. As diferentes maneiras de abordagem sobre o assunto, são pouco aprofundadas e algumas delas são somente comentadas ao final do livro, em uma parte específica. Assim, entre os livros aqui escolhidos, que são comumente utilizados na graduação, o Nussenzveig é o mais apropriado ainda que haja problemas.

2.2 PROFESSORES

Inicialmente, o trabalho tinha como intuito a realização de entrevistas com alguns professores do Departamento de Física da UEM – Universidade Estadual de Maringá, a fim de compreender as concepções sobre o conceito de inércia e sobre a importância que dão à História da Ciência e à Metafísica ao prepararem suas aulas. As entrevistas ocorreram de forma presencial, com perguntas pré-elaboradas, foram gravados por um aparelho celular, o cunho da entrevista, apesar do roteiro relacionado com o conceito de inércia, tinha um formato de conversa livre, de modo que o professor pudesse se expressar de modo tranquilo e desinibido. Foram sujeitos da entrevista, alguns poucos professores que, recentemente haviam ministrado o conteúdo de Física Geral I e Mecânica Clássica I a fim de compreender como se dava a prática do ensino do conteúdo da Primeira Lei de Newton, também conhecida como Princípio da Inércia.

O trabalho não tem como uma de suas finalidades justificar a necessidade do conhecimento histórico para tentar evitar a apresentação equivocada do assunto e tentar ao máximo possível, contribuir para uma melhor educação de ciências. Assim, vamos citar brevemente o resultado adquirido por meio dessa pesquisa e trabalhar durante este trabalho, para incentivar o uso da História da Ciência e mostrar que a Física está além da resolução de intermináveis problemas matemáticos e da definição de conceitos sem discussão.

No começo, a ideia era entender o motivo de os professores não abordarem as diferenças

entre as concepções de Descartes e Newton e o porquê de não comentarem em momento algum a ideia de espaço absoluto que está intimamente ligado ao Princípio de Inércia. Incutido nessa perspectiva de que era um ato de falta de atenção ou de desconhecimento sobre o assunto, as respostas que foram obtidas acabaram por surpreender, mostrando uma visão que a maioria dos professores possuem que não está de acordo com os fatos históricos.

A resposta que usualmente foi dada é a de que, de um modo geral, o uso da História da Ciência no ensino não é importante e soa mais como um fato curioso e interessante do que essencial ao aprendizado da física. Ou seja, de acordo com as respostas, a parte histórica e a metafísica não colaboram com o entendimento do conteúdo, e acaba servindo apenas como alguma coisa que ocorreu no passado, sendo interessante, porém, supérflua e ineficaz para o aprendizado dos conceitos científicos.

Devido a essa constatação, o trabalho foi redirecionado para uma tentativa de convencimento da importância que a História da Ciência e a Metafísica possuem na prática de ensino.

Como mostraremos a seguir, a discussão sobre a importância da implementação da História da Ciência no ensino é antiga, mas por volta da última década do século XX, a comunidade científica concordou que utilizar da História da Ciência pode ser realmente positivo.

Enquanto deveríamos estar preocupados em como, em que momento e de que maneira aplicar a História da Ciência para melhorar o ensino, nos vemos em um pensamento, usando das palavras de Kuhn em outro contexto, que “há muito pôs de lado”. Graças a vários pensadores como Matthews, foi considerado que a prática histórica é importante, porém, ainda nos deparamos com um questionamento sobre a validade dessa importância, enquanto deveríamos desenvolver metodologias cada vez melhores, correlacionadas à história, que pudessem ser aplicadas. Parece-me então que talvez, a comunidade científica brasileira, precisa ser convencida da importância da reaproximação do conteúdo histórico, metafísico e epistemológico no ensino.

Um outro aspecto que surgiu com as entrevistas é a de que o papel do professor não é incentivar os alunos durante as aulas, e que esse incentivo para os estudos deveria vir dos próprios alunos. Além disso, foi apresentada a ideia de que não importa a prática ou metodologia que o professor realize em sala de aula, pois isto não reflete no desempenho dos estudantes. Resumindo, ainda existe, para alguns professores, a ideia de que ele não influencia diretamente nem para o lado afetivo nem cognitivo.

Mesmo não sendo o foco desse trabalho, por não se tratar de uma metodologia que usa da História da Ciência em particular, é bastante oportuno e vale a pena comentar sobre um

artigo escrito por Eric Mazur (1954) que aborda uma metodologia diferente da tradicional e mostra que uma aplicação diferenciada resulta em um maior progresso, tanto conceitual quanto matemático, por parte dos alunos. Esse artigo usa como critério dez anos de pesquisa e aplicação do chamado *Peer Instruction – PI* (MAZUR; CROUCH, 2001, p. 970-977). Aparentemente, o trabalho iniciou-se em 1991, e o centro de mudança se baseava em uma maior discussão durante as aulas e palestras, em uma atenção especial à leitura prévia e de um processo cooperativo, resultando dessa maneira, que o aluno se torne mais ativo durante as aulas, o que leva a uma melhor interação e compreensão dos conteúdos fundamentais da Física.

As atividades giravam bastante em torno dos elaborados ConcepTest (Figura.1). Para executar essa atividade era preciso que o aluno lesse previamente um texto que estava relacionado com o assunto e durante o ConcepTest, a abordagem era voltada para a discussão e cooperação entre os alunos. Talvez apareça dificuldades em relação ao tempo que dedicado às aulas, logo é interessante observar o que o artigo fala sobre isso:

Para liberar o tempo de aula para ConcepTests, e para preparar os alunos melhor para aplicar o material durante a aula, os alunos devem completar a leitura sobre os tópicos a serem cobertos antes da aula. Aprender da leitura é uma habilidade que vale a pena desenvolver, particularmente porque, após a faculdade, uma grande quantidade de aprendizagem contínua ocorre através da leitura. Para ajudar os alunos a identificar e compreender os pontos chave da leitura, além de proporcionar um incentivo para que os alunos completem a leitura, concedemos aos alunos crédito por responder algumas perguntas destinadas a ajudá-los a pensar sobre o material.⁴ (MAZUR; CROUCH, 2001, p. 970, *tradução nossa*).

Um exemplo dos testes conceituais que são aplicados é apresentado na Figura 1⁵:

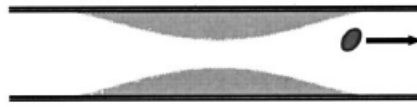
Mazur justifica que os testes não são influenciados pelos tipos de professores, sendo que fizeram parte da experiência, cinco diferentes professores que aplicaram o PI em seu próprio estilo e que a maioria havia tido bastante experiência com aulas e palestras tradicionais. Para mostrar os resultados que foram satisfatórios durante a aplicação do PI, é possível observar o gráfico da Figura 2⁶, que faz uma comparação do desenvolvimento dos alunos com aulas tradicionais e com aulas de aplicação do PI, utilizando uma normalização entre os pré-testes $\langle Spre \rangle$ e os pós-testes $\langle Spos \rangle$ dada pela equação $\langle g \rangle = (\langle Spos \rangle - \langle Spre \rangle) / (100\% - \langle Spre \rangle)$:

⁴No original: To free up class time for ConcepTests, and to prepare students better to apply the material during class, students are required to complete the reading on the topics to be covered before class. Learning from reading is a skill well worth developing, particularly because after college a great deal of ongoing learning takes place through reading. To help students identify and grasp the key points of the reading, as well as to provide an incentive for students to actually complete the reading, we give students credit for answering a few questions designed to help them think about the material.

⁵A figura com a escrita não traduzida estará fixada nos anexos finais deste trabalho.

⁶O gráfico com a legenda original se encontra no ANEXO C.

Uma plaqueta é carregada ao longo da artéria, pelo fluxo sanguíneo, que é parcialmente bloqueada por depósitos



À medida que a plaqueta se move da região estreita para a região mais larga, sua velocidade

1. aumenta
2. permanece constante
3. diminui

Figura 1: Um exemplo de ConcepTest

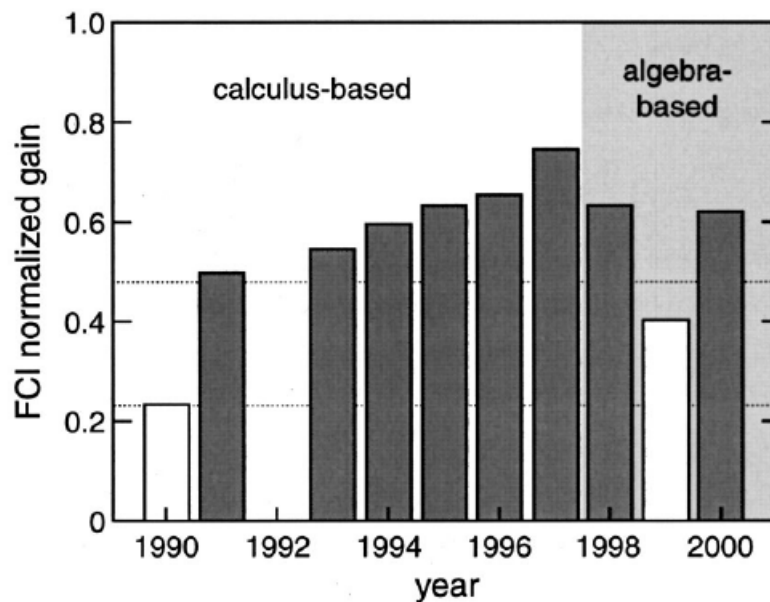


Figura 2: Conteúdo do conceito de força média normalizada $\langle g \rangle$ para física introdutória baseada em cálculo, Harvard University, outono 1990 - outono 1997 e para a física introdutória baseada em álgebra, Harvard University, outono 1998- outono 2000. As barras brancas indicam cursos tradicionalmente ensinados e as barras pretas indicam cursos ensinados com PI. As linhas pontilhadas correspondem a $\langle g \rangle = 0,23$, o ganho típico de um curso tradicionalmente ministrado, e $\langle g \rangle = 0,48$, o ganho típico de um curso interativo.

3 A HISTÓRIA DA CIÊNCIA

3.1 A NÃO OBVIIDADE DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA

A História da Ciência é um assunto recorrente como pauta de implementação no Ensino de Ciências entre os físicos e epistemólogos. Mesmo sendo considerado explicitamente em eventos internacionais que a aproximação dos conteúdos históricos tem uma importância real no aprendizado, podemos notar com as entrevistas realizadas com os professores, que essa é a visão geral de uma minoria de professores. Há ainda, muita luta contra a implementação dessa prática pedagógica durante as aulas de física por parte dos atuais professores. Essa postura é bastante comum no Brasil e mesmo no exterior, é possível encontrar muitas argumentações de estudiosos como Thomas Kuhn (1922-1996), Stephen Brush (1935), Israel Scheffler (1923-2014), Martin Klein (1924-2009), entre outros que não apoiam esse recurso metodológico. Ernst Mach (1838-1916), foi um físico e filósofo austríaco que defendeu essa inclusão e que acabou tendo papel importante na reaproximação entre a História da Física e o Ensino de Ciências:

Aqueles que conhecem todo o curso do desenvolvimento da ciência irão, com certeza, julgar mais livremente e mais corretamente o significado de qualquer movimento científico atual do que aqueles que limitam seus pontos de vista à idade em que suas próprias vidas foram gastas, contemplam apenas a tendência momentânea que o curso dos eventos intelectuais considera no presente momento.¹ (MACH, 1960 *apud* BRUSH, 1974, p. 8-9, *tradução nossa*).

Segundo Brush, em um evento organizado em 1970 para discutir sobre a inclusão da prática histórica no ensino, chegaram a uma conclusão quase que unânime de que a História da Ciência é importante no aprendizado como um evento muito importante e que tiveram muitas realizações positivas, houve muitos outros eventos em que foram discutidas as mesmas pautas, ou assuntos muito próximos a essa.

De acordo com Michael Matthews, houve também a “primeira conferência internacional sobre História, Filosofia, Sociologia e o Ensino de Ciências, na Universidade do estado da Flórida, em novembro de 1989. Em um segundo momento, uma série de conferências patrocinadas pela Sociedade Européia de Física sobre A História da Física e o seu ensino, realizadas em Pavia, cidade ao sul de Milão (1983), Munique (1986), Paris (1988), e Cambridge (1990). Em um terceiro momento, foi a conferência sobre História da Ciência e o Ensino de Ciências, realizada na Universidade de Oxford em 1987 com o apoio da Sociedade Britânica de História da Ciência (Shortland e Warick, 1989)”. Assim, surgiram ideias para apoiar a

¹No original: They that know the entire course of the development of science, will, as a matter of course, judge more freely and more correctly of the significance of any present scientific movement than they, who, limited in their views to the age in which their own lives have been spent, contemplate merely the momentary trend that the course of intellectual events takes at the present moment.

abordagem histórica e contextualizada da ciência que acarretou em inúmeros trabalhos a favor dessa prática.

Mesmo que muitos acreditem que a História da Ciência apresente um potencial de aprendizagem mais amplo, houve e ainda há muitos outros que acreditam que uma prática contextualizada pode ser prejudicial. Um ponto levantado durante a reunião de 1970, de acordo com Stephen Brush, foi se essas duas disciplinas iriam ensinar de maneira conjunta:

Martin Klein interpretou o advogado do diabo ao apontar que a história e a ciência são inerentemente diferentes tipos de disciplinas; reunir-se é suscetível de fazer violência em um ou outro. O cientista quer obter a essência de um fenômeno e, para isso, ele deve retirar todas as características ou contingências que coincidem com o caráter, o lugar e a personalidade do observador. No entanto, para o historiador, essas são a essência da história; se o detalhe dos eventos passados fosse eliminado, nada significativo seria deixado. Novamente, quando o professor de ciências introduz materiais históricos, ele deve fazê-lo de forma muito seletiva, já que seu propósito real deve ser ensinar teorias e técnicas modernas de forma mais eficaz; ele só pode tirar do passado o que parece ter significado no presente. O resultado pode ser uma série de anedotas fascinantes (e muitas vezes nítidas), mas certamente não é história, como o historiador entende.² (BRUSH, 1974, p. 1166, *tradução nossa*).

Com a afirmação de que pode acabar levando anedotas para as salas de aulas, entende-se que a preocupação está relacionada muitas vezes com a aplicação do conteúdo histórico. Veremos mais à frente com Martins (2006), que isso é sim preocupante, e que existe uma maneira mais adequada e cuidadosa a serem tomados. Porém, a primeira discussão que deve ser levada em conta é sobre a importância que a História da Ciência tem, um caráter facilitador da compreensão do mundo físico e não somente como um ponto interessante como se mostrasse uma curiosidade.

Em um segundo momento, deve-se discutir sobre como realizar as aplicações de forma a melhorar a educação científica e realizar as aplicações. Porém, a primeira discussão parece nunca alcançar um final e o segundo momento que consistiria na aplicação histórica é frequentemente rejeitado e deixado de lado por uma grande quantidade de professores.

Kuhn também apresenta seus argumentos de forma contrária à utilização dos elementos históricos ao sugerir que se o senso crítico e questionador do estudante for ampliado, isso poderia acarretar em algo negativo para a produção científica. Ele critica também o uso dos

²No original: Martin Klein played the devil's advocate by pointing out that history and science are inherently different kinds of disciplines; bringing them together is likely to do violence to one or the other. The scientist wants to get at the essence of a phenomenon, and to do so he must strip away all complicating features or contingencies peculiar to time, place, and the personality of the observer. Yet for the historian those are the essence of history; if the detail of past events were to be eliminated, nothing significant would be left. Again, when the science teacher introduces historical materials, he must do so in a very selective way, since his real purpose should be to teach modern theories and techniques more effectively; he can only take from the past that which seems to have significance in the present. The result may be a series of fascinating (and often mythical) anecdotes, but it is surely not history as the historian understands it.

“textos originais” como forma de abordagem:

As coleções de ‘textos originais’ têm um papel limitado na educação científica. Igualmente, o estudante de ciência não é encorajado a ler os clássicos de história do seu campo - obras onde poderia encontrar outras maneiras de olhar as questões discutidas nos textos, mas onde também poderia encontrar problemas, conceitos e soluções padronizadas que a sua futura profissão há muito pôs de lado e substituiu. Whitehead apreendeu esse aspecto bastante específico das ciências quando escreveu algures: ‘uma ciência que hesita em esquecer os seus fundamentos está perdida’. (KUHN, 1974 *apud* DANHONI, 1998, p. 55).

Um argumento, e provavelmente o mais forte entre aqueles que se direcionam contra o uso histórico, é o de que a utilização desse recurso de nada adianta ou acrescenta para o cotidiano do pesquisador confinado em laboratório que segue um método funcional para a produção científica. Brush diz que os professores concordam com James Bryant Conant:

[...] embora o conhecimento da História da Ciência possa ajudar um cientista a funcionar melhor fora do laboratório, não tem nada para ensiná-lo sobre os métodos de pesquisa que ele precisará para fazer novas descobertas. [...] e que o professor de ciências pode ser justificado em seguir seus instintos para ignorar a história, especialmente se seu objetivo é treinar cientistas que seguirão os métodos de pesquisa atualmente aprovados.³ (BRUSH, 1974, p. 1165-1166, *tradução nossa*).

Porém, houve uma reorientação por parte dos defensores da contextualização histórica na década de trinta originada com Koyré, e que “a verificação experimental é de importância secundária em comparação com argumentos filosóficos, pelo menos em algumas das principais mudanças conceituais que ocorreram na ciência (BRUSH, 1974, p. 1166)”. Para isso, o professor deve estar preparado para uma análise muito mais ampla e multidisciplinar.

Alterar a visão de que o método científico como a única maneira de produção científica, parece que é o maior desafio para reacender e concluir de vez a importância do aspecto histórico no ensino, pois acredita-se, muitas vezes, que a ciência produz a verdade absoluta e incontestável por causa do método utilizado, que concentra a objetividade e imparcialidade durante o processo.

3.2 A IMPORTÂNCIA DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA NO ENSINO DE FÍSICA

Nesta parte do trabalho serão apresentados alguns argumentos que corroboram com a necessidade da História da Ciência de se tornar presente no ensino de Física na graduação. Trata-se da discussão dos cuidados que se deve ter, quais momentos mais propícios, quais

³No original: while knowledge of the history of science may help a scientist to function better outside the laboratory, it has nothing to teach him about the methods of research he will need in order to make new discoveries. [...] the science teacher may be justified in following his instincts to ignore history. especially if his purpose is to train scientists who will follow the currently approved research methods.

os problemas e resultados que podemos encontrar e de que maneira podemos realizar essa aplicação histórica. É importante ressaltar que a implementação que aqui está sendo proposta é para o curso de Física e não é o intuito discutir em como será abordado as mesmas questões em outros cursos como engenharias, por exemplo. A história que envolve a ciência é muito importante para uma melhor compreensão dos conceitos físicos e, portanto, acaba tendo um caráter essencial no processo de ensino e principalmente no curso de graduação específico em Física. Isso não significa que essa prática precisa ser aplicada em qualquer conteúdo presente na grade curricular, pelo contrário, existem alguns temas que possuem um melhor potencial de compreensão por meio de outras práticas pedagógicas como simuladores, atividades investigativas etc. Porém, existem alguns conceitos que são mais facilmente compreendidos através da história, como a primeira lei de Newton, abordada neste trabalho. De acordo com Roberto Martins, “A história da ciência nos apresenta uma visão a respeito da natureza da pesquisa e do desenvolvimento científico que não costumamos encontrar no estudo didático dos resultados científicos” (MARTINS, 2006, p. xxi). Além de complementar o ensino com uma visão histórica dos acontecimentos, juntamente com a epistemologia, os conceitos físicos não somente ficam mais compreensíveis e interessantes, como também contribui para uma perspectiva mais crítica e uma possibilidade maior de desconstrução das práticas que apresentam uma ciência de linearidade e verdades absolutas. Deve-se buscar o contrário de simplesmente aceitar a ciência como um ensino dogmático, ou seja, apresentado como correto, verdadeiro e indiscutível:

O estudo adequado de alguns episódios históricos também permite perceber o processo social (coletivo) e gradativo de construção do conhecimento, permitindo formar uma visão mais concreta e correta da real natureza da ciência, seus procedimentos e suas limitações – o que contribui para a formação de um espírito crítico e desmitificação do conhecimento científico, sem no entanto, negar seu valor. A ciência não brota pronta, na cabeça de “grandes gênios”. Muitas vezes, as teorias que aceitamos hoje foram propostas de forma confusa, com muitas falhas, sem possuir uma base observacional e experimental. (MARTINS, 2006, p. xxii).

Não estamos acostumados com a ciência que se constrói de uma forma em que existem várias estruturas, sejam elas sociais, econômicas ou políticas, que estão continuamente influenciando de maneira direta ou indireta e a realização da prática do ensino de física. Sem a História e a Epistemologia da Ciência, acaba ficando, muitas vezes, superficial e não dá condições do aluno se sentir interessado nem consciente da complexidade e dos fatos discutíveis da Ciência. Há estudantes que entram no curso de Física não só pela complexidade ou beleza matemática que o curso possa oferecer, mas também, por querer compreender o mundo que está ao seu redor, os “como” e os “porquês”.

Infelizmente, a prática pedagógica mais comumente aplicada esquece a parte histórica e

metafísica do processo de aprendizagem e muitos que se interessam, acabam se desmotivando ao encontrar apenas resoluções matemáticas de conceitos físicos durante quase todo o percurso de graduação. O processo de se educar como historiador da ciência é bastante complicado e exige muito tempo de leitura e os futuros professores, em especial, precisam começar a discutir aspectos históricos e metafísicos durante o curso de formação para terem a possibilidade de futuramente se aprimorarem nos estudos de História da Ciência, pois a Física é pouco intuitiva e em alguns momentos, se faz mais compreensível através dessa prática. E quando me expresso por “pouco intuitiva”, quero dizer que uma simples ideia ou conceito, como campo gravitacional, sistematizado e apresentado durante o curso de graduação, demora muitos anos para chegar a essa estrutura complexa que temos hoje, levando em consideração que uma das primeiras concepções sobre a queda dos corpos foi elaborada há mais de dois mil anos com Aristóteles (384-322 a.C.) e sua concepção de mundo e de lugar natural. Além disso, se o professor incluir esse conhecimento e estiver atento aos alunos, durante eventuais discussões, é possível notar que alguns alunos possuem concepções espontâneas dos fenômenos naturais que muito se assemelham a concepções de pensadores mais antigos, como diz Anna Maria Pessoa de Carvalho, em um trabalho sobre o ensino de conservação da quantidade de movimento (CARVALHO, 1989, p. 4). Ela mostra que, às vezes, a concepção espontânea do sujeito para a conservação de movimento dos corpos pode não estar relacionada com a ideia científica mais aceita hoje, mas que pode haver, incluído no próprio pensamento, uma concepção mais antiga como a de *impetus* que se faz presente nas críticas de Jean Buridan (1295-1363) contra a visão de movimento violento de Aristóteles. Sabendo de que maneira o aluno pensa a respeito de um determinado fenômeno físico, e tendo o conhecimento histórico que gerou essa concepção, é possível mediar de maneira mais qualificada o percurso que o aluno seguirá até chegar na concepção mais atual, passando por etapas que mostram as falhas de suas próprias ideias. Também podemos ver essa questão do conhecimento prévio do aluno por meio dos argumentos de Martins:

Nos últimos quarenta anos, os educadores se tornaram agudamente conscientes (graças principalmente à influência de Piaget) de que os educandos não são uma “tabula rasa” (Piaget e Garcia 1987). Trazem consigo certas estruturas operatórias mais ou menos desenvolvidas, de acordo com seu estágio cognitivo; e também trazem certas concepções que, em geral, conflitam e resistem à sua substituição pelas concepções da ciência atual. Essas concepções prévias (anteriores ao ensino científico sistemático) não podem ser apagadas ou ignoradas. Se elas não forem reconhecidas e gradativamente transformadas nas outras, podem continuar a existir, paralelamente às concepções científicas impostas pelo professor, interferindo constantemente com sua efetiva compreensão, aceitação e aplicação. (MARTINS, 2006, p. xxv).

Uma abordagem em sala de aula em que se usa pouco ou praticamente nada da História

da Ciência pode levar a falhas de conceituais. Além desse problema, é possível notar que sem a prática histórica adequada, dá-se a entender que a ciência é construída em momentos específicos de curto prazo, como a anedota da maçã. Martins mostra que a prática da história da ciência precisa ser abordada com muitos cuidados, e usa do conto da maçã de Newton para exemplificar. O aspecto mais comum que aparece sobre o tema diz que Isaac Newton, ao observar a queda da maçã, concebeu a Teoria da Gravitação Universal (MARTINS, 2006). Além desse fato curioso ser pouco provável, a concepção de campo gravitacional por exemplo, não é dada pelo cientista, que em seus primeiros pensamentos acreditava na concepção de éter como agente intermediário entre os corpos. Essa anedota também nos apresenta uma ideia de que esses resultados só são adquiridos por “grandes gênios” e que muitas vezes, para chegar à verdade absoluta, a ciência usa do método científico de comportamento indutivista, baseado em etapas como receita de bolos que envolvem a observação e o empirismo, tendo esse método como finalidade uma “prova” real dos resultados. Quando há o estudo aprofundado da história, o desenvolvimento e a fundamentação das teorias, é possível observar que essa não é de fato a realidade. O próprio Einstein, para elaboração da Teoria da Relatividade se retrata dizendo que andou por caminhos mais distantes (OSTERMANN, 2002, p. 7):

Sabemos agora que a ciência não pode se desenvolver apenas a partir do empirismo; nas construções da ciência, precisamos da invenção livre, que só a posteriori pode ser confrontada com a experiência para se conhecer sua utilidade. Este fato pode ter escapado às gerações anteriores, para as quais a criação teórica parecia desenvolver-se indutivamente a partir do empirismo, sem a criativa influência de uma livre construção de conceitos. (EINSTEIN *apud* SILVEIRA; OSTERMANN, 1995, p. 7).

Se pudessemos excluir todo o comportamento humano ao observar um fenômeno da natureza, não seria possível retirar dados que pudessem se tornar teorias, pois não saberíamos o que observar. Assim, a natureza não nos fornece conhecimento por si só e apesar de Einstein, anteriormente ter acreditado no método indutivista, no início de sua carreira acaba por considerar essa racionalização prejudicial:

“[...] consiste em acreditar que os fatos podem e devem fornecer, por si mesmos, conhecimento científico, sem uma construção conceptual livre” (EINSTEIN *apud* SILVEIRA; OSTERMANN, 1995, p. 7).

A sentença “independentemente de quantos casos de cisnes brancos possamos observar, isso não justifica a conclusão de que todos os cisnes são brancos” é do epistemólogo Karl Popper (1902-1994) (POPPER, p. 28, 2007) que usa de uma argumentação bem elaborada para criticar o aspecto de indução presente no método científico, tentando convencer o leitor de suas falhas.

Fernando Lang da Silveira e Fernanda Ostermann demonstram as falhas que podem acarretar caso se utilize somente o modo indutivista a partir de uma prática relativamente

simples da dedução da equação do período de um pêndulo simples (SILVEIRA; OSTERMANN 2002, p. 7–27). Ao abordarem a atividade do pêndulo que é uma prática que acontece durante a disciplina de laboratório, eles focam em dizer que apenas observando o oscilar, é impossível deduzir a equação do pêndulo da forma em que se apresenta hoje e que existem muitas maneiras de descrever esse fenômeno. Então, se todas descrevem o comportamento do pêndulo, como saber qual equação escolher de acordo com os favoráveis à prática do método científico? A conclusão é que apenas os resultados experimentais, combinados com a matemática e alguns critérios formais, não são suficientes para produzir conhecimento científico (SILVEIRA; OSTERMANN 2002, p. 15). É nesse aspecto que pode entrar a História da Ciência e a Metafísica: “[...] todo o nosso conhecimento é impregnado de teoria, inclusive nossas observações.” (POPPER, 1975, p. 75).

De acordo com o artigo do Caderno Catarinense citado acima, as pesquisas feitas com 158 professores e 131 alunos (futuros professores) de graduação mostram que o empirismo é ainda muito fortemente usado na construção da Ciência. Por isso, a contextualização histórica é tão importante. Tendo a prática do estudo dessa linha contextual, ajuda-nos a entender de fato como acontece a Ciência, mostrando seus aspectos com uma fundamentação real, possibilitando ao educando uma compreensão mais vasta sobre o processo científico.

Martins fala que a falta do estudo de uma teoria científica sem sua fundamentação real e histórica pode levar a um não conhecimento científico, misturando partes do que realmente pode ter acontecido (resultados) na história com a fé na Ciência. O professor e pesquisador Marcos Cesar Danhoni Neves concorda com essa ideia e em seguida cita Feyerabend:

Alijar a ciência de seu processo histórico, de suas contingências e de suas representações, é condená-la a um destino que se assemelha mais à religião, ligando paradigmas a dogmas, e sociedades científicas a seitas. Sobre isto Feyerabend escreve: “A sociedade moderna é ‘copernicana’, mas não porque a doutrina de Copérnico haja sido posta em causa, submetida a um debate democrático e então aprovada por maioria simples; é ‘copernicana’ porque os cientistas são copernicanos e porque lhes aceitamos a cosmologia tão arcaicamente quanto, no passado, se aceitou a cosmologia de bispos e cardeais.” (FEYERABEND, 1989, p. 456 *apud* NEVES, 1998, p. 73–81).

O problema que gera pode ser grande quando se usa da prática do ensino para o aprendizado de ciência como verdade absoluta. Entenda como aula tradicional aquela em que o foco é o professor como autoridade que define o que é importante aprender e ministra as aulas com uma forma padrão de conceituação dos fenômenos físicos que segue para uma sequência de exercícios. Usar os textos originais, seja como divulgação ou meio de análise, é uma prática quase que inexistente e que, se fosse realizada, poderia diminuir esses obstáculos de teorias e verdades absolutas, dando ao leitor a possibilidade de uma interpretação aberta, livre para concordar ou discordar do pensador que escreveu o trecho. A história, a epistemologia e os

textos originais possuem um potencial que podem realizar uma imensa diferença no aprendizado de ciências e é muito comum começarem a surgir indagações sobre qual o motivo de haver uma separação entre a história e os resultados e aplicações da ciência. Para enfatizar ainda mais a importância desse aspecto no ensino, o trecho a seguir mostra uma outra perspectiva dos motivos da separação histórica e de outras segregações:

Depois das invasões bárbaras, todas as ciências, que antes haviam gloriosamente florescido e sido praticadas a rigor, arruinaram-se. Naquele tempo, e antes de mais nada na Itália, os doutores da moda, imitando os antigos romanos, começaram a desprezar a obra da mão. Confiavam aos escravos os cuidados manuais que julgavam necessários a seus pacientes e pessoalmente limitavam-se a supervisionar. [...] O sistema para cozinhar e preparar os alimentos para os doentes foi deixado aos enfermeiros, a dosagem dos remédios aos farmacêuticos, as operações manuais aos barbeiros. Assim, com o passar do tempo [...] certos doutores, proclamando-se médicos arrogaram-se pessoalmente a prescrição dos remédios e dietas para obscuras doenças, e abandonaram o resto da medicina aos que chamavam de cirurgiões e consideravam apenas escravos. Infelizmente, dessa forma, afastaram de si o ramo mais importante e mais antigo da arte médica, aquele que (admitindo-se que realmente exista um outro) se baseia sobretudo na investigação da natureza. [...] Quando todo o procedimento da operação manual foi confiado aos barbeiros, os doutores não só perderam rapidamente o verdadeiro conhecimento das vísceras, como também rapidamente terminou a prática anatômica. Isso, sem dúvida, decorreu do fato de que os doutores não se arriscavam a operar, ao passo que aqueles a quem era confiado tal encargo eram ignorantes demais para ler os escritos dos mestres de anatomia. [...] Assim aconteceu que essa deplorável divisão da arte médica introduziu em nossas escolas o odioso sistema ora em voga, com o qual alguém realiza a dissecação do corpo humano e outro descreve suas partes. Este último está encarapitado num alto púlpito como uma gralha e, com modos muito desdenhosos, repete até à monotonia notícias sobre fatos que ele não observou diretamente, mas decorou dos livros de outros ou dos quais tem uma descrição diante dos olhos. O dissecador, ignorando a arte do falar, não está à altura de explicar a demonstração que deveria se seguir às explicações do médico, enquanto o médico nunca põe as mãos ao trabalho, mas dirige desdenhosamente a nau com a ajuda do manual, e fala. Assim, cada coisa é mal ensinada, perdem-se os dias com questões absurdas e ensina-se confusamente aos estudantes menos do que um açougueiro, do seu balcão, poderia ensinar ao doutor.” (ROSSI, 1989 *apud* NEVES, 1998, p. 73-74).

É notável a separação dos saberes. Da mesma maneira que acontece essa separação com a história, a geografia, a matemática, a química etc., a física também é hoje dividida. Dentro do ensino, a História da Ciência e a Metafísica são partes essenciais que são esquecidas por muitos educadores. Segue abaixo uma crítica muito bem expressa sobre essa separação das partes da ciência com base no texto do médico belga Andrea Vesalio (1514-1564):

[...] o que vemos presente hoje na sala de aula, seja ela do ensino fundamental, médio ou superior, é uma atmosfera à la crítica vesaliana, onde a divisão

dos saberes é novamente fomentada e as ignorâncias passam a indexar as competências. Aliado a este fato, onde somente o conteúdo está implicado, nota-se um empobrecimento da linguagem da ciência. Neste empobrecer, situações e equações padronizadas passam a não traduzir aquilo que definimos como realidade (ou que interpretamos como realidade), esquematizando excessivamente as ciências que, postas em compartimentos estanques, passam a adquirir ares de (pseudo)ecletismo e (pseudo)sabedoria, embasadas em discursos de “doutos” encarapitados em altos púlpitos e discursando como gralhas, para ficarmos consonantes com aquilo que escreveu Andrea Vesalio. Podemos notar esta divisão odiosa de saberes na construção dos currículos escolares. Por melhores que sejam, embasados em teorias educacionais progressistas, a visão cartesiana imperante, que vê o ensino como um somatório discretizado de objetivos (docentes, discentes, condições e jornadas de trabalho, etc.), aniquila a possibilidade de construção do conhecimento. O que temos visto nas últimas décadas é a ciência sendo apreendida como um dado e não como uma possibilidade de construção e integração com as demais ciências e com as necessidades diárias do cidadão comum (NEVES, 1998, p. 74).

A história da ciência também pode auxiliar ao aluno a se esquivar desse comportamento de dualidade correspondente à teoria científica imposta pelo professor e o conhecimento espontâneo que já havia presente em sua mente. Conforme Anna Maria Pessoa de Carvalho, o aluno que utiliza de uma teoria científica para dentro da sala de aula separada de sua concepção espontânea não teve de fato um aprendizado significativo e, sim, uma memorização de algo útil apenas à escola e que não se faz presente na vida real (CARVALHO, 1983, p. 55-77).

Segundo Martins, tem-se observado uma maior atenção ao que se refere à História da Ciência, e os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) vêm se atualizando e dando um maior enfoque na utilização da história como um meio de corroborar com o ensino.

Martins aponta as barreiras a serem vencidas para uma melhor aplicação da História da Ciência no ensino. Fazem parte dessas dificuldades, a carência de um número suficiente de professores com formação adequada para pesquisar e ensinar de forma correta a história das ciências; a falta de material didático adequado (textos sobre História da Ciência) que possa ser utilizado no ensino; e os equívocos a respeito da própria natureza da História da Ciência e seus usos na educação (SIEGEL, 1979 *apud* MARTINS, 2006, p. xxvi-xxvii).

4 DESCARTES

4.1 ASPECTOS BIOGRÁFICOS DE DESCARTES

As informações sobre a vida de Descartes foram essencialmente retiradas do primeiro capítulo, “*vida e obra*” da coleção “*Explorando Grandes Autores*”, escrito por Stephen Gaukroger.

Em 1596, na comuna francesa La Haye, nasce o pensador francês René Descartes que ficou bastante conhecido pela matemática que desenvolveu e pela frase “*Cogito ergo sum*”. Um ano após seu nascimento, morre Jeanne Brochard, mãe de Descartes, deixando-o sob os cuidados do pai. Aos quatro anos de idade, René passa a morar com a avó, devido à decisão de mudança do pai à comuna francesa ao qual era membro.

Em 1606, Descartes é inserido no ensino em um colégio jesuíta bastante prestigiado com regime de internato em La Flèche, comumente usufruída por filhos de nobres. A escola era bastante rigorosa e regrada de acordo com os mestres. Um detalhe interessante e que já se pensava naquela época, era de a atenção ser direcionada para a motivação dos alunos. Apesar disso, como os filhos dos nobres possuíam um grande potencial em se tornarem ocupantes de cargos importantes relacionado ao poder, o colégio tinha a intenção de promover homens como modelos dos valores cristãos que deveriam ser seguidos juntamente a uma conduta de disseminação e uma eloquente capacidade de argumentação para a defesa desses valores. A escola oferecia línguas como latim, grego e textos clássicos nos primeiros cinco anos. Nos últimos três anos, podemos perceber a forte influência que a visão de mundo aristotélica ainda tinha sobre a sociedade, pois, segundo Gaukroger, dentro da filosofia de Aristóteles, era estudado a dialética, filosofia da natureza, matemática elementar, metafísica e ética (GAUKROGER, 2011, p. 21).

As teorias que eram incentivadas, faziam parte de um aristotelismo “cristianizado” pelo interesse religioso. Em resposta a esse método escolástico, que é uma metodologia de aprendizagem baseada em uma composição mista entre a fé cristã e o pensamento racionalizado do homem, o pensamento de Descartes vai contra esse método e essa resistência pode ser observada como um primeiro sinal da filosofia cartesiana de caráter cético e baseada na fundamentação, que entraremos em mais detalhes posteriormente.

Após se formar na escola, Descartes saiu de La Flèche e foi estudar direito, onde prestou seu exame em 1616. Em seguida, ficou indeciso sobre seguir o caminho do direito e acabou aderindo à opção militar, que foi onde teve contato e influência da engenharia prática.

Segundo Gaukroger, Descartes conheceu o jovem Isaac Beeckman (1588-1637) no final de 1618, oito anos mais velho, que o influenciou a partir desse momento e que manteve amizade e a troca de correspondência durante a vida. Beeckman vinha trabalhando com filosofia da

natureza e Descartes trocou cartas a respeito da queda livre dos corpos e sobre problemas que estavam relacionados à hidrostática. Momentos mais tarde, René começa a trabalhar com fluidos e acaba desenvolvendo vários conceitos envolvendo a dinâmica dos mesmos. É importante observar esse fascínio de Descartes sobre os fluidos, pois é influenciado por estes trabalhos que lhe surge a ideia dos vórtices como explicação para as órbitas dos planetas:

Descartes pega uma questão que havia sido solucionada em termos rigorosamente matemáticos e vai buscar as causas físicas subjacentes do fenômeno. Considera os fluidos como consistindo de corpúsculos microscópicos cujo comportamento físico causa o fenômeno em questão [...]. Na esteira disso, Descartes desenvolve uma série de conceitos de dinâmica rudimentar, sobretudo sua noção de *actio* [...]. Isso é de especial importância porque toda a sua abordagem de problemas cosmológicos, por exemplo, se dá em termos do modo como os fluidos se comportam, já que são fluidos que movem os corpos celestes em torno de suas órbitas (GAUKROGER, 2011, p. 22).

Ao final de 1619, Descartes muda mais uma vez o seu foco de interesse e passa a fazer reflexões a respeito da matemática. Ao estudar os problemas de raciocínio lógico matemático, acaba suspeitando da existência de algo com essência mais fundamental do que a Matemática e a Física, assim, ele nomeia essa disciplina de “*método universal*” e que posteriormente dá origem às “*Regras*”, cujo intuito foi a tentativa de expressar a visão sobre o mundo físico “de tal modo que a verdade ou falsidade fosse imediatamente aparente. Descartes acreditou ter encontrado esse meio de representação através da matemática” (GAUKROGER, 2011, p. 23) e seu pensamento o levou à conclusão de que essa representação era apresentada de alguma maneira universal. Deste modo, o método era uma tentativa de buscar um caminho eficiente para encontrar a verdade sobre os fenômenos. Porém, de acordo com Gaukroger, em algum momento, as regras foram abandonadas juntamente com a confiança de usar a matemática como um modelo de conhecimento. Em seus trabalhos realizados mais a frente, é possível observar que as questões metodológicas estão mais ligadas à Metafísica, Filosofia natural e Epistemologia.

Apesar da presença de uma crença religiosa indiscutível, Descartes se mostra bastante cético sobre a observação dos fenômenos pelos sentidos e à matemática, quando escreve seu livro “*Princípios da Filosofia Natural*”, publicado em 1644. Na primeira parte desse livro, intitulado “*Dos Princípios do Conhecimento Humano*”, é exaltado o primeiro comportamento de dúvida em relação ao mundo:

I. Para examinar a verdade, é necessário, ao menos uma vez no curso de nossa vida, duvidar, o mais possível, de todas as coisas. Como uma vez fomos crianças, e como formamos diversos juízos quanto aos objetos apresentados aos nossos sentidos quando ainda não tínhamos completo uso de nossa razão, há vários preconceitos que nos impedem agora de alcançar o conhecimento da

verdade; e parece impossível para nós libertar-nos deles, a menos que tomemos a iniciativa de duvidar, pelo menos uma vez na vida, de todas as coisas em que pudermos descobrir a mínima suspeita de incerteza. (DESCARTES, 2007, p. 25).

Ele também demonstra a dúvida em relação às coisas sensíveis aos nossos sentidos como visão, olfato, tato etc.:

IV. Por que devemos duvidar das coisas sensíveis? Por conseguinte, uma vez que agora temos o desígnio apenas de nos ocuparmos da investigação da verdade, duvidaremos, em primeiro lugar, se, de todas as coisas que caíram sob a alçada dos nossos sentidos, ou que alguma vez imaginamos, alguma realmente existe, primeiramente, porque pela experiência sabemos que os sentidos por vezes erram, e seria imprudente confiar muito naquilo que já nos enganou, mesmo que só uma vez; em segundo lugar, porque nos sonhos perpetuamente nos parece que percebemos ou imaginamos uma infinidade de objetos que não têm existência. E para aquele que se resolve assim por uma dúvida geral, já não aparecem sinais que lhe faça distinguir com certeza o sonho do estado de vigília. (DESCARTES, 2007, p. 25-26).

Logo em seguida, Descartes defende a dúvida em relação às demonstrações matemáticas, mostrando sua característica de cético em relação ao pensamento humano, porém entra em contradição a respeito de acreditar que ele era um cético radical, pois mostra claramente sua crença em Deus, pois, na visão de Descartes, Deus não fazia parte de uma racionalização humana, logo não podia ser posto em dúvida:

V. Por que podemos duvidar também das demonstrações matemáticas? Também duvidamos de todas as outras coisas que outrora já nos pareceram muito certas, mesmo das demonstrações matemáticas e dos seus princípios, que até o presente consideramos auto-evidentes; em primeiro lugar, porque por vezes vimos homens se equivocarem em tais matérias, e admitirem como absolutamente certas e auto-evidentes o que a nós parecia falso, mas principalmente porque aprendemos que Deus, que nos criou, é todo-poderoso; ora, ainda não sabemos se talvez tenha sido Sua vontade criar-nos de tal maneira a sermos sempre enganados, o que, entretanto, como a observação nos ensina, é autor do nosso ser, e que existimos por nós próprios ou por qualquer outro meio, ainda assim, quanto menos poderosos supusermos tal autor, mais razão teremos para crer que não somos tão perfeitos a ponto de não sermos continuamente enganados. (DESCARTES, 2007, p. 26).

É assim, através da metafísica e de uma epistemologia baseada no ceticismo, que Descartes vai descrever sua visão de mundo e também, para o interesse deste trabalho, a fundamentação religiosa do que mais tarde será conhecido como Princípio da Inércia.

4.2 O PRINCÍPIO DE CONSERVAÇÃO DO MOVIMENTO DE DESCARTES E SUA FUNDAMENTAÇÃO TEOLÓGICA

Antes de chegarmos no aspecto inercial presente nas concepções de movimento de Descartes, é interessante apresentar a negação desse aspecto do movimento dada por Aristóteles

praticamente dois mil anos antes. Para isso, torna-se necessário entender um pouco do mundo aristotélico, que até o século XVII, exercia bastante influência nos pensamentos ligados à filosofia natural.

Em sua totalidade, a física de Aristóteles, realizava uma vasta compreensão dos fenômenos naturais. Por isso, trata-se de uma visão de mundo complexa e que fazia uma ligação bastante profunda com o mundo observável. Nessa perspectiva, a teoria é bastante coerente e implica, para a substituição da mesma, a necessidade de um novo conjunto de concepções que explique a ampla extensão de fenômenos que até então era explicado por Aristóteles.

Como sua teoria está fortemente ligada à sua compreensão dos cosmos, será por essa perspectiva que daremos como ponto de partida. Aristóteles acreditava que o universo sempre existiu, e sempre existirá, sem começo e sem final, que era limitado e que tinha o formato de uma esfera. Esse pensamento de que o universo é esférico se dá pelo fato de acreditar que a esfera é o símbolo geométrico que representa a perfeição divina:

A esfericidade do Céu é, segundo Aristóteles, necessária pois a esfera é a figura mais conforme à sua natureza e substância. Além disso, a esfera é entre todas as figuras (planas e tridimensionais) a mais perfeita, a única limitada por uma só superfície e a única figura que durante a rotação contínua ocupa sempre o mesmo lugar; o que não ocorre com uma figura de linhas retas submetida à rotação. (ARISTÓTELES, De Caelo, II, 4, 286b 10 - 287a1 *apud* ÉVORA, 2005, p. 134).

Para o filósofo, o mundo era dividido em duas partes que compunham materiais diferentes e que regiam leis naturais diferentes: o mundo sublunar e o mundo supralunar, de acordo com a Figura 3. O mundo supralunar é localizado acima da esfera da Lua onde se encontram os planetas e a esfera fixa das estrelas. A matéria ali existente é feita de éter, que seria um quinto elemento, ou quintessência, elemento que transmite a ideia de pureza, imutabilidade, eternidade e incorruptibilidade. O movimento natural presente nessa região é o de rotação dada pelo primeiro motor. Na região sublunar, estavam as coisas que eram passíveis de corrupção, mudança, das coisas que não eram eternas. Os materiais possuíam a essência de quatro elementos: a terra, a água, o ar e o fogo. Dessa maneira, a finalidade do movimento natural dos corpos dependia da essência do material, e ocorria sempre verticalmente. Assim, um objeto derivado do elemento terra solto próximo à Terra, teria uma tendência natural a voltar a seu lugar de origem, ou seja, era o centro do universo. Nessa mesma visão, o fogo tem a tendência de subir aos céus de maneira também vertical, por se tratar de um corpo leve.

Segundo Aristóteles, “tudo que é movido deve ser movido por algo” (ARISTÓTELES, Metafísica, IX, 8 1049 b 27 *apud* ÉVORA, 2005, p. 144). Isso implica que o movimento precisa de uma causa ou agente motor. A respeito do *movimento natural*, a causa motora está relacionada ao lugar natural, que é a finalidade do movimento.

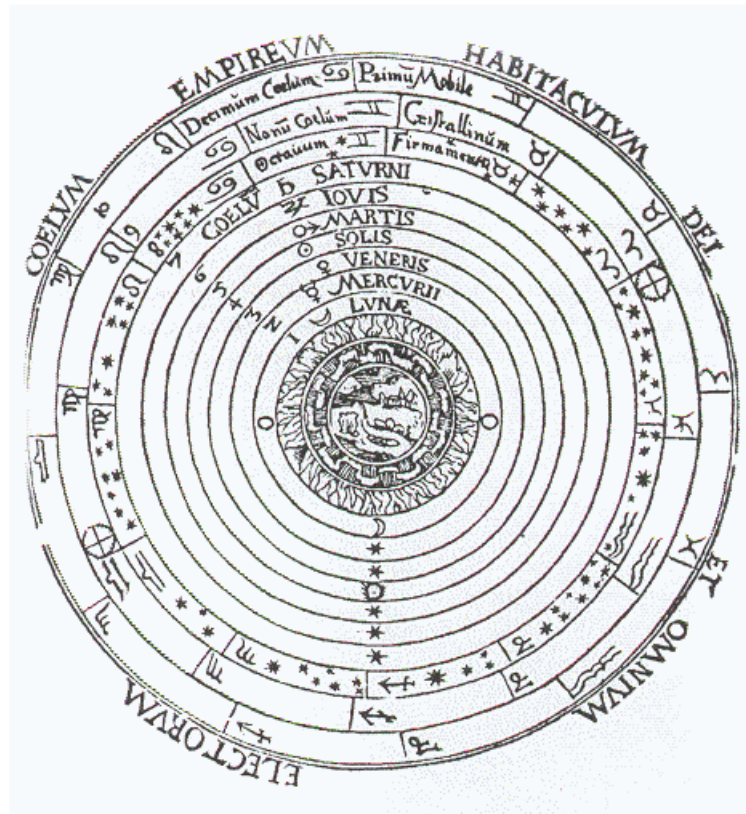


Figura 3: Imagem representativa das regiões supralunar e sublunar de Aristóteles.

Uma flecha que é lançada do arco não corresponde com a explicação de movimento natural, dessa maneira surge uma elucidação para esse fenômeno que foi chamado de *movimento violento ou forçado*. É nessa perspectiva que aparece a negação do aspecto de continuidade do movimento.

Como o movimento precisa de um agente motor, o deslocamento da flecha é explicado pela ideia de *antiperistasis* (substituição recíproca), como ilustra a Figura 4, que consiste no fato de o agente motor ser o ar que é deslocado da ponta da flecha até a parte posterior da mesma e empurra a flecha para frente. Sendo assim, na visão aristotélica, o agente motor é o mesmo agente que atrapalha o movimento.

Sintetizando, o movimento violento ocorre pelo ato de imprimir algo no material que executará o movimento como causa, e se o cessar desse agente motor acontecesse abruptamente, o movimento cessaria instantaneamente fazendo com que o material caísse, a partir desse momento, devido ao movimento natural (PORTO; PORTO, 2009, p. 2). Essa visão demonstra que para Aristóteles a tendência do corpo de continuar em movimento, causado por um ato violento não existe. Daí, vem a negação aristotélica de um corpo tender a continuar seu estado de movimento retilíneo uniforme que é apresentado nas salas de aula.

De acordo com Porto, foi na concepção de *antiperistasis* que a teoria foi fortemente atacada durante o final da Idade Média. O padre Guilherme de Ockham (1285-1347) levantou

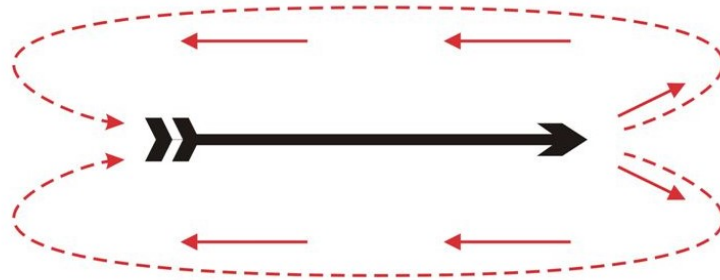


Figura 4: Ilustração do comportamento do agente motor da flecha dentro da concepção de antiperistasis.

uma hipótese bastante simples e de forte impacto que vai contra a ideia de o ar ser o agente motor do móvel:

Segundo Ockham, de fato, a partir do momento em que o lançador perde o contato com o objeto, deixa de ser causa de seu movimento. Para prová-lo bastaria que lembrássemos que, mesmo que o lançador desaparecesse, o movimento não cessaria. Portanto, o movimento do objeto lançado não poderia mais ser atribuído ao lançador. Porém, segundo Ockham, tampouco o ar pode ser o responsável pelo movimento do objeto, com base no seguinte argumento: suponhamos que dois arqueiros disparem cada um deles uma flecha e que essas se cruzem em um dado ponto da atmosfera. Chegaríamos a uma contradição lógica sendo obrigados a concluir que aquela mesma porção de ar, situada naquele ponto, se desloca de duas formas diferentes, impulsionando cada uma das duas flechas de modo distinto. (PORTO, 2009, p. 3)

Outros ataques foram realizados, como o de João Filopono (490-570) e de Jean Buridan (1300-1358), que tiveram papel importante para a queda da teoria de Aristóteles no final do século XVII.

Vimos anteriormente que Descartes, seguia uma conduta duvidosa em relação a várias situações, sendo uma delas sobre as coisas sensíveis aos sentidos. Por isso, a física cartesiana não se baseava na ideia empirista, obtendo vitalidade da racionalização do pensamento e da Metafísica. De modo a não causar confusões, vamos abordar a concepção de Descartes como “*Princípio da Conservação do Movimento*” como explica Martins (MARTINS, 2012, p. 296), uma vez que a palavra inércia é utilizada por Newton, mas não por Descartes. Assim, o filósofo francês introduziu o princípio da conservação do movimento em seu livro publicado em 1644 “*Princípios da Filosofia*”, do mesmo modo que frequentemente nos é apresentado hoje nas aulas de Física Geral, como sendo de autoria de Newton:

XXXVII. A primeira lei da natureza: cada coisa permanece no seu estado se nada o alterar; assim, aquilo que uma vez foi posto em movimento continuará sempre a mover-se. Como Deus não está sujeito a mudanças, agindo sempre da mesma maneira, podemos chegar ao conhecimento de certas regras a que chamo as leis da natureza, e que são as causas segundas, particulares, dos

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

Note que o movimento para Descartes é algo completamente novo à concepção aristotélica. De acordo com Claudio Porto, o movimento natural para o filósofo grego era baseado na finalidade que o material possuía em encontrar seu lugar natural e que cessava quando o fim era alcançado. Para o movimento violento, o deslocamento não continuaria se o agente motor cessasse. Assim, Aristóteles nega o fenômeno que hoje conhecemos por movimento inercial, pois o movimento dependia de um agente motor e se, por algum motivo, esse agente motor fosse impedido de gerar o movimento do corpo, não haveria razão para o corpo continuar a movimentar-se.

Durante a Idade Média, as críticas relacionadas ao movimento violento de Aristóteles incluíram um novo aspecto denominado *impetus* (ímpeto). Essa ideia deixaria de lado a ideia de que o ar poderia ser o agente motor do movimento violento. Agora, a causa do movimento seria dado, pelo ímpeto, um agente interno, intrínseco ao corpo que possuía a capacidade de manter o movimento.

Se a teoria que abrange o movimento dos corpos parecia estar sendo elaborada de maneira linear até aqui, Descartes rompe com essa ideia ao publicar as chamadas leis da natureza. Ele abandona a ideia de que o corpo possui um agente interno que provoca a conservação do movimento. Veremos mais à frente que para o filósofo francês, esse movimento não precisava ser explicado com fundamentações mecânicas, e sim, pela imutabilidade divina. Na primeira lei da natureza, está bastante evidente que, para Descartes, existe uma conservação do movimento, apesar de não falar sobre sua direção (MARTINS, 2012, p. 297). A segunda lei trata de uma complementação à primeira, dando foco à direção do movimento. É interessante notar que seu amigo holandês, Beeckman, exerceu grande influência sobre Descartes e a ideia de conservação de movimento veio desse companheiro ao trocarem cartas sobre o assunto (MARTINS, 2012, p. 298). Os dois acreditavam que a conservação do movimento se dava pela ação divina. Apesar da influência e semelhança nas concepções, havia uma diferença bastante importante entre as duas concepções. A de Beeckman propunha a ideia de que a conservação do movimento existia independentemente do tipo de movimento, dando a ideia de que também serviria para os casos circulares, como o movimento da Terra em torno do Sol

(ARTHUR, 2007, p. 4, 7-8 *apud* MARTINS, 2012, p. 298). Vamos observar que na segunda lei da natureza, Descartes leva em consideração o movimento circular, porém, contraria dizendo que o comportamento dos corpos em relação à sua conservação se dá pelo ato de mover de maneira uniforme e em linha reta:

XXXIX. A segunda lei da natureza: todo corpo que se move tende a continuar o seu movimento em linha reta. A segunda lei que observo na natureza é que cada parte da matéria, considerada em si mesma, nunca tende a continuar o seu movimento em linha curva, mas sim em linha reta, embora muitas destas partes sejam muitas vezes obrigadas a desviar-se porque encontram outras no caminho, e quando um corpo se move toda a matéria é conjuntamente movida e faz sempre um círculo, ou anel (DESCARTES, 2007, p. 78-79).

Descartes então, previa a trajetória de um corpo que saía de um movimento circular, e para explicar a segunda lei, o filósofo francês usa o exemplo uma pedra apoiada na extremidade de uma funda (espécie de arma de arremesso em cujo o centro é colocado o material que se deseja lançar), de acordo com a Figura 5.

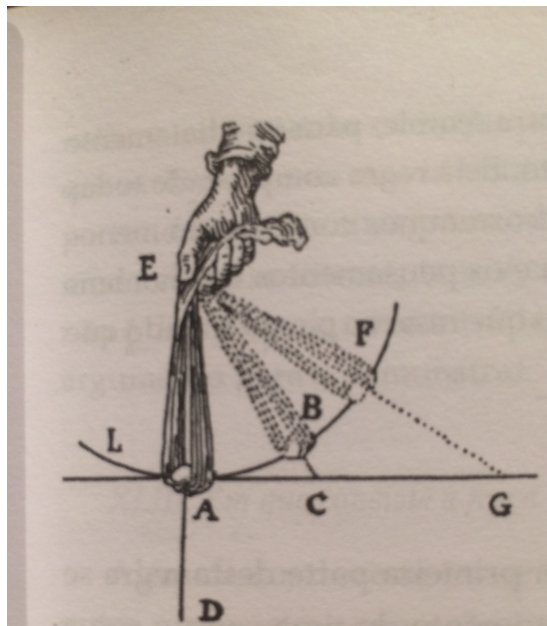


Figura 5: Representação de uma pedra acoplada em uma funda.

Descartes explica que se o objeto estiver descrevendo uma trajetória circular, e por algum motivo sair dessa trajetória, esse movimento se dará por uma reta e de maneira uniforme:

[...] quando a pedra em A gira na funda EA, seguindo o círculo ABF, no preciso momento em que está no ponto A, determina-se a mover-se para qualquer lado, isto é, para e seguindo a reta AC, se supusermos que é essa linha que toca o círculo. Mas não conseguimos imaginar que estivesse determinada a mover-se circularmente pois, apesar de vir de L para A seguindo uma linha curva, não conseguimos conceber que qualquer parte da curvatura possa estar na pedra quando se encontra no ponto A. E já nos certificamos disto por experiência,

pois essa pedra quando sai da funda segue em linha reta para e nunca tende a mover-se para B. O que claramente nos mostra que qualquer corpo que se move circularmente tende constantemente a se afastar-se do centro do círculo que descreve... (DESCARTES, 2007, p. 79).

Um outro aspecto do mundo cartesiano, que já foi comentado anteriormente e que agora abordaremos com mais detalhes, é sua fundamentação teológica. Descartes defende que a tendência de o corpo manter seu estado de movimento é de causa secundária. A causa primária é dada por Deus, o criador do movimento. Para Descartes, Deus deu o sopro inicial que continha o movimento e matéria de todo o universo, e esse movimento irá se conservar eternamente (ROCHA, 2002, p. 92). Assim, Deus influenciou somente no início, e não continuou a interferir no universo, diferentemente do Deus newtoniano que age frequentemente no universo. Assim, os corpos que já possuem movimento colidem entre si causando novos movimentos. Segundo Martins, essa mentalidade a respeito da conservação do movimento se dá pela influência da teologia natural de Aristóteles e Platão. “Esses dois pensadores atribuíram ao céu um movimento circular uniforme cuja causa é Deus. Descartes concluiu que não apenas os movimentos celestes, mas também os sublunares são constantes, pois todos eles provêm de Deus.” (MENN, 1990, p. 227 *apud* MARTINS, 2012, p. 298).

XXXVI. Deus é a primeira causa do movimento e possui a mesma quantidade no universo. Depois de ter examinado a natureza do movimento, é necessário considerar a sua causa. E porque pode ser dupla, começaremos pela primeira e mais universal, a que produz geralmente todos os movimentos do mundo; a seguir consideremos a outra, a particular, que faz com que cada parte da matéria adquira o que antes não tinha. Quanto à primeira, parece-me evidente que só pode ser Deus, cuja onipotência deu origem à matéria com o seu movimento e repouso das duas partes, conservando agora no universo, pelo seu concurso ordinário, tanto movimento e repouso como quando o criou. Com isso, dado que o movimento não é mais do que um modo na matéria que se move, tem por isso uma certa quantidade de que nunca aumenta nem diminui, se bem que em algumas das suas partes uma vez haja mais e outras menos. Por conseguinte, quando uma parte da matéria se move duas vezes mais depressa que a outra – sendo esta duas vezes maior do que a primeira –, devemos pensar que há tanto movimento na menor como na maior, e que sempre que o movimento de uma parte diminui, o da outra aumenta proporcionalmente. Também sabemos que Deus é a perfeição, não só por ser de natureza imutável, mas sobretudo porque age de maneira que nunca muda: e isso é tão verdade que, excetuando os movimentos e as mutações que vemos no mundo – e nos quais acreditamos porque Deus assim os revelou, e sabemos que se manifestam ou são manifestados na natureza sem que se verifique qualquer mudança no Criador –, não devemos imaginar outros nas Suas obras, sob pena de Lhe atribuímos inconstância. Donde segue que Deus, tendo posto as partes da matéria em movimento de diversas maneiras, manteve-as sempre a todas da mesma maneira e com as mesmas leis que Lhe atribuiu ao criá-las e conserva incessantemente nessa matéria uma quantidade igual de movimento. (DESCARTES, 2007, p. 76-77).

De acordo com Claudio Porto, Descartes apresenta uma palavra nova “*status*” para caracterizar o movimento (PORTO, 2009, p. 4601-8). Vamos agora entender um pouco melhor como essa característica é importante para a elaboração do conceito de inércia de Newton.

O conceito de movimento da teoria física de Aristóteles era concebida como um tipo de mudança e para toda mudança era necessária uma causa, atribuída a um agente motor. Posteriormente, com a inclusão do conceito de ímpeto na concepção aristotélica, a causa da conservação do movimento passou a ser explicado pelo próprio ímpeto. Já para Descartes, o movimento não era uma mudança no sentido aristotélico e nem possuía as características intrínsecas do ímpeto, pois não precisava de uma causa, e por isso não precisando de ser explicado.

De acordo com Martins, o movimento cartesiano não se dá por um processo em que o corpo busca uma finalidade, mas sim um estado (COHEN, 1964, p. 132 *apud* MARTINS, 2012, p.299).

Ora, é exatamente e apenas por ser um estado – assim como o repouso – que o movimento pode se conservar e que os corpos podem perseverar em seu movimento sem a necessidade de qualquer força ou causa que os mova, exatamente como persistem em seu repouso. É óbvio que os corpos não poderiam fazer isso enquanto o movimento era considerado como um processo de mudança. (KOYRÉ, 1965, p. 67 *apud* MARTINS, 2012, p. 299).

É justamente inserindo a ideia de estado de movimento que Descartes realiza uma alteração brusca na concepção filosófica de movimento. Resumidamente, ele defende que se o corpo está em movimento retilíneo e uniforme, ele não está sofrendo qualquer tipo de mudança e por isso não possui uma causa (OLIVER, 2001, p. 185 *apud* MARTINS, 2012, p. 299). Somente uma alteração do módulo da velocidade, ou da trajetória inicial do corpo, implicaria em uma mudança, que estaria relacionado a uma causa externa.

Durante a história, houve contestação e resistência a essa caracterização do movimento por se tratar de uma denominação paradoxal. Martins elucida bem a crítica realizada pelo Bispo Horseley (1733-1806), membro da *Royal Society*:

Vamos agora esclarecer o que o bispo Herseley queria dizer. O adjetivo latino *status* significa fixo, estabelecido, indicado; como substantivo, significa uma parada, posição, postura, situação (SMITH; LOCKWOOD, 2000, p. 707). O termo *status* está associado etimologicamente às palavras *stabilis* (estável, firme), *stabilitas* (estabilidade, firmeza, durabilidade), *statio* (estação, parada, ou o ato de ficar parado), *stativus* (ficar parado, estacionário), *statua* (estátua), etc. (SMITH E LOCKWOOD, 2000, p. 705-706). Todas essas palavras transmitem a ideia de repouso, não de movimento. Na Física, o termo *estática* (que também está associado a *status*) significa o estudo do equilíbrio, contrapondo-se ao estudo do movimento. Em muitas obras filosóficas medievais e no período moderno, *status* era considerado sinônimo de *quietis* (repouso), em frases como esta: ‘Natura [est] principium motus e

status seu quietis' (DIONYSIUS, 1644, p. 181). Portanto, o uso da expressão *estado de movimento* (status motus) por Descartes era realmente paradoxal e intrigante. (MARTINS, 2012, p. 300).

Para dar apoio à sua concepção de conservação do movimento, Descartes elabora também um aspecto de relatividade do repouso e do movimento, aspecto esse que será adotado por Newton e que conhecemos hoje como referenciais inerciais. Com a inclusão dessa ideia de relatividade, o corpo em estado de repouso ou movimento não precisa de uma força para manter-se no estado em que se encontra. Desse modo, o estado de movimento se dará pela relação a outros corpos, pois um corpo poderá estar repouso em relação a um segundo, como também em movimento em relação a um terceiro.

Assim, é necessário, para determinar esta posição, observar outros corpos que consideramos imóveis; e, conforme olhamos diferentes corpos, podemos ver que a mesma coisa ao mesmo tempo muda e não muda de lugar. Por exemplo, quando um navio é levado ao mar, é possível dizer que uma pessoa sentada na popa permanece sempre no mesmo lugar, se olhamos para as partes do navio, uma vez que com respeito a elas ele preserva a mesma posição; e, por outro lado, se observar as terras vizinhas, parecerá que a mesma pessoa está continuamente mudando de lugar, visto que está constantemente retrocedendo de uma das terras e se aproximando da outra [...] Mas se, com o tempo, nos persuadirmos de que não há nenhum ponto realmente imóvel no universo, como se mostrará provável pelo que se segue, concluiremos daí que nada tem um lugar permanente, a não ser que o fixemos com o pensamento. (DESCARTES, 2007, p. 65).

Podemos observar então que essa explicação dada acima corrobora com a concepção do estado de movimento cartesiano. Veremos no próximo capítulo, como Newton se deixa ser influenciado pelas concepções de Descartes e quais novidades que ele introduz, como a crença de um referencial absoluto e o caráter ativo e intrínseco da inércia.

No que diz respeito à matéria, Descartes carrega a característica de passividade desde os gregos e da era medieval, denominada como inerte (JAMMER, 1997, p. 31-35 *apud* MARTINS, 2012, p. 302). A ideia de passividade da matéria quer dizer que um corpo não tem a capacidade de se mover sozinho. Assim, um corpo jamais conseguirá alterar seu movimento por ele próprio:

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

Como é possível observar, a concepção que carrega a ideia de conservação do movimento de Descartes é bastante complexa e com aspectos originais. Também podemos compreender que, apesar das inovações na maneira de pensar, a nova concepção ainda possui grandes influências do passado, como a de seu amigo Beeckman.

Infelizmente, essa relação de como o pensador elaborou seu princípio ou as leis da natureza que se relacionam com o movimento não é abordado em nenhum momento da graduação. Veremos mais à frente que, a maneira como é apresentado o Princípio da Inércia nos livros-textos de hoje é, na verdade muito mais parecida com as ideias de Descartes do que com o pensamento original newtoniano (MARTINS, 2012, p. 304).

5 NEWTON

5.1 ASPECTOS BIOGRÁFICOS DE NEWTON

Os dados biográficos aqui apresentados foram retirados, em partes, da biografia escrita por Richard Westfall, e pela dissertação de mestrado *Aspectos Epistemológicos da Mecânica de Newton* escrita por Idely Garcia Rodrigues.

No Natal de 1642, na aldeia de Woolsthorpe localizada no condado Lincolnshire, Inglaterra, nasceu Isaac Newton, prematuro e “tão pequeno que ninguém esperava que sobrevivesse” (WESTFALL, 1995, p. 7). A família Newton vinha de uma trajetória pouco instruída, porém deu condições financeiras bastante elevadas ao futuro físico, que as usou em favor de sua formação durante a vida. Logo no começo de sua infância, aos dois anos, por ser órfão de pai, as circunstâncias levaram-no a ganhar um padrasto quando sua mãe, Hannah Ayscough Newton, casou-se com o pastor protestante Barnabas Smith, que não acolheu o menino, deixando-o então, na casa da avó até, praticamente, o início da adolescência. Sobre a infância de Newton, Westfall escreve:

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

Após a morte do padrasto e a volta da mãe para Woolsthorpe, Newton, com doze anos, começou a frequentar a escola de Grantham, onde ficou hospedado na casa do boticário, sr. Clark, que lhe emprestou os primeiros materiais de matemática e física. Próximo dos dezessete anos, Newton foi obrigado a voltar e aprender a trabalhar na propriedade rural da família. De acordo com Rodrigues, o garoto tinha uma insatisfação muito grande em relação aos trabalhos rurais e acabava por criar brinquedos e modelos de rodas hidráulicas (RODRIGUES, 1988, p. 43).

Foi seu tio, por parte de mãe, que reconheceu essa inquietação provocada pelos trabalhos na propriedade da família e que influenciou a mãe de Newton a reconhecer seu interesse. Assim, Newton voltou aos estudos em Grantham, durante dois anos.

Quando entrou no Trinity College em Cambridge, no ano de 1661, a filosofia que influenciava o colégio era decorrente dos pensadores René Descartes (1596-1650), Francis Bacon (1561-1626), Robert Boyle (1627-1691) e Henry More (1614-1687). Newton estudou matemática, física, óptica, geometria cartesiana e aritmética dos infinitos de Wallis. “Em 1665 obteve seu primeiro título acadêmico, o mesmo ano em que Hooke publicou sua ‘Micrographia’” (RODRIGUES, 1988, p. 44). Entre os anos de 1665-1666, a peste bubônica entrou em situação epidêmica e Newton voltou à Woolsthorpe que, durante os próximos dois

anos, vivendo na fazenda, estabeleceu os pilares fundamentais das teorias que viriam a ser reconhecidas posteriormente como o cálculo, a gravitação universal e a teoria da luz e das cores, além de iniciar o estudo hermético da alquimia.

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

Esse é o período em que, supostamente, Newton criou sua física mecânica e o cálculo infinitesimal. Essa época ficou conhecido como *annus mirabilis* (anos miraculosos) e na verdade, o que Newton elaborou nesse momento, foi uma base bem consolidada que abrangia vários temas. Porém, é de interesse dizer que antes do seu êxodo para a fazenda de sua família, Newton já havia adquirido conhecimento das concepções filosóficas de vários autores mais antigos e mais modernos. Assim, Newton não criou do nada suas teorias e é importante mostrar uma contextualização que mostre a dedicação e comprometimento do físico em busca de conhecimento ao invés de somente sua genialidade.

Um exemplo dessa curiosidade sem limites, é quando Newton fica muito interessado pelo Sol, que observava sem nenhuma proteção. Essa postura quase o levou à cegueira:

Depois disso, Newton deixou o Sol em paz, mas não os olhos. Mais ou menos um ano depois, quando estava elaborando sua teoria das cores, enfiou um estilete ‘entre meu olho e o osso, até o mais próximo da parte posterior do olho quanto pude chegar’, afim de alterar a curvatura da retina e observar os círculos coloridos que surgiam, à medida que ele fazia pressão. Como ele não ficou cego? Dominado pela ânsia da descoberta, Newton não parava para avaliar o preço a pagar. (WESTFALL, 1995, p. 29).

Pouco tempo depois dos *annus mirabilis*, Newton foi nomeado, por Isaac Barrow (1630-1677), em 1669, como titular da Lucasian Chair¹ de matemática após seu retorno a Cambridge. Três anos depois, começou o embate com Hooke quando Newton tentou entrar para a Royal Society com seus trabalhos relacionados à óptica. Essa briga entre os dois pensadores foi prolongada, durando muitos anos, havendo até uma acusação de Hooke dizendo que Newton teria cometido plágio envolvendo Leibniz e o cálculo diferencial. É nessa época que surge uma expressão famosa que é dada como sendo de Newton, “Aquilo que Des-Cartes [sic] fez foi um bom passo. Você adicionou muito, de vários modos, e especialmente tomando para considerações filosóficas as cores de lâminas. Se eu vi mais longe, foi por estar sobre ombros de gigantes” – carta de Newton para Hooke, 5 de fevereiro de 1676 (TURNBULL, 1959, p. 416 *apud* MARTINS, 2012, p. 295). Segundo Martins, a expressão foi na verdade, muito utilizada

¹Tradução: Professor Lucasiano; termo que se dá a quem ocupa uma cadeira professoral de matemática da Universidade de Cambridge, na Inglaterra.

na Idade Medieval e já tinha sido empregada na Antiguidade. O fato é que Newton, talvez, tenha usado essa expressão de maneira irônica, uma vez que seu relacionamento com Hooke era de desrespeito. Isso mostra um detalhe importante, que Newton era culto, tinha estudado muito dos textos antigos, tanto na área de filosofia da natureza quanto em teologia. Mais à frente, veremos a importância da influência, principalmente do ímpeto e das concepções cartesianas para a elaboração da inércia de Newton.

Newton não se dedicou somente ao estudo de física e matemática, mas também a textos religiosos, alquimia, ocultismo e história. Durante a vida “Newton se apresenta muitas vezes como arrogante, vingativo, competitivo e instável, ao mesmo tempo retraído e compenetrado” (RODRIGUES, 1988, p. 51).

De acordo com Rodrigues, a alquimia era uma ciência que misturava fé com o estudo baseado na reprodução laboratorial no que se refere aos metais encontrados na natureza. Uma característica presente nessa ciência era o fato de que os metais eram tratados como seres vivos que possuíam fases como o nascer e o desenvolver.

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

É importante entender um pouco do surgimento da alquimia na história, pois esse detalhe acabou influenciando na concepção filosófica de propriedade ativa que a Lei da Inércia de Newton carrega consigo.

A base da alquimia é baseada em três tipos diferentes, a alexandrina ou helenística, a chinesa e a árabe. A alquimia helenística possui três fases e seu auge é dado no final do século III d.C. Sua formação esteve ligada aos gregos, como os estoicos e neopitagóricos. Para este trabalho, o enfoque alquímico deve ser dado às datas que a prática é realizada e sua característica mística e de tratamento da matéria (metais) como ser vivo que consiste na mixagem através da magia e astrologia. A alquimia chinesa, aparentemente, tem uma origem independente das outras e uma relação com o equilíbrio do Taoísmo, “a busca do equilíbrio do indivíduo com o todo”. Contudo, a alquimia chinesa é interrompida por um caráter social e cultural no século X. A composição da alquimia árabe se dá pela junção da helenística e chinesa que foi recebida e inovada pelos árabes. É a partir do crescimento e do interesse na alquimia árabe que a Europa, assim como Newton, adquire contato com a prática (RODRIGUES, 1988, p. 25-38).

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

5.2 LEI DA INÉRCIA DE NEWTON E SEU PRINCÍPIO ATIVO DA MATÉRIA

Até agora vimos como o conceito de continuidade do movimento foi elaborada por Descartes, a inclusão da característica *status*, sua fundamentação teológica e a característica de relatividade do movimento. E fazendo uma análise cuidadosa, torna-se evidente a presença das concepções cartesianas em sua primeira lei da mecânica. Embora existam semelhança, veremos como a ideia newtoniana sobre o movimento se diferencia da concepção de seu antecessor.

A primeira obra de Newton, intitulada *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*, foi publicada pela primeira vez no ano de 1687 em latim. Nesta obra podemos encontrar a enunciação da primeira lei:

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

À primeira vista, poderíamos dizer que a Primeira Lei de Newton é praticamente idêntica às duas leis da natureza de Descartes, mas, existe sim uma pequenas diferenças que alteram a essência dos enunciados. A semelhança se dá no fato de que Newton se inspirou de maneira muito intensa nas concepções cartesianas. De acordo com Martins, Newton estudou os “*Philosophiae principia*” no ano de 1664. Um ano depois, “o jovem estudante preencheu mais de dez páginas do caderno de anotações [...] com seus pensamentos a respeito das leis do movimento, tomando como ponto de partida, as *leis da natureza* cartesiana.

Analisando com mais cuidado, notamos que Newton carrega em sua primeira lei a concepção de estado do movimento elaborada por Descartes e presente em ambas as leis. Além disso, a concepção newtoniana sofre influência de um aspecto de ímpeto medieval que foi elaborada por Jean Buridan que defende a existência de uma força interna que faz com que o movimento se mantenha. O ímpeto era a explicação dada para o comportamento de continuidade do movimento. Ele tinha um caráter interno, intrínseco ao corpo, e que agia de maneira causal em relação ao movimento. E a ideia de força interna de Newton se baseava nessas características:

E mesmo depois de adotar as ideias de Descartes, Newton continuou a pensar sobre uma força interna nos corpos, aparentemente sem perceber que isso era incompatível com a conceituação de Descartes. (MARTINS, 2012, p. 294).

Um outro fato curioso é que Newton utiliza-se da mesma expressão, ao falar da força inata da matéria, que Descartes usa em seu livro: “*quantum in se est*” (tanto quanto lhe é possível). De acordo com o estudo realizado por Martins, essa expressão era amplamente utilizada no século XVII, mas que é muito provável ter sido copiada de Descartes. (MARTINS, 2012, p. 295).

Newton também adotou a relatividade do repouso e do movimento estabelecido por Descartes. Essa ideia relacionada aos referenciais acaba sendo fundamental para sustentar a concepção newtoniana que aparece em sua definição de inércia. Contudo, mesmo que Newton utilize as ideias cartesianas, no que diz respeito à relatividade do movimento dos corpos, a nova concepção não é idêntica e tem um aspecto que também não é comentado durante a graduação em física. Na perspectiva newtoniana, nasce a ideia de espaço e movimento absoluto (MARTINS, 2012, p. 301). Esse espaço absoluto seria um referencial perfeito que sempre estaria em repouso em relação às coisas do universo. Essa concepção tem uma forte relação metafísica e está relacionada com a presença de um Deus newtoniano:

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

Mesmo não sendo o foco do trabalho aqui presente, é válido comentar que essa concepção de espaço absoluto foi bastante criticada por pensadores, tais como Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) e George Berkeley (1685-1753), culminando com o aparecimento do Princípio de Mach no final do século XIX, que consiste em uma negação da ideia de interação entre espaço e matéria usado como explicação para forças que surgem no experimento do balde citado por Newton no começo do livro I dos *Principia*.² Porém, isso é uma discussão que nos levaria à Segunda Lei de Newton, entretanto nosso foco neste trabalho está na primeira.

Diferentemente do Deus de Descartes, o Deus newtoniano se mantém “presente” após a criação do universo, ou seja, age sobre os corpos presentes no universo de maneira constante. Martins explica que isso colabora com a aceitação do espaço absoluto e completa:

Como a concepção de movimento de Newton é completamente diferente da de Descartes, poderia haver uma diferença dinâmica entre repouso e movimento. Em princípio, poderia existir inércia no sentido de uma resistência ao movimento, sem uma tendência correspondente de manter o movimento dos corpos. Por isso, ao contrário de Descartes, Newton precisava de uma

²Os *Principia* são compostos de três livros: I - *De motu corporum* - Sobre o movimento dos corpos; II - *De motu corporum* - Sobre o movimento dos corpos (continuação); III - *De mundi systemate* - Sobre o sistema do Mundo.

explicação para o movimento uniforme dos corpos que não estão sujeitos a forças externas. E foi por isso, que ele continuou a manter, em seu pensamento dinâmico, um conceito semelhante ao do ímpeto, atribuindo poderes ativos à matéria e interpretando a inércia como uma força interna. (MARTINS, 2012, p. 302).

Relembrando um pouco da influência que Newton tinha da alquimia e do neoplatonismo, a matéria, para Newton, possuía propriedades internas denominadas de princípios ativos ou força inata da matéria e que eram decorrentes de uma manifestação do próprio Deus (MARTINS, 2012, p. 303). Isso é a própria definição da concepção inercial de que o corpo possui algo interno que resiste à mudança de movimento:

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

Assim, mais um aspecto que se diferencia da concepção de movimento cartesiano é a de força inata da matéria newtoniana. Com isso, é possível perceber a grande dificuldade e complexidade com que foi estabelecido o Princípio da Inércia da maneira que conhecemos hoje. Partindo de Aristóteles, atravessando vários outros que contribuíram com a queda da visão aristotélica, a quebra da linha de raciocínio por Descartes, até chegarmos, à enunciação de Newton.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As aulas abordam o assunto de inércia como sendo a primeira lei de Newton, porém, não são apresentadas suas especificidades, nem mesmo o que caracteriza a própria lei. É posto de lado a força inata da matéria (ímpeto), os movimentos e espaços absolutos, além das influências que levaram Newton a chegar a este modelo teórico. Esse tema se mostra de difícil compreensãor sem a utilização da História da Ciência e ou a Metafísica levada em consideração pelos pensadores.

O trabalho aqui realizado tenta mostrar o motivo de a História da Ciência ser tão importante para a conceituação da lei inercial. Por este tema se tratar de uma composição composta por uma mistura de conceitos metafísicos e abstrações, acredito que uma abordagem que inclua as causas da conservação ou a fundamentação da não necessidade de explicação do movimento proveniente de Deus dada pelos pensadores, pode ser bastante benéfica aos alunos no quesito de estímulo ao conhecimento, como também favorecerá a uma melhor compreensão do fenômeno.

Embora a discussão sobre a inclusão da História da Ciência tem convencido físicos e pensadores durante a história, é só recentemente que a ciência também é estudada de forma histórica, e que carrega consigo a ideia de que é muito mais do que contas matemáticas e raciocínio lógico, ainda que haja muita resistência para uma nova abordagem, para uma nova maneira de pensar.

Precisamos mudar esse contexto de limitar a aprendizagem no curso de física, e nas ciências em geral, utilizando somente a aula tradicional repleta de definições sem sentido e exercícios descontextualizados. Com uma elaborada prática pedagógica envolvente, é possível desmistificar assuntos como a inércia analisada neste trabalho e diminuir o número de concepções equivocadas que constantemente estão sendo transferidas. Isso não quer dizer que deve-se realizar uma abordagem histórica em todo e qualquer conteúdo de maneira tão aprofundada. Mas, é importante dizer que em algum momento, o uso dessa prática pode tornar o aprendizado do aluno mais efetivo e estimulante. Também é importante desenvolver estudos sobre metodologias de aplicação da História da Ciência para que esse procedimento se torne cada vez mais proveitoso.

Mesmo que o professor não costume aplicar esse conhecimento em suas aulas, é importante ter conhecimento sobre ele, ter contato com o assunto, pois ele pode ser um diferencial quando se estiver próximo a um aluno que sempre possui concepções prévias, espontâneas, de pensadores antigos, como por exemplo os da era medieval que acreditavam na ideia de ímpeto. Com isso em mente, o professor estará apto a fazer um “link” entre o conhecimento antigo e o mais moderno, podendo deixar o aluno em um estágio de conflito

com suas próprias ideias, causando uma maior maturidade do conceito, atravessando estágios da mesma maneira que já tenha sido atravessado no passado.

REFERÊNCIAS

- ARTHUR, Richard. Beeckman, Descartes and the force of motion. *Journal of the History of Philosophy*, 45, p. 1-28, 2007.
- ASSIS, André Koch Torres. *Uma Nova Física*. São Paulo, SP: Perspectiva, 1999.
- BARTELMÉBS, Roberta Chiesa. *Psicogênese e História das Ciências: Elementos para uma Epistemologia Construtiva*. *Revista Ensaio*, Belo Horizonte, v. 16, n. 2, p. 147-165, maio-ago, 2014.
- BATISTA, Irinéa de Lourdes Batista. *A Concepção Física de Espaço e o Ensino da Mecânica*. Dissertação de Mestrado em Ensino de Ciências - Modalidade Física. São Paulo, SP. Universidade de São Paulo. Instituto de Física, 1993. Orientadora: Prof^a Dr^a Maria Regina Dubeux Kawamura.
- BONJORNO, Eduardo Prado; CLINTON, Casemiro. *Física: Eletromagnetismo, Física Moderna*. Vol. 3, 3. ed-São Paulo: FTD, 2016.
- BRUSH, Stephen G. Should the History of Science Be Rated X?. *Science*, New Series, v. 183, n. 4130, p. 1164-1172, Mar. 22, 1974.
- CARVALHO, Anna Maria Pessoa. *Física: Proposta para um Ensino Construtivista*. São Paulo: EPU, 1989.
- COHEN, Isaac Bernard. “Quantum in se est”: Newton’s concept of inertia in relation to Descartes and Lucretius. *Notes and Records of the Royal Society of London*, v. 19, p. 131-155, 1964.
- DESCARTES, René. *Princípios da Filosofia*. 2ª edição, São Paulo, SP: RIDEEL, 2007. Tradução: Ana Cotrim e Heloisa da Graça Burati.
- EINSTEIN, Albert. *Notas autobiográficas*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1982.
- ÉVORA, Fátima Regina Rodrigues. *Natureza e Movimento: um estudo da física e da cosmologia aristotélicas*. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, série 3, v. 15, n. 1, p. 131, jan.-jun. 2005.
- FEYERABEND, Paul, *Contra o método*. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1985.
- FEYNMAN, Richard Phillips. (1985): *Surely You’re Joking, Mr. Feynman!: Adventures of a Curious Character*. 1997.
- FEYNMAN, Richard Phillips.: *O Senhor está Brincando, Sr. Feynman!: As Estranhas Aventuras de um Físico Excêntrico*, Rio de Janeiro, RJ, Editora Campus, 2006.
- GAUKROGER, Stephen. *Vida e Obra*. In: BROUGHTON, Janet; CARRIERO, John. *Explorando Grandes Autores: Descartes*. Porto Alegre, RS. p. 20-32, 2011.
- HALLIDAY, David; RESNICK Robert; KRANE Kenneth S., *Física I*. v. 1, 5ª edição, LTC, Rio de Janeiro, RJ. 2003.
- JAMMER, Max. *Concepts of mass in classical and modern physics*. New York: Dover, 1997.

- KOYRÉ, Alexandre. *Newtonian studies*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1965.
- KUHN, Thomas S., *A função do dogma na investigação científica*. In: DEUS, J.D., *A crítica da ciência: sociologia e ideologia da ciência*. Rio de Janeiro, Zahar, 1974, p. 49.
- MACH, Ernst.: 1883/1960, *The Science of Mechanics*, Open Court Publishing Company, LaSalle IL.
- MARTINS, Roberto de Andrade. *A maçã de Newton: História, Lendas e Tolices*, p. 167-189. In: SILVA, Cibelle Celestino (ed.). *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino*. São Paulo: Livraria da Física, 2006.
- MARTINS, Roberto de Andrade. *Introdução. A história das ciências e seus usos na educação*. p. xxi-xxxiv, In: SILVA, Cibelle Celestino (ed.). *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino*. São Paulo: Livraria da Física, 2006.
- MARTINS, Roberto de Andrade. *Estado de Repouso e Estado de Movimento: Uma Evolução Conceitual de Descartes*. Pp. 291-308. In: PEDUZZI, Luiz; MARTINS, André Ferrer; FERREIRA, Juliana (eds.). *Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino*. Natal, RN. Editora da Ufrn. p. 291-308, 2012.
- MATTHEWS, Michael R. *História, Filosofia e Ensino de Ciências: A Tendência Atual de Reaproximação, Science & Education*, p. 11-47, 1992. Departamento de Educação, Universidade de Auckland, Nova Zelândia. Tradução: Claudia Mesquita de Andrade.
- MAZUR, Eric. CROUCH, Catherine H. *Peer Instruction: Ten years of experience and results*. *American Journal of Physics*, v. 69, p. 970-977, 2001.
- MENN, Stephen. *Descartes and some predecessors on the divine conservation of motion*. *Synthese*, v. 83, p. 215-238, 1990.
- NEVES, Marcos Cesar Danhoni. *A História da Ciência no Ensino de Física*. Pp. 73 - 81, in: *Revista Ciência & Educação*, p.77-81, 1998.
- NEWTON, Isaac. *Principia: Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*. Livro I. Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo: 2ª edição, 2ª reimpressão, 2012.
- NUSSENZVEIG, H. Moysés. *Curso de Física Básica: Mecânica*. São Paulo: Edgard Blücher, 2002.
- OLIVER, Simon. *Motion according to Aquinas and Newton*. *Modern Theology*, v. 17, p. 163-199, 2001.
- PAIS, A. *“Sutil é o Senhor ...”: a ciência e a vida de Albert Einstein*. Rio de Janeiro, Nova Fronteira, 1995.
- POPPER, Karl Raimund. *A lógica da pesquisa científica*. São Paulo: Cultrix, 2007.
- POPPER, Karl Raimund. *Conhecimento objetivo*. São Paulo: EDUSP, 1975.
- PORTO, Cláudio Maia; PORTO, Maria Beatriz Dias da Silva Maia. *Galileu, Descartes e a elaboração do princípio da inércia*. *História da Física e Ciências afins. Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 31, n. 4, p. 4601 - 4601-10, 2009.

ROCHA, José Fernando M. (org.). *Origens e Evolução das Ideias da Física*. Salvador, EDUFBA, 2002.

RODRIGUES, Idely Garcia. *Aspectos Epistemológicos da Mecânica de Newton: Novas Formas de Compreensão dos Conceitos*. Dissertação (Mestrado). Instituto de Física e à Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. Área de Ensino de Ciências - Modalidade Física. São Paulo - SP, 1988.

RONAN, Colin Alistair. *História Ilustrada da Ciência da Universidade de Cambridge*, v. 1: *Das Origens à Grécia*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar ed., 2001.

SEARS, Francis Weston; ZEMANSKY, Mark Waldo; YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. 12ª edição. São Paulo, SP: Pearson Addison Wesley, 2008-2009 v. 1.

SIEGEL, Harvey. On the distortion of the history of science in science education. *Science Education* 63: 111–18, 1979.

SILVEIRA, Fernando Lang; OSTERMANN, Fernanda. *A Insustentabilidade da Proposta Indutivista de “Descobrir a Lei a Partir de Resultados Experimentais”*. In: Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v. 19, n. especial, p. 7-27, Jun. 2002.

TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene. *Física para Cientistas e Engenheiros*, 6ª edição, v. 1, Rio de Janeiro, RJ, LTC, 2009.

TURNBULL, Herbert W. *The correspondence of Isaac Newton*. v. 1, 1661-1675. Cambridge: University Press, 1959.

VESALIO, Andrea. *De corporis humani fabrica*, 1543. In: ROSSI, P., *Os Filósofos e as Máquinas*. São Paulo: Cia. das Letras, 1989, p.25-26.

WESTFALL, Richard S.. *A vida de Isaac Newton*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1995.

ANEXO A

PERGUNTAS PARA ENTREVISTA

Sobre o assunto de inércia no primeiro ano do ensino superior:

-Professor(a), primeiramente gostaria que o senhor(a) se apresentasse, contasse um pouquinho do seu trabalho aqui na universidade, há quanto tempo trabalha, que parte do trabalho o senhor(a) considera que agrada mais, etc...

-Professor, eu estou na área de ensino de física e uma das tendências é discussão sobre a inserção da História da Ciência no Ensino de Física. O senhor acha importante essa aproximação? Já utilizou a História da Ciência para explicar algum conceito?

-A primeira Lei de Newton também é conhecida como princípio da Inércia. Como o(a) senhor(a) costuma abordar esse assunto?

-Costuma-se dizer que as Leis de Newton são válidas apenas em referenciais inerciais. Como o senhor aborda essa questão?

-Repouso/MRU em relação a quê?)

-Em relação às forças fictícias, o que vem a ser? E qual a origem disso? Por que o(a) senhor(a) acha que tem esse nome?

-O(a) senhor(a) costuma apresentar a diferença entre os conceitos de massa inercial e massa gravitacional?

-Mas, para o Newton, massa inercial não seria uma espécie de propriedade intrínseca da matéria?

-Professor, no livro do Moisés, ele fala do experimento do balde de Newton. O(A) senhor(a) chega a comentar sobre esse experimento?

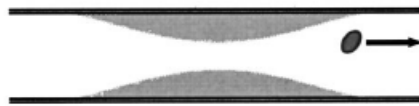
Comentar sobre o Princípio de Mach e o espaço absoluto: "Newton acreditou inicialmente que as estrelas e galáxias do universo interagiam com a matéria. Dentro dessa visão, Newton integra a casca esférica para tentar identificar matematicamente a interação do restante do universo. Porém, sua conclusão é de que a força resultante do restante do universo em um corpo terrestre era nula e aí então, acaba surgindo o conceito abstrato de espaço absoluto para servir como explicação ao experimento do balde e ao experimento dos globos girantes ligados por uma corda. Ernst Mach acaba criticando a ideia de espaço absoluto e continua adepto da concepção de interação de matéria com matéria levando à ideia do que posteriormente ficou conhecido por Princípio de Mach."

-Por ser um conhecimento muito específico e muitas vezes esquecido, é muito comum as pessoas, mesmo no meio acadêmico, nunca terem ouvido falar sobre esse tal Princípio de Mach. O(A) senhor(a) já ouviu falar ou tem conhecimento sobre esse Princípio? O senhor pode me falar um pouquinho sobre ele?

-A metafísica aborda conceitos que não podem ser verificados experimentalmente, mas os cientistas costumam pensar nela para desenvolver suas ideias. Newton mesmo, fala que surgem forças centrífugas no experimento do balde por ele estar girando em relação ao espaço absoluto (conceito metafísico criticado posteriormente por Mach). Dentro desse contexto, o(a) senhor(a) acredita que a abordagem da metafísica seja importante para a produção de conhecimento científico e/ou para o Ensino de Ciências?

ANEXO B**CONCEPTEST**

A blood platelet drifts along with the flow of blood through an artery that is partially blocked by deposits.



As the platelet moves from the narrow region to the wider region, its speed

1. increases.
2. remains the same.
3. decreases.

ANEXO C

GRÁFICO/LEGENDA - PEER INSTRUCTION

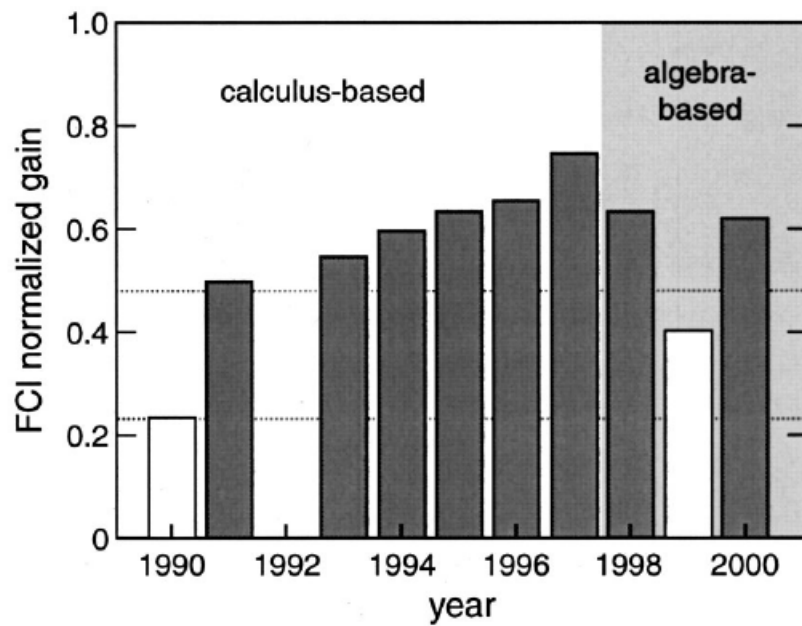


Fig. 2. Average Force Concept Inventory (Ref. 12) normalized gain $\langle g \rangle$ [Eq. (1)] for introductory calculus-based physics, Harvard University, Fall 1990–Fall 1997 (no data available for 1992), and for introductory algebra-based physics, Harvard University, Fall 1998–Fall 2000. Open bars indicate traditionally taught courses and filled bars indicate courses taught with PI. Dotted lines correspond to $\langle g \rangle = 0.23$, the typical gain for a traditionally taught course, and $\langle g \rangle = 0.48$, the typical gain for an interactive course (Hake–Ref. 1). The average pretest and posttest scores are provided in Table I.