

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

**RENATA DA SILVA TRINTIN**

**ANÁLISE DO CONCEITO DE FORÇA NOS LIVROS DIDÁTICOS DE FÍSICA DO  
ENSINO MÉDIO SOB À LUZ DE BACHELARD**

**MARINGÁ  
2018**

RENATA DA SILVA TRINTIN

**ANÁLISE DO CONCEITO DE FORÇA NOS LIVROS DIDÁTICOS DE FÍSICA DO  
ENSINO MÉDIO SOB À LUZ DE BACHELARD**

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

Área de concentração: Ensino de Ciências e Matemática

Linha de Pesquisa: História, Epistemologia e Ética da Ciência.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Carvalhais Gomes

MARINGÁ  
2018

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

T833a Trintin, Renata da Silva  
Análise do conceito de força nos livros didáticos de física do ensino médio sob à luz de Bachelard / Renata da Silva Trintin. -- Maringá, 2018.  
143 f. : il., color., figs., quadros.

Orientador(a): Prof. Dr. Luciano Carvalhais Gomes.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e a Matemática - Área de Concentração: Ensino de Ciências e Matemática, 2018.

1. Ensino de física. 2. Força (mecânica). 3. Bachelard. I. Gomes, Luciano Carvalhais, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e a Matemática - Área de Concentração: Ensino de Ciências e Matemática. III. Título.

CDD 21.ed. 530.7

AHS-CRB-9/1065

**RENATA DA SILVA TRINTIN**

**Análise do conceito de força nos livros didáticos de Física do  
Ensino Médio sob à luz de Bachelard**

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

**BANCA EXAMINADORA**



---

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



---

Prof. Dr. Sérgio Camargo  
Universidade Federal do Paraná – UFPR



---

Prof. Dr. Marcelo Pimentel da Silveira  
Universidade Estadual de Maringá – UEM

Maringá, 16 de Março de 2018.

Diante do real, aquilo que cremos saber com  
clareza ofusca o que deveríamos saber.

(Gaston Bachelard)

Dedico este trabalho a minha mãe, Sandra, por todo esforço, incentivo e paciência, e ao João Paulo pela companhia e pelas discussões.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais, em específico minha mãe, pelo suporte e imensurável apoio. Ao João Paulo, por tudo que me ensinou e continua ensinando. Ao orientador Luciano Carvalhais pelo incontestável arcabouço de conhecimentos. Aos meus amigos Douglas, Nathaly, Alisson, Getúlio e Eric, pelas discussões ricas e pelas conversas “jogadas ao vento”. Aos professores Breno, Gardelli, Jani, Luciene e Danhoni, por suas falas, as quais me auxiliaram na formação como cientista e como pessoa. À banca, por ter aceitado o convite e por suas contribuições inestimáveis. À CAPES e a Fundação Araucária pelo apoio financeiro.

## RESUMO

O objetivo principal desta pesquisa é analisar como o perfil epistemológico do conceito de força se desenvolveu ao longo da história da Física e verificar quais os perfis estão representados nos livros didáticos de Física do Ensino Médio. Além disso, analisaremos os obstáculos epistemológicos presentes nesses livros que prejudicam o avanço da compreensão do conceito de força para um perfil epistemológico superior. Os livros foram selecionados a partir da lista do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) de Física (2018). Como referencial teórico nos apoiamos em referências primárias e secundárias sobre o conceito de força e nas obras epistemológicas de Gaston Bachelard. Encontramos quatro perfis do conceito de força ao longo da história da Física: Realista, Empirista, Racionalista Clássico e Racionalista Completo. Nos livros didáticos percebemos que é ínfima a quantidade de palavras que se enquadram no perfil Empirista. Dentre os obstáculos epistemológicos encontrados, destacamos: Conhecimento Unitário e Pragmático, Substancialista e Animista. Há extenso uso de metáforas que se enquadram nos dois últimos obstáculos citados e que resulta em altos níveis do perfil Realista em todos os livros.

**Palavras-chave:** Ensino de Física, força (mecânica), Bachelard.

## ABSTRACT

The main objective of this research is to analyze how the epistemological profile of the concept of force has developed throughout the history of Physics and to verify which epistemological profile is represented in the didactic books of High School Physics. In addition, we will analyze the epistemological obstacles present in these books that hinder the advance of the understanding of the concept of force to a higher epistemological profile. The books were selected from the list of the National Program of Didactic Book (PNLD) of Physics (2018). As a theoretical reference we rely on primary and secondary references on the concept of force and the epistemological works of Gaston Bachelard. We find four profiles of the concept of force throughout the history of Physics: Realist, Empirist, Classic Rationalist, and Full Rationalist. In the textbooks we realize that the number of words that fit the Empirist profile is very small. Among the epistemological obstacles encountered, we highlight: Unitary and Pragmatic Knowledge, Substantialist and Animist. There is extensive use of metaphors that fall into the last two obstacles cited and results in high levels of the Realistic profile in all books.

**Keywords:** Teaching Physics, force (mechanical), Bachelard.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Perfil epistemológico referente à noção de massa de Bachelard. ....	42
<b>Figura 2</b> – Representação dos quatro elementos e suas propriedades dispostas segundo as suas relações. ....	61
<b>Figura 3</b> – Representação mostrando o ar que foi empurrado pela flecha como sendo a causa do seu movimento.....	62
<b>Figura 4</b> – Representação de um lançamento vertical para cima: em (a), suas respectivas forças são indicadas nos pontos 1, 2, 3 e 4; e, em (b), o projétil está descendo e suas forças estão apresentadas nos pontos 4, 5, 6 e 7.....	66
<b>Figura 5</b> – Representação de um lançamento horizontal segundo Avicena no qual a seta indica o sentido que o projétil foi lançado pela força impressa. ....	68
<b>Figura 6</b> – Representação de um amolador ou roda de moagem para afiar facas, espadas, etc. Essa estrutura faz com que a roda suspensa gire enquanto aciona-se o pedal no qual a pessoa da imagem está com o pé. Ao encostar a lâmina na roda o objeto é lixado e afiado. ....	71
<b>Figura 7</b> – Representação do trajeto de um corpo lançado obliquamente segundo a teoria do <i>ímpetus</i> de Buridan. ....	72
<b>Figura 8</b> – Representação dos trajetos de corpos lançados com diferentes velocidades. ....	85
<b>Figura 9</b> – Representação da Terra como a esfera FI e cortada pelos planos EG e HK. ....	88
<b>Figura 10</b> – Experimento proposto por Leibniz para demonstrar que a quantidade de movimento não serve como a verdadeira medida da força.....	91
<b>Figura 11</b> –Representação, segundo o livro (MÁXIMO, 2016), das forças de ação e reação que seguem da Terceira lei de Newton. ....	117
<b>Figura 12</b> – Perfil epistemológico do livro Barreto e Xavier (2016) sobre o conceito de força. ....	120
<b>Figura 13</b> – Perfil epistemológico do livro Bonjorno et al (2016) sobre o conceito de força. ....	120
<b>Figura 14</b> – Perfil epistemológico do livro Doca et al (2016) sobre o conceito de força.....	121
<b>Figura 15</b> – Perfil epistemológico do livro Filho e Toscano (2016) sobre o conceito de força. ....	122
<b>Figura 16</b> – Perfil epistemológico do livro Guimarães et al (2016) sobre o conceito de força. ....	122
<b>Figura 17</b> – Perfil epistemológico do livro Máximo et al (2016) sobre o conceito de força. ....	123

<b>Figura 18</b> – Imagem cujo o livro Bonjorno et al (2016) expõe representações de força. ....	124
<b>Figura 19</b> – Imagem que expõe a deformação de um corpo devido ao esforço muscular. ...	125
<b>Figura 20</b> – Representação de pessoas empurrando um carro.....	127
<b>Figura 21</b> – Representações de pessoas exercendo esforço físico.....	127
<b>Figura 22</b> – Representação ilustrativa do músculo em um braço.....	127
<b>Figura 23</b> – Representações de pessoas exercendo esforço físico.....	128
<b>Figura 24</b> – Destaque feito pelo livro Filho e Toscano (2016) para apresentar o conceito da Segunda Lei de Newton.....	129

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1:</b> Etapas das técnicas da análise de conteúdo.....	106
<b>Quadro 2:</b> Livros selecionados para análise.....	107
<b>Quadro 3:</b> Relação dos livros selecionados para a análise com a quantidade de escolhas da cidade de Maringá. ....	108
<b>Quadro 4:</b> Relação da porcentagem (quantidade) de palavras por perfil. ....	123

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>BACHELARD: VIDA E OBRA</b> .....	<b>21</b>
2.1	BIOGRAFIA RESUMIDA .....	21
2.2	FILOSOFIA PARA O NOVO ESPÍRITO CIENTÍFICO .....	23
2.3	OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS .....	31
2.4	PERFIL EPISTEMOLÓGICO .....	41
2.5	BACHELARD E O ENSINO DE CIÊNCIAS .....	44
<b>3</b>	<b>HISTÓRIA E ENSINO DA CIÊNCIA</b> .....	<b>49</b>
3.1	ENSINO DE FORÇA: panorama geral .....	54
<b>4</b>	<b>HISTÓRIA DO CONCEITO DE FORÇA</b> .....	<b>60</b>
4.1	ANTES DE ARISTÓTELES .....	60
4.2	ARISTÓTELES E O PROBLEMA DO MOVIMENTO .....	61
4.3	PÓS-ARISTÓTELES .....	64
4.4	FORÇA IMPRESSA .....	66
4.5	INÍCIO DA CIÊNCIA MODERNA .....	69
4.6	TEORIA DO ÍMPETUS DE BURIDAN .....	72
4.7	CONSOLIDAÇÃO DA CIÊNCIA MODERNA .....	74
4.8	A REVOLUÇÃO DA FÍSICA NEWTONIANA .....	81
4.9	SIMULTANEAMENTE E APÓS NEWTON .....	90
4.10	O CONCEITO DE FORÇA NA FÍSICA CONTEMPORÂNEA .....	98
4.11	OS PERFIS EPISTEMOLÓGICOS DA FORÇA .....	102
<b>5</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b> .....	<b>105</b>
5.1	TÉCNICAS DA ANÁLISE DE CONTEÚDO .....	105
5.1.1	PRÉ-ANÁLISE .....	106
5.1.2	EXPLORAÇÃO DO MATERIAL .....	108
<b>6</b>	<b>INFERÊNCIA E INTERPRETAÇÃO</b> .....	<b>110</b>
6.1	OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS DOS LIVROS .....	110
6.1.1	CONHECIMENTO UNITÁRIO E PRAGMÁTICO .....	110

6.1.2	OBSTÁCULO SUBSTANCIALISTA.....	113
6.1.3	OBSTÁCULO ANIMISTA.....	115
6.2	PERFIL EPISTEMOLÓGICO DOS LIVROS .....	119
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>131</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>134</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Esta pesquisa tem suas motivações no meu Trabalho de Conclusão do Curso (TCC) de licenciatura em Física, quando tive o primeiro contato com o epistemólogo Bachelard. As discussões sobre a epistemologia da Ciência perpassavam discretamente em algumas matérias do curso até o encontro explícito na disciplina de Epistemologia das Ciências, que é ministrada no último ano (quarto) da graduação. A disciplina abordou alguns epistemólogos além de Bachelard. Minha escolha pelo epistemólogo nasceu das discussões anteriores com o professor da disciplina citada, que se tornou meu orientador no TCC, nas leituras e reflexões advindas da mesma.

No trabalho de conclusão de curso, fiz uma revisão bibliográfica da epistemologia de Bachelard verificando as obras “A filosofia do não”, “O novo espírito científico” e “A formação do espírito científico”. Em complemento, analisei quais as implicações que sua epistemologia têm para o ensino de ciências. Apesar de não serem explícitas as recomendações para a melhoria do ensino nas obras do autor, sua “pedagogia” interessou-me por complementar os estudos contemporâneos que defendem o trabalho ativo do aluno cujo espírito deve estar sempre em desenvolvimento devido ao trabalho duro e não à passividade. A escolha do conceito de força foi feita pela escassez de trabalhos que optaram pela análise desse conceito em livros relacionados à epistemologia de Bachelard.

Na área de Ensino de Física, há uma busca de novos paradigmas para o ensino dessa ciência na esperança de se promover melhoras na aprendizagem dos fenômenos físicos. Contudo, apesar de alguns avanços, as renovações propostas ainda não conseguiram solucionar a maioria dos entraves existentes (CARVALHO, 1996; MEGID NETO, PACHECO, 1998; MOREIRA, 2000, 2004; CARVALHO, GIL-PEREZ, 2011). Um dos problemas que persiste é a concepção positivista da natureza da ciência por parte dos professores dessa disciplina. Tal atitude perpetua a ideia do conhecimento estável e permanente, levando “[...] à propagação de alguns mitos na ciência escolar. Dois desses mitos referem-se às concepções ‘realista ingênua’ e ‘empirista feliz’ que, internalizados pelos professores durante sua formação, são repassados aos alunos” (NADEAU; DÉSAUTELS, 1984 apud LÓBO, 2002, p. 146).

Um dos autores críticos desse tipo de posicionamento é Gaston Bachelard (1884-1962). Ele é contrário ao Positivismo de Auguste Comte (1798-1857), quando este trata da ideia de progresso científico contínuo, evolutivo, cumulativo (BULCÃO; BARBOSA, 2004). Apesar de apresentar em seus textos a sua concepção epistemológica sem adentrar profundamente na questão da aprendizagem, as obras de Bachelard contribuíram pedagogicamente para a busca da criação de um novo modelo de escola. Ele defende que a renovação da filosofia das ciências pode ser iniciada nas escolas, porém escolas reformuladas. A escola deveria objetivar a formação do sujeito. A monótona repetição de verdades absolutas não traz conhecimento mas sim pensar sobre o conhecimento anterior, no qual, nega-o e, assim, prossegue com invenções e criações de novas teorias. O conhecimento não parte de uma certeza, mas sim de um problema (BULCÃO; BARBOSA, 2004).

Bachelard aponta falhas das filosofias tradicionais mostrando que os *obstáculos epistemológicos* caracterizam empecilhos ao progresso da ciência contemporânea e há a necessidade de um *novo espírito científico* para superar esses obstáculos. As críticas que o autor faz da ciência refletem na educação. Particularmente, ele não tratou do ensino de ciências, porém, apresentou inúmeros argumentos para sustentar seu modo de compreender a construção do *homem científico*, este vinculado à sua formação, inclusive escolar. Aqui, a formação do sujeito e o ensino das ciências nas escolas são relacionados, de modo que as escolas deveriam objetivar em suas aulas de ciências a formação do sujeito, porque é nela que o ato de pensar se desenvolve com as inúmeras trocas de ideias e experiências para promover o desenvolvimento científico. Em suma, espírito científico deve ser estimulado a crescer e é na escola onde esta ação é direta entre mestre e aluno.

Lóbo (2002) aponta como parte da responsabilidade pelo uso de *concepções inadequadas* de ciências nas escolas a ausência de uma reflexão crítica mais profunda sobre os processos de produção das ciências na formação de professores, os quais são negligenciados, propiciando a propagação de uma filosofia da ciência sem o carácter histórico. Nota-se a necessidade de se reformular os processos de ensino e aprendizagem para *uma imagem mais adequada da ciência*.

A formação do espírito científico deve ser ativa. “É preciso também inquietar a razão e desfazer os hábitos do conhecimento objetivo [...]” (BACHELARD, 2005, 304). Os professores substituem as construções científicas em aulas, as tornam hábitos que devem ser evitados, já que se constituem como obstáculo epistemológico.

Somado a isso, temos a utilização de forma acrítica do livro didático influenciando as concepções de ciência tanto dos professores como dos alunos, ou seja, de um lado “[...] os alunos são fortemente influenciados pela visão de ciência dos professores, de outro, tanto os alunos quanto os próprios professores, têm suas visões de ciência influenciadas pelos livros didáticos [...]” (MONTEIRO JÚNIOR; MEDEIROS, 1999, p. 2). A formação inicial não está dando conta de criar o hábito de uma análise crítica dos livros didáticos por parte dos professores de Física.

Lopes (1990) já preconizava que o livro didático, assim como qualquer outro texto, está sujeito à interpretação. Há sempre o diálogo leitor-texto. Na maioria das vezes, o livro didático é reconhecido pelos professores como um manual de instruções, um modelo único, correto e pronto para ser utilizado em sala de aula. Essa dependência deve sempre ser evitada para o desenvolvimento do espírito científico, pois esses livros:

[...] há meio século são cuidadosamente copiados uns dos outros, fornecem aos alunos uma ciência socializada, imóvel, que, graças à estranha persistência do programa dos exames universitários, chega a passar como natural; mas não é; já não é natural. Já não é a ciência da rua e do campo. É uma ciência elaborada num mau laboratório, mas que traz assim mesmo a feliz marca desse laboratório [...] (BACHELARD, 2005, p. 30).

Choppin (2004) destaca quatro funções, simultâneas ou não, que os livros exercem. A primeira é a função referencial, em que constitui o local onde se reúnem determinados conteúdos que um grupo social determina ser necessário a ser ensinado. A segunda é a função instrumental, sendo o livro um instrumento facilitador da aprendizagem com propostas de exercícios e atividades. Esta função depende do contexto, uma vez que há épocas em que se valoriza a experiência, outra a exaustiva repetição de exercícios, entre outras tentativas de encontrar a maneira mais adequada para se ensinar utilizando o livro didático. A terceira é a função ideológica e cultural, em que o livro representa um papel político como instrumento de aculturação, até doutrinação, dos alunos que pode ser de maneira explícita ou implícita, porém essa última é menos eficaz. Finalmente, tem-se a função documental. Essa função só se encontra em ambientes que privilegiem o aluno ativo e exigem uma boa formação do docente. Nessa função, o livro é utilizado como possibilidade de desenvolver a criticidade do aluno pela sua característica de conjunto de documentos aliado ao auxílio do professor e a valorização da autonomia do aluno.

As funções referencial e instrumental citadas refletem na preocupação com os livros didáticos atuais. Ao ser utilizado em sala de aula ele carrega uma epistemologia tal qual será reproduzida ou ignorada, ou ainda discutida pelo professor. No entanto, ao passo que os livros são ligeiramente modificados para se adequarem aos critérios do Plano Nacional do Livro Didático (PNLD) a História da Ciência se torna obrigatória, porém, é exposta em quadros informativos que não representam o seu potencial. Nesta pesquisa, o fator histórico representa a fundação do viés epistemológico escolhido.

A epistemologia bachelardiana é histórica, assim, retrata uma evolução de complexidade para as ciências ao longo do tempo, é necessário que se compreenda tal evolução do conceito determinado por nós. A pesquisa selecionou trechos da história para construir as fases ou perfis epistemológicos que Bachelard teorizou existirem para, então, podermos analisar os livros didáticos descrevendo as características que os colocariam em determinados perfis epistemológicos. Devemos conhecer quais são as características que determinariam tais perfis e, ainda, saber se seguiu cronologicamente como apontou Bachelard, além de compreender quais as teorias mais impactantes que poderemos definir como representações do conceito de força em determinados perfis.

A pesquisa visa contribuir para um melhor aproveitamento dos livros didáticos de Física pelos professores dessa disciplina fazendo uma análise epistemológica crítica, à luz da epistemologia de Bachelard (1978a, 1978b, 1978c, 2005), de como o conceito de força é apresentado nos livros didáticos de Física.

A partir das reflexões decorrentes de nosso trabalho, faremos algumas considerações sobre os cuidados que os leitores devem atentar sobre a utilização de livros didáticos para aprender e ensinar devido a nossa busca pela conscientização sobre os obstáculos epistemológicos que estão presentes nos livros e dificultam uma melhor compreensão do conceito científico da força.

Esperamos conflitar os conceitos de força encontrados nos livros didáticos a fim de explicitar as falhas dos mesmos e apresentar como um alerta os perfis encontrados. Supomos o perfil realista como superado ou ao menos quase nulo nos livros devido à falta do rigor matemático em pontos como descrição de situações comuns do contexto do aluno, porém, como introdução ao conceito mais racionalista possível. Como nosso universo são livros do Ensino Médio,

esperamos que o perfil do Racionalismo Clássico prevaleça aos demais devido ao conteúdo de equações de segundo grau ser estudado no mesmo período. Porém, devido ao requisito de extensa utilização dos instrumentos matemáticos e/ou sua maior complexidade, o conceito de força do perfil Racionalista Completo não tem destaque nesse nível de ensino. No geral, a identificação dos obstáculos epistemológicos servirá para a reflexão dos professores em seus respectivos níveis educacionais para uma melhor utilização do material didático.

Sendo assim, em nossa pesquisa pretendemos investigar e responder a seguinte pergunta:

*À luz da epistemologia de Bachelard, quais obstáculos e perfis epistemológicos sobre o conceito de Força podem ser identificados nos livros didáticos de Física do Ensino Médio?*

O principal objetivo é: contribuir para uma reflexão epistemológica sobre o conceito de força por parte dos professores de Física do Ensino Médio. Esperamos que, ao terem ciência das limitações e equívocos que os livros didáticos apresentam, os docentes sintam-se melhor preparados para promoverem atividades didático-pedagógicas mais eficazes e significativas sobre esse conceito.

Já os objetivos específicos são: analisar, segundo a epistemologia bachelardiana, como o conceito de Força é apresentado pelos livros didáticos de Física do Ensino Médio; construir o perfil epistemológicos de força com base na história do conceito de força; construir os perfis epistemológicos que os livros didáticos de Física do Ensino Médio apresentam sobre o conceito de Força; elencar os possíveis obstáculos epistemológicos sobre o conceito de força que podem ser induzidos por esses livros; e recomendar alguns cuidados necessários que os professores devem ter ao utilizarem esses livros didáticos para ensinarem o conceito de Força.

Para tal propósito, o trabalho está organizado da seguinte maneira: inicialmente, no Capítulo dois, apresentamos uma breve introdução sobre o referencial epistemológico que escolhemos e buscamos explicitar suas considerações sobre a natureza da Ciência, desenvolvimento científico e os empecilhos para o seu desenvolvimento, os chamados obstáculos epistemológicos. Encerramos tal capítulo com trabalhos da área e suas conclusões para argumentar sobre o potencial conquistado por tal filosofia da ciência. Além disso, apresentamos sucintamente a epistemologia de Gaston Bachelard para angariar reflexões sobre nosso tema de pesquisa.

Na sequência, no Capítulo três, discorremos sobre algumas discussões acerca da importância da História da Ciência e os cuidados com a pseudo-história da Ciência, além de a sua relação com o Ensino de Física. Seguimos com um panorama geral sobre os resultados de pesquisas que buscavam quantificar o saber de alunos sobre o conceito de força. No geral, as pesquisas retratavam problemas já há muito tempo discutidos, como a concepção alternativa de grande parte dos alunos sobre a relação direta de força e velocidade, não aceleração, além da concepção de ímpetus de diversos participantes. Reforçando a necessidade do conhecimento, ao menos do professor sobre História da Ciência.

No quarto capítulo, descrevemos a história do conceito de força para situar o leitor quanto ao desenvolvimento de seu perfil epistemológico. Entendemos que o capítulo apresenta o desenvolvimento histórico de maneira reducionista e muitas vezes ressaltam nomes e datas. Porém, nosso objetivo com o capítulo era concluir em quais momentos se enquadraria na nossa interpretação dos perfis epistemológicos de Bachelard, bem como apresentar a evolução do conceito com relação ao vetor epistemológico proposto pelo mesmo. Assim como expressa a relação de conceituações ao longo da história com os perfis em ordem crescente de nível de abstração do conceito (Realista Ingênuo, Empirista claro e positivista, Racionalista Clássico e Racionalista Completo) para encerrar o capítulo, ressaltamos também que não há ainda o conceito força para o perfil Racionalista Dialético.

No quinto, descrevemos os procedimentos metodológicos adotados para a pesquisa. A escolha dos livros didáticos para a análise motivada pela nova seleção do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD 2018) devido ao fácil acesso desses livros que estariam disponíveis nas escolas. A escolha da análise de conteúdo é devido ao objetivo da pesquisa. Buscávamos caracterizar as palavras força em determinados grupos nos quais a metodologia apresentou-se adequada.

No capítulo seis, temos a análise dos dados. Após a coleta de dados, as palavras foram separadas nos determinados grupos que compunham as quatro filosofias do perfil epistemológico, além de identificar os obstáculos que apareciam com maior frequência como: Animista, Conhecimento Unitário e Substancialista. Tais obstáculos refletem os perfis construídos quantitativamente dos livros sobre a palavra força.

Certamente, as considerações sobre o perfil epistemológico de um livro devem ser cautelosas, uma vez que tal conceito é estabelecido para o indivíduo. Consideramos, então, o perfil dos autores refletidos em imagens e textos escolhidos para compor o livro e expressamos por meio de exemplos como foi a determinação das palavras em determinados perfis.

Por fim, apresentamos nossas considerações no capítulo sete. Os perfis epistemológicos dos livros didáticos, no geral, apresentam uma predominância do uso da palavra força no perfil Racionalista Clássico, e poucas palavras foram interpretadas no Racionalismo Completo. O perfil Empirista não atingiu 1% da quantidade de palavras em nenhum livro. Além disso, o que devemos ressaltar, e atentar, é a grande frequência de palavras que se enquadram no perfil Realista Ingênuo, justificada pela intensa utilização de metáforas que recaíram, em grande parte, no obstáculo Animista.

## 2 BACHELARD: VIDA E OBRA

Neste capítulo, apresentaremos uma biografia sucinta de Bachelard e descreveremos com mais detalhes as suas considerações teóricas sobre a natureza do conhecimento científico.

### 2.1 BIOGRAFIA RESUMIDA

Nasceu em 27 de junho de 1884 no interior da França, na região denominada Champagne, e morreu em 16 de outubro de 1962, em Paris. Viveu sua infância e adolescência no campo em contato com a Natureza. Ambicionava ser engenheiro enquanto trabalhava na administração dos Correios e Telégrafos, porém a guerra o impediu de seguir a engenharia. A mudança de plano fez com que se formasse em magistério, aprofundando-se no campo da filosofia, o que culminou na carreira de professor de ciências e filosofia em sua cidade. Suas publicações iniciaram em 1928 e já defendiam teses que esboçam pilares de sua epistemologia. Em 1930 ganhou visibilidade e a Faculdade de Letras de Dijon o convidou para lecionar lá e em 1940 foi convidado pela Sorbonne de Paris. Com o avanço de seu reconhecimento foi premiado com o Grande Prêmio Nacional de Letras, em 1961 (JAPIASSÚ, 1976).

Ao longo de sua vida, publicou inúmeros livros que trabalham sua concepção epistemológica de ciência e suas teses filosóficas. Além disso, trabalhou com a poesia. De início, ciência e poesia eram considerados dois assuntos a serem trabalhados de maneiras distintas, para que a poesia não interferisse na objetividade do conhecimento científico, porém, a atração do imaginário fez com que Bachelard valorizasse a poesia “[...] como uma forma própria de apreensão e de recriação da realidade” (BACHELARD, 1978c, p. VIII).

Bachelard se considerava dividido, ou melhor, composto pela união entre a imaginação e a razão. Ele tratava a imaginação como ignição para as descobertas e aprofundamentos das coisas não convencionais. A imaginação provoca criação, de modo que mundo de Bachelard era surreal, com poder ilimitado para criar. Porém, a surrealidade era a realidade para Bachelard. Sobre esta característica de Bachelard, escreve Japiassú (1976, p. 25):

O verdadeiro mundo de Bachelard é o da *surrealidade*. É por isso que ele diz que o homem é este ser que tem o poder de “despertar as fontes”. É este poder

inesgotável que está na origem, tanto do aspecto polêmico da razão científica, quanto do aspecto criador da imaginação poética: quando uma criança começa a pensar, ela cria um mundo, diz Bachelard. Paulo Freire conta em algum lugar que, certa feita, perguntou a uma analfabeta: “Escuta, se não houvesse o homem, existiria o mundo?” Ela respondeu: “Não, porque não haveria quem dissesse que ele é mundo!”.

As revoluções científicas do século XX se tornaram uma alavanca para as ideias de Bachelard. Houve mudança na concepção e produção de ciência, no conceito de objeto, no conceito de fenômeno, o surgimento de micropartículas, entre outras inovações que a Física Moderna trouxe.

O fio condutor da motivação epistemológica de Bachelard foi o advento da física contemporânea, a teoria da relatividade e a mecânica quântica, nas primeiras décadas do século XX. Há uma mudança epistemológica significativa entre o seu advento e a física clássica que a precedia (ZANETIC, 2006, p. 68).

Bachelard apresentava suas teses sem a preocupação com as de seus contemporâneos, mesmo que essas gerassem desconforto e espanto. Ele criticava os ramos filosóficos que tratavam da ciência como algo contínuo, uniforme, como o realismo e o positivismo. Assim:

Bachelard se impõe, pois, como um crítico do positivismo, rejeitando a ideia de progresso contínuo, evolutivo, cumulativo, pressuposto da doutrina comteana, assim como a concepção de ciência como estado imutável e definitivo (BULCÃO; BARBOSA, 2004, p. 26).

Se, como premissa, todo cientista se apoia em uma filosofia, então, esta deveria ser para Bachelard uma filosofia dispersa e pluralista que se adequasse à ciência, que não é unitária. “Dar às ciências a filosofia que elas merecem”. Assim, Bachelard se mostrou audacioso e inovador em suas teses. Sua epistemologia combateu fortes linhas de pensamentos filosóficos e rompeu com a visão monótona e “*continuísta*” da ciência em sua época. Seu legado mereceu elogios.

Gaston Bachelard pode ser justamente considerado, em nossos dias, o mais notável filósofo das ciências de língua francesa. Podemos dizer que foi sua epistemologia da ruptura que instaurou uma nova maneira de se conceber a história das ciências. Ao recusar terminantemente fixar a ciência contemporânea num estado definitivo e perenizado, esta epistemologia assume, como seu “outro eu”, a historicidade constitutiva do conhecimento racional (JAPIASSÚ, 1976, p. 9).

Bachelard destaca-se por não seguir as verdades da época. Entre as suas ideias inovadoras, Japiassú (1976) destaca em seu livro, *Para ler Bachelard*, as seguintes teses:

1º) Afirmar a objetividade dos conhecimentos científicos – tratar o conhecimento científico como flexível para superar os obstáculos epistemológicos. A objetividade está na capacidade de superar a organização racional das ideias porque “prejudicaria a aquisição de novas ideias”;

2º) Categoria de verdade – a crença de verdade deve ser modificada, porque já não há mais verdade absoluta, mas sempre sua busca;

3º) Caráter dialético do progresso das ciências – para Bachelard, a dialética une os formadores de hipóteses a quem executa a experiência.

No geral, os séculos XIX e XX presenciaram intensas revoluções científicas que ainda nos influenciam. Houve quebra de paradigmas dos conceitos científicos que geraram uma instabilidade. O surgimento em massa de teorias que contradiziam as crenças anteriores sufocava o pensamento antiquado. A novidade da concepção contemporânea não se adequava a nenhuma filosofia em particular. Assim, a epistemologia bachelardiana se apresentou como uma saída para esse labirinto científico.

Marcado pelas rupturas, Bachelard é lembrado pela sua epistemologia inovadora (BULCÃO, 1981). Essa abordagem é fundamental, uma vez que, com Bachelard, veio uma nova visão de ciência que antes se tinha como descrição da realidade para construção e produção. Fundador da “Filosofia do Não”, Bachelard apresenta a visão descontinuista de progresso da ciência. Assim, justifica-se a grande importância do pensamento bachelardiano para a atualidade.

## 2.2 FILOSOFIA PARA O NOVO ESPÍRITO CIENTÍFICO

O progresso científico é definido cronologicamente por Bachelard em três etapas: a) estado pré-científico; b) estado científico; e c) novo espírito científico. O primeiro compreende desde a Antiguidade até o século XVIII com a glorificação da natureza, período concreto; o segundo inicia-se em meados do século XVIII com as inovações científicas e termina no início do século XX, período concreto-abstrato; já o último iniciou-se no século XX com as grandes revoluções científicas e permanece atualmente, período abstrato (BULCÃO, 1981). As revoluções do século XX romperam barreiras com as filosofias da época. Bachelard critica o pensamento

filosófico tradicional porque, apesar da concepção de ciência ter se modificado no século XX, na nova fase do pensamento científico, as filosofias não acompanharam esse desenvolvimento. Houve o progresso científico mas não houve o progresso filosófico para essa “nova ciência”. As correntes filosóficas tornaram-se empecilho para o desenvolvimento do espírito científico. Portanto, Bachelard se opôs “radicalmente a todo sistema de pensamento fechado e dogmático” e, com sua nova filosofia, buscou “instaurar um novo tipo de racionalismo, de forma alguma sistemático e universal, mas setorial e aberto” (JAPIASSÚ, 1976, p. 17).

O progresso científico está vinculado ao progresso filosófico. Apesar de dizermos progresso filosófico, não cabe a nenhum filósofo classificar os pensadores ao longo do tempo como os que estão mais desenvolvidos e os que estão menos desenvolvidos. Porém, há o desenvolvimento das ciências e do conhecimento científico. Segundo Bachelard, as filosofias podem ser classificadas com o desenvolvimento do conceito científico com relação à razão inculcada nele. Assim, o espírito se desenvolve primeiramente voltado à natureza, ao estado concreto. Como exemplo, o conceito de massa, “para uma criança ávida, o fruto maior é o melhor, aquele que fala mais claramente ao seu desejo, aquele que é o objeto substancial do desejo” (BACHELARD, 1978c, p. 12). Porém, uma casca vazia o põe em contradição. Em seguida, o espírito usa esquemas e experiências em que o sensível seja a certificação, a prova. Prova então, que não é o maior que possui mais massa. Mas o conceito de massa interioriza-se, torna-se abstrato, onde seus sentidos não são mais instrumentos que comprovam, porque não são sensíveis à realidade, não a acessam. Essa racionalização contradiz a realidade imediata. Constrói-se o desenvolvimento filosófico do conceito de massa com a dialética racional. “Um espírito que não aceite um conceito desta natureza não pode aceder à cultura científica” (BACHELARD, 1978c, p. 14).

Quando tratamos de Bachelard, entendemos que as revoluções do começo do século XX foram além do limite para as filosofias da época. Nasce a necessidade de uma nova filosofia com a revolução einsteiniana e, principalmente, com a microfísica. Para acompanhar essas revoluções é preciso uma mudança no espírito científico. Foram os princípios da microfísica que revolucionaram a filosofia do espírito científico. Já não se podia tratar dos corpúsculos como corpos pequenos. A realidade não era mais representada por “coisas”. O fenômeno não podia mais ser explicado pelos sentidos. Os numenos kantianos assumem a posição de criar o objeto científico para explicar o fenômeno “percebido”. O numeno pode ser compreendido com o “objeto” não-sensível aos sentidos humanos, “objeto” que os humanos não são capazes de

determinar como constituintes “puros” da natureza. O homem não compreende mais o objeto com tal objetividade do concreto, mas sim, carrega considerações anteriores, como uma teoria que o permite estudar o tal objeto não perceptível aos sentidos. Então, é do numeno que se tem “dados”, estes que não são coletados pela observação, mas criados. Inventar substitui o descobrir (BARBOSA, 1985).

Essa proposta de uma nova filosofia é apresentada no livro “*A filosofia do não*”, cuja 1ª edição é de 1940. A obra é composta de críticas, em específico, ao empirismo e ao racionalismo kantiano e aos erros das filosofias tradicionais, propondo como deve ser uma filosofia que dê suporte às ciências atuais. “*A filosofia do não*” não é uma filosofia de negação ou contradição. É uma filosofia de retificação. Assim, para Bachelard (1978a, p. 8-9):

É pois ao nível de cada noção que, em nossa opinião, se colocariam as tarefas precisas da filosofia das ciências. Cada hipótese, cada problema, cada experiência, cada equação reclamaria sua filosofia. Dever-se-ia criar uma filosofia do pormenor epistemológico, uma filosofia científica diferencial que contrabalançaria a filosofia integral dos filósofos. Esta filosofia diferencial estaria encarregada de analisar o devir de um pensamento. Em linhas gerais, o devir de um pensamento científico corresponderia a uma normalização, à transformação da forma realista em forma racionalista. [...] As condições dialéticas de uma definição científica diferente da definição usual surgiriam então mais claramente e compreender-se-ia, no pormenor das noções, aquilo a que chamaremos a filosofia do não.

A ciência não é mais exata, pelo contrário ela é construída de inúmeras rupturas para sucessivamente serem agrupadas. As rupturas decorrem da superação do conhecimento anterior por meio do novo racionalismo, aquele que expõe a relação entre experiência e teoria. É o requinte do espírito científico que proporciona a criação de teorias capazes de retificar o conhecimento científico e disponibiliza o aprimoramento do mesmo. Bachelard (2005, p. 76) explica:

[...] Para incorporar novas provas experimentais, será preciso então *deformar* os conceitos primitivos, estudar as condições de aplicação desses conceitos e, sobretudo, incorporar *as condições de aplicação de um conceito no próprio sentido do conceito*. É nesta última necessidade que reside, a nosso ver, o caráter dominante do novo racionalismo, correspondente a uma estreita união da experiência com a razão. A tradicional divisão entre a teoria e sua aplicação ignorava esta necessidade de incorporar as condições de aplicação na própria essência da teoria. Como a aplicação está sujeita a sucessivas aproximações, pode-se afirmar que o conceito científico correspondente a um fenômeno particular é o *agrupamento* das aproximações sucessivas bem ordenadas. A conceitualização científica precisa de uma série de conceitos em via de

aperfeiçoamento para chegar à dinâmica que pretendemos, para formar um eixo de pensamentos inventivos.

Bachelard diz que a ciência não é feita de acumulações, mas sim de objetivações e é o erro que a propulsiona. “*É no momento em que um conceito muda de sentido que ele tem mais sentido*” (BACHELARD, 1978b, p. 116). As filosofias tradicionais não concebem o erro como algo inovador, útil em sua busca pela verdade. Uma vez que se erra, o cientista tradicional falha, diferente da filosofia bachelardiana que dá a devida importância ao erro.

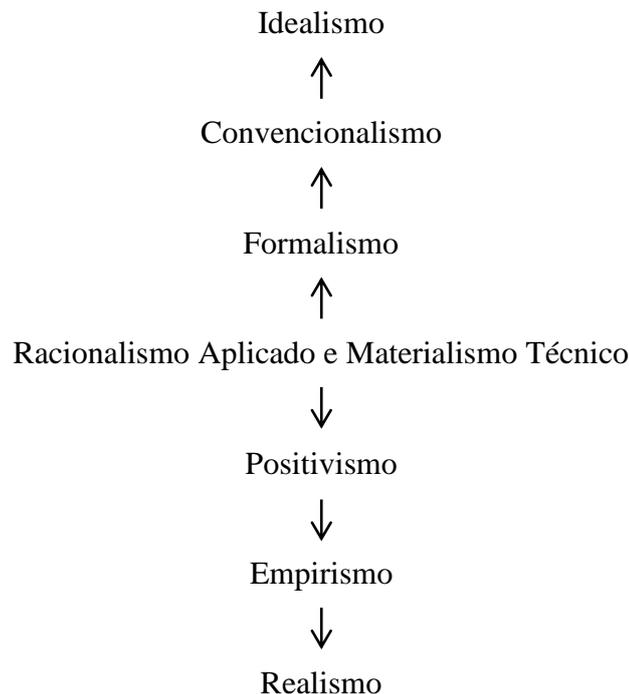
Uma única filosofia já não é capaz de dar suficiente suporte para a ciência atual. Bachelard diz que a ciência contemporânea necessita da dialética entre filosofias diferentes, ele propõe “*dar às ciências a filosofia que elas merecem*”. Poderia ser uma “polifilosofia”, não para selecionar o que tem de melhor em cada filosofia e agrupá-las, mas tratar o conhecimento científico desenvolvido ao longo do tempo influenciado por várias filosofias. Bulcão explica que “a ciência contemporânea não pode, pois, se deixar apreender por uma única filosofia porque ela não é homogênea, apresentando em si os elementos mais diversificados” (BULCÃO, 1981, p. 30). Ao longo do tempo viu-se uma ciência heterogênea, usou-se de diversas filosofias em suas teorias mas nunca um misto dialético de filosofias. Com as revoluções científicas ocorridas no século XX, as filosofias tradicionais não comportavam mais as ciências. Bachelard (1978a) diz ainda que o espírito científico carrega consigo mais de uma filosofia e afirma:

Em resumo, a qualquer atitude filosófica geral, pode opor-se, como objeção, uma noção particular cujo perfil epistemológico revela um pluralismo filosófico. Uma só filosofia é, pois, insuficiente para dar conta de um conhecimento preciso. Se então se quiser fazer, a diferentes espíritos, exatamente a mesma pergunta a propósito de um mesmo conhecimento, ver-se-á aumentar singularmente o pluralismo filosófico da noção [...] Uma só filosofia não pode explicar tudo e se quisermos dar uma ordem às filosofias. Por outras palavras, cada filosofia fornece apenas uma banda do espectro nocional, e é necessário agrupar todas as filosofias para termos o espectro nocional completo de um conhecimento particular (BACHELARD, 1978a, p. 29).

Bachelard propõe que as ciências merecem a polifilosofia, conceito derivado de uma epistemologia das ciências que se opõe à noção tradicional que buscava estabelecer a verdade absoluta e se adequar à noção do conhecimento científico produzido pela dialética constante. Assim, o espírito científico é constituído por diversas correntes filosóficas, sendo exemplificado com as mais conhecidas de sua época (Positivismo, Formalismo, Empirismo, Convencionalismo, Realismo e Idealismo) que partem das filosofias que ele considera como as

mais apropriadas a ciências modernas (Racionalismo Aplicado e Materialismo Técnico), estas relacionam a experiência à razão em uma permanente dialética.

Esse esquema com as filosofias ordenadas foi denominado “*topologia filosófica*”. Em ordem de proximidade com a ideia de razão e experiência atrelados, de um lado: Formalismo, Convencionalismo e Idealismo; e do outro: Positivismo, Empirismo e Realismo. Assim como o esquema abaixo (BACHELARD, 1977, p. 11):



Portanto, o Positivismo e o Formalismo “aceitam mais” a relação experiência e razão, porém, nenhum dos dois compreende bem a influência do pensamento racional na construção da teoria científica. O Empirismo e o Convencionalismo estão um pouco mais afastados da união da razão com a experiência, o primeiro se refere à realidade conhecida a partir da experiência e o segundo aceita a teoria mais cômoda, então não justificam o trabalho teórico do espírito científico. Por último, temos o Realismo e o Idealismo, extremos e contrários, o primeiro julga a realidade sem o racionalismo e o segundo está somente nas ideias, sem a aplicação prática (BULCÃO, 1981).

Bachelard postulou sua epistemologia em meio às filosofias da época e contrariou muitas correntes filosóficas, correntes estas mencionadas na *topologia filosófica*. A ciência é desenvolvida, para ele, por meio da interação entre razão e experiência. A experiência não pode

ser imediata, precisa usar da razão e ultrapassar o senso comum. O conhecimento do senso comum é desconstruído para se construir o conhecimento científico a partir da elaboração teórica, com a criação da teoria, e segue para a busca da realidade. Bachelard elabora o novo racionalismo (BARBOSA, 1985).

A filosofia, para Bachelard, não adentrava na subjetividade e objetividade simultaneamente. Ela era dicotômica. Ora se concentrava no *a priori*, na racionalização, e ora no *a posteriori*, na experimentação. Houve defensores da busca pela racionalização como houve defensores das conclusões que a experiência proporcionava, mas não com os dois modos de “ver” o mundo de modo a conciliá-los. Esses pontos de vista não deviam se contradizer, deveriam alternar o *a priori* e o *a posteriori* em uma dialética para disponibilizarem a dinâmica que a ciência moderna necessita. Claramente as filosofias tradicionais não supriam a ciência moderna, para tanto, Bachelard propõe uma filosofia com dois polos complementares. É essa filosofia, formada da dialética de filosofias, que comporta o pensamento científico. Assim, ele explica:

Se pudéssemos então traduzir filosoficamente o duplo movimento que atualmente anima o pensamento científico, aperceber-nos-íamos de que a alternância do *a priori* e do *a posteriori* é obrigatória, que o empirismo e o racionalismo estão ligados, no pensamento científico, por um estranho laço, tão forte como que une o prazer à dor. [...] A ciência, soma de provas e de experiências, soma de regras e de leis, soma de evidências e de fatos, tem pois necessidade de uma filosofia com dois polos. Mais exatamente ela tem necessidade de um desenvolvimento dialético, porque cada noção se esclarece de uma forma complementar segundo dois pontos de vista filosóficos diferentes (BACHELARD, 1978a, p. 4-5).

Complementando a concepção de que a ciência necessita de uma nova filosofia, Barbosa (1985) comenta sobre a função da matemática e da experiência no desenvolvimento da ciência interpretada por Bachelard em sua tese de doutorado. Nesta, o autor apresenta a ciência contemporânea feita da matemática associada à experimentação. Os modelos matemáticos substituem a observação de fenômenos, pois entende-se que essa observação seja devido aos órgãos do sentido, portanto, falha. Os órgãos do sentido só percebem a realidade, mas quando a realidade científica não é a mesma que realidade dos sentidos, ela então é postulada. A matemática nos faz visualizar mais “portas” para a experiência. Primeiro constrói a ideia, depois desenvolve a gama de possibilidades advindas da matemática, só então se faz a experiência. Diferente do que o senso comum exercita (experiência imediata), a ciência contemporânea não começa com a experiência, ela começa com a ideia, com a elaboração da teoria, e termina com a experiência carregada de teoria. O observável dá lugar ao construído. Então:

Na medida em que a realidade não é encontrada e que a função da ciência não é só desvelamento, a experiência não serve como ponto de partida da investigação científica, ela torna-se sua finalidade. Esta posição mostra-nos que a ciência não corresponde a um mundo a descrever, ela corresponde a um mundo a construir (BARBOSA, 1985, p. 60).

Uma vez que a ciência trabalha atualmente como uma tecnociência, com a sua fenomenotécnica, o pensamento científico, então, age como o criador e desenvolvedor do conceito. Os cientistas trabalham com um objeto limitado que não está presente na natureza, ou que não é reconhecido pelos sentidos humanos. Assim, a técnica é essencial para o processo científico na epistemologia de Bachelard.

[...] é a realização do racional na experiência física que teremos de destacar. Esta realização que corresponde a um realismo técnico parece-nos um dos traços distintivos do espírito científico contemporâneo, bem diferente sob este aspecto do espírito científico dos últimos séculos, bem distante particularmente do agnosticismo positivista ou das tolerâncias pragmáticas, e sem relação, enfim, com o realismo filosófico tradicional (BACHELARD, 1978a, p. 93).

Em sequência, Bachelard (1978a) explica o processo científico. Com a racionalidade técnica o cientista passa da experiência sensorial do senso comum para a científica e é nessa dialética de racionalismo e experiência que o processo segue com a busca do espírito científico de retificações e do saber.

[..] a verdade científica é uma predição, ou melhor, uma predicação. Chamamos os espíritos à convergência anunciando a novidade científica, transmitindo ao mesmo tempo a uma só vez um pensamento e uma experiência, ligando o pensamento a experiência numa verificação: o mundo científico é portanto nossa verificação. Acima do sujeito, além do objeto imediato, a ciência moderna funda-se no projeto. No pensamento científico, a meditação do objeto pelo sujeito toma sempre a forma de projeto. [...] é preciso que o fenômeno seja triado, filtrado, depurado, fundido no molde dos instrumentos, produzido no plano dos instrumentos. Ora, os instrumentos não são outra coisa senão teorias materializadas. Isso decorre dos fenômenos que levam consigo por todos os lados a marca teórica. (BACHELARD, 1978a, p. 96).

Nessa nova concepção de desenvolvimento da ciência, o espírito científico modificou-se e a matemática assumiu um papel importante. Essa valorização da Física-Matemática representa o direcionamento epistemológico para Bachelard. O espírito científico deve caminhar do racionalismo à experiência, sendo esse racionalismo entrelaçado à matemática (BACHELARD,

1978a). A matemática possibilita estabelecer inúmeras relações e seu fator de criação é enorme. A razão usa da matemática para inventar, criar. Para Barbosa, “[...] só o esforço matemático permite pensar o fenômeno novo, é o esforço matemático que forma o eixo da descoberta, é a expressão matemática que, sozinha, permite pensar o fenômeno” (BARBOSA, 1985, p. 64). A matemática auxilia o espírito no desenvolvimento da teoria. Ela se torna uma ferramenta necessária à ciência moderna para criar realidades novas a partir de descobertas e criações de fenômenos com objetos abstratos, diferentemente quando a matemática era puramente descritiva de fenômenos observáveis aos nossos sentidos. Bachelard (1978a, p. 53) complementa sobre o papel da matemática na ciência contemporânea:

O elemento é, pois, uma harmonia matemática, uma harmonia racional, porque é uma equação matemática que distribui os estados possíveis. A maior parte das vezes obtém-se esta equação matemática estudando uma propagação, uma transformação, uma operação, em suma, um devir. Mas este devir não depende da descrição; depende da normalização. Para valer o seu nome, qualquer elemento deve trazer a marca desta normalização. Deve ser *preparado*; deve ser *escolhido*; deve ser *oferecido* pelo matemático. Vemos, pois, surgir nas ciências físicas a oposição do *descritivo* e do *normativo*. A atribuição de uma qualidade a uma substância era outrora de ordem descritiva. O real tinha apenas que ser mostrado. Era conhecido desde que fosse reconhecido. Na nova filosofia das ciências é preciso compreender que a atribuição de uma qualidade a uma substância é de ordem normativa. A atribuição fixa possibilidades coerentes. O real é sempre um objeto de demonstração.

A matemática não inicia a atividade científica, mas deve fazer parte do racionalismo. Este é visto como um polo epistemológico para o trabalho científico. Outro polo é o realismo. Racionalismo e realismo estão atrelados como um dipolo. A realidade não está para ser alcançada. Em seu livro *O Novo Espírito Científico*, cuja 1ª edição é de 1934, Bachelard afirma que “[...] o sentido do *vetor* epistemológico parece-nos bem nítido. Vai seguramente do racional ao real e não, ao contrário, da realidade ao geral, como o professavam todos os filósofos de Aristóteles a Bacon” (BACHELARD, 1978b, p. 92). O pensamento científico cria suas teorias com auxílio da matemática. Se for criação do cientista, então esta é subjetiva e acredita-se que o real não pode ser acessível objetivamente. Assim como a realização racional ou realização do matemático que se apresenta convincente, principalmente quando busca a objetividade, não nos conduz ao real, mas sim constrói uma realidade. A ciência atual necessita dessa interpretação para não estagnar. O racionalismo deve ser aplicado. O conceito deve ser retificado. Bachelard escreve sobre o novo espírito científico, com a dinamicidade do pensamento, que a nova filosofia desenvolve:

De maneira mais filosófica, pode-se afirmar que o pensamento se modifica em sua forma se ele se modifica em seu objeto. Sem dúvida, há conhecimentos que parecem imutáveis. Crê-se então que a imobilidade do conteúdo é devida à estabilidade do continente; crê-se na permanência das formas racionais, na impossibilidade dum [sic] novo método de pensamento. Ora, o que faz a estrutura não é a acumulação; a massa dos conhecimentos imutáveis não tem a importância funcional que se supõe. Se se consente em admitir que, em sua essência, o pensamento científico é uma objetivação, deve-se concluir que as retificações e as extensões são dele as verdadeiras molas. É aí que é escrita a história dinâmica do pensamento [...] (BACHELARD, 1978b, p. 116).

Com o instrumento que a matemática proporcionou à Física, esta permitiu um novo Racionalismo. Apesar da crítica ao Racionalismo Clássico, Bachelard acredita que o conhecimento se inicia na razão e não na realidade. Porém, o conhecimento possui mais aspectos do que a filosofia racionalista clássica propõe. Então, para superar o Racionalismo Clássico, Bachelard nos apresenta o *Racionalismo Aplicado*. Este compreende o conhecimento construído por mais de uma filosofia, por uma polifilosofia na qual o “racional e o empírico se completam” (BULCÃO, 1981, p. 89). A matemática para o Racionalismo Aplicado tornou-se a conquista da infinidade do conhecimento e, acrescido da experimentação, é capaz de construir a ciência. Nas palavras de Bachelard (2005, p. 82):

De posse de um fenômeno bem definido, ele procura determinar-lhe as variações. Essas variações fenomenológicas designam as variáveis matemáticas do fenômeno. As variáveis matemáticas são solidarizadas intuitivamente em curvas, solidarizadas em funções. Nessa coordenação matemática, podem aparecer razões de variação que ficaram preguiçosas, apagadas ou degeneradas no fenômeno medido. O físico tenta provocá-las. Tentará *completar* o fenômeno, *realizar* certas possibilidades que o estudo matemático revelou. Enfim, o cientista contemporâneo baseia-se numa *compreensão matemática* do conceito fenomenal e se esforça para equiparar, nesse ponto, razão e experiência.

Assim, atualmente, a ciência se produz em uma dialética do racionalismo com a experimentação, principalmente quando um está gerando dados ou conclusões para o outro, assim como a fenomenotécnica se traduz pela relação íntima entre a experiência e a razão.

### 2.3 OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS

Ao tratar do processo do desenvolvimento científico, devemos dar atenção ao ato de conhecer. A concepção sobre o que deve ocorrer para que se conheça está interligada ao desenvolvimento científico, porque é devido a esse entendimento que a ciência se estagna ou progride. Bachelard

caracteriza algumas concepções de filosofias que não comportam o pensamento científico adequado à física, como pontos negativos do espírito científico. Para o estudo do desenvolvimento científico devemos considerar a história das ciências com inúmeras perturbações, as quais abalam a crença sobre como se conhece. É dessas perturbações que surge o novo, o progresso científico. As perturbações que permanecem rígidas, insolúveis, diremos que são obstáculos epistemológicos. Quando o espírito científico supera esses obstáculos, evolui. Então, de acordo com Bachelard (2005, p. 17, grifo nosso):

Quando se procuram as condições psicológicas do progresso da ciência, logo se chega à convicção de que *é em termos de obstáculos que o problema do conhecimento científico deve ser colocado*. E não se trata de considerar obstáculos externos, como a complexidade e a fugacidade dos fenômenos, nem de incriminar a fragilidade dos sentidos e do espírito humano: **é no âmago do próprio ato de conhecer que aparecem, por uma espécie de imperativo funcional, lentidões e conflitos** [...] O conhecimento do real é luz que sempre projeta algumas sombras. Nunca é imediato e pleno [...] No fundo, o ato de conhecer dá-se *contra* um conhecimento anterior, destruindo conhecimentos mal estabelecidos, superando o que, no próprio espírito, é obstáculo à espiritualização.

Por essa reflexão, podemos compreender esse “imperativo funcional” dos obstáculos epistemológicos como tendências de modos de pensar tradicionais e imediatistas de nosso psiquismo. Desse modo, independente da complexidade do fenômeno a ser aprendido, a nossa angústia de tornar familiar (concreto) algo não familiar (abstrato) no menor tempo possível, faz com que, via de regra, façamos uso de raciocínios que busquem a lei de menor esforço cognitivo.

Bachelard (2005) enuncia e explica alguns dos *obstáculos epistemológicos* em seu livro *A Formação do Espírito Científico*, cuja 1ª edição é de 1938. Porém, em meio aos seus trabalhos, ele também deixa implícitas suas concepções sobre alguns obstáculos. Tal assunto é bem detalhado por Bulcão (1981) em seu livro *O Racionalismo da Ciência Contemporânea* e por Barbosa (1985) em sua tese *O Secreto do Mundo*. Sob a luz dessas reflexões acerca dos *obstáculos epistemológicos*, é que poderemos compreender o espírito científico que Bachelard pretende formar, sempre com o trabalho ativo e frequente do espírito, o qual reconstrói pensamentos a cada reorganização total do saber para superar os *obstáculos epistemológicos*. Os oito obstáculos apresentados por Bachelard (2005) são:

- a experiência primeira;

- conhecimento geral;
- obstáculo verbal;
- conhecimento unitário e pragmático;
- obstáculo substancialista;
- realismo como obstáculo;
- obstáculo animista;
- conhecimento quantitativo.

A **experiência primeira** está relacionada com a “*satisfação íntima; não é a evidência racional*” (BACHELARD, 2005, p. 294). O espírito que se ludibria com o primeiro dado, sem criticá-lo, e o considera seguro, está embaraçado nesse frágil conhecimento. Bachelard recomenda que “o espírito científico deve formar-se *contra* a Natureza, contra o que é, em nós e fora de nós, o impulso e a informação da Natureza” (BACHELARD, 2005, p. 29). Segundo Barbosa (1985, p. 91):

A partir do momento em que o conhecimento imediato torna-se um obstáculo ao desenvolvimento do conhecimento surge a necessidade de se evitar tomar como ponto de partida estas observações. A tese da ruptura com o senso comum é a tese central que caracteriza a epistemologia de Bachelard. A partir daí, compreendemos como é possível alcançar a objetividade no conhecimento científico; o senso comum é um grande obstáculo que precisamos ultrapassar. Nesta tese está implícita toda uma crítica ao empirismo e ao sensualismo.

Exemplifica-se a ineficiência da experiência primeira quando se retoma a concepção de ciência como um fenômeno atraente, sedutor em excesso, capaz de não necessitar mais do que as apresentações como um show de magia para alegrar a Corte. Por exemplo, estudos do século XVIII “procuravam estabelecer uma relação entre a propriedade elétrica e as propriedades de primeiro aspecto” (BACHELARD, 2005, p. 39). Na época, muito se pensava ser algo *natural* e “o espírito pré-científico sempre acha que o produto natural é mais rico do que o artificial” (BACHELARD, 2005, p. 39). Estavam cegos pelo fascínio da eletricidade como algo mágico. A sociedade ainda contribuía com as apresentações, faziam filas para levar choque, buscavam tomar um pouco desse encantamento. Conclui-se que esse obstáculo expõe perigo à ciência. Como adverte Bachelard (2005, p. 40):

No decorrer do desenvolvimento científico, algumas descobertas foram de fato apresentadas como espetáculo de curiosidades. Mas agora já quase não existe esse costume. Os *demonstradores* de raios X que, há trinta anos, se apresentavam aos diretores de escola para propor alguma novidade no ensino

não conseguiam recolher muito dinheiro. Hoje parecem ter desaparecido completamente. Existe um abismo, pelo menos nas ciências físicas, entre o charlatão e o especialista.

O próximo obstáculo, **conhecimento geral**, nos informa que há limitações no progresso da ciência quando esta generaliza prematuramente, pois o cientista não precisa buscar inovações uma vez que tem uma lei geral. O espírito se conforta com a explicação precipitada e considerada fácil. Conhecer o fenômeno geral e valer-se dele para tudo compreender não será, semelhante à outra decadência, “gozar, como a multidão, do mito inerente a toda banalidade”? (MALLARMÉ, *Divagations*, p. 21. Em: BACHELARD, 2005, p. 69). Exposto à facilidade da generalização prematura o homem recai ao indutivismo ingênuo. Para ilustrar tal obstáculo, o autor exemplifica com o fenômeno da queda dos corpos:

Aristóteles ensinava que os corpos leves, fumaça e vapor, fogo e chama, encontravam no empíreo seu lugar natural, ao passo que os *graves* procuravam *naturalmente* a terra. Ao inverso, nossos professores de filosofia ensinam que todos os corpos, *sem exceção*, caem. E assim fica estabelecida, acham eles, a sadia doutrina da gravitação (BACHELARD, 2005, p. 70).

Segue o raciocínio:

Acaba de ser dito, portanto, que todos os corpos caem, sem exceção. Ao proceder à experiência no vácuo, com a ajuda do tubo de Newton, chega-se a uma lei mais rica: *no vácuo, todos os corpos caem à mesma velocidade*. Este é um enunciado útil, base real de um empirismo exato. Entretanto, essa forma geral bem constituída pode entrar o pensamento. De fato, no ensino elementar, essa lei é o estágio no qual estacam os espíritos de pouco fôlego. A lei é tão clara, tão completa, tão fechada, que não se sente necessidade de estudar mais de perto o fenômeno da queda (BACHELARD, 2005, p. 71-72).

O **conhecimento geral** começa a tratar da queda dos corpos sem analisá-la em todos os seus aspectos, generaliza a teoria precocemente. Assim, quando se pensa na queda dos corpos, é analisada exclusivamente sua velocidade, esquecendo-se da sua aceleração, que está intrinsecamente relacionada à força gravitacional, desse modo, perde-se parte da racionalização. Ou seja:

A noção de velocidade esconde a noção de aceleração. É, no entanto, a noção de aceleração que corresponde à realidade dominante. Assim, a própria matemática dos fenômenos é hierarquizada, e nem sempre a primeira *forma* matemática está certa, nem sempre a primeira forma é de fato formativa (BACHELARD, 2005, p. 72).

Prosseguimos com o terceiro obstáculo, o **obstáculo verbal**. Este tem como característica a ilusão de acreditar ter compreendido definitivamente os mecanismos de funcionamento de determinado fenômeno por meio do uso simples de imagens, analogias ou metáforas. Bachelard cita o exemplo da metáfora *esponja*. “A função da *esponja* é de uma evidência clara e distinta, a tal ponto que não se sente a necessidade de explicá-la” (BACHELARD, 2005, p. 91). Assim, por ser o ar muito mais esponjoso do que os outros corpos, ele é considerado semelhante a uma esponja. Ficando a compressibilidade do ar explicada por meio dessa metáfora. Ao inserir água na esponja ela não se permite comprimir assim como os “grãos de ar”, que agem como esponja, comprime-se e expande-se, porém, não o faz mais quando a água está penetrada no lugar do ar. Dessa forma, a explicação concretiza aquilo que deveria ser abstraído. Explica-se todo o raciocínio a partir de uma *única* imagem, uma *única* palavra. Essa palavra, que é concreta, afasta a necessidade da abstração. A metáfora *esponja* também explica o resfriamento dos corpos, temos que o corpo submerso no ar se resfria porque o ar funciona como uma *esponja* e retira o fluido que escapa do corpo quente (BACHELARD, 2005).

Essas imagens que a metáfora apresenta podem ser perigosas. Bachelard (2005, p. 97) diz que “não se pode confinar com tanta facilidade as metáforas no reino da expressão”. Capciosamente a metáfora ganha território e se estabelece como explicação geral. Portanto, o espírito científico deve estar sempre alerta para tal obstáculo. Superá-lo exige esforço. Porém, a metáfora colocada quando após a presença da abstração, serve de ilustração da mesma. A metáfora pode servir de “ilustração que opera depois do conceito, acrescenta-se um pouco de cor aos traços essenciais, pode ajudar o pensamento científico” (BACHELARD, 2005, p. 97). É esse cuidado que devemos tomar ao usar metáforas. Superar esse obstáculo e apresentar a metáfora como auxílio em sua explicação é um grande trabalho para ser formar o espírito científico.

O perigo das metáforas imediatas para a formação do espírito científico é que nem sempre são imagens passageiras; levam a um pensamento autônomo; tendem a completar-se, a concluir-se no reino da imagem. Demos um exemplo: para explicar o trovão, o padre de Lozeran du Fesc compara a matéria desse fenômeno à da pólvora de canhão. Quimicamente, ele pretende encontrar nas exalações sensíveis em momentos de tempestade o equivalente do salitre, do carvão e do enxofre, mistura que, como se sabe, constitui a pólvora. Historicamente, tal afirmação pode parecer plausível, sobretudo se considerarmos as ideias tão valorizadas que se tinha, há séculos, sobre as exalações. Tudo isso, afinal, vinha de uma falsa ideia, entre muitas outras, sobre a natureza química do raio (BACHELARD, 2005, p. 101).

O quarto obstáculo que analisaremos é o do **conhecimento unitário e pragmático**. A admiração excessiva ao fenômeno da natureza se torna um risco. Natureza essa que é única e, portanto, o fenômeno que ocorre para um caso específico, ocorre também para um caso geral na natureza. Dá-se à natureza, particularmente a cada fenômeno, um objetivo, uma razão de existir, para uma função a executar na mesma natureza. Sua função serve de explicação de tal fenômeno. Portanto, há extrema valorização dos cientistas sobre seu fenômeno de estudo. “É claro que todo autor gosta de valorizar o assunto que escolheu. Quer mostrar, desde o prefácio, que o assunto *vale a pena*” (BACHELARD, 2005, p. 105). É dessa adoração que Bachelard (2005, p. 106) comenta:

Essa necessidade de elevar os assuntos está ligada a um ideal de perfeição concedido aos fenômenos. Nossas observações são, portanto, menos superficiais do que parecem, pois a perfeição vai servir de índice e de prova para o estudo dos fenômenos físicos.

Procura-se a utilidade do fenômeno para explicá-lo, e só. Essa indução pragmática traz a explicação do fenômeno como suficiente quando se sabe a função do fenômeno. Para o espírito encantado com o pragmatismo com que se depara na natureza não há motivos mais para estudá-lo no sentido de pesquisas críticas para superar o conhecimento comum e buscar o pensamento objetivo. A ideia de perfeição do fenômeno limita o espírito a admirá-lo por sua utilização. Por desejar que a natureza seja única e perfeita, esse obstáculo está associado a credices divinas. Usam-se as divindades para unificar o fenômeno, colocá-lo em harmonia. Assim, temos o exemplo da astrologia, os astros necessariamente estão ligados a uma utilização, ligam-se ao homem para dar um objetivo ao seu movimento. Assim:

A sobredeterminação da astrologia é tal que certos autores chegam a servir-se de uma verdadeira recíproca para inferir, a partir de dados humanos, informações sobre os corpos celestes. E não se trata, então, de *sinais*, como se costuma pensar quando se fala de astrologia: trata-se de *ação real*, de *ação material* (BACHELARD, 2005, p. 110).

Portanto, esse obstáculo ganha o espírito preguiçoso pela natureza ser bela e perfeita. Se as explicações dos fenômenos forem os ditos objetivos, e suficientes para sanar a curiosidade do cientista, então, esse conhecimento estagna a ciência. A valorização da natureza torna-se perigosa. Assim, é certo que o espírito deve superar esse obstáculo para o desenvolvimento da ciência. “A psicanálise do conhecimento objetivo deve romper com as considerações pragmáticas” (BACHELARD, 2005, p. 116).

Outro obstáculo epistemológico relatado por Bachelard é o **substancialista**. À substância são atribuídas qualidades ocultas, ditas profundas, relacionadas às impressões primeiras e ingênuas. Esse substancialismo imediato é falho. Bachelard (2005, p. 127) diz que para a qualidade que a substância adquiriu “falta-lhe o percurso teórico que obriga o espírito científico a criticar a sensação”. Exemplificando o obstáculo substancialista temos a metáfora usada para explicar a atração de corpos eletrizados como se fosse uma cola, algo viscoso que “agarra” os corpos leves. Assim, “[...] o âmbar é mais elétrico que as outras substâncias porque é mais rico em matéria viscosa, porque sua cola é mais concentrada” (BACHELARD, 2005, p. 130). Essa “imagem ingênua chega a cegar”, diz Bachelard (2005). Porém, Ohm superou esse obstáculo e tratou a eletrização com certo rigor matemático que a teoria necessitava.

O conceito abstrato que Ohm utilizou alguns anos depois para designar os diferentes condutores foi o conceito de *resistência*. Esse conceito libera a ciência de qualquer referência a qualidades sensíveis *diretas*. Talvez se possa objetar que o conceito de resistência ainda é muito ligado a uma imagem. Mas, ligado aos conceitos de intensidade e de força eletromotora, o conceito de resistência perde aos poucos o valor etimológico e torna-se metafórico. O conceito torna-se então o elemento de uma lei *complexa*, lei afinal muito abstrata, unicamente matemática, que constitui uma espécie de *núcleo de conceitos*. [...] A resistência *elétrica* é uma resistência depurada por uma definição precisa; está *incorporada* numa teoria matemática que lhe limita qualquer extensão abusiva. O empirismo fica assim, de certa forma, *aliviado*; não tem a obrigação de dar conta de todos os caracteres sensíveis das substâncias sujeitas à experiência (BACHELARD, 2005, p. 131-132).

O sexto obstáculo epistemológico nomeado por Bachelard é o **realismo**. Bachelard (2005) cita como exemplo o encantamento que geralmente se tem das pedras preciosas, para as quais são atribuídas qualidades medicinais. Liga-se o seu valor comercial e a sua beleza com as suas prováveis propriedades farmacêuticas. O paciente que valoriza a pedra preciosa concorda com a opinião do médico o qual está imbuído de certa autoridade. Existe a confusão entre o valor de mercado da pedra preciosa com sua virtude medicinal, se o médico acredita na efetividade da pedra preciosa para o tratamento de doenças, o cliente sentirá confiança sobre a prescrição médica. O paciente ingenuamente ingere os medicamentos sem questionar sua eficácia. Bachelard comenta que “o médico que ordena ao doente uma preparação de esmeralda já tem a garantia de que o doente conhece um *valor*, o valor comercial do produto. Sua autoridade de médico só precisa reforçar um valor existente” (BACHELARD, 2005, p. 168). Isso embaraça o desenvolvimento do espírito científico, este fica seduzido, confuso. É mais atraente validar tal teoria, como todos o fazem, em vez de criticar seu valor. Forte é o espírito que supera esse obstáculo:

[...] Afirmar tranquilamente que o ouro não dá saúde, que o ouro não dá coragem, que o ouro não estanca o fluxo de sangue, que o ouro não dissipa os fantasmas noturnos, as más lembranças do passado e da culpa, que o ouro não é a preciosidade ambivalente que defende o coração e a alma! Isso exige um verdadeiro heroísmo intelectual; exige um inconsciente psicanalisado, isto é, uma cultura científica bem separada de qualquer valorização inconsciente. O espírito pré-científico do século XVIII não conseguiu essa liberdade de julgamento (BACHELARD, 2005, p. 171-172).

O sétimo e penúltimo obstáculo epistemológico é o **animista**. O obstáculo animista refere-se a dar vida e animar objetos, antes inanimados, para explicar fenômenos. Ingênuo, o espírito utiliza dos fenômenos biológicos para explicar fenômenos que ocorrem em seres não vivos. Explica assim Bachelard (2005, p. 185):

Os fenômenos biológicos só nos interessarão, portanto, nos campos em que sua ciência falha, em que essa ciência, com maior ou menor garantia, vem responder a perguntas que não lhe são feitas. Em suma, aos entraves quase normais que a objetividade encontra nas ciências puramente materiais, vem juntar-se uma intuição ofuscante que considera a vida como um *dado* claro e geral.

As analogias se interpolam entre os reinos animal, vegetal e mineral. Por ser natural, muitos acreditam ser a visão animista a mais correta. “Auguste Comte afirma que quem não praticar as ciências da vida não pode compreender os princípios de uma boa classificação. Ele pede ao químico filósofo que entre na escola da ciência da vida” (BACHELARD, 2005, p. 189). Na época era fácil se influenciar pelo obstáculo animista, já que muitas pessoas eminentes trabalhavam com tal conceito e se faziam convincentes. Errado era o cientista que não estudava a vida contida nos minerais como o ferro, esses cientistas não conseguiriam explicar a ferrugem em um ferro sem saber sobre a vivacidade do tal ferro e de suas doenças (BACHELARD, 2005).

Bachelard (2005, p. 191) tenta justificar esse fascínio pelo animismo quando diz que “*vida é uma palavra mágica. É uma palavra valorizada. Qualquer outro princípio esmaece quando se pode invocar um princípio vital*”. O espírito que se contenta com o concreto não será capaz de construir um raciocínio abstrato para superar tal obstáculo. Por exemplo:

Vê-se, aliás, que toda a escola de Galvani foi prejudicada em suas pesquisas pela especificidade dos detectores biológicos utilizados. Ela não conseguiu abordar a perspectiva objetiva. Enquanto o movimento da agulha na balança de Coulomb era um movimento de poucas características mecânicas, a contração muscular foi para a escola de Galvani um movimento privilegiado,

pejado de características e de sentidos, de certo modo um *movimento vivido* (BACHELARD, 2005, p. 207).

Por último temos o obstáculo do **conhecimento quantitativo**. Já vimos que o conhecimento prematuro é falho, pois advém da intuição sem a crítica. De fato, o conhecimento qualitativo imediato é subjetivo. Porém, não quer dizer que o conhecimento quantitativo sempre supera a intuição primeira. “É preciso muito estudo para que um fenômeno novo deixe aparecer a variável adequada” (BACHELARD, 2005, p. 259). As primeiras representações matemáticas são ainda inadequadas porque estão fundadas sobre um realismo ingênuo. A verdade prematura é muito sedutora, portanto, difícil de ser contestada pelo espírito científico.

Para trabalhar com a objetividade científica o espírito científico não deve se esquecer do método de medidas. Se o método de medida for impreciso gerará números imprecisos para sua teoria, o espírito científico que trabalha deve pensar sobre seu método de medida para depois medir. Quanto mais o espírito científico racionaliza suas medidas, mais inclui objetos a serem estudados e enriquece seu estudo. Sem se precipitar, o espírito científico deve refletir. Assim como explica Bachelard (2005, p. 262):

Quanto mais numerosas forem as relações do objeto com outros objetos, mais instrutivo será seu estudo. Mas, quando as relações são numerosas, estão sujeitas a interferências e, bem depressa, a sondagem discursiva das aproximações torna-se uma necessidade metodológica. A objetividade é afirmada aquém da medida, enquanto método discursivo, e não além da medida, enquanto intuição direta de um objeto. É preciso refletir para medir, em vez de medir para refletir.

Um exemplo das falhas advindas da prematuridade das medidas ditas precisas é o postulado do *superdeterminismo*. Ao se concluir que há interdependência entre as variáveis, a medida de uma refletirá no comportamento da outra, é o acontece com a crença da relação entre fluido elétrico e calor no corpo humano:

Como a matéria elétrica é considerada semelhante ao fogo, sua influência nos órgãos dos corpos vivos deve provocar calor; a maior ou menor elevação do termômetro encostado à pele vai, portanto, indicar a quantidade de fluido elétrico do corpo humano (BACHELARD, 2005, p. 269).

Essas relações dão suporte para as falsas ciências, de acordo com Bachelard (2005, p. 271):

Essas ideias de interações sem limite, de interações atravessando espaços imensos e reunindo as mais heteróclitas propriedades, permanecem há séculos nos espíritos pré-científicos. Passam por ideias profundas e filosóficas, dão pretexto a todas as falsas ciências. Pode-se provar que é a ideia fundamental da astrologia. Um ponto que nem sempre os historiadores da astrologia destacam é o caráter *material* atribuído às *influências* astrológicas. Como já assinalamos, não são apenas sinais que os astros nos enviam, são substâncias; não é tanto uma qualidade, e sim uma quantidade [...] A ação dos astros é, pois, a ação quantitativa de uma matéria real.

Com relação aos obstáculos epistemológicos, Bachelard conclui que o pensamento pré-científico é limitado pelo apego aos hábitos. São as experiências vivenciadas, tomadas ingenuamente, que impedem o desenvolvimento do espírito científico. “É preciso abandonar hábitos” (BACHELARD, 2005, p. 277). O trabalho que o espírito científico deve fazer é difícil porque tem que conciliar um comportamento flexível com um rigoroso e apresentar novas concepções quando abordar o conhecimento novo. Não se deve acomodar nas teorias estabelecidas como verdades absolutas porque o espírito científico procura não a verdade, mas aproximações sucessivas de uma racionalização. A ciência é construída por retificações. Os obstáculos superados dão lugar as revoluções. De retificações dos erros é que desenvolvemos o pensamento científico.

A descontinuidade da cultura científica e as rupturas entre o conhecimento comum e o científico são reflexos das superações de obstáculos epistemológicos. É a negação da filosofia do não. Bachelard trata a negação do conhecimento anterior como o processo de desenvolvimento do espírito científico e, conseqüentemente, da ciência. Assim, Lopes (1996, p. 263), citando Lecourt e Parente, diz:

[...] o obstáculo epistemológico tende a se manifestar mais decisivamente para mascarar o processo de ruptura entre o conhecimento comum e o conhecimento científico, quando o pensamento procura prender o conhecimento no real aparente. Os obstáculos epistemológicos tendem a constituir-se, então, como anti-rupturas (Parente, 1990: 62), pontos de resistência do pensamento ao próprio pensamento (Lecourt, 1980: 26), instinto de conservação do pensamento [...].

A necessidade de retificação do erro se torna evidente e deve ser contínua para o progresso da ciência. A superação dos obstáculos epistemológicos está diretamente relacionada ao desenvolvimento do espírito. O obstáculo epistemológico se acomoda em excessivas exemplificações confortáveis como as imagens, metáforas que acompanham o espírito. Os

obstáculos estão presentes em conhecimentos anteriores e nunca serão definitivamente superados porque

[...] Diante do real, aquilo que cremos saber com clareza ofusca o que deveríamos saber. Quando o espírito se apresenta à cultura científica, nunca é jovem. Aliás, é bem velho, porque tem a idade de seus preconceitos [...] (Bachelard, 2005, p. 18).

Para tanto, a noção de ruptura compreende o rejuvenescimento do espírito, o rompimento com o antigo preconceito e, por fim, o entendimento de uma história do conhecimento científico com uma interpretação renovada constituída de diversas negações aos conhecimentos de culturas anteriores que estão a caminho da superação de obstáculos.

[...] poderíamos relacionar as duas noções de obstáculo epistemológico e de perfil epistemológico porque um perfil epistemológico guarda a marca dos obstáculos que uma cultura teve que superar. Os primeiros obstáculos, aqueles que encontramos nos primeiros estádios da cultura, dão lugar a nítidos esforços pedagógicos [...] (BACHELARD, 1978a, p. 30).

Sendo assim, tal relação de obstáculos e perfis epistemológicos estão presentes nas culturas superadas que são apresentadas cronologicamente com um crescente de abstração. Isto é uma marca da superação dos obstáculos epistemológicos.

## 2.4 PERFIL EPISTEMOLÓGICO

De acordo com Bachelard (1978a), há diferentes formas de pensar sobre um conceito, cada uma delas pode ser entendida como sendo um *perfil epistemológico*. O autor criou uma escala graduada para ilustrar esses perfis, semelhante a um gráfico de barras, quando exemplificou seu perfil epistemológico do conceito massa e posteriormente do conceito de energia. Essa escala se organiza de maneira hierárquica a contemplar as cinco filosofias que embasam cada perfil. A seguir, temos o exemplo para o conceito de massa:

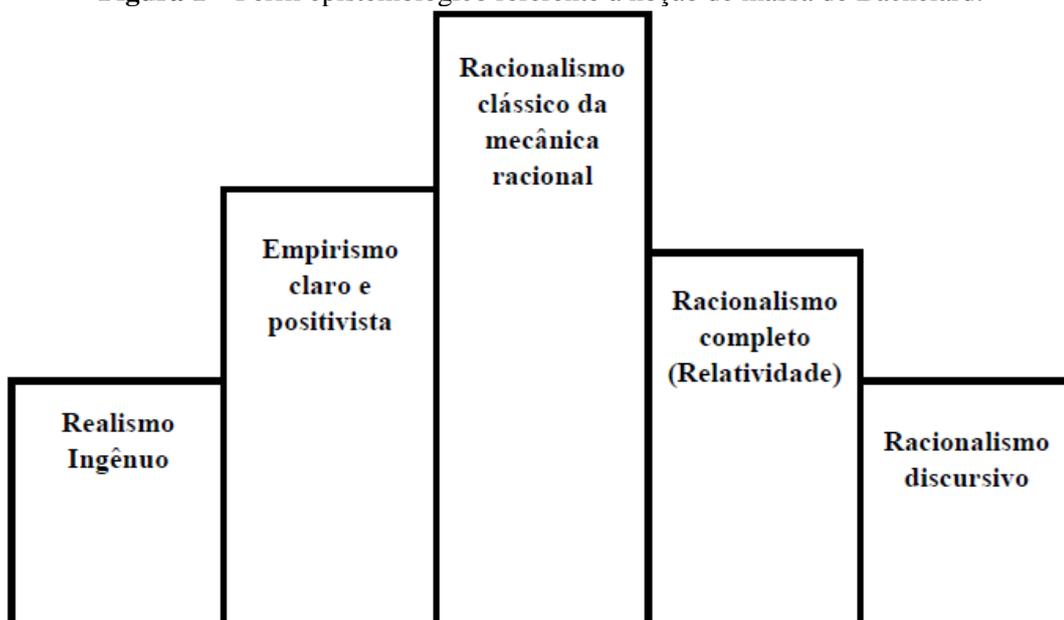
- a) **realismo ingênuo**: refere-se à primeira visão ou sensação obtida do objeto, sem criticidade. É o pensamento de senso comum. O realista só atribui massa àquilo que é pesado, e/ou ele acredita que quanto maior for o objeto, mais massa terá.
- b) **empirismo claro e positivista**: refere-se a experiências com base na manipulação do objeto que é capaz de ultrapassar a realidade imediata do realista. Há a coleta de dados por meio de

instrumentos como uma balança de pratos para concluir qual objeto possui mais massa, sem o emprego do racionalismo. Logo, refere-se a uma filosofia pragmática.

- c) **racionalismo clássico**: o conceito se constrói por meio da racionalização, constitui-se de relações racionais, não se tem apenas a experiência simplista e imediata. Compreende ainda, dependendo do conceito, a racionalização matemática. Assim como a massa newtoniana que é a razão da força pela aceleração.
- d) **racionalismo completo (ou complexo)**: aumenta-se o grau de abstração com o aprimoramento da matematização adquirida com a ciência contemporânea. Ultrapassa o racionalismo clássico quando rompe com a superfície das noções e aprofunda em seu interior para alcançar um conceito. Como a massa einsteiniana que é variável e está relacionada à energia.
- e) **racionalismo discursivo (ou dialético)**: é o racionalismo probabilístico como o conceito de “massa negativa” de Dirac. Esse racionalismo discursivo ultrapassa as outras filosofias com um pensamento além do racional, o ultrarracional. Há a necessidade da dialética de mais de uma filosofia, como o racionalismo com o empirismo, a necessidade da racionalização e da experimentação alternando de posição.

A Figura 1 apresenta um esquema sobre o perfil epistemológico que Bachelard construiu para o seu conceito de massa. Nas abcissas estão as filosofias em ordem crescente de complexidade racional, da esquerda para a direita. Nas ordenadas, as alturas das barras compreendem, grosseiramente, a quantificação da utilização da noção, indicando a importância relativa que ela tem para o seu proprietário. O perfil, portanto, constitui-se como do sujeito, individual.

**Figura 1** – Perfil epistemológico referente à noção de massa de Bachelard.



Fonte: Bachelard (1978a, p. 25, adaptada pela autora).

É importante destacar que este perfil epistemológico é de um conceito específico, massa, e de um espírito particular inserido em um contexto particular. Logo, o perfil pode ser diferente de espírito para espírito, seja de uma pessoa para outra, ou a mesma em um momento de maior ou menor desenvolvimento do seu espírito científico.

Observa-se o quão intenso é o Racionalismo Clássico para a noção de massa de Bachelard. Ele atribui esse fato ao ensino escolar de Física que apresenta essa disciplina relacionada a uma matemática clássica que valoriza esse tipo de racionalismo. Segundo Bachelard (1978a, p. 26), essa é “[...] uma prova de como as filosofias mais sãs, como o racionalismo newtoniano e kantiano, podem em determinadas circunstâncias, constituir um obstáculo ao progresso da cultura”. Deve-se sempre manter o espírito científico vigilante. A noção de massa além do Racionalismo Clássico existe para Bachelard (1978a) mas necessita de esforço para ser alcançada.

Bachelard (1978a) também justifica a grande importância da noção empirista de massa que aparece em seu perfil devido ao seu trabalho com Química e com a pesagem de cartas na administração dos Correios e Telégrafos. Já para explicar a zona realista, ele afirma que todos possuem suas “horas de realismo” para esse conceito, pois “[...] não nos psicanalisamos inteiramente” (BACHELARD, 1978a, p. 26).

Tal conceito de perfil epistemológico serviu de base para o trabalho de Mortimer (1996, 2000) que recentemente propôs a ideia de *perfil conceitual*. Este apresenta diferentes formas de expressão e entendimento dos indivíduos sobre determinados conceitos. Seguem algumas características que o autor atribui ao perfil conceitual:

“[...] Apesar de lidar com o mesmo conceito, cada zona do perfil poderá ser não só epistemológica como também ontologicamente diferente das outras, já que essas duas características do conceito podem mudar à medida que se mova através do perfil [...]” (MORTIMER, 2000, p. 78-79).

“[...] Seus níveis ‘pré-científicos’ não são determinados por escolas filosóficas de pensamento, mas pelos compromissos epistemológicos e ontológicos dos indivíduos [...]” (MORTIMER, 2000, p. 80).

“[...] O perfil conceitual como um sistema supra-individual de formas de pensamento que pode ser atribuído a qualquer indivíduo dentro de uma mesma cultura. Apesar de cada indivíduo possuir um perfil diferente, as categorias pelas quais ele é traçado [...] são as mesmas para cada conceito [...]” (MORTIMER, 2000, p. 80).

Apesar das considerações de Mortimer (1996, 2000), entendemos que não há necessidade para a diferenciação entre perfil epistemológico e perfil conceitual pelos seguintes motivos. Martins (2004) afirma que também há características ontológicas na noção de perfil epistemológico. Além disso, embora a noção de perfil epistemológico esteja associada ao indivíduo, nada impede que se analise no coletivo por categorias para cada conceito. Por último, entendemos que, assim como Martins (2004), conforme a necessidade, cada perfil epistemológico pode ser subdividido em regiões menores para uma análise mais precisa.

## 2.5 BACHELARD E O ENSINO DE CIÊNCIAS

Bachelard não discute, especificamente, sobre a educação escolar, mas traz em seus livros a questão da formação científica do sujeito. Formação que se divide em duas linhas: razão e imaginação. Sem discorrer sobre a concepção tradicional de aprendizagem, o autor defende a razão e a imaginação como ferramentas para a formação do indivíduo. O que traz o conhecimento é a criação e a invenção pelo sujeito, não a repetição de verdades absolutas consolidadas no conforto do comodismo. O indivíduo se desenvolve segundo o exercício de pensar sobre, criar, e produzir objetos novos sem certezas, mas sim, dúvidas. O exercício de pensar, como o ato do racionalismo, pode provocar o saber, assim como seus enganos, pois é deles que o sujeito afasta o erro e se desenvolve constantemente (BULCÃO; BARBOSA, 2004).

A transmissão da ideia de que a ciência é linear limita o conhecimento, condiciona uma pedagogia de exclusão. O professor se torna um intérprete da verdade absoluta, sem raciocinar, somente expõe os tópicos da ciência feita de grandes e únicos gênios. Dependentes do sistema atual, os alunos são selecionados e excluídos a partir de moldes. A prática na escola deve, então, ser retificada. O trabalho educativo deve ser reformulado para enriquecer o trabalho do espírito científico e o desenvolvimento da ciência (BARRETO, 2002).

Bachelard alerta ainda que muitos professores de ciências estejam sendo guiados pelos obstáculos epistemológicos, fazendo com que aconteça o mesmo aos seus alunos. Assim, não se supera a visão simplista e ingênua da ciência. Em suas palavras:

Os professores de ciências imaginam que o espírito começa como uma aula, que é sempre possível reconstruir uma cultura falha pela repetição da lição, que se pode fazer entender uma demonstração repetindo-a ponto por ponto. Não levam em conta que o adolescente entra na aula de física com conhecimentos empíricos já constituídos: não se trata, portanto, de *adquirir* uma cultura experimental, mas sim de *mudar* de cultura experimental, de derrubar os obstáculos já sedimentados pela vida cotidiana (BACHELARD, 2005, p. 23).

O professor detém o poder de ensinar. Independente da matéria, o professor é elemento fundamental no ensino, assim, cabe ao professor instigar a razão, buscar desconstruir verdades do conhecimento para reconstruir um novo conhecimento, fazer disso uma prática pedagógica constante. O enigma proposto pelo professor deve ser um motivador para o aluno ativar a sua vontade de conhecer, pois o espírito científico quer se manter inquieto, nunca acomodado no conhecimento fechado. Cabe ao professor alimentar esse espírito científico nobre no aluno. A formação desse espírito na criança é essencial para o desenvolvimento futuro do conhecimento científico, já que muitos poderão compor a futura comunidade científica.

Essa formação deve ser prioridade nas aulas de ciências da escola, ao contrário dos professores que catequizam em vez de ensinar, apresentam certezas dogmáticas em vez de instigar a curiosidade e consideram o erro como um pecado, defeito. Então, Bachelard propõe que a escola seja formadora do verdadeiro espírito científico. Segundo o autor:

A nosso ver, o princípio *pedagógico* fundamental da atitude objetiva é: *Quem é ensinado deve ensinar*. Quem recebe instrução e não a transmite terá um espírito formado sem dinamismo nem autocrítica. Nas disciplinas científicas principalmente, esse tipo de instrução cristaliza no dogmatismo o conhecimento que deveria ser um impulso para a descoberta. Além disso, não propicia a experiência psicológica do erro humano (BACHELARD, 2005, p. 300).

A dialética do professor/aluno é essencial para o racionalismo na formação do espírito científico do aluno. Inicialmente o aluno pode achar as ideias apresentadas pelos professores como absurdas, mas é devido ao racionalismo que o espírito científico pode refletir de modo mais elaborado sobre tais ideias. Esse, então, é o processo de ensino que a escola necessita. A escola deve ser construída para formar o cérebro inacabado do aluno, onde esse aluno se molda de acordo com a sociedade e a escola em que está inserido. Como não está formado, o aluno busca o novo, tem a curiosidade para aprender e essa curiosidade deve ser cultivada e aproveitada. O ensino meramente dedutivo deve ser combatido assim como o ensino de teorias formalizadas,

logo, o ensino não deve passar a imagem simplista de ciência como uma simples evolução de conhecimentos.

É no contexto sobre as preocupações analisadas nos textos apresentados a seguir que se insere nossa pesquisa, por nos convencerem sobre o potencial da filosofia de Bachelard para a análise epistemológica de livros didáticos utilizados no ensino de Física. No trabalho de Souza (2015), a autora propõe fazer um levantamento do estado da arte entre os anos de 2001 a 2012 da produção científica sobre Bachelard e o ensino de Física. Coletando artigos publicados em anais de evento e em periódicos da área, ela reuniu trabalhos que foram divididos em cinco grupos: Epistemologia, Obstáculos Epistemológicos, Perfil Epistemológico, Psicanálise e Dialética. A pesquisa constatou que quinze dos trabalhos referem-se à Epistemologia, seis são de Obstáculos Epistemológicos, três de Perfil Epistemológico, dois de Psicanálise e um de Dialética, totalizando vinte e sete trabalhos. Há uma concentração de produções entre os anos de 2005 até 2009 e após uma baixa produção houve um crescimento quantitativo em 2012.

A maioria das discussões trata sobre a Natureza da Ciência. Os trabalhos apresentam a preocupação no estabelecimento do constante diálogo entre História e Filosofia da Ciência para a formação inicial de professores com o objetivo de melhor preparar os futuros licenciados para lidarem com os seus obstáculos epistemológicos e dos seus alunos. Nas pesquisas sobre esses obstáculos, o foco é sua identificação ao longo da história do desenvolvimento de diversos conceitos científicos, buscando encontrar uma relação com os obstáculos enfrentados pelos alunos, bem como o desenvolvimento de metodologias para superá-los (SOUZA, 2015).

Souza Filho, Boss e Caluzi (2008a; 2008b; 2009) mostram os resultados do curso *Fundamentos Históricos do Eletromagnetismo* cujo público consistiu de 15 alunos do segundo ou terceiro ano do curso de licenciatura em Física da Unesp de Bauru/SP. O curso foi estruturado segundo o método de psicanálise bachelardiano que é constituído por: *conscientização*, para que os alunos mencionem suas certezas; *desequilíbrio*, apresentação de algo que contraponha as certezas anteriores como um experimento que foi utilizado; e, por último, *familiarização*, exploração de novas ideias. Os autores verificaram que os alunos não possuíam tão acentuado o realismo ingênuo para os conceitos do eletromagnetismo, os perfis epistemológicos se concentraram mais no empirismo e no racionalismo. Com o auxílio de textos históricos, a etapa da familiarização ocorreu com questões desequilibradoras que levaram a um desenvolvimento da abstração dos alunos, uma vez que passaram a utilizar mais termos científicos com precisão.

Outro autor que também pesquisou e produziu trabalho sobre algumas características da epistemologia de Bachelard foi Colombo Junior (2010). Ele analisou a percepção da gravidade de diversos visitantes da Casa Maluca, uma estrutura com móveis dentro, inclinada a 15° com relação à horizontal e que se encontra no Centro de Divulgação Científica e Cultural (CDCC) da Universidade de São Paulo, em São Carlos. A Casa é aberta ao público e a visita sempre é acompanhada por um monitor. Os instrumentos de coleta de dados foram questionários e entrevistas com os visitantes que eram alunos do Ensino Médio. Os obstáculos encontrados foram: (a) Experiência Primeira: muitos alunos entendiam que a gravidade era uma propriedade da Terra, ela é que atraía os objetos, não o contrário; (b) Realismo Ingênuo: vários alunos não concebiam a ação da gravidade ocorrendo distante da superfície da Terra, como num astronauta no espaço que estaria fora do alcance da gravidade; (c) Animismo: a gravidade entendida por meio de atributos de um ser animado, “ela puxa, empurra e segura para baixo”; (d) Substancialismo: a atmosfera possui a qualidade de pressionar os corpos em direção à Terra; e (e) Obstáculo Verbal: em geral, a explicação da queda dos corpos é suficiente para se encerrar as discussões sobre o conceito da gravidade. A visita a Casa Maluca apresentou-se como motivadora para os alunos e gerou resultados satisfatórios na busca pelo conceito mais complexo acerca da gravidade. Assim, o autor reafirma a pertinência do tema e do referencial bachelardiano.

Na busca de compreender como se dá a construção do conceito de tempo em alguns alunos do Ensino Fundamental e o Médio, Martins (2004) utilizou entrevistas semiestruturadas e dividiu as respostas em duas categorias: como os alunos percebem a passagem do tempo e como eles o medem; e aspectos ontológicos sobre a natureza do tempo dos alunos. Segundo o autor, adoção do referencial bachelardiano, em específico, dos obstáculos e perfis epistemológicos foi satisfatória, contudo, aconteceram algumas limitações, por exemplo, a impossibilidade de se traçar o real perfil epistemológico dos alunos devido à dificuldade de se fornecer todos os contextos para usarem o conceito.

As contribuições da epistemologia de Bachelard não se limitam à Física. Na Química, podemos citar o trabalho de Martins (2013) que fez uma pesquisa em livros didáticos utilizados na graduação em Química da Universidade de São Paulo (USP), livros de divulgação científica e artigos científicos da área de ensino, sobre o tema “Sistemas Químicos Oscilantes”. Na análise, o autor identificou grande frequência dos obstáculos da experiência primeira, verbal e animista

e nenhuma ocorrência do obstáculo do conhecimento unitário e pragmático, o autor conjectura que os pesquisadores precisam ter superado tal obstáculo para conseguirem desenvolver as pesquisas retratadas nos artigos. Já nos livros didáticos, ele encontrou apenas um que continha um obstáculo verbal, os demais seguiram uma descrição matemática rigorosa que justifica a ausência de obstáculos epistemológicos, porém, pouco apresentaram fenômenos com significados além do matemático. Por fim, todos os livros de divulgação científica apresentaram uma ocorrência enorme de obstáculos verbais, fato já esperado devido ao uso de diversas metáforas, em seguida, com menor frequência, verificou-se o obstáculo da experiência primeira e o conhecimento unitário e pragmático. Devido tal abordagem ter sido inédita até a publicação do trabalho, o autor considerou o referencial bachelardiano uma ferramenta interessante para a caracterização dos obstáculos epistemológicos para o ensino do tema de sistemas químicos oscilantes e afirma que, para os sistemas complexos, a abordagem poderia ter mais vantagens (MARTINS, 2013).

Há também o trabalho de Silveira (2003), o qual pesquisa, na época, em livros didáticos de 5<sup>a</sup> à 8<sup>a</sup> séries do Ensino Fundamental, o conceito de substância a fim de destacar seus obstáculos epistemológicos. A análise apontou a presença frequente dos obstáculos realista, animista e substancialista, podendo gerar confusões entre mistura e substância, energia e substância. Portanto, o autor recomenda a adoção do vetor epistemológico que Bachelard identifica no desenvolvimento da ciência, do realismo para o racionalismo, por autores da produção dos livros didáticos. Além de ressaltar a importância de uma análise epistemológica nas licenciaturas.

Uma das pioneiras a analisar os obstáculos epistemológicos nos livros no Brasil, Lopes (1990) selecionou 107 livros didáticos do antigo segundo grau, hoje compreendido como o Ensino Médio, adotados durante os anos de 1931 a 1990. Sua análise ressaltou o animismo, o realismo, o substancialismo, e o verbalismo. Com variações no tempo e modificações na educação, os obstáculos eram mais ou menos recorrentes. Sublinhamos que a partir de 1968 as metáforas foram utilizadas como estratégia pedagógica criando obstáculos ao ensino de química.

### 3 HISTÓRIA E ENSINO DA CIÊNCIA

Defendemos a importância da História da Ciência para o Ensino de Física não só por possibilitar uma melhor compreensão da natureza da Ciência, mas também por permitir uma aprendizagem mais sólida e significativa dos conceitos físicos. Em termos didáticos, acrescenta-se o fato de servir para o professor como um poderoso instrumento de análise das concepções que seus alunos trazem para a sala de aula. Esse nosso ponto de vista está alinhado com as reflexões sobre essa temática que fazem alguns autores como Moura (2014), Silva (2013), Piaget e Garcia (2011), Carvalho e Sasseron (2010), Saito (2010), Martins (2006), Bachelard (2005), Barra (1998) Bastos (1998), Lóbo (2002) e Japiassú (1976).

Quanto à natureza da ciência, essas mesmas pesquisas reforçam que ela não é descontextualizada, é construída dentro de um contexto social, econômico e político que influencia e, por vezes, justifica seu trajeto curvilíneo e descontínuo. Em específico, os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCN+) apresentam uma visão que se deve ter da Física como um processo histórico e “[...] impregnado de contribuições culturais, econômicas e sociais, que vem resultando no desenvolvimento de diferentes tecnologias e, por sua vez, por elas sendo impulsionado” (BRASIL, 2002a, p. 59). Barra (1998) acrescenta que somente o contexto em que o cientista está inserido não é o suficiente para explicar sobre o delineamento da Ciência e devemos, também, ter consciência da importância das motivações pessoais como: carreira, prestígio e influência. Matthews (1995) relata a importância dada à História, Filosofia e Sociologia na educação como amortização da crise do Ensino de Ciências que estava sendo vivenciada. Ele afirma que a História, Filosofia e Sociologia da Ciência (HFS):

[...] podem humanizar as ciências e aproximá-las dos interesses pessoais, éticos, culturais e políticos da comunidade; podem tornar as aulas de ciências mais desafiadoras e reflexivas, permitindo, deste modo, o desenvolvimento do pensamento crítico; podem contribuir para um entendimento mais integral de matéria científica, isto é, podem contribuir para a superação do mar de falta de significação que se diz ter inundado as salas de aula de ciências, onde fórmulas e equações são recitadas sem que muitos cheguem a saber o que significam; podem melhorar a formação do professor auxiliando o desenvolvimento de uma epistemologia da ciência mais rica e mais autêntica, ou seja, de uma maior compreensão da estrutura das ciências bem como do espaço que ocupam no sistema intelectual das coisas [...] (MATTHEWS, 1995, p. 165).

Além das conferências realizadas ao longo da década de 1980 na Universidade de Oxford e em diversas cidades na Europa, patrocinadas pela Sociedade Europeia de Física, com apoio da Sociedade Britânica de História da Ciência, na Universidade Estadual da Flórida, Matthews (1995) exhibe duas grandes ações pioneiras que apresentam a inserção da História da Ciência para uma melhor educação científica: (a) o Projeto 2061, nos Estados Unidos, lançado pela Associação Americana para o Progresso da Ciência (AAAS) que gerou um relatório denominado “Ciências para todos os americanos” no qual se discute a Natureza e a História da Ciência para os cursos de primeiro e segundo grau; e (b) Novo Currículo Nacional Britânico de Ciências, que afirma a importância da História, Filosofia e Sociologia da Ciência no currículo para que o aluno possa compreender a Natureza da Ciência como algo mutável e contextualizada. Ambas as renovações de currículo concordam que o objetivo dessa inserção de HFS no Ensino de Ciência não é apresentar ao aluno, apenas por mera curiosidade, os grandes fatos científicos históricos, mas auxiliá-lo, por meio de discussões das controvérsias entre os cientistas, a desenvolver o pensamento crítico.

Carvalho e Vannucchi (1996) fizeram um estudo sobre as tendências de inovações no currículo de Física propostas nos anos 1990. As autoras relatam, além de outras constatações, a crescente importância de se incluir a História e Filosofia da Ciência no Ensino de Ciências de diferentes níveis de ensino expressa em eventos como o *Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF)*, *Encontro de Pesquisadores em Ensino de Física (EPEF)* e *Reunião Latino-Americana sobre Educação em Física (RELAEF)*.

Essa recomendação também está presente nos documentos oficiais como os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), nos quais foram produzidos textos que visam separadamente o Ensino Fundamental I (Atuais 1º ano até 4º ano), o Ensino Fundamental II (Atuais 5º ano até 9º ano) e o Ensino Médio. Todos defendem a utilização da História da Ciência para contextualizar os conceitos científicos. No geral, esses documentos se apresentaram como uma inovação do currículo para sanar problemas do ensino, como os conteúdos descontextualizados e fragmentados, além de orientar o professor para um aperfeiçoamento da sua prática (BRASIL, 2002b).

O PCN+ argumenta que a utilização da História da Ciência no Ensino de Ciências auxilia na articulação entre as áreas, ao mostrar um conhecimento que não é fragmentado. Assim, a

História da Ciência possibilita a compreensão das relações da Revolução Industrial com o desenvolvimento das pesquisas sobre as máquinas térmicas, bem como do desenvolvimento bélico, químico e físico com a Segunda Grande Guerra. Surgindo, como consequência, a possibilidade de discussões sobre aspectos éticos dos processos sociais, econômicos e culturais ao longo da história, humanizando a Ciência (BRASIL, 2002a).

Além desses aspectos apontados pelos documentos oficiais, Carvalho (1992) argumenta que o professor poderá reconhecer na história os questionamentos, as discussões e os obstáculos que os cientistas superaram para construir os conhecimentos que hoje devemos ensinar, compreendendo a dificuldade que o aluno poderá ter ao tentar aprender diversos assuntos. Nesse sentido, o professor terá mais instrumentos para auxiliar na construção de um indivíduo crítico, suscitar a admiração pelas disciplinas científicas e aproximar o aluno do conhecimento científico (BASTOS, 1998).

Assim, o aluno que tiver acesso direto ou indireto aos processos de construção do conhecimento científico, por meio de estudos históricos adequados, entenderá a ciência como construída pelos homens e influenciada por determinados momentos históricos, ultrapassando a visão linear de verdades absolutas que a escola tradicional perpetua. No entanto, o professor estará mais bem capacitado de fazer um bom uso da História de Ciência se já estiver familiarizado com as pesquisas dos epistemólogos modernos, principalmente a epistemologia bachelardiana:

Por ser uma epistemologia histórica que busca na própria história das ciências elementos de reflexão para o filosofar, ela permite incorporar o conhecimento científico no contexto histórico e cultural em que ele foi construído, superando a imagem idealizada de um conhecimento neutro e acabado, característico da concepção positivista. Defendendo a necessidade de superação de posturas realistas e um devir do pensamento científico de transformação do realismo para o racionalismo, através de processos de ruptura, a epistemologia bachelardiana traz uma colaboração para o ensino de ciências, na medida em que rompe com a tendência continuísta de considerar o conhecimento científico uma sofisticação do senso comum (LÓBO, 2002, p. 155).

Em complemento ao que já discutimos, há pesquisadores que descobriram semelhanças entre a construção e desenvolvimento de alguns conceitos ao longo da História da Ciência e o desenvolvimento cognitivo da criança. Um dos primeiros trabalhos empreendidos nessa área (escrito por Hegel em *A fenomenologia do espírito* e perpetuado por Mach e Duhem) percebeu que há uma relação entre a sequência lógica do desenvolvimento das teorias do conhecimento com a sequência lógica de desenvolvimento da consciência. Nessa direção, idealizando os

aspectos cognitivos em vez da consciência, temos a obra *A Psicogênese e a História da Ciência*, escrita por Piaget e Garcia. De acordo com os autores, “[...] o fato fundamental para a epistemologia das ciências é que o sujeito, partindo de níveis muito baixos, compostos por estruturas pré-lógicas, alcançará normas racionais isomorfas, as das ciências em seus primórdios [...]” (PIAGET; GARCIA, 2011, p. 20).

Não há o estabelecimento de relações das sucessões históricas no âmbito dos conteúdos, propriamente dito, mas com a análise dos *mecanismos de passagem* que se apresentam comparáveis tanto para a sucessão de períodos históricos quanto para a sucessão dos estádios de desenvolvimento psicogenéticos (PIAGET; GARCIA, 2011). Vale ressaltar que a conclusão da epistemologia genética, nesse aspecto, não é de que a criança desenvolverá a mesma teoria de certo período histórico, mas que poderá ter os mesmos conflitos na estrutura lógica racional. Apesar de todos estes pontos positivos, a utilização da História da Ciência no Ensino Médio precisa ser feita com certos cuidados. Martins (2006, p. 27) elenca as três principais barreiras que dificultam este processo:

[...] (1) a carência de um número suficiente de professores com formação adequada para pesquisar e ensinar de forma correta a história das ciências; (2) a falta de material didático adequado (textos sobre história da ciência) que possa ser utilizado no ensino; e (3) equívocos a respeito da própria natureza da história da ciência e seu uso na educação [...].

Saito (2010) adverte ainda que a História da Ciência não é um método de ensino em si, cabe ao professor descobrir a melhor maneira de aproveitar didaticamente todo o conhecimento adquirido. Zanetic (1989) também ressalta que devemos atentar para o fato de que o relato histórico é o resultado de uma interpretação. Zanetic (1989) mostra ainda que há historiadores positivistas, internalistas, externalistas, entre outros grupos com diferentes visões da Ciência que refletem no que escrevem. Citando um historiador inglês, Carr, Zanetic (1989, p. 108) afirma que “[...] a convicção num núcleo sólido de fatos históricos que existe objetiva e independentemente da interpretação do historiador é uma falácia absurda, mas que é muito difícil de erradicar”.

Nessa mesma direção temos as reflexões de Matthews (1995) ao alertar que há de se ter cuidado com as seleções, organizações e apresentações que alguns professores fazem de um material histórico qualquer. Não raras vezes isso é feito de maneira *anti-histórica*, citando Klein, o autor conclui que se for para se utilizar de uma História da Ciência de má qualidade, ou pseudo-

história, então, é melhor não utilizá-la. Alguns autores defendem a não utilização da História da Ciência no ensino por outros motivos. Concordam com a opinião de Kuhn (1997) de que o contato com a História da Ciência enfraqueceria as crenças científicas que são imprescindíveis à aprendizagem científica. Assim como Matthews (1995), não concordamos com esses pontos de vista, as acusações e críticas realizadas devem ser levadas em consideração, mas os outros benefícios elencados aqui não podem ser esquecidos.

Aliado ao conhecimento histórico, no caso desta pesquisa, do conceito de força, o professor pode compreender os processos que resultaram em modificações de conceitos e quais os pontos fracos, por assim dizer, das teorias anteriormente estabelecidas, podendo então, transportar para a sala de aula, seja como conhecimento próprio quanto em materiais para os alunos, em busca de sanar as lacunas que os alunos podem ter. Um exemplo é a concepção alternativa que um grande número dos alunos possui de que o objeto mais “pesado” (com maior massa) cai na Terra mais rápido do que um objeto mais leve (com menor massa). A dependência da massa na queda dos corpos já foi um problema identificado na história, e sabemos que foi discutido e superado. O processo de superação e argumentação dessa conclusão é de grande riqueza ao professor, que pode promover discussões em sala de aula mediando a argumentação para que os alunos reflitam e construam a teoria mais aceita atualmente, a de que os corpos caem com a mesma aceleração independente de sua massa e, portanto, caem juntos. Assim, a história pode contribuir como um conhecimento que o professor teria para articular melhores argumentações e proporcionar melhor mediação da concepção alternativa para o conhecimento cientificamente aceito atualmente.

Tais reflexões e tal trabalho deve ser tido como base para executar uma pesquisa que pretenda tratar dos obstáculos e perfis epistemológicos de qualquer outro conceito. Antes de iniciar a análise, seja de livros didáticos, seja de alunos ou de professores, é necessário que se compreenda como o conceito se desenvolveu ao longo dos anos. A epistemologia bachelardiana propõe que a História das Ciências possua uma crescente complexidade racional em sentido cronológico, portanto, a reconstrução histórica inicia-se reconhecendo ou não esse desenvolvimento de acordo com a epistemologia. Posteriormente, o pesquisador poderá refletir sobre os aspectos da história que corroboram para a teoria epistemológica com eventos históricos adequados aos perfis. Com os devidos cuidados de entender que essa epistemologia não é a única possível de se trabalhar e não é a correta, pois sabe-se que as teorias podem se modificar ou serem contestadas a qualquer momento, basta estudar a história para refletir sobre

isso. Por isso, é necessário que o pesquisador conheça a teoria e reconheça que a “verdade” pode não ser alcançada nunca!

### 3.1 ENSINO DE FORÇA: panorama geral

Em linhas gerais, Peduzzi e Peduzzi (1985a) introduzem em sua pesquisa um teste que Viennot, em 1979, realizou com estudantes franceses, belgas e ingleses dos últimos anos do secundário e primeiros da universidade no qual ressaltou um padrão de concepção de força relacionada a velocidade. Em 1982, Clement constatou em estudantes de Engenharia a ideia de que para haver movimento deve haver força continuamente aplicada no corpo para sustentar tal movimento. Há então, a conclusão de que algumas das concepções intuitivas dos estudantes são as que se colocou como hipótese para a pesquisa de Peduzzi e Peduzzi (1985a).

As respostas do teste contribuíram com os testes citados, os alunos tendem a relacionar no movimento a força com a velocidade e não sua variação (PEDUZZI; PEDUZZI, 1985a). Além disso, ao analisar os lançamentos dos projéteis os alunos retomam a concepção semelhante a física do *impetus* que tratava de uma força para cima maior que a peso, direcionada para baixo, fazendo com que o projétil suba até a força para cima ser menor que a peso, resultando na queda do projétil.

Em um trabalho posterior, mas publicado no mesmo ano, Peduzzi e Peduzzi (1985b) afirmam que o maior número de erros conceituais de estudantes de qualquer nível é identificado nas relações de força e movimento. Reconhecem também a possibilidade da ineficácia do primeiro questionário aplicado devido a sua limitação de alternativas e produziram um novo, com maior número de alternativas e estruturado de maneira a expor as noções de aumento ou redução de forças segundo os estudantes com um quadro no qual o aluno poderia responder diferente das alternativas. Aplicaram em trinta e um alunos da matéria de Física A da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Em ambos, as questões tratam das forças envolvidas em determinados pontos da trajetória de um projétil lançado verticalmente para cima, ou horizontalmente, ou obliquamente. Nas questões que tratavam do lançamento vertical para cima, permanece a recorrência da necessidade de uma força para cima. Todos os alunos responderam precisar dessa força, reforçando a necessidade de uma força para ocorrer movimento. Porém, a noção de força

utilizada até o esgotamento durante a trajetória não é unanimidade, mas grande parte relatou tal situação. No lançamento oblíquo em grandes quantidades de representações de força horizontal e/ou força tangencial, variáveis ou não, seguindo os pontos ao longo da trajetória, oito alunos consideraram a inexistência ou variância da força peso em algumas situações. Assim, Peduzzi e Peduzzi (1985b, p. 120) concluem que mesmo oferecendo diversas alternativas para o aluno selecionar, “[...] dez alunos optaram por construir a(s) sua(s) própria(s) resposta(s)”.

Após alguns anos, em 1992 houve uma contribuição ao assunto pelo trabalho de Pregnoatto, Pacca e Toscano (1992). A pesquisa se desenvolveu com a aplicação de um total de 86 testes para alunos da 3ª série do 2º grau. Aos alunos foi solicitado que riscassem a trajetória esperada por eles em situações como uma bola passar por dentro de tubos diversos, uma pedra girando presa ao barbante que se rompe e um foguete já em movimento que aciona o motor. Os autores dividem as questões em dois grupos: para as questões que tratam dos tubos como um grupo de *agente tipo vínculo* e para as questões do barbante e do foguete como *agente tipo força*. De acordo com a interpretação dos dados, os alunos compreendem o agente tipo força como uma mudança abrupta da trajetória para o retorno ao movimento original, diferente do agente tipo vínculo que carrega marcas do movimento após a quebra desse vínculo. Portanto, há diversas interpretações para os mesmos conteúdos de física.

No mesmo ano, Peduzzi (1992) publicou uma pesquisa sobre alguns livros didáticos e dois projetos de Ensino de Física (Projeto de Ensino de Física e *Physical Science Study Committee*) com relação aos seus respectivos tratamentos sobre força e movimento com a concepção inercial de movimento. Ressaltamos que alguns autores dos livros didáticos selecionados por Peduzzi (1992) são nomes comuns até no último Programa Nacional do Livro Didático (PNLD de 2018) como: Bonjorno, Beatriz e Máximo. A pesquisa relatou que os livros não dão suporte para que o aluno estude as discussões históricas sobre a inércia, apenas usam uma história reducionista que apresenta a ciência como um produto individual de um gênio. Isso mostra que os livros didáticos não se atentaram a concepções alternativas dos alunos. Além disso, os livros iniciam a discussão usando exemplos do esforço muscular e concluem sem discussão que esse esforço é a força mecânica. Não constroem uma argumentação capaz de conflitar com a relação direta entre força e velocidade, reforçam as noções de objetos inanimados exercendo forças, a tentativa falha de explicar o Peso sem refletir sobre a gravidade e a introdução prematura sobre as semelhanças entre a mecânica e a eletrostática (Peduzzi (1992).

Em um trabalho intitulado *Force Concept Inventory* (FCI), Hestenes, Wells e Swackhamer (1992) elaboraram um questionário na busca de identificar e classificar o conhecimento de estudantes veteranos ou iniciantes no ensino formal de conceitos de Mecânica. É composto por 30 questões, cada uma com 5 alternativas de resposta, onde uma corresponde ao conceito cientificamente aceito e as demais a um conceito intuitivo previamente estabelecido. Tal questionário foi aplicado ou tomado como base para algumas pesquisas a seguir.

Radé (2005) explorou uma proposta de perfil conceitual de força e aplicou um teste baseado no teste comentado anteriormente (FCI) para as questões fechadas e algumas questões abertas como “O que causa uma força?”. As questões foram respondidas por nove alunos que já cursaram a disciplina de Física I. Para as questões fechadas, cinco alunos relacionaram força e velocidade, oito conceberam a dissipação do *impetus*, nove acertaram a trajetória parabólica em um lançamento oblíquo, sete acertaram exemplos comumente usados como um objeto em repouso sob uma mesa e a colisão entre carros de diferentes massas. Para as questões abertas os alunos tiveram dificuldade em definir força tal qual não fosse a famosa equação ( $F = ma$ ) ou descrever situações que repetidamente se vê escritas nos livros como: grandeza vetorial. Assim, conclui que grande parte dos alunos que participaram da pesquisa possuem a noção matematizada do conceito, porém não por uma elevada racionalização, mas por um sistema operacional. Ao tratar de altas velocidades, como a velocidade da luz, os alunos desconsideraram a questão por não conceberem a hipótese de uma nave, ou qualquer projétil, alcançar tal velocidade.

Fernandes (2011) trabalhou com a tradução, validação e aplicação do FCI que gerou duas coletas de dados, uma em 2008 com 212 estudantes do primeiro ano, 136 do segundo e 135 do terceiro, a outra em 2009 com 130 estudantes do primeiro ano, 55 do segundo e 97 do terceiro de uma escola pública de Ensino Médio que oferece Ensino Técnico por meio de processo seletivo. Os conceitos foram divididos em: modelo científico (M1), que trata do conceito cientificamente aceito atualmente; modelo intuitivo (M2), estes previamente considerados como hipótese da pesquisa; e modelo alternativo (M3), que são modelos intuitivos que estavam no alvo da análise.

Com a relação entre **força e velocidade** a probabilidade de utilização de M1 para o primeiro e o segundo ano não chegam a 35%, enquanto no terceiro ano varia de 63% a 75% e menos de 20%, de todos os alunos utilizam M3. Para M2, as considerações de necessidade de força para

ocorrer e manter o movimento varia no primeiro e segundo anos entre 50% e 70%, diferente do terceiro ano, 17% a 31% (FERNANDES, 2011).

Com relação ao **impetus e a força impressa**, a probabilidade de utilização de M1 para o primeiro ano não passa de 43%, para o segundo ano não passa de 59% e para o terceiro ano não passa de 84%. Com relação a M2: para o primeiro ano não passa de 36%, para o segundo ano não passa de 31% e para o terceiro ano não passa de 9% (FERNANDES, 2011).

Com relação ao **agente dominante** exercerá maior força em uma interação entre dois corpos, seja devido ao tamanho, a massa, peso, entre outras características, a probabilidade de utilização de M1 para o primeiro ano não passa de 28%, para o segundo ano não passa de 44% e para o terceiro ano não passa de 83%. E com relação a M2: para o primeiro ano não passa de 47%, para o segundo ano não passa de 37% e para o terceiro ano não passa de 22% (FERNANDES, 2011).

Com relação as questões sobre a **modificação de movimento** segundo a aplicação de uma ou mais forças, a probabilidade de utilização de M1 para o primeiro ano não passa de 24%, para o segundo ano não passa de 35% e para o terceiro ano não passa de 65%. Com relação a M2: para o primeiro ano não passa de 33%, para o segundo ano não passa de 24% e para o terceiro ano não passa de 18%. Ressaltamos a grande porcentagem da probabilidade da utilização de M3, para o primeiro ano entre 2008 e 2009, 46% e 50%, para o segundo ano, 43% e 45% e para o terceiro ano, 23% e 29% (FERNANDES, 2011).

Fernandes (2011), então, conclui que há intensa utilização de modelos intuitivos do primeiro ano, a mais utilizada é a noção de que para ocorrer movimento deve haver força ou que sempre deve haver força para a manutenção do movimento. Também conclui que sempre há uma maior porcentagem com relação aos outros anos de modelos alternativos. Para os alunos individualmente há uma inconsistência semelhante em porcentagem entre modelos científicos e alternativos e para os modelos intuitivos e alternativos. Entre estes dois casos, os modelos alternativos aparentam influenciar mais na resposta e a evolução no conhecimento como tratado pela maior utilização de modelos científicos não considera a superação dos outros modelos, mas a frequência que o utilizam tais modelos. Um exemplo disso é a contínua utilização dos três modelos pelos alunos do terceiro ano.

Sobre o mesmo teste para a identificação de concepções de força, FCI, os autores Silva, Silva e Mansor (2009) aplicaram em 2008 um pré e um pós teste à uma turma de Licenciatura em Física na disciplina de "Introdução à Mecânica Clássica", em São Paulo. Os autores comentam que houve um problema recorrente trazido nesta seção de relacionar força e velocidade. Houve uma “evolução” entre o pré-teste e o pós-teste, a porcentagem de acerto no geral cresceu, porém, em algumas questões os acertos tiveram a mesma quantidade ou até foram menores depois do que antes. Além disso, há questões que tratam da mesma relação e que foram assinaladas diferentes, apresentando conceitos diferentes. Logo, o conceito não foi realmente superado ou aprendido (SILVA, SILVA E MANSOR, 2009).

Na Universidade de Passo Fundo Pérez, Rosa e Darroz (2012) fizeram um trabalho para identificar concepções alternativas de alunos do primeiro e segundo semestres dos cursos de engenharia sobre força e movimento, totalizando 168 alunos voluntários, os quais 58 eram ingressantes. Foi aplicado um questionário retirado de outro autor, com duração máxima de 1 hora e 30 minutos, com 15 questões divididas em três grupos: carro numa rampa, moeda arremessada e gráfico de forças. Os resultados evidenciaram uma porcentagem de acerto baixa para a grande maioria dos alunos. A maior porcentagem de acertos foi na questão 9 que perguntava qual era o gráfico da força pelo tempo de atuação da mesma quando o corpo estava parado, no entanto, quando questionados sobre o corpo se movendo a uma velocidade constante a porcentagem de acerto cai drasticamente. O resultado retrata o conceito já discutido de relação direta de força e velocidade ao invés de força e aceleração. Além da falta de compreensão de quais forças está sujeito um projétil quando arremessado para cima até retornar em queda. Mesmo o resultado apresentando números menores de acerto para os alunos ingressantes, não há grande diferença entre a quantidade de acertos daqueles que já foram aprovados na matéria cuja ementa contempla estudos de mecânica (Física I) (PÉREZ, ROSA E DARROZ, 2012).

Os trabalhos relatados apresentam tentativas de caracterizar concepções ou avaliar alunos quanto as concepções cientificamente aceitas atualmente. Porém, os dados coletados normalmente através de questionários objetivos expressam uma grande falha no ensino do conceito de força. Os alunos muitas vezes associam o movimento com a força e a ausência de movimento com a ausência de força, além da reciprocidade ser considerada verdadeira também. Os níveis podem variar, desde alunos do Ensino Fundamental II até alunos do Ensino Superior, os anos passam, as pesquisas citadas aqui vão desde 1985 até 2012, mas as concepções variam em torno de um núcleo, de um padrão de respostas. Evidencia-se, então, que ainda há

dificuldades em romper com concepções alternativas, espontâneas dos alunos com o ensino tradicional.

Aparentemente há uma necessidade de os alunos remeterem à concepções realistas ou empiristas para descreverem a mecânica de situações cotidianas. Estas podem se justificar com a História da Ciência. A tomada de consciência dos professores sobre as rupturas existentes na história pode contribuir com uma discussão que efetivamente rompa obstáculos na aprendizagem dos alunos. Logo, será apresentado no próximo capítulo, como exemplo, a superação de Galileu apresentando uma teoria em que a força está relacionada à mudança de velocidade, aceleração, e não da velocidade.

## 4 HISTÓRIA DO CONCEITO DE FORÇA

Neste capítulo, apresentamos um resumo de como se deu a evolução do conceito físico de força ao longo da história da Mecânica. Em complemento, identificaremos qual perfil epistemológico acreditamos estar embasando cada momento histórico relatado. Analisaremos fontes primárias como os trabalhos de Aristóteles (séc. III a. C.), de Descartes (1596-1650) e de Newton (1643-1727), e fontes secundárias como Blackwell (1966), Évora (1987), Cohen (1988), Barra (1994), Sapunaru (2006), Itokazu (2006), Peduzzi (2008), Jammer (2011), entre outros.

### 4.1 ANTES DE ARISTÓTELES

A curiosidade de entender os fenômenos naturais motivou a criação de inúmeras teorias. Desse modo, para uma melhor compreensão de como os antigos concebiam a força, vamos analisar algumas dessas diferentes visões. Por exemplo, encontramos no Egito Antigo a noção do mundo natural ser permeado por forças ocultas e hierarquizadas. A matéria era composta de essência espiritual e todo objeto possuía uma força *sui generis*, força original, que não era semelhante a nenhuma outra. Na antiga Mesopotâmia, assim como o Deus da Bíblia dos gregos pré-científicos, as divindades expressavam força. O Deus principal, Enil, era o da tempestade e também o regulador do Universo, representava a força da boa vontade e justiça (JAMMER, 2011).

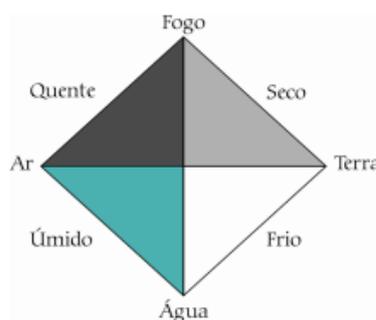
Heráclito (535 a.C. - 475 a.C.) interpretava o aspecto dinâmico da natureza como **tensões/forças opostas** em uma constante disputa. Apesar de algum equilíbrio ser visível, era apenas aparente ou ilusório porque estava fadado ao antagonismo intrínseco às forças da natureza. Empédocles (492 a.C. - 432 a.C.) denominou essas duas forças como “**amor**” e “**luta**”, ele compreendia o mundo como um organismo vivo cujas relações das forças assemelhavam-se ao fluxo sanguíneo ou à respiração e tinham a responsabilidade tanto pelo equilíbrio como pelo movimento, morte, degeneração, combinação e separação de substâncias naturais (CRUZ, 1985). Anaxágoras (500 a.C. - 428 a.C.) nomeou de “**mente**” a força reguladora da natureza, de origem externa, era a fonte do movimento, mudança e variação. De acordo com Jammer (2011, p. 49), “[...] a força era uma espécie de substância fluida, embora diferente de todas as outras coisas materiais”.

Platão (427 a.C. - 347 a.C.) usava o termo *dynamis* (correspondente ao verbo *dynastai* que significa “poder”, “ser capaz”) para se referir à força atuante na natureza. Ele acreditava na alma como propriedade universal e sua manifestação emanava a força para a diferenciação das características dos seres como os movimentos e as formas. Porém, ao tratar dos movimentos de queda dos corpos, Platão interpretava as forças de Empédocles como ação e reação. O movimento era executado segundo as semelhanças, os corpos semelhantes, de mesma natureza, se atraem porque tendem a ficar juntos: terra atrai terra, água atrai água, etc. As qualidades leve e pesado eram intrínsecas ao corpo. Contudo, outra hipótese foi adotada por seu discípulo Aristóteles (CRUZ, 1985).

#### 4.2 ARISTÓTELES E O PROBLEMA DO MOVIMENTO

Aristóteles afirmava que a Terra estava imóvel no centro do Universo, sendo este dividido em celeste e terrestre, cada qual constituído de leis e matérias distintas. A primeira região ficava acima da esfera lunar e todos os materiais que lá estavam eram feitos de éter (elemento celeste, a quintessência, puro, eterno, inalterável e incorruptível). Na segunda região, sublunar, os quatro elementos (terra, água, ar e fogo), ou uma combinação deles, estavam presentes na constituição física dos corpos (ÉVORA, 2005). Assim, muitas das propriedades dos objetos eram explicadas pela associação em pares de seus elementos constituintes, conforme indica a Figura 2.

**Figura 2** – Representação dos quatro elementos e suas propriedades dispostas segundo as suas relações.



Fonte: Medeiros (2009, p. 8).

Além disso, Aristóteles estipulava que todo corpo se movimenta seguindo a tendência natural do elemento que o compõe de voltar ao seu lugar de origem. Esse movimento é retilíneo e para o centro do universo (para baixo) no caso da terra e da água, ou para o exterior (para cima) no caso do ar e do fogo. Assim, os corpos podem ser divididos em pesados (graves), que se

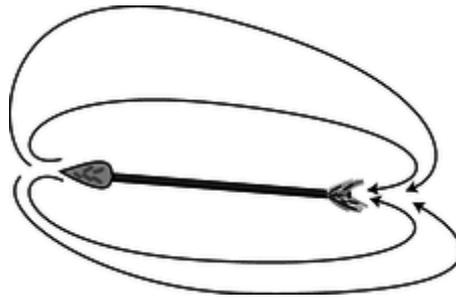
movimentam para baixo, e leves (menos graves), que se movimentam para cima (PIAGET; GARCIA, 2011). Na região celeste, que é perfeita, o movimento natural é o circular, pois o círculo pertence à classe do que é perfeito (ÉVORA, 2005). Entende-se o movimento como sendo natural em Aristóteles porque quando ele define a Natureza ele a considera como um agente motor desse movimento. Em suas palavras:

“Natureza” significa: (1) a gênese das coisas que crescem [...]. (2) A parte imanente [que faz parte da essência] de uma coisa que cresce, da qual provém o seu crescimento. **(3) A origem do movimento primeiro que é imanente a cada coisa natural em virtude da sua própria essência [...].** (4) “Natureza” também significa o material primeiro de que consiste ou é feito qualquer objeto natural, sendo aquele relativamente informe [que não é uniforme] e dotado de uma potência imutável. Assim se diz, por exemplo, que o bronze é a natureza da estátua e dos utensílios de bronze, e a madeira é a natureza das coisas que dela se fabricam [...]. (5) “Natureza” significa a essência dos objetos naturais, como entre os que denominam natureza ao tipo primordial de composição [...]. Por exemplo, em se tratando de artefatos de bronze, o bronze é o primeiro [a essência] com referência a eles [os artefatos], mas em geral talvez o primeiro seja a água, se água são todas as coisas que se pode fundir [...]. (6) Por uma extensão deste significado de “natureza”, toda essência em geral é assim chamada, porquanto a natureza de uma coisa é uma espécie de essência (ARISTÓTELES, 1969, p. 61-62, grifo nosso).

Em síntese, para Aristóteles há dois tipos distintos de movimento: o violento e o natural. O primeiro é forçado e tem como causa algo externo ao corpo, por exemplo, o arremesso de uma pedra. O segundo é natural e tem como causa a tendência do elemento que compõe o corpo de seguir para o seu lugar natural (PIAGET; GARCIA, 2011). Porém, há um problema para o movimento de uma pedra arremessada, pois o movido deve ser movido por algo. Nesse caso, depois de perder o contato com a mão, a pedra deve ser movida pelo meio, que também oferece resistência ao próprio movimento. De acordo com Aristóteles (1980 apud ÉVORA, 2005, p. 161, grifo nosso):

As coisas que são lançadas movem-se mesmo que aquilo que deu a elas seus impulsos não mais as esteja tocando, ou pela razão da substituição recíproca (*antiperistasis*), como alguns sustentam, ou **porque o ar que foi empurrado as empurra com um movimento mais rápido do que a locomoção natural dos projéteis, por meio da qual eles são movidos para os seus lugares naturais.** Mas no vazio nenhuma destas coisas pode acontecer, nem nada poderia ser movido, exceto se carregado.

**Figura 3** – Representação mostrando o ar que foi empurrado pela flecha como sendo a causa do seu movimento.



Fonte: Crowell (Chapter 4, p. u).

A Figura 3 mostra uma flecha empurrando o ar que, por sua vez, será o seu agente motor. Esse processo ficou conhecido como *antiperistasis* (substituição mútua). O ar que é empurrado pelo objeto busca ocupar o espaço vazio deixado por esse mesmo objeto. O movimento cessa apenas quando o corpo atingir o seu lugar natural. Por consequência, não há o movimento violento no vazio (vácuo) pela ausência da causa motora. Também não há o movimento natural no vazio pela impossibilidade de se diferenciar entre o alto e o baixo. Além de que a natureza possui diferenças (como o mais grave e o menos grave) que o vazio não tem. Logo, ou o movimento natural não existe ou o vácuo não existe (PIAGET; GARCIA, 2011).

Além disso, sendo a resistência do vazio nula, as velocidades de diferentes corpos em movimento violento ou natural seriam iguais. O que Aristóteles considerava como impossível, uma vez que “[...] os corpos menos pesados, com maior dificuldade em cindir o meio, movem-se mais lentamente do que aqueles com menor dificuldade” (ÉVORA, 2005, p. 161-162). Outro ponto a ser destacado é que as velocidades desses corpos seriam infinitas, pois, segundo Aristóteles (1995, p. 140, tradução nossa):

Um corpo A se move através do meio B no tempo C, e através do meio D (que é menos denso) e tempo E; Se os comprimentos de B e D são iguais, então os tempos C e E serão proporcionais à resistência do meio. Se, então, B é a água e D o ar; e que o ar é mais leve e menos corpóreo que a água, [o corpo] vai passar mais rápido através de D que através de B. Haverá, então, entre as duas velocidades a mesma proporção que aquela da qual o ar é diferente da água. Assim, se o ar é duas vezes mais sutil do que a água, A passará através de B no dobro do tempo que através de D, e, por conseguinte, o tempo de C será o dobro do tempo de E. E sempre, quanto mais incorpórea, menos resistente e mais divisível é o meio pelo qual o corpo se move, mais rapidamente [o corpo] irá atravessá-lo (ARISTÓTELES, 1995, p. 140, tradução nossa)<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Versão original: Así, el cuerpo A se desplazará a través del medio B en 215b el tiempo C, y a través del medio D (que es menos denso) en el tiempo E; si las longitudes de B y D son iguales, los tiempos C y E serán proporcionales a la resistencia del medio. Sean entonces B agua y D aire; en cuanto que el aire es más ligero y menos corpóreo que el agua, A pasará más rápidamente a través de D que a través de B. Habrá entonces entre ambas velocidades la misma proporción que aquella por la que el aire se diferencia del agua. De esta manera, si el aire es dos veces más sutil que el agua, A pasará a través de B en el doble de tiempo que a través de D, y por tanto el tiempo C será

Compreende-se, então, que a velocidade é inversamente proporcional à resistência do meio, já que a razão entre as velocidades desses dois corpos é inversamente proporcional à razão entre as respectivas resistências do meio. Em notação atual, temos:

$$v \propto \frac{F}{R} \quad (1)$$

Sendo que  $v$  representa a velocidade,  $F$  a força aplicada ao corpo e  $R$  a resistência do meio onde o movimento está ocorrendo. Conclui-se que, além da existência de uma relação proporcional entre a força e a velocidade, quanto menor for a resistência do meio maior será a velocidade. Isso confirma novamente a impossibilidade da existência do vácuo, pois a aplicação de uma força mínima sobre um corpo nesse meio faria com que a sua velocidade assumisse um valor infinito.

Para explicar a geração do movimento eterno que ocorre na região celeste, Aristóteles introduz o conceito de Primeiro Motor. Aquele que é causa geradora de movimento, porém, é imóvel, não se encontra no espaço e deve ser uma substância imaterial e eterna, para gerar o movimento para sempre. Em suas palavras:

[...] se há algum objeto que esteja em movimento eterno, não se move em virtude de uma potência salvo com respeito a passar de um lugar para outro (pois nada impede que ele possua matéria, o que o tornaria capaz de movimento em várias direções). E assim, o Sol, as estrelas e o céu inteiro estão em perpétua atividade, e não há perigo de se imobilizarem um dia, como receiam os físicos. Não há descanso nessa atividade, pois o movimento não é para eles, como para os seres percíveis, o resultado de uma potência que admite os contrários. O que torna a continuidade do movimento fatigante para os seres percíveis é a sua substância, que consiste em matéria e potência, porém não em ato (ARISTÓTELES, 1969, p. 202).

Temos em Aristóteles a notória separação entre o universo mundano e o celeste, o que se harmonizou depois com os pensamentos da Igreja Católica durante a Idade Média, principalmente com as interpretações de São Tomás de Aquino (1225 - 1274) que transformou essa concepção de mundo em vários dogmas (CRUZ, 1985).

### 4.3 PÓS-ARISTÓTELES

---

el doble que el tiempo E. Y siempre, cuanto 10 más incorpóreo y menos resistente y más divisible sea el medio a través del cual el cuerpo se desplaza, tanto más rápidamente lo atravesará (ARISTÓTELES, 1995, p. 140).

Após Aristóteles encontramos algumas reflexões sobre o conceito de força na escola estoica que trilharam por outros caminhos do que as teorias aristotélicas. Sua doutrina tratava da unidade do cosmos como uma atividade de conexão. Posidônio (135 a.C. - 51 a.C.) versava sobre a “simpatia” entre iguais e “contraste” entre diferentes. Nessa concepção, há uma força que está em todo o Universo e interage simultaneamente entre os corpos, atraindo os iguais e afastando os diferentes. Esta ideia aproxima-se da ação à distância da física clássica dos séculos XVII e XVIII, principalmente porque tudo está interligado por meio de algo que não se vê, porém, observa-se o fenômeno (JAMMER, 2011).

A “simpatia” ganha evidência na literatura da época, tanto a científica quanto a filosófica e mítica. Além de explicar a relação da Lua e do Sol com as marés ainda respaldava o que hoje chamamos de astrologia por tratar das relações dos astros com os acontecimentos na Terra. Dava-se à astrologia um suporte teórico lógico. Esses conceitos também influenciaram Plínio (23 d.C. - 79 d.C.) que escreveu em seu livro “História natural” discussões acerca de forças: físicas, químicas, médicas e ocultas. A força física e os agentes ocultos se confundiam, a primeira era entendida como, essencialmente, uma magia que se fundamentava na “simpatia” e “antipatia” (JAMMER, 2011).

Da mesma forma, Fílon de Alexandria (10 a.C. - 50 d.C.) – ou *Philo Judaeus* dada a tradição latina, porém, em desuso – aplicou a concepção estoica em sua cosmologia. Inserido na escola judaica de Alexandria, ele acreditava na Gênese do judaísmo e no Deus da Bíblia, apesar disso, sua cosmologia era “[...] um sincretismo no qual são admitidos todos os elementos, em particular peripatéticos e platônicos, que se conciliam com a ideia estóica fundamental da simpatia das partes do mundo [...]” (BRÉHIER, 1950apudNASCIMENTO; MARCONDES, 2003, p. 66). Porém, Fílon conciliava os textos bíblicos com sua cosmologia e interpretava a união de tudo, ligação de todo o Universo, não mais por meio da “simpatia” mas por intermédio da divindade imersa nesse Universo. Era a força de Deus emanando como correntes invisíveis e ligando tudo com tudo. Essa força poderia ser propriedade de Deus, idêntica a Deus ou imanente, ou ainda estar contida na natureza (JAMMER, 2011).

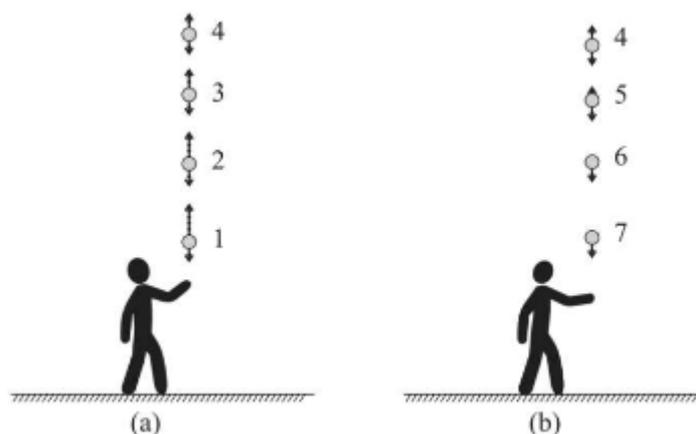
Apesar da predominância do pensamento Aristotélico e suas explicações teológicas, constata-se um período fecundo de estudos em que o conceito de força se fez presente, embora aliado ao misticismo regente de cada escola e contexto. Havia obstáculos constantes ao desenvolvimento de tal conceito, assim a superação da visão mística, ou da noção muscular, ou

do pragmatismo regente exigiam um trabalho constante e árduo, como foi, uma vez que tais concepções eram grandes empecilhos. Mas, com o passar dos séculos e de trabalhos constantes que nem sempre foram conclusivos ou que permaneciam com incoerências e arraigados no realismo e nas justificativas pragmáticas, conseguiram alcançar críticas à teoria aristotélica mais aperfeiçoadas, iniciando a ruptura do conhecimento anterior, dando origem ao conceito de força impressa que discutiremos a seguir.

#### 4.4 FORÇA IMPRESSA

A explicação do movimento dos objetos por meio da *antiperistasis* foi criticada por Hiparco de Nicéia (190 a.C. - 120 a.C.) que foi um dos precursores do conceito de *força impressa*. Esse conceito trouxe novas interpretações sobre o movimento de corpos lançados no mundo sublunar. O corpo permanece em movimento porque o motor que o lançou transmite uma força para ele, porém essa força vai diminuindo pouco a pouco ao longo do movimento.

**Figura 4** – Representação de um lançamento vertical para cima: em (a), suas respectivas forças são indicadas nos pontos 1, 2, 3 e 4; e, em (b), o projétil está descendo e suas forças estão apresentadas nos pontos 4, 5, 6 e 7.



Fonte: <http://ptdocz.com/doc/1092385/de-hiparco--130-a.c.--at%C3%A9-a-idade-m%C3%A9dia>

Na Figura 4 temos a representação de um lançamento vertical para cima. Hiparco descreve esse movimento na subida afirmando que a força transferida pelo lançador diminui com o tempo fazendo com que a velocidade da pedra fique cada vez mais lenta. No ponto mais alto da trajetória a pedra para, pois, a força impressa se iguala com a tendência ao movimento de queda. Em seguida, a pedra cai devido ao seu próprio impulso interno e aumenta a sua velocidade devido a diminuição da força impressa que se reduz até ficar nula (FRANKLIN, 1976 apud PEDUZZI, 2008).

A força para manter o objeto em movimento que em Aristóteles advinha do meio, com Hiparco é absorvida e usada pelo próprio objeto. A teoria da força impressa foi utilizada com algumas modificações, séculos depois por Philoponus de Alexandria (ou Filoponos) (490d.C. –570 d.C.) que recusou a *antiperistasis* aristotélica porque:

[...] seria difícil dizer o que é (uma vez que parece não haver força contrária) que faz o ar, uma vez empurrado adiante, mover-se de volta, isto é ao longo dos lados da flecha, e depois alcançar a traseira da flecha, voltando uma vez mais e empurrando a flecha adiante. Pois, nesta teoria, o ar em questão deve realizar três movimentos distintos [...]. Todavia o ar é facilmente movido, e uma vez colocado em movimento atravessa uma distância considerável. Como então, pode o ar, empurrado pela flecha, deixar de mover-se na direção do impulso impresso, mas em lugar disso, virar, como por algum comando, e retrair seu curso? Além disso, como pode este ar, ao virar, evitar de ser disperso no espaço, mas colidir precisamente sobre o entalhe da flecha e novamente empurrar a flecha adiante e presa a ele? Tal visão é inteiramente inacreditável e chega a ser fantástica (PHILOPONUS, apud ÉVORA, 1987, p. 79).

Philoponus não aceitava que o ar modificasse seu caminho e fosse contra o que lhe foi impresso. Ele imaginava outra explicação para substituir a de Aristóteles, semelhante à *força impressa* de Hiparco, porém essa força não é duradoura e diminuía ao longo do movimento por causa da resistência do meio e da tendência do objeto de ir para o seu lugar natural (ÉVORA, 1987). Em termos modernos, temos:

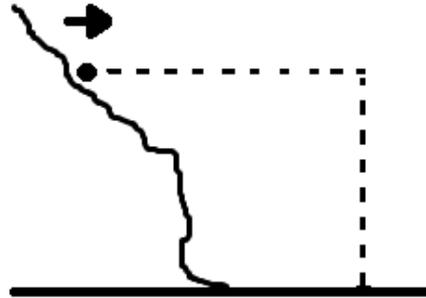
$$v \propto (F - R) \quad (2)$$

Sendo que  $F$  é a *força impressa* ao corpo,  $R$  é a resistência do meio e  $v$  é a velocidade. Assim como em Aristóteles, ainda há uma relação da força com a resistência, se esta for menor, a velocidade será maior, mas, ao contrário da concepção aristotélica, se for nula, a velocidade não será infinita. Philoponus também fez críticas à explicação aristotélica da queda dos corpos, assim relatadas por Cohen (1988, p. 23-24):

Se deixar cair da mesma altura, dois pesos, um dos quais muitas vezes mais pesado do que o outro, não observará que a razão dos tempos requeridos para o movimento depende da razão dos pesos, mas sim que a diferença dos tempos é muito pequena. E assim, se a diferença entre os pesos não é considerável, isto é, se um é, digamos, duplo do outro, não haverá diferença ou, melhor, haverá uma diferença imperceptível nos tempos, ainda que a diferença de pesos não seja desprezável, pois um corpo pesa o dobro do outro.

Séculos depois, Avicena (980 d.C. - 1037d.C.) ressuscita a noção da *força impressa*. Esta é análoga ao calor do fogo que é cedido à água mas, ao contrário de Philoponus, não concordava com a diminuição dessa força pela resistência do meio. Logo, ele também negava o vácuo. Na Figura 5, temos uma representação de um lançamento horizontal segundo Avicena:

**Figura 5**– Representação de um lançamento horizontal segundo Avicena no qual a seta indica o sentido que o projétil foi lançado pela força impressa.



Fonte: Elaborada pela autora.

De acordo com o seu entendimento, um objeto ao ser lançado horizontalmente adquire uma quantidade de força impressa e segue uma trajetória retilínea até esgotar essa força. Na sequência, o movimento horizontal cessa, ocorrendo a queda devido ao “peso” (PEDUZZI, 2008).

A polêmica entre a *antiperistasis* de Aristóteles e a força impressa continua cerca de seis séculos depois com os árabes Avempace (1080d.C.– 1138d.C.) (forma latinizada de Ibn Bajja) e Averroes (1126d.C.– 1198d.C.). O primeiro foi um grande divulgador das teorias de Philoponus e o segundo das aristotélicas (ÉVORA, 1987; NEVES, 2000; PEDUZZI, 2008). Essas discussões prosseguiram ao longo da Idade Média. Como exemplo, temos um texto de Alberto da Saxônia (1320d.C. – 1390d.C.), intitulado *Questões sobre os Oito Livros da Física de Aristóteles*. Dos dezessete itens elencados, Neves (2000, p. 546) ressalta cinco:

[...]

8. Se a existência de um vácuo é possível.

9. Se, em seu movimento descendente, um simples corpo pesado possui uma resistência interna; e, ao mesmo tempo, [se] em seu movimento ascendente um [simples] corpo leve [possui uma resistência interna].

10. Se um meio de resistência é necessário em todo movimento de corpos pesados e leves.

11. Se, existindo um vácuo, um corpo pesado poderia mover-se nele.

12. Se alguma coisa pode mover-se no vácuo - admitindo-se a existência - com uma velocidade finita ou com um movimento circunscrito ou com um movimento alterado.

[...].

Por essas reflexões percebe-se que ainda se estava longe de um consenso sobre o tema. No século XIII, Roger Bacon (1214d.C.–1294d.C.) mesclou a teoria aristotélica com as concepções do astrólogo Abu Yusuf Ya’qub ibn Ishaq ibn al-Sabbah al-Kindi (801d.C.–873d.C.). Al-Kindi, como era conhecido, acreditava que as luzes das estrelas carregavam forças e se combinavam em diversas formas devido às “colisões” de seus raios. Bacon ao estipular que há alguma constituição de uma rede de ligações causadas pelas combinações das virtudes celestes nos corpos inferiores, se apropria das concepções de Al-Kindi. Contudo, o inglês foi além ao fazer reflexões sobre o processo da transmissão e propagação da força. Com esse objetivo em mente, ele cria o termo “*species*”, que Jammer (2011) acusa de aparentar confuso e obscuro para o próprio Bacon. Mas, de modo grosseiro, podemos considerar “*species*” como a virtude, a força emanada dos astros que se movimenta sucessivamente ao longo da rede de ligações no Universo e atinge o paciente, receptor da virtude. Portanto, “*species*” era algo corpóreo e possuía a mesma natureza que o meio, uma vez que a força não estava mais no corpo que a projetou, não era mais interna ao corpo.

A concepção ao longo do período descrito apresenta a força como uma noção extra-humana, algo divino (“virtude celeste”) para movimentar a natureza que acaba por introduzir o componente irracional na matéria e sujeita a tal concepção a um status não científico devido a inacessibilidade de demonstração matemática e/ou verificação experimental. Apesar de ser estruturada em meio a raciocínios lógicos, entre estruturas autossustentáveis racionalmente, o conceito de força recorre a explicações não racionais. Contudo, anos mais tarde na história podemos prosseguir com a ruptura da concepção divina como se segue na próxima seção.

#### 4.5 INÍCIO DA CIÊNCIA MODERNA

Esses elementos divinos causadores do movimento dos astros foram contestados por Jean Buridan (1300d.C.– 1358d.C.) que desenvolveu a sua própria teoria do ímpeto. De acordo com Duhem (1995 apud JAMMER, 2011, p. 81):

Quem quiser traçar uma linha de separação entre os campos da ciência antiga e da moderna deve traçá-la no instante em que Jean Buridan concebeu sua teoria do ímpeto, quando abandonou a ideia de que os astros seriam mantidos em movimento por certas inteligências divinas e proclamou que tanto os movimentos celestes quanto os terrestres estavam sujeitos às mesmas leis mecânicas (DUHEM, 1995 apud JAMMER, 2011, p. 81).

A sua teoria do ímpeto considerava de forma qualitativa a relação entre a velocidade e a quantidade de matéria como medida da força, apesar de ter semelhanças com as teorias anteriores de outros personagens já mencionados, ela se distingue por não separar o celeste do terrestre. Nas palavras de Buridan (apud GRANT, 1974, p. 282)<sup>2</sup>:

[...] poderíamos imaginar que é desnecessário postular inteligências como os motores dos corpos celestes, uma vez que as Sagradas Escrituras não nos informam que as inteligências devem ser colocadas. Pois pode-se dizer que quando Deus criou as esferas celestiais, Ele começou a mover cada uma delas como Ele desejava, e elas ainda são movidas pelo *ímpetus* que Ele lhes deu porque, não havendo resistência, o *ímpetus* não é corrompido nem diminuído.

Para Buridan, o movimento terrestre e o celeste têm como causa o mesmo *ímpetus*, com uma diferença: que o *ímpetus* celeste foi cedido por Deus. Agora o *ímpetus* buscava uma interpretação a partir de experimentações reais e imaginárias que Buridan fez, principalmente quando rompe com conceitos fundamentais aristotélicos como a diferença entre a mecânica celeste e terrestre.

Outro ponto da teoria aristotélica que foi questionado por Buridan foi o processo da *antiperistasis*. Em seus comentários sobre o livro *Physics* de Aristóteles, ele exemplifica os seus argumentos explicando o funcionamento de uma estrutura chamada de “moinho de Smith” (roda para afiação de lâminas). Esse dispositivo ao ser colocado em movimento demora para parar, porém, por girar no mesmo lugar, ele não cria o espaço para qual o ar deveria se deslocar e, conseqüentemente, movimentar a roda (GRANEY, 2013). A Figura 6 mostra um maquinário similar a esse:

---

<sup>2</sup> Versão original: And thus one could imagine that it is unnecessary to posit intelligences as the movers of celestial bodies since the Holy Scriptures do not inform us that intelligences must be posited. for it could be said that when God create the celestial spheres, He began to move each of them as He wished, and they ar still moved by the ímpetus which He gave to them because, there being no resistance, the ímpetus is neither corrupted not diminished (GRANT, 1974, p. 282).

**Figura 6** – Representação de um amolador ou roda de moagem para afiar facas, espadas, etc. Essa estrutura faz com que a roda suspensa gire enquanto aciona-se o pedal no qual a pessoa da imagem está com o pé. Ao encostar a lâmina na roda o objeto é lixado e afiado.



Fonte: <http://collezioni.genusbononiae.it/products/dettaglio/6307>

A não possibilidade de o ar agir como motor do movimento da roda contradiz a explicação por meio da *antiperistasis*. Outro exemplo citado por Buridan é o de um barco sendo remado em águas paradas. Quando os seus tripulantes param de remar, eles não sentem nada os empurrando, pelo contrário, sentem o ar no sentido oposto resistindo ao movimento. Graney (2013, p. 3) apresenta outras reflexões de Buridan sobre esses exemplos:

Se você cortar o ar em todos os lados perto do moinho smith com um pano, o moinho não para por esse motivo, mas continua a se mover por um longo tempo. Portanto, não é movido pelo ar.

Se o navio fosse carregado com grão ou palha e fosse movido pelo ar ambiente, então aquele ar deveria soprar as hastes exteriores [grão ou palha da superfície do amontoado] para frente. Mas o contrário é evidente, porque as hastes são sopradas um pouco para trás por causa do ar ambiente<sup>3</sup>.

Buridan defendia que o movimento estava relacionado a outros fatores que não a obrigatoriedade de o motor sempre estar em contato com o projétil para poder movê-lo de modo violento. Além de apresentar um raciocínio mais organizado que a teoria da *força impressa*,

<sup>3</sup> Versão original: [I]f you cut off the air on all sides near the smith's mill by a cloth, the mill does not on this account stop but continues to move for a long time. Therefore, it is not moved by air. [I]f the ship were loaded with grain or straw and were moved by the ambient air, then that air ought to blow exterior stalks toward the front. But the contrary is evident, for the stalks are blown rather to the rear because of the ambient air Graney (2013, p. 3).

Buridan considerava a teoria aristotélica como não condizente com os dados coletados pelos experimentos. Então, ele elabora a sua própria teoria, como veremos a seguir.

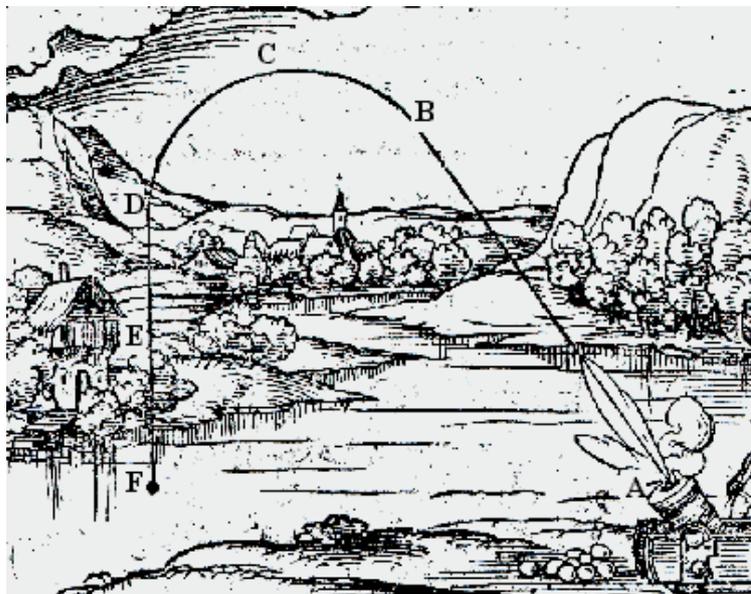
#### 4.6 TEORIA DO ÍMPETUS DE BURIDAN

A explicação para a continuidade do movimento após a perda do contato com o agente motor é dada da seguinte maneira por Buridan (apud ÉVORA, 1987, p. 88):

[...] parece-me que deve ser dito que o motor, ao mover um corpo móvel, imprime um certo ímpeto (*ímpetus*), ou uma certa força motriz (*vis motiva*) ao corpo móvel (no qual age o *ímpetus*) na direção para o qual o motor estava movendo o corpo móvel, para cima ou para baixo ou lateralmente ou circularmente. Quanto mais rapidamente o motor mover aquele corpo móvel, mais forte será o *ímpetus* que ele lhe imprimirá. É por esse *ímpetus* que a pedra é movida depois que o atirador para de movê-la. Porém esse *ímpetus* é continuamente reduzido pela resistência do ar e pela gravidade da pedra que a inclina em uma direção contrária àquela à qual o *ímpetus* estava naturalmente predisposto a movê-la. Assim o movimento da pedra torna-se continuamente mais lento, e finalmente esse *ímpetus* diminui tanto que a gravidade da pedra o vence e move a pedra para baixo, para seu lugar natural (BURIDAN apud ÉVORA, 1987, p. 88).

Na Figura 7, há uma demonstração de como essa teoria do *ímpetus* pode ser utilizada para analisar o movimento de um objeto lançado obliquamente.

**Figura 7** – Representação do trajeto de um corpo lançado obliquamente segundo a teoria do *ímpetus* de Buridan.



Fonte: [http://nautilus.fis.uc.pt/softc/Read\\_c/RV/virtual\\_water/articles/art3/art3.html](http://nautilus.fis.uc.pt/softc/Read_c/RV/virtual_water/articles/art3/art3.html)

O *ímpetus* cedido ao projétil pelo canhão, por superar em muito a sua tendência em cair, faz com que ele se desloque ao longo da linha reta AB. No trajeto BCD, devido à diminuição do *ímpetus*, o projétil segue a trajetória curva até restar apenas a sua tendência de ir para o lugar natural ao longo da reta DF. Ressaltamos que, para Buridan, a velocidade e a quantidade de matéria do corpo que é movido determina a força do *ímpetus* que produz o movimento e, conseqüentemente, qual a distância que esse corpo percorre contra as forças resistivas (ÉVORA, 1987; NEVES, 2000; PEDUZZI, 2008; GRANEY, 2013). Em suas palavras:

Uma pena recebe [momentum] tão fracamente que tal momento é imediatamente destruído pelo ar resistido. E assim também se a madeira leve e o ferro pesado do mesmo volume e da mesma forma são movidos igualmente rapidamente por um projetor, o ferro será movido mais distante porque há impresso nele um momentum mais intenso, que não seja corruptível tão rapidamente como o momento menor seria corrompido[...]. E por esta razão você poderia jogar uma pedra de um meio ou um peso da libra mais distante do que você poderia uma milésima parte dela. Pois o impulso naquela milésima parte é tão pequeno que é superado imediatamente pelo ar resistido (BURIDAN apud GRANEY, 2013, p. 4)<sup>4</sup>.

Para explicar como um corpo solto cai, Buridan considera que inicialmente está atuando apenas a tendência do objeto de se deslocar para o seu lugar natural. Na sequência, soma-se o *ímpetus* que aumentará continuamente com o ganho da velocidade na queda. “Este impulso agora junto com sua gravidade move-o. Portanto, o movimento se torna mais rápido [...], continuamente torna-se mais rápido” (BURIDAN apud GRANEY, 2013, p. 5), logo, um objeto com maior massa cairá mais rapidamente do que outro de menor massa porque adquirirá mais *ímpetus*. Mas de onde viria o impulso inicial que colocará o objeto em movimento? Assim responde Buridan (apud JAMMER, 2011, p. 96):

Devemos imaginar a partir de todo o céu uma influência contínua até o centro. Contudo, aquela influência próxima ao céu e remota possui outra propriedade e força, por causa daquela influência diversificada no mais alto e no mais baixo; assim, virtualmente, as coisas mais graves [pesadas] e mais leves ordenam-se nesse mundo inferior. Isso não deve ser negado pelo fato de que não percebemos sensivelmente tal influência, pois também não percebemos

---

<sup>4</sup> Versão original: A feather receives [momentum] so weakly that such momentum is immediately destroyed by the resisting air. And so also if light wood and heavy iron of the same volume and of the same shape are moved equally fast by a projector, the iron will be moved farther because there is impressed in it a more intense momentum, which is not so quickly corrupted as the lesser momentum would be corrupted. And for this reason you could throw a stone of one-half or one pound weight farther than you could a thousandth part of it. For the momentum in that thousandth part is so small that it is overcome immediately by the resisting air (BURIDAN apud GRANEY, 2013, p. 5).

aquela que a partir do imã é multiplicada pelo meio até o ferro, a qual, contudo, é de grande força.

Pela explicação podemos conceber os corpos sendo influenciados por uma força que está em todo o céu, semelhante ao que entendemos pelo conceito de *campo*. Assim, apesar do destaque de Buridan com sua noção quantitativa e observacional, além do realismo ingênuo que alcança altos níveis de abstração com relação as outras teorias até ali mencionadas, houve diversas construções teóricas da observação simplista ou incoerências na teoria que recaem na caracterização de algo místico da natureza. Ao passo que o racionalismo se fortalece podemos perceber diferentes concepções de força ganhando novas constituições em argumentações que veremos em Johannes Kepler (1571-1630) e a concretização de uma racionalização matemática.

#### 4.7 CONSOLIDAÇÃO DA CIÊNCIA MODERNA

De acordo com Rosmorduc (1985, p. 78), a teoria do *ímpetus* foi a causa de movimento e fonte de novas interrogações, por exemplo:

Buridan tenta aplicar sua teoria aos movimentos cósmicos. Albert de Saxe, tendo descoberto que a velocidade de queda dos corpos tende a crescer, quer explicar este resultado pela doutrina do ímpetus. Nicole Oresme, com o mesmo estado de espírito, se aproxima da noção de movimento uniformemente acelerado e se interroga sobre a imobilidade da Terra. Nicolas de Cues imagina um Universo ao mesmo tempo infinito e limitado, e substitui a idéia do Primeiro Motor de Aristóteles pela de um ímpetus inicial dado por Deus. Leonardo da Vinci se interroga sobre vários problemas: movimentos dos corpos sobre os planos inclinados, ações conjugadas de muitas forças sobre um mesmo móvel etc. Dominique de Soto, Nicolas Tartaglia, Gerolamo Cardano se interrogam sobre a “queda dos graves”, e J. B. Benedetti introduz a física do ímpetus em todos os aspectos do movimento e do equilíbrio dos corpos. Acompanhando os progressos técnicos e os movimentos das idéias desenvolvidas acima, observa-se incontestavelmente uma espécie de efervescência que agita a mecânica.

Todavia, “como cosmologia e mecânica estão intimamente ligadas, a revolução de uma acarreta obrigatoriamente a da outra” (ROSMORDUC, 1985, p. 79). Desse modo, em complemento à teoria do *ímpetus*, a outra grande influência sobre o conceito de força virá do novo sistema astronômico proposto por Copérnico e adotado por Kepler e Galileu.

A obra *De revolutionibus orbium collestium* de Nicolau Copérnico (1473 - 1543) foi publicada no ano de sua morte. Nela ele discute e propõe a sua teoria heliocêntrica, que discordava da

mentalidade da época. Isso modificava o papel da matemática nas discussões sobre os fenômenos celestes e terrestres, agora ela era única e válida para todo o Universo. Essa nova concepção motivou Johannes Kepler (1571d.C.– 1630d.C.) a analisar os minuciosos dados astronômicos coletados por Tycho Brahe (1546d.C.– 1601d.C.) em busca de uma harmonia dos céus (VARGAS, 1996). Kepler apresenta em seu trabalho *Mistério cosmográfico* a explicação estética da estrutura do cosmos. Ele assume que há uma espécie de força que emana do Sol e descreve o posicionamento dos céus e como ele deve funcionar, do seguinte modo:

Pois assim como a fonte da luz está no Sol, e a origem do círculo está no lugar do Sol, isto é, no centro, assim aqui a vida, o movimento e a alma do mundo são recolhidos nesse mesmo Sol, de modo que caiba às [estrelas] fixas o repouso, aos planetas os atos segundos dos movimentos e ao Sol o próprio ato primeiro, que é incomparavelmente mais nobre do que os atos segundos em todas as coisas. E não é de maneira distinta que o mesmo Sol sobressai amplamente em relação a todos os demais [astros] pela beleza de seu aspecto, pela eficácia de sua força e pelo esplendor de sua luz (KEPLER, 1992aapudITOKAZU, 2006, p. 40).

Como o Sol é esplêndido em toda a sua caracterização adotada por Kepler, só cabe a ele ocupar o centro e ser o projetor da iluminação e do movimento. Assim, a alma que anima os corpos, segundo a crença de alguns pensadores anteriores, é transferida para o Sol como o único detentor dessa “força” capaz de executar o movimento, mesmo que seja uma ação à distância, assim como a “força magnética”. Em um trabalho posterior ao *Mistério cosmográfico*, Kepler escreveu um livro em forma de relatos de seu esforço que incluiu dificuldades e erros para a conclusão das duas primeiras leis dos movimentos planetários que levaram seu nome. O livro recebeu o título de *Astronomia Nova* e apresentou uma análise numérica da força solar (alma motriz) para tentar resolver o problema da anomalia existente na órbita de Marte quando visualizada da Terra. Na mesma obra, o autor considera as marés como consequência da atração entre a Lua e as águas e conceitua a gravidade, distinta da força motriz, como:

[...] uma relação corpórea mútua entre corpos semelhantes para a união ou agrupamento (essa disposição das coisas também está presente na faculdade magnética); assim, a Terra atrai a pedra muito mais do que a pedra atrai a Terra (KEPLER, 1992bapudITOKAZU, 2006, p. 90).

Após o contato com o trabalho de William Gilbert (1544d.C. – 1603d.C.), que havia lhe mostrado no livro *De Magnete*, de 1600, ser a Terra um imenso imã, provavelmente o levou a considerar uma natureza magnética à força motriz. Como a Terra, em sua rotação diária, move a Lua em seu entorno devido ao magnetismo terrestre, analogamente, o Sol, que supunha ter

movimento de rotação, age com uma força motriz capaz de mover os planetas a sua volta. A rotação solar era uma hipótese de Kepler ao constatar que todos os movimentos planetários têm a mesma direção. No ano seguinte à publicação da *Astronomia Nova*, ele toma conhecimento dos dados empíricos dessa rotação provenientes das observações com o telescópio de Galileu Galilei (1564d.C. – 1642d.C.) (ITOKAZU, 2006).

Kepler faz uma analogia da força motriz com a luz para explicar fisicamente como se dá a sua ação à distância. As duas se propagam seguindo a estrutura geométrica de uma superfície esférica e são identificadas por meio de seus efeitos, porque apesar de serem imateriais, afetam corpos materiais. As suas intensidades são reduzidas proporcionalmente com o quadrado da distância da fonte (ITOKAZU, 2006).

Essas reflexões podem ser consideradas como a transição para o perfil racionalista clássico de força. A superação da movimentação celeste baseada em ação divina começa a romper com os obstáculos anteriores de adotar uma propriedade oculta para a força ou ainda uma característica real para os objetos se moverem de determinadas maneiras. Porém, o perfil não foi totalmente atingido. A história apresenta um processo repleto de rupturas com o conhecimento anterior ao longo de muitos anos de trabalho de diversos filósofos.

Na mesma época dos trabalhos de Kepler, temos as contribuições de Galileu. Inicialmente, o físico italiano não acreditava na teoria copernicana sobre a mobilidade da Terra. Ele chegou a escrever um livro intitulado *Trattato della sfera (Tratado da esfera, ou cosmografia)*, por volta de 1592, que mais se assemelha a um comentário do livro *Tractatus de sphaera (Tratado da esfera)* de Sacrobosco (1195d.C. – 1256d.C.). Nessa obra, Galileu nega o movimento da Terra argumentando que ao soltar um corpo de uma torre, este não cai na sua base porque enquanto ele desce perpendicularmente no ar, a Terra se move para o oriente. Assim, o objeto já não se encontrará perto da torre, pelo contrário, estará muito distante, o mesmo acontecendo com algo solto do mastro de um navio em movimento (ÉVORA, 1987; MARTINS; CARDOSO, 2008).

Porém, anos depois Galileu publica, em 1632, o *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo – Tolomaico e Copernicano* (Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano) no qual apresenta uma discussão, durante quatro dias, entre três personagens, a saber: Salviati, provável copernicano, representante da nova ciência; Simplicio, um aristotélico; Sagredo, um mediador, neutro, inteligente e livre de preconceitos. No primeiro dia eles

conversam sobre a dicotomia aristotélica (celeste e terrestre), no segundo sobre a rotação diária da Terra, no terceiro sobre a revolução anual de nosso planeta e no quarto sobre as marés, em busca de argumentos favoráveis à mobilidade terrestre. Nessa obra, o autor rompeu com algumas certezas aristotélicas ao analisar o conceito de inércia circular, relatividade do movimento e a trajetória de queda dos corpos.

A princípio, Galileu faz uma análise do movimento de subida e de queda de um corpo lançado verticalmente para cima semelhante à teoria do *ímpetus* de Philoponus. No entanto, em seguida, ele abandona essa concepção de força por considerar impossível de ser descrita matematicamente (ÉVORA, 1987). Após vários experimentos reais e de pensamento, Galileu afirma que, quando não houver qualquer tipo de atrito, não há necessidade da aplicação de uma força para manter um objeto em movimento. Desse modo, ele associa como efeito da aplicação da força sobre um corpo a variação de sua velocidade (aceleração) e não a manutenção de seu movimento<sup>5</sup>. Logo, o movimento pode permanecer infinitamente sem “causa”. Porém, a aceleração é uma mudança de estado e necessita de uma “causa” (KOYRÉ, 1982apudÉVORA, 1987). No trecho a seguir, há um resumo de seu pensamento sobre esses temas:

[...] observo uma pedra que cai de uma certa altura a partir do repouso e que adquire pouco a pouco novos acréscimos de velocidade, por que não posso acreditar que tais acréscimos de velocidade não ocorrem segundo a proporção mais simples e mais óbvia? Se considerarmos atentamente o problema, não encontraremos nenhum acréscimo mais simples do que aquele que sempre se repete da mesma maneira. O que entenderemos facilmente, se considerarmos a estrita afinidade existente entre o corpo e o movimento: do mesmo modo, com efeito, que a uniformidade do movimento se define e se concebe com base na igualdade dos tempos e dos espaços (com efeito, chamamos movimento uniforme ao movimento que em tempos iguais percorre espaços iguais), assim também, mediante uma divisão de tempo em partes iguais, podemos perceber que os aumentos de velocidade acontecem com simplicidade; concebemos no espírito que um movimento é uniformemente acelerado quando, em tempos iguais quaisquer, adquire aumentos iguais de velocidade (GALILEI, 1935 apud PEDUZZI, 2008, p.128).

Apesar dessas contribuições, Galileu não conseguiu explicar de maneira diferente da tendência de um corpo ir para o seu lugar natural, o motivo da queda dos objetos. Além disso, segundo Jammer (2011), ele não se aprofundou no estudo da força, seus trabalhos versaram,

---

<sup>5</sup>A argumentação sobre a causa dessa modificação da velocidade é uma discussão expressa no *Diálogo*. É através da teoria baseada em estudos de Arquimedes sobre as velocidades de corpos em diferentes meios que Galileu conceitua o que os pesos específicos dos corpos se contrapõem com o peso do meio e rascunha o que hoje chamamos de movimento uniformemente acelerado.

principalmente, sobre os aspectos cinemáticos do movimento. Ele acreditava que não estava ao seu alcance investigar a causa da aceleração do movimento natural. Segundo Galileu (1638 apud JAMMER, 2011, p. 129):

[...] muitas opiniões foram expressas a esse respeito por vários filósofos. Alguns explicaram pela atração para o centro; outros, pela repulsa entre as partes muito pequenas do corpo; outros, ainda, a atribuíram a uma tensão no circundante, que se aproxima por trás do corpo cadente e o impele de uma de suas posições para outra. Todas essas fantasias, e outras, devem ser examinadas, mas não vale realmente a pena. Por ora, nosso propósito é investigar e demonstrar algumas propriedades do movimento acelerado (seja qual for a causa da aceleração).

Mesmo assim, podemos considerar os estudos galileanos como uma das rupturas que contém na História da Ciência. Tal trabalho teve um papel de destaque na decadência da filosofia natural de Aristóteles, abrindo caminho para que novas maneiras de pensar o mundo se firmassem. Nesse cenário, reconhecemos também a figura de René Descartes (1596d.C. – 1650d.C.), essencialmente racionalista, acreditava que a origem da natureza estava na perfeição divina, sendo uma máquina perfeita regida por leis matemáticas exatas.

O universo físico cartesiano é constituído por um único tipo de matéria extensa que ocupa todos os espaços imagináveis, não havendo lugar para o vazio. Ela é caracterizada pela sua extensão, comprimento, altura, largura e pelo movimento. A extensão e o movimento das partículas ou corpúsculos de matéria são qualidades primárias (inerentes à própria matéria) e todo o resto – cor, sabor, frio, quente, som... – são qualidades secundárias, derivadas em consequência dos efeitos que as qualidades primárias provocam nos observadores.

Ao considerar a matéria como única no universo, Descartes propõe que nossa percepção da diversidade de matéria é devido ao fato dela poder ser dividida e movimentada. É esse movimento das partes da matéria que a diversifica. Movimento para o filósofo francês é apenas aquele que se realiza de um lugar a outro, ele não considera o movimento como um processo de mudança, como os escolásticos faziam. Sobre a sua definição de movimento, ele nos diz:

Mas se em vez de ficarmos naquilo que não tem outro fundamento senão a utilização comum, nós desejamos saber o que é o movimento segundo a verdade, nós diremos, a fim de lhe atribuir uma natureza que seja determinada, que é **o transporte de uma parte da matéria, ou de um corpo, da vizinhança daqueles que o tocam imediatamente, e que nós consideramos como em repouso na vizinhança de outros**. Por um corpo, ou melhor, por

uma parte da matéria eu quero dizer tudo o que é transportado junto ao que quer que seja talvez composto de várias partes que, no entanto empregam sua agitação para fazer outros movimentos. E eu digo que ele [o movimento] é o transporte e não a força ou a ação que transporta afim de mostrar que o movimento está sempre na coisa que se move, e não naquele que causa o movimento; pois me parece que não se tem o hábito de distinguir essas duas coisas com bastante cuidado. Além do mais, **eu compreendo que ele [o movimento] é uma propriedade do corpo que se move e não uma substância: assim como a figura é uma propriedade da coisa que é figurada e o repouso [é uma propriedade] da coisa que está em repouso** (DESCARTES apud SAPUNARU, 2006, p. 70, grifo nosso).

Entendemos, então, que o movimento de Descartes é uma propriedade intrínseca ao corpo ou um estado, como tratado por Galileu. É no corpo que o movimento está e é ele, o movimento, que sujeita a matéria as diferenciações percebidas pelo homem, diferentemente da concepção dos processos de Aristóteles. Mas, se a matéria é provida de apenas qualidades inertes, quais seriam as causas dos movimentos dos corpos para a filosofia cartesiana? Descartes afirmava que o movimento teria duas causas distintas: a causa primária e universal, que produz geralmente todos os movimentos que existem no mundo e as causas secundárias e particulares, que fazem com que cada parte da matéria adquira o movimento que antes não possuía.

A causa primeira não seria outra senão “Deus, que pela sua Onipotência criou a matéria com o movimento e o repouso, e que conserva agora no universo, por seu concurso ordinário, tanto movimento e repouso quanto colocou nele ao criá-lo” (DESCARTES apud BARRA, 2003, p. 306). A respeito das causas secundárias, Descartes (apud BARRA, 2003, p. 306) assim se expressa:

[...] em virtude de que Deus não está absolutamente sujeito a mudanças e que ele age sempre da mesma forma, podemos chegar ao conhecimento de certas regras, que eu chamo de leis da natureza, e que são as causas segundas dos diversos movimentos que observamos em todos os corpos; o que as torna muito dignas de consideração aqui.

Em outras palavras, desde o momento da Criação, a quantidade de movimento total do Universo se conserva, seguindo certas leis criadas por Deus. Essas leis são as seguintes:

[Primeira Lei:] que cada coisa em particular continua no mesmo estado tanto quanto lhe seja possível, e que jamais ela o modifica a não ser pela colisão com outras coisas. Assim, observamos cotidianamente que, quando alguma parte dessa matéria é quadrada, ela permanece sempre quadrada, se não sobrevém algo de outra parte que mude sua figura; e que, se está em repouso, ela não começa a se mover por si mesma. (...) De modo que, se um corpo tenha

começado a mover se, devemos concluir que continuará a mover-se em seguida, e que ele jamais interrompe seu movimento por si mesmo.

[Segunda Lei:] que cada parte da matéria, em sua particularidade, não tende jamais a continuar a se mover segundo linhas curvas, mas segundo linhas retas, ainda que várias de suas partes sejam constantemente obrigadas a se desviar, porque elas encontram outras em seus caminhos e porque, tão logo um corpo se move, forma-se um círculo ou um anel de toda a matéria que é movida conjuntamente.

[Terceira Lei:] que, se um corpo que se move encontra-se com um outro e possui menos força para continuar a se mover em linha reta do que esse último para resistir-lhe, então ele perde sua determinação sem nada perder de seu movimento; e que, se ele possui mais força do que o outro, ele move consigo esse outro corpo e perde tanto de seu movimento quanto ele atribui ao outro (DESCARTES apud BARRA, 2003, p. 306-307).

As duas primeiras leis juntas podem ser consideradas como o “princípio de inércia” de Descartes. Que avançou em relação ao “princípio de inércia” de Galileu ao afirmar que a matéria tende a se movimentar em linha reta, mas ainda está distante ao de Newton, por ainda não relacionar força com a mudança do movimento (aceleração). Corroborando o nosso comentário, vejamos o que está escrito em Jammer (2011, p. 138, grifo nosso):

Embora Descartes, sobretudo em seus primeiros escritos, tivesse feito referência a forças de atração exercidas pela Terra sobre objetos em queda e explicado o movimento acelerado desses objetos pela ação cumulativa da força, **ele acabou concebendo “força” como uma aparência fictícia**. Sua concepção dicotômica da existência – como matéria pura e espírito puro – pareceu-lhe incompatível com a suposição de força na matéria, ou exercida pela matéria, pois, **em sua opinião, força ainda era uma concepção um tanto anímica**. A matéria tinha de ser despojada de todos os componentes espirituais, de todas as formas ou tendências inerentes. Suas características seriam somente extensão e movimento eterno [...] (JAMMER, 2011, p. 138).

Nesse caso, qual é o significado atribuído por Descartes à expressão “força” que aparece na sua terceira lei. O próprio filósofo nos responde:

[...] é preciso observar que a força com que um corpo age sobre um outro ou resiste à sua ação consiste apenas nisto: cada coisa persiste tanto quanto possa no mesmo estado em que se encontra, em conformidade com a primeira lei que expus acima. De modo que um corpo que se encontra unido a um outro corpo possui alguma força para impedir que seja separado desse outro; e que, quando ele está separado, possui alguma força para impedir que seja ligado a outro; e também que, quando ele está em repouso, possui uma força para permanecer nesse repouso e para resistir a tudo aquilo que pudesse fazê-lo mudar. Da mesma forma, quando ele se move, possui uma força para continuar a se mover com a mesma velocidade e para o mesmo lado. Mas deve-se avaliar a quantidade dessa força pela grandeza do corpo no qual ela

se encontra e pela superfície através da qual esse corpo se encontra unido a um outro, bem como pela velocidade do movimento e as formas contrárias em que os vários corpos diferentes se chocam (DESCARTES apud BARRA, 2003, p. 311-312).

Concluimos que, na maioria das vezes, quando Descartes atribui “força” aos corpos, sobretudo, “força de resistência”, é somente uma “forma de falar” para conseguir explicar um fenômeno. Outras vezes, a palavra “força” é empregada como a medida da quantidade de movimento do corpo – “ $m.v$ ” – e vice-versa. O conceito de força como interação entre dois corpos surgirá apenas com Isaac Newton (1642d.C. – 1727d.C.), com a ruptura do conhecimento anterior de fenômeno qualitativo com uma generalização matemática prematura para uma força como um fenômeno físico que pode ser expresso como uma equação, passível de quantificar, como veremos a seguir.

#### 4.8 A REVOLUÇÃO DA FÍSICA NEWTONIANA

Embora todos os esforços dos pensadores anteriores para a mecânica aristotélica ser totalmente suplantada, ainda faltavam respostas quantitativas convincentes para as órbitas fechadas dos planetas (elípticas ou circulares) e para a queda dos corpos. Newton sempre será lembrado por ter sido o cientista que conseguiu montar as peças deste grande enigma. Segundo Cohen (1988, p. 185):

A publicação dos *Principia* de Isaac Newton, em 1687, foi um dos acontecimentos mais notáveis de toda a história da física. Nessa obra encontramos o clímax de milhares de anos de esforços para compreender o sistema de mundo, os princípios da força e do movimento e a física dos corpos em movimento através de meios diferentes. É um testemunho significativo do gênio científico de Newton o facto de, embora a física dos *Principia* tenha sido alterada, aperfeiçoada, e até contestada, ainda solucionamos hoje muitos problemas de mecânica celeste e de física dos corpos comuns procedendo, no essencial, como Newton fez a cerca de 300 anos [...] (COHEN, 1988, p. 185).

Em cinco de julho de 1687 – depois de muitos experimentos com colisões, um magnífico estudo matemático e muitas reflexões filosóficas – Newton resume as suas conclusões sobre a natureza dos movimentos dos corpos terrestres e celestes no livro clássico intitulado *Philosophiae naturalis principia mathematica* (Princípios Matemáticos da Filosofia Natural, geralmente citado como *Principia*), reeditado, em edições revistas, em 1713 e 1726. Antes de apresentar as famosas três leis do movimento, no Livro I do *Principia*, o autor estabelece algumas definições:

Definição I: A quantidade de matéria é a medida da mesma, obtida conjuntamente a partir de sua densidade e volume (NEWTON, 1990, p. 1).

Definição II: A quantidade de movimento é a medida do mesmo, obtida conjuntamente a partir da velocidade e da quantidade de matéria (NEWTON, 1990, p. 2).

Definição III: A *vis insita*, ou força inata da matéria, é um poder de resistir, através do qual todo o corpo, estando em um determinado estado, mantém esse estado, seja ele de repouso ou de movimento uniforme em linha reta (NEWTON, 1990, p. 2).

Definição IV: Uma força imprimida é uma ação exercida sobre um corpo a fim de alterar seu estado, seja de repouso, ou de movimento uniforme em uma linha reta (NEWTON, 1990, p. 3).

Definição V: Uma força centrípeta é aquela pela qual os corpos são dirigidos ou impelidos, ou tendem de qualquer maneira, para um ponto como centro (NEWTON, 1990, p. 3).

Definição VI: A quantidade absoluta de uma força centrípeta é a medida da mesma, proporcional à eficácia da causa que a propaga a partir do centro, através dos espaços ao seu redor (NEWTON, 1990, p. 4).

Definição VII: A quantidade acelerativa de uma força centrípeta é a medida da mesma, proporcional à velocidade que ela gera em um dado tempo (NEWTON, 1990, p. 5).

Definição VIII: A quantidade motora de uma força centrípeta é a medida da mesma, proporcional ao movimento que ela gera em um dado tempo (NEWTON, 1990, p. 5).

Na Definição I, a quantidade de matéria é apresentada como o produto da densidade pelo volume e, assim, não depende do lugar que é analisada, tendo sempre o mesmo valor. Porém, Ernst Mach (1838-1916) criticou essa Definição I afirmando que Newton cria um círculo vicioso, pois ele não definiu previamente o conceito de densidade de forma adequada, desse modo, a densidade depende do conceito de massa e a massa depende do conceito de densidade (FITAS, 1998). Entretanto, Crew (apud SAPUNARU, 2006) esclarece que, diferente da concepção atual, naquela época, o tratamento de densidade era sinônimo de gravidade específica e a densidade da água era arbitrariamente considerada como tendo valor unitário. As três unidades fundamentais empregadas eram, portanto, densidade, comprimento e tempo, em lugar das nossas, massa, comprimento e tempo. Em tal sistema, é tanto natural quanto logicamente permissível definir massa em termos de densidade.

Além disso, na explicação da Definição I, Newton (1990) não estabelece explicitamente que há diferenças entre os conceitos de massa e peso, porém, estabelece uma relação de proporcionalidade entre eles quando diz que a massa “[...] é conhecida através do peso de cada corpo, pois é proporcional ao peso, como descobri com experimentos com pêndulos [...]” (NEWTON, 1990, p. 1).

Na Definição II, a quantidade de movimento é definida como o produto da velocidade pela quantidade de matéria (ou massa). Essa quantidade de movimento pode ser entendida como o termo “movimento” devido à nota explicativa sobre a tradução, ou ainda, *momentum*, da mecânica moderna. Além da quantidade de movimento total de um corpo ser a soma da quantidade de movimento de todas as suas partes (NEWTON, 1990).

O termo força aparece primeiro na Definição III. Newton afirma que a *vis insita* é uma força inata da matéria responsável pela manutenção do seu estado de movimento, seja este de repouso ou de movimento uniforme em linha reta. Em seguida, acrescenta os seguintes comentários:

Essa força é sempre proporcional ao corpo a que pertence e em nada difere da inatividade da massa, exceto em nossa maneira de concebê-la. Não é sem dificuldade que um corpo, em virtude da natureza inerte da matéria, é retirado de seu estado de repouso ou de movimento. Em função disso, tal *vis insita* pode ser chamada, usando-se um nome sumamente significativo, de inércia (*vis inertiae*), ou força de inatividade. Mas um corpo só exerce essa força quando outra força, imprimindo-se sobre ele, esforça-se por alterar seu estado; e o exercício dessa força pode ser considerado tanto uma resistência quanto um impulso; é resistência na medida em que o corpo, para manter seu estado atual, opõe-se à força imprimida; e é impulso na medida em que o corpo, não cedendo facilmente à força imprimida por um outro, esforça-se por alterar o estado desse outro. A resistência costuma ser atribuída aos corpos em repouso e o impulso, aos que estão em movimento; mas o movimento e o repouso, tal comumente concebidos, distinguem-se apenas em termos relativos; e tampouco estão sempre realmente em repouso os corpos comumente considerados como tais (NEWTON apud COHEN; WESTFALL, 2002, p. 279).

Fica evidente por esses comentários, a diferença entre a *vis inertiae* e o *ímpetus* medieval. A primeira é responsável apenas pela manutenção do estado de repouso ou de movimento retilíneo uniforme de um corpo, enquanto o *ímpetus* é responsável pelo movimento em si, quando ele se anular o corpo para. Ao comentar a Definição IV, Newton (apud COHEN; WESTFALL, 2002, p. 279) deixa bem claro essa discordância:

Essa força consiste apenas na ação e não mais permanece no corpo quando a ação encerra. Pois o corpo conserva qualquer novo estado que adquira, por sua simples inércia. Mas as forças imprimidas têm origens diferentes, provindo da percussão, da pressão ou da força centrípeta.

A força impressa pode ser de três tipos: percussão (age em um tempo desprezível); pressão (age em um tempo pequeno) e centrípeta (age por um tempo longo e contínuo). A Definição V trata da força centrípeta. A diferença marcante entre a força centrípeta e a percussão e pressão é que essas últimas agem após um contato físico observável entre os corpos, como nas colisões, já a ação da força centrípeta só é percebida, na maioria das vezes, por um contínuo desvio do movimento retilíneo uniforme do corpo. Não há um agente físico visível exercendo essa força. Como exemplos, Newton (apud COHEN; WESTFALL, 2002, p. 280) cita:

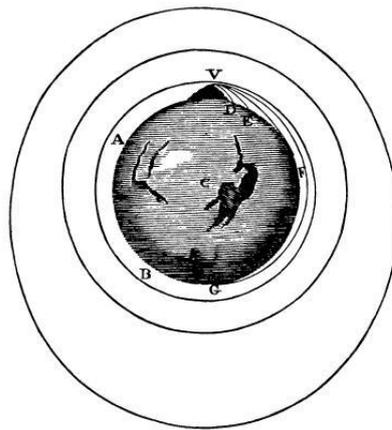
Desse tipo são a gravidade, pela qual os corpos tendem para o centro da Terra, o magnetismo, pelo qual o ferro tende para o imã, e a força, seja ela qual for, pela qual os planetas são continuamente afastados dos movimentos retilíneos que de outro modo descreveriam, e levados a girar em órbitas curvilíneas. Uma pedra, se girada numa funda, esforça-se por se afastar da mão que a gira e, mediante esse esforço, distende a correia, e o faz com força tão maior quanto maior for a velocidade com que é girada, e voa para longe. Assim que é solta. A força que se opõe a esse esforço e pela qual a correia puxa continuamente a pedra de volta para a mão, e que a retém em sua órbita, por ser dirigida para a mão como o centro da órbita, é o que chamo de força centrípeta. E o mesmo se deve entender de todos os corpos girados em qualquer órbita. Todos se esforçam por se afastar dos centros de suas órbitas e, não fosse pela oposição de uma força contrária, que os impede de fazê-lo e os retém em suas órbitas, e que, portanto, chamo de centrípeta, eles voariam para longe em linhas retas, com um movimento uniforme.

Newton afirma que se os planetas giram em órbitas curvilíneas é por que existe uma força centrípeta, embora desconhecida, que os obrigam a se comportarem de tal maneira. O exemplo da pedra girando numa funda foi apresentado por Descartes em seus *Princípios da Filosofia* com os mesmos argumentos de Newton, exceto pela introdução da força centrípeta como a responsável pela trajetória circular da pedra. Na continuidade de seus comentários, ele traz o seguinte experimento de pensamento (ilustrado na Figura 8):

[...] se uma bola de chumbo arremessada do topo de uma montanha pelo uso de pólvora, com uma dada velocidade e em uma direção paralela ao horizonte, é levada a uma distância de duas milhas em uma linha curva, antes de cair no chão; a mesma bola, se a resistência do ar fosse removida, lançada com o dobro ou décuplo da velocidade, voaria duas vezes ou dez vezes mais longe. Aumentando a velocidade, podemos aumentar arbitrariamente a distância à qual ela poderia ser arremessada, e diminuir a curvatura da linha que ela descreveria, até que finalmente ela cairia a uma distância de 10, 30 ou 90

graus, ou mesmo poderia dar a volta ao redor da Terra antes de cair; ou finalmente, poderia nunca mais cair na Terra, mas iria penetrando nos espaços celestes, e continuaria em seu movimento *in infinitum*. Da mesma forma que um projétil, pela força da gravidade, pode ser forçado a girar em uma órbita e contornar completamente a Terra, também a Lua, quer pela força da gravidade, se ela for dotada de gravidade, ou por qualquer outra força, que a impulsione para a Terra, pode ser continuamente desviada em direção à Terra, para fora do caminho retilíneo que, pela sua força inata, ela perseguiria; e seria forçada a girar na órbita que agora descreve [...] (NEWTON, 1990, p. 4).

**Figura 8** – Representação dos trajetos de corpos lançados com diferentes velocidades.



Fonte: Newton (2012).

A explicação do comportamento dos projéteis sobre a influência da gravidade é muito parecida com a de Galileu mas, diferente do italiano, Newton mostrou que o movimento inercial se dá ao longo de uma reta e não de um círculo, pois esse último requer a ação da força centrípeta. Na sequência, o físico inglês descreve três tipos de medidas da quantidade de uma força centrípeta: (a) quantidade absoluta; (b) quantidade acelerativa e (c) quantidade motora. Que são os assuntos, respectivos, das Definições VI, VII e VIII.

Na Definição VI, ele diz que “A quantidade absoluta de uma força centrípeta é a medida da mesma que é proporcional à eficácia da causa que a propaga a partir do centro pelos espaços ao redor” (NEWTON apud COHEN; WESTFALL, 2002, p. 281). Como exemplo, Newton cita a força magnética que aumenta com o tamanho do ímã, podemos complementar dizendo que no caso de uma força gravitacional a quantidade absoluta é proporcional as massas dos corpos. Na Definição VII, temos a seguinte afirmação: “A quantidade aceleradora de uma força centrípeta é a medida da mesma que é proporcional à velocidade que ela gera em um determinado tempo” (NEWTON apud COHEN; WESTFALL, 2002, p. 281). Podemos interpretar, desse modo, a quantidade aceleradora como sendo a aceleração do corpo. O que é comprovado pelos seus comentários dessa definição quando ele diz que a força da gravidade varia com a distância à

Terra, mas “[...] a distâncias iguais, contudo, é a mesma por toda a parte, porque (retirando ou descontando a resistência do ar) acelera igualmente todos os corpos em queda, sejam eles pesados ou leves, grandes ou pequenos” (NEWTON apud COHEN; WESTFALL, 2002, p. 281).

A Definição VIII versa sobre a quantidade motora da força centrípeta e como ela é medida: “A quantidade motriz de uma força centrípeta é a medida da mesma que é proporcional ao movimento que ela gera num determinado intervalo de tempo” (NEWTON apud COHEN; WESTFALL, 2002, p. 281). Reescrevendo essa definição em notação moderna temos:  $\vec{F} \propto \frac{d\vec{p}}{dt}$ , sendo  $\vec{p}$  o momento linear ou quantidade de movimento do corpo. Após a apresentação dessas oito definições, Newton (1990, p. 15-16) apresenta as suas três famosas leis do movimento:

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.

Lei II: A mudança de movimento é proporcional à força motora imprimida, e é produzida na direção da linha reta na qual aquela força é imprimida.

Lei III: A toda ação há sempre oposta uma reação igual, ou, as ações mútuas de dois corpos um sobre o outro são sempre iguais e dirigidas a partes opostas.

Atualmente, no Ensino Médio, a Lei I é conhecida como “Lei da Inércia” ou “Primeira Lei do Movimento” e a Lei II como “Lei Fundamental da Dinâmica”. No entanto, ao traduzirmos em linguagem matemática a Lei II, não encontramos a equação na qual é associada nos livros didáticos,  $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ . Pelas Definições I e II e pelo o que está escrito na Lei II, temos apenas a seguinte relação de proporcionalidade:  $\vec{F} \propto \Delta (m \cdot \vec{v})$ . Por não haver menção ao intervalo de tempo na aplicação da força impressa, a equação anterior, relacionando força com aceleração, não se aplica aqui. Barra (1994) afirma que na Lei II, Newton omite o tempo por estar referindo-se apenas às forças impulsivas que atuam em curto intervalo de tempo, como nas colisões. Corroborando essa afirmação, Jammer (2011, p. 164) esclarece que “[...] o estudo das leis de impactos dos corpos sólidos pode ter levado Newton a expressar a força como a taxa temporal da variação do momento linear [...]”.

Mas deve ficar claro para o leitor que Newton tinha plena consciência de que a Segunda Lei também poderia ser aplicada quando a força impressa fosse contínua, deixando implícito, desse

modo, a famosa equação citada anteriormente ( $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ ). Encontramos na Seção VI, Proposição XXIV, Teorema XIX, do Livro II, do *Principia*, um comentário de Newton (2005, p. 692) que confirma essa nossa afirmação:

Pois a velocidade, que uma força dada pode gerar em uma matéria dada em um tempo dado, é diretamente proporcional à força e ao tempo, e inversamente proporcional à matéria. Quanto maior a força ou o tempo, ou quanto menor a matéria, maior a velocidade que será gerada. Isto é manifesto da segunda lei do movimento.

Traduzindo em linguagem algébrica moderna temos:  $\vec{v} \propto \frac{\vec{F} \Delta t}{m}$ . De acordo com Sapunaru (2006, p. 148), a análise historiográfica de Cohen mostrou que a ênfase dada por Newton à ação das forças de impacto na Segunda Lei do Movimento não prejudicou em nada a aplicação desta lei à ação das forças contínuas. E teria sido por essa razão que Newton não teria se preocupado em redefinir ou separar essa lei em itens distintos para forças de impacto e para forças contínuas.

A Lei III é conhecida hoje como “Lei da Ação e Reação”. De acordo com Sapunaru (2006), Mach considerava que a Terceira Lei era a ideia mais original e a mais importante contribuição de Newton, ao contrário das duas primeiras que resultaram como continuidade dos trabalhos realizados por Galileu e Descartes. Após o enunciado da Terceira Lei, Newton complementa com a seguinte explicação:

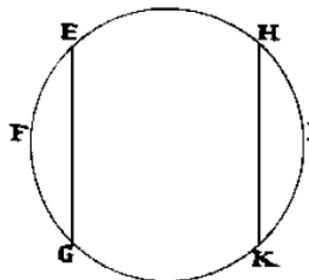
Seja o que for que puxe ou empurre alguma coisa, é da mesma forma, puxado ou empurrado por ela. Se você empurra uma pedra com seu dedo, o dedo é também empurrado pela pedra. Se um cavalo puxa uma pedra amarrada a uma corda, o cavalo (se posso dizer assim) vai ser igualmente puxado de volta na direção da pedra, pois a corda distendida, pela mesma tendência a relaxar ou distorcer-se, puxará o cavalo na direção da pedra [...]. Se um corpo choca-se com outro, e pela sua força muda o movimento desse, aquele corpo também (por causa da igualdade da pressão mútua) sofrerá uma mudança igual no seu próprio movimento, em direção à parte contrária. As mudanças feitas por essas ações são iguais não nas velocidades, mas nos movimentos dos corpos, quer dizer, se os corpos não são obstruídos por quaisquer outros impedimentos. Pois, porque os movimentos são igualmente alterados, as mudanças de velocidades feitas em direções a partes contrárias são inversamente proporcionais aos corpos. Essa lei também ocorre em atrações, como será provado no próximo Escólio (NEWTON, 1990, p. 16).

Em outras palavras, se um corpo A exercer uma força de intensidade  $F_A$  em um corpo B, o corpo B também exercerá uma força de mesma intensidade,  $F_B$ , mas de sentido contrário, no corpo A. Para as forças que necessitam de contato como as de percussão, Newton refaz os

experimentos de Christopher Wren (1632d.C.– 1723d.C.) de pêndulos diversos colidindo e diz que “[...] pela teoria de Wren e Huygens, corpos absolutamente duros retornam logo após o choque com a mesma velocidade com que se encontraram [...]” (NEWTON, 1990, p. 27). E ainda discute que essa conclusão só se refere aos corpos perfeitamente elásticos, porque nos corpos que não são perfeitamente elásticos deve-se perceber uma velocidade e uma força elástica menor. Após suas considerações dos experimentos e com o uso da geometria, Newton (1990, p. 28) conclui que, “[...] a Terceira Lei, na medida em que se refere a percussões e reflexões, está provada por uma teoria que concorda exatamente com a experiência”.

Concluída a parte das “colisões”, Newton apresenta os seus argumentos para o caso das “atrações” analisando dois exemplos. No primeiro, ele argumenta que ao colocarmos um obstáculo entre dois corpos, A e B, que se atraem mutuamente, o mesmo deverá ficar em equilíbrio. “Dessa forma, conclui-se que os corpos devem pressionar igualmente o obstáculo, e ser igualmente atraídos um pelo outro” (NEWTON, 1996, p. 42-43). No segundo exemplo, ele estende a conclusão do anterior à gravitação entre a Terra e as suas partes afirmando ser mútua. Para demonstrar que isso é verdade, Newton representa a Terra de acordo com a figura:

**Figura 9** – Representação da Terra como a esfera FI e cortada pelos planos EG e HK.



Fonte: Newton (1990, p. 29).

Com o auxílio dessa figura ele afirma que a parte central EGKH, por não se deslocar em direção a nenhum dos extremos EGF ou HKI, recebe desses a mesma intensidade de força. Logo, as partes EGF e HKI são igualmente atraídas uma pela outra (NEWTON, 1990).

Antes da publicação do *Principia*, Newton desenvolveu suas primeiras indagações e conclusões sobre os fenômenos da natureza em 1664. Buscou registrar suas ideias em um caderno de anotações que nomeou de *Quaestiones quaedam philosophicae* (Algumas reflexões filosóficas). Dentre os assuntos apresentados neste caderno estavam, na seção intitulada *Da gravidade e da leveza*, suas primeiras concepções de gravidade. Newton construiu algumas

teorias sobre alguns tipos de éter. No caderno, o autor expõe o éter como uma corrente que empurra, com grande velocidade, os corpos do espaço até a Terra, e nesse processo, que passe por entre os “poros” dos corpos e retorna a subir com uma forma mais maciça para que não fizesse os corpos subirem e ainda assim não acumular éter na Terra. Teorização que é alterada ao longo do tempo, antes, durante e depois do *Principia*, como resultado de seus estudos em alquimia os quais culminam em outras versões de éter que foram escritas em diversos momentos em cartas e livros (GARDELLI, 2004).

Como exemplo do esforço de Newton para construir modelos de “substâncias” que ocupavam todo o espaço, seguem algumas das variações da explicação sobre gravitação que Newton criou: a) o éter é pressionado, novamente, do espaço para a Terra com alta velocidade e passa por um processo de condensação, misturando-se com os corpos e carregando-os para baixo para a Terra funcionar como um vegetal que suga o éter para transpirá-lo, criando o ciclo natural; b) é uma matéria sutil e explica a atração e repulsão elétrica, porque ela condensa no vidro e fica rarefeita pela fricção, se espalha entorno do vidro e carrega os pedaços de papel até voltar ao vidro e condensar novamente, ciclo esse que ocorre naturalmente; c) substância presente em toda parte que pode contrair e dilatar com diferentes densidades dependendo dos corpos e lugares dos corpos em que ela estiver, há menos, e mais fino nos poros dos corpos do que em espaços abertos, logo, há menos, e mais fino na Terra do que no ar. Caso tenha um corpo no ar ele deverá descer para que o éter mais grosso possa ocupar o lugar mais alto e o fino consiga ocupar o lugar mais abaixo (GARDELLI, 2004).

Há a possibilidade de Newton ter mantido a crença em um sistema constituído de éter devido a não aceitação inicial da existência da força mútua a distância entre os corpos celestes, mas apesar de não descartá-la como explicação possível de “arrastar” corpos imersos nele, Newton, para a construção do *Principia*, considerava o éter como um meio que agia como isento de resistência e, assim, não poderia gerar efeitos mecânicos, mas sua convicção sobre a existência de um meio para a transmissão de uma força entre os corpos celestes aumentava para evitar recair na gravidade como uma “qualidade oculta” da matéria (BARRA, 1994).

Ao discorrer sobre as forças que atuam nos planetas e nos satélites, Newton afirma que elas são direcionadas ao centro, variam inversamente com o quadrado da distância e mantêm os planetas e os satélites em suas órbitas, desviando-os continuamente de seus movimentos retilíneos. Em seguida, ele conclui que “[...] a força com que a Lua é mantida em sua órbita torna-se, na

superfície da Terra, igual a força da gravidade que observamos nos corpos pesados aqui” (NEWTON, 2012, p. 198). Ao comentar essa conclusão, Barra (1994, p. 131) nos alerta que:

Newton havia extrapolado em muito aquilo que os fenômenos lhe possibilitavam concluir, pois nada parece assegurar que as forças que podem produzir fenômenos tão distintos fossem essencialmente as mesmas. Exceto os princípios mecânicos que fundamentam sua análise quantitativa dessas forças. É justamente nesse ponto que Newton podia apoiar-se para igualar os efeitos e assim igualar as causas.

Após várias tentativas de encontrar uma explicação mecânica para a gravidade, Newton viu-se forçado a adotar o modelo de interação à distância. Afinal, os modelos anteriores tinham um conjunto de problemas que ele não tinha sido capaz de resolver. De acordo com Martins (1998, p. 84):

Em qualquer hipótese mecânica da gravitação, o éter deveria preencher o espaço entre os planetas e deveria resistir ao movimento dos astros. No entanto, o movimento periódico e regular dos planetas, de seus satélites e dos cometas não mostrava nenhum sinal dessa resistência. [...] Além disso, a gravidade deveria poder ser influenciada por diversos fatores [...], mas esses efeitos pareciam não existir.

#### 4.9 SIMULTANEAMENTE E APÓS NEWTON

Na mesma época que Newton desenvolvia as suas teorias sobre o movimento, Gottfried Wilhelm Leibniz (1646d.C. – 1716d.C.) dava a sua contribuição sobre esse tema. De acordo com Ponczek (2000, p. 339):

[...] Leibniz, embora concordando com Descartes sobre a necessidade de exatidão nos princípios e no método, considerava indispensável devolver à ciência certas noções que os cartesianos haviam excluído. Contra o dualismo cartesiano, que opõe a matéria (*res extensa*) ao pensamento (*res cogitans*) situando-os em domínios distintos, Leibniz propõe a teoria das mônadas, espécie de átomo da espiritualidade e da força da matéria, não vendo nenhuma contradição entre esta e o espírito. Passa, assim, a buscar a verdadeira representação matemática da força (*vis*) das mônadas [...].

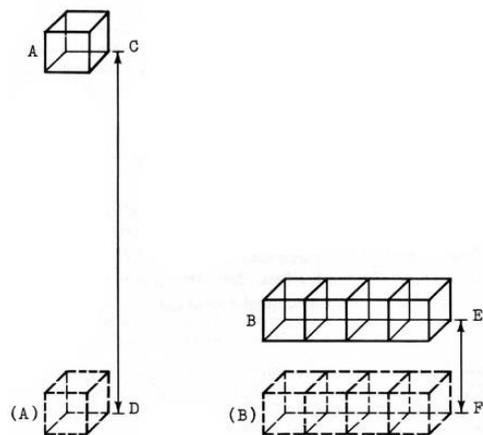
Leibniz se envolveu em uma polêmica com os seguidores de Descartes sobre qual era a verdadeira medida da força, “ $m \cdot v$ ”, como defendia os cartesianos, ou “ $m \cdot v^2$ ”, como alegava o filósofo alemão. Em 1686, ele publicou o artigo “*A brief demonstration of the memorable error of Descartes and others concerning the natural law according to which they claim that the same*

*quantity of motion is always conserved by God, a Law that they use incorrectly in mechanical problems*” em que o título deixava bem claro qual era a intenção do autor. Leibniz (1983) começa o texto enfatizando que a sua discordância com os cartesianos está na afirmação de que a força pode ser encontrada pela quantidade de movimento –  $mv$  – do corpo. Em suas palavras:

[...] é muito razoável a mesma força conservar-se sempre no universo. Igualmente se observa com nitidez, quando se presta atenção nos fenômenos, a inexistência do movimento mecânico perpétuo, porque, então, a força duma máquina, sempre um tanto diminuída devido à fricção e em breve terminada, se renovaria e por consequência aumentaria de per si sem qualquer impulso externo. Nota-se também não haver diminuição na força de um corpo, a não ser na medida em que ele a transmite a corpos contíguos ou às próprias partes, se possuem movimento independente. Acreditaram, assim, que podia também dizer-se da quantidade movimento o que pode ser dito da força (LEIBNIZ, 1983, p. 132-133).

Em resumo, o autor concorda que a força se conserva no universo, mas não que a quantidade de movimento tenha o mesmo comportamento. Então, é incorreto relacionar as duas. Para comprovar a sua hipótese, Leibniz imagina o experimento indicado na Figura 11.

**Figura 10**– Experimento proposto por Leibniz para demonstrar que a quantidade de movimento não serve como a verdadeira medida da força.



Fonte: Lindsay (1975, p. 120).

Primeiro ele supõe “[...] que um corpo, caindo duma certa altura, adquire a força de subir até ela de novo, se o leva assim a sua direção, a menos que se encontrem alguns obstáculos” (LEIBNIZ, 1983, p. 133). Ele também imagina “[...] ser necessária tanta força para elevar um corpo A, de uma libra, à altura CD de quatro toesas, quanta para elevar um corpo B, de quatro libras, à altura EF de uma toesa” (LEIBNIZ, 1983, p. 133). Dizendo, na sequência, que essas suposições são aceitas como válidas pelos cartesianos e por outros filósofos e matemáticos de

seu tempo. Admitindo isso como verdadeiro, com a queda os corpos A e B atingirão os pontos D e F, respectivamente, com forças iguais.

O arremate de sua argumentação está no cálculo da quantidade de movimento dos dois corpos nos pontos D e F. Para isso, Leibniz utiliza os resultados obtidos por Galileu na análise de corpos em queda livre, em que a velocidade adquirida por um corpo não depende de sua massa e o seu quadrado é diretamente proporcional ao espaço percorrido ao longo da queda. Assim, o corpo A chega ao ponto D com uma velocidade duas vezes superior que o corpo B chega ao ponto F, pois a distância de queda é quatro vezes maior. Mas como a massa do corpo B é quatro vezes maior do que de A, a quantidade de movimento do corpo A será a metade do corpo B.

Logo, ao atingirem os pontos D e F, respectivamente, os corpos A e B terão as mesmas forças, mas quantidades de movimento diferentes. “Há, portanto, grande diferença entre a quantidade de movimento e a força, como se queria demonstrar” (LEIBNIZ, 1983, p. 134). Desse modo, “[...] a força deve ser avaliada pela quantidade do efeito que pode produzir, por exemplo, pela altura a que se pode levantar um corpo pesado de certo tamanho e espécie, o que é muito diferente da velocidade que se lhe pode imprimir. Para lhe dar o dobro da velocidade é necessário mais do dobro da força” (LEIBNIZ, 1983, P. 134). Essa última afirmação de Leibniz confirma o comentário feito por Medeiros (2001, p. 04-05) de que nos séculos XVII e XVIII:

A conceituação dominante de força estava relacionada ao fato cotidiano de um corpo em movimento ter a capacidade de poder colocar outros corpos em movimento, assim como de vencer resistências. Esta capacidade de um corpo em movimento poder produzir esses efeitos era denominada a sua “força”. A questão imediata era determinar de que grandezas Físicas dependeriam esta força e como seria essa dependência. Galileu, por exemplo, utilizava o termo ‘*momentum*’ afirmando que o ‘*momentum*’ era aquela força (virtude) que dependia não apenas do peso, mas também da velocidade do movimento [...]. Descartes (1644), por seu turno, assumia que a força de um corpo era determinada por aquilo que na mecânica medieval havia sido denominado de “*impetus*”, ou seja, o produto da massa pela velocidade de um corpo em movimento [...].

Leibniz foi considerado por Jammer (2011) como um dos precursores dos estudos sobre conservação de energia, mas a teoria dinâmica de sua “força viva” somente foi estruturada por Roger Joseph Boscovich (1711-1787). Boscovich defendia um conceito de força mais relacional e era adepto da lei da continuidade, ou seja, antes do choque entre os corpos, a força

deve gerar uma mudança contínua nas velocidades. Portanto, nas colisões, há uma força mútua e repulsiva antes do contato propriamente dito que altera as velocidades de ambos os corpos passando por fases até a situação final de conservação da quantidade de movimento. Mantendo-se, assim, sempre uma distância entre os corpos, permanecendo a impenetrabilidade. Em síntese, para Boscovich, nunca haverá contato entre os corpos, porque:

A lei das forças é desse tipo: as forças são repulsivas a distâncias muito pequenas e se tornam cada vez maiores, indefinidamente, à medida que as distâncias se reduzem indefinidamente, de tal modo que são capazes de destruir qualquer velocidade [...] A distância entre eles jamais desaparece. Quando aumenta a distância entre eles, as forças diminuem tanto que, em certa distância, que é extremamente pequena, a força se transforma em nada. Depois, à medida que a distância aumenta mais e mais, as forças transformam-se em forças de atração; estas aumentam no princípio, desaparecem e se tornam forças repulsivas [...] (BOSCOVICH apud JAMMER, 2011, p. 217).

No livro *Teoria da filosofia natural*, o autor apresenta o seu conceito de força, cuja intensidade está relacionada com a alteração da distância entre os corpos. Jammer (2011) nomeia a sua teoria de “idealismo matemático”, pois Boscovich não explica a causa dessas aproximações ou afastamentos.

Além das teorias que podemos chamar de dinâmicas já comentadas, ainda nesse período houve algumas teorias ditas mecanicistas da força gravitacional. Vamos apresentar somente aquelas que tiveram coerência lógica suficiente para se destacarem e não foram consideradas como “hipóteses menos respeitáveis” por Jammer (2011). No geral, essas teorias recusaram a ação, a distância e fizeram algumas considerações sobre a causa da gravitação. Robert Hooke (1635d.C. – 1703d.C.), por exemplo:

[...] Numa analogia com sua convicção de que os corpos pequenos, flutuando na superfície da água agitada, tendiam para o centro da perturbação, [...] postulou que todas as partes da Terra executavam pequenas vibrações ou pulsações esféricas, imperceptíveis e rápidas, cujo centro era o centro da Terra. O éter contido na matéria terrestre, assim como o éter que circundava o planeta, vibrava com amplitudes que decresciam conforme o aumento da distância em relação ao centro da vibração. Como resultado de tais vibrações, não apenas partes da Terra em si, mas também toda a matéria tangível acima de sua superfície eram movidas para o centro das vibrações do mesmo modo que os pequenos corpos flutuantes eram empurrados para o centro das ondas na água. Visto que a área dessas vibrações esféricas aumentava de acordo com o quadrado de seu raio, a gravidade se conformava à lei do inverso do quadrado da distância a partir do centro da Terra (JAMMER, 2011, p. 237-238).

Jean Bernoulli (1667d.C. – 1748d.C.), em 1734, recebeu um prêmio da Academia Francesa de Ciências por ter escrito um texto em que tentava explicar a causa da gravitação. Para Bernoulli, desce continuamente dos céus “[...] uma copiosa e impetuosa chuva de grânulos, empurrados para dentro [os corpos] pelos choques das moléculas dos vórtices circundantes [...]” (BERNOULLI apud JAMMER, 2011, p. 239). Em 1747, Georges Louis Lesage (1724d.C. – 1803d.C.) propõe um sistema com infinitas partículas minúsculas que se movem rapidamente e sempre em linha reta. Quando uma única matéria está imersa nesse sistema ela sofre a ação de todas as partículas igualmente e não se move. Porém, quando houver outra matéria próxima à primeira, esta faria uma espécie de sombra, com relação as tais partículas, na outra matéria. Sendo recíproco esse bloqueio, assim seria o suficiente para resultar no movimento de uma matéria em direção a outra. Apesar de concordar com a lei do inverso do quadrado para a aproximação dos corpos, a teoria não dava conta do acréscimo de uma terceira massa formando uma linha reta com as outras duas, além de não conseguir explicar a relação da gravitação com a massa. Mesmo com a tentativa de superar as insuficiências da teoria, não houve uma reconstrução que satisfizesse as críticas (JAMMER, 2011).

Jammer (2011) cita também Leonhard Euler (1707d.C.-1783d.C.) que supôs, sutilmente, que a gravitação tinha como causa a ação do éter na matéria; John Herapath (1790d.C. – 1868d.C.), que expôs a teoria mecânica do calor e concluiu que a gravitação ocorria devido às diferenças de temperaturas (teoria termogênica da gravitação); e Willian Crookes (1832d.C. – 1919d.C.), que associou seus experimentos de radiação com a mecânica celeste e concluiu que a impulsão radioativa explicaria a gravitação, além de diversos outros nomes que considerou fantasiosos e sem uma base epistemológica para serem citados. Contudo, George Berkeley (1685d.C. – 1753d.C.) foi um dos primeiros a questionar o viés ontológico das concepções fundamentais da dinâmica de Newton, a saber: “força”; “matéria”; “espaço absoluto”; etc. De acordo com ele:

As leis mecânicas da natureza ou do movimento nos orientam sobre como agir e nos ensinam o que esperar. Quando o intelecto prevalece, há método e ordem; por conseguinte, existem regras, as quais, se não forem enunciadas e constantes, deixariam de ser regras. Portanto, há nas coisas uma constância que denominamos curso da natureza. Todos os fenômenos da natureza são produzidos pelo movimento. Parece haver uma ação uniforme nas coisas grandes e pequenas por forças de atração e repulsão. Mas as leis específicas da atração e da repulsão são diversas. Tampouco estamos minimamente interessados nas forças, nem podemos conhecê-las ou medi-las senão por seus efeitos, ou seja, pelos movimentos – movimentos estes que são os únicos que realmente se encontram nos corpos, e não as forças. Os corpos são movidos uns para os outros ou uns a partir dos outros, e isso é executado de acordo com

as leis diferentes. O filósofo natural ou mecânico empenha-se em descobrir essas leis pela experimentação e o raciocínio. Mas o que se diz sobre forças residentes nos corpos, sejam de atração ou de repulsão, deve ser visto apenas como uma hipótese matemática, não como algo que realmente exista na natureza (BERKELEY apud JAMMER, 2011, p. 257).

Jammer (2011) nos informa que Karl Popper (1902d.C. – 1994d.C.) considerou a crítica de Berkeley semelhante à feita posteriormente por Mach. Este, por sua vez, estava do mesmo lado de: Leonhard Euler; Jean Le Rond d’Alembert (1717d.C. – 1783d.C.); Lazare Carnot (1753d.C. – 1823d.C.); e Barré de Saint-Venant (1797d.C. – 1886d.C.).

Euler concebia a dinâmica como fundamentada em deduções puramente matemáticas e mecânicas. A força, por exemplo, era definida como aquilo que leva um corpo do repouso ao movimento ou que o modifica. Ele utilizava o termo “potência” para referenciar esse tipo de força que ocasiona movimento ou a mudança do mesmo e afirmava que a gravidade também podia ser chamada de “potência”, já que é do mesmo gênero.

A equação usualmente utilizada na Segunda Lei de Newton, da força sendo igual ao produto da massa pela aceleração, que é equivocadamente atribuída à Newton, foi escrita pela primeira vez, em 1747, por Euler. Ele ainda usou da matemática de equações diferenciais para desenvolver uma mecânica do corpo rígido, do fluido perfeito e de uma barra elástica, e a concepção do momento linear como um conjunto de diferenciais, se aproximando da equação vista nos livros do Ensino Superior, a saber:  $m_k \ddot{x}_k = F_k$ , sendo  $m_k$  a massa;  $\ddot{x}_k$  a derivada segunda do espaço em relação ao tempo (a aceleração) e  $F_k$  a força, todos os termos relacionados ao k-ésimo corpo. Porém, nem essa equação nem outras que são consideradas como “equações de Newton” estão no “[...] trabalho de Newton ou de qualquer outro antes de 1747. É verdade que hoje podemos lê-la facilmente nas palavras de Newton, mas o fazemos por elaboração a posteriori” (TRUESDELL, 1968, p. 167 apud NEVES, 2000, p. 553).

Não muito diferente dessa concepção de força de Euler temos a perspectiva adotada por d’Alembert. Ele era contrário tanto a visão metafísica de Descartes quanto a de Leibniz sobre o conceito de força, como alguma coisa residindo no corpo. Força deveria ser vista somente como a resistência que os obstáculos oferecem ao movimento de um corpo, sendo a sua medida dada pelo “efeito” que ela produz ao superar essas resistências. Desse modo, haveria apenas três tipos de forças: “força morta”, em que o corpo tem o movimento impedido por um obstáculo; “quantidade de movimento”, em que o corpo move uniformemente; e “força viva”,

em que o corpo move com uma velocidade que é aniquilada pouco a pouco por uma resistência externa.

Além de Euler e d’Alembert, que preferiram não fazer confabulações sobre a força como causa do movimento estudando o movimento em si, temos Lazare Carnot<sup>6</sup>. Porém, ele assumiu o conceito de massa como sendo intuitivo, sem considerar que possuía o mesmo problema da conceituação da força. Saint-Venant, nesse aspecto, se posicionou de modo diferente, elaborando uma definição rigorosa do conceito de massa, o que fez dele um precursor de Ernst Mach. Ele definiu massa nos seguintes termos:

[...] a massa de um corpo é a razão de dois números que expressa a frequência com que esse corpo e um corpo-padrão contêm partes que, se separadas e reunidas numa colisão recíproca, duas a duas, transmite uma à outra velocidades iguais e com sentidos opostos [...] (JAMMER, 2011, p. 267).

Em resumo, houve inúmeras tentativas de se excluir as noções de princípios ocultos ou intuitivos da mecânica desde Newton. A sensatez do físico inglês de perceber que a metafísica estava presente em sua teoria, acreditando que no futuro esse problema pudesse ser resolvido, gerou a admiração de outros grandes cientistas, como Einstein quando diz que “Newton tinha mais consciência dos pontos fracos de sua construção intelectual do que as gerações de cientistas doutos que se seguiram a ele. Isso sempre despertou minha profunda admiração” (EINSTEIN, 1954, p. 257 apud JAMMER, 2011, p. 164). Porém, esse projeto de construir uma mecânica isenta de metafísica, “[...] mediante a aplicação de leis exclusivamente baseadas em conceitos de velocidades e suas modificações [...]” (JAMMER, 2011, p. 267), só foi concluído por Mach, Gustav Robert Kirchhoff (1824d.C. – 1887d.C.) e Heinrich Rudolf Hertz (1857d.C. – 1894d.C.).

Entre os críticos sobre as definições que Newton apresenta no *Principia*, Mach merece um lugar de destaque. Em seu livro, *A Ciência da Mecânica*, no prefácio da sétima edição, ele chega a definir as concepções de espaço e tempo absolutos de “monstruosas” (ASSIS; PESSOA JR, 2001). Além de criticar as concepções de massa força inercial newtoniana, Mach apresentou as suas próprias definições alicerçadas em uma lógica matemática “pura”, na qual tanto a força

---

<sup>6</sup> Lazare Carnot, pai de Sadi Carnot (1796d.C. – 1832d.C.) que é conhecido pelo seu modelo teórico sobre máquinas térmicas, o ciclo de Carnot.

quanto a massa passaram a ser somente relações matemáticas, como podemos ver no seguinte trecho:

[...] deve-se escolher arbitrariamente um corpo como tendo massa igual a 1 e então definir a razão das massas entre dois corpos quaisquer como sendo o negativo da razão inversa das acelerações (em relação à Terra ou às estrelas fixas) que um exerce no outro ao interagirem:  $m_1/m_2 = -a_2/a_1$  [...] (MACH, [1883] 1960 apud ASSIS; PESSOA JR, 2001, p. 134).

Assim, a definição de massa somente se compreende a partir das relações dinâmicas dos corpos. Nas palavras de Mach ([1883] 1960 apud ASSIS, 1998, p. 127-128):

Diz-se que têm massas iguais todos os corpos que, ao agir mutuamente um sobre o outro, produzem em cada um acelerações iguais e opostas.

Nesta definição, nós simplesmente designamos, ou nomeamos, uma relação real das coisas. No caso geral procedemos similarmente. Os corpos *A* e *B* recebem, respectivamente, as acelerações  $-\varphi$  e  $+\varphi'$  como um resultado de suas ações mútuas [...].

Dizemos então que *B* tem  $\varphi/\varphi'$  vezes a massa de *A*. Se tomarmos *A* como nossa unidade, atribuímos ao corpo *B* que comunica a *Am* vezes a aceleração que *A* comunica a ele por reação, a massa *m* [...]. No nosso conceito de massa não está envolvida nenhuma teoria; a “quantidade de matéria” é completamente desnecessária nele; tudo que ele contém é a fundação exata, designação e determinação de um fato.

Mach definiu força motriz o produto do valor da massa pela aceleração induzida em um corpo. Segundo Jammer (2011, p. 272), diferente de Mach, Kirchhoff adotou o conceito de massa como um dado intuitivo assim como o de espaço e o de tempo, mas continuou desconsiderando a busca pelas causas dos movimentos, afirmando que a mecânica devia somente descrever, o mais simples possível, os movimentos na natureza. Além disso, guiado pelo objetivo de definir os conceitos na mecânica somente por intermédio do movimento, Kirchhoff chamou de “forças aceleradoras” *X*, *Y* e *Z* a segunda derivada das coordenadas com respeito ao tempo, ou seja:  $\frac{d^2x}{dt^2} = X, \frac{d^2y}{dt^2} = Y, \frac{d^2z}{dt^2} = Z$ . Nesse caso, as massas estão sendo consideradas como coeficientes constantes.

Hertz foi aluno de Kirchhoff mas compartilhou das teorias de seu professor até certo ponto. De modo semelhante, aceitou construir a mecânica somente a partir dos conceitos de tempo, espaço e massa. Contudo, postulou a existência de “variáveis ocultas” que nada mais seriam do que

massas em movimento que se chocariam com os corpos visíveis de maneira a dar conta do que observamos. A hipótese era de que se poderia estender às massas invisíveis de todo o Universo as leis que regiam a massa conhecida e o movimento ser algo ocasionado por algum outro movimento dentro do mesmo sistema. Seu trabalho intitulado *Princípios de Mecânica*, foi publicado postumamente em 1894. Nele, Jammer (2011) comenta que o autor mostrou várias contradições da concepção tradicional de força na mecânica newtoniana, fornecendo vários exemplos para mostrar o surgimento de forças como consequência do movimento, contrariando a definição de força como causadora do movimento. De acordo com Jammer (2011, p. 280):

Com os trabalhos de Mach, Kirchhoff e Hertz concluiu-se desenvolvimento lógico do processo de eliminar da mecânica o conceito de força. Essa transformação na física matemática a partir da época de Newton foi essencialmente uma tentativa de explicar os fenômenos físicos em termos de pontos de massa e suas relações espaciais [...].

Mach, Kirchhoff e Hertz tiveram apoio de inúmeros físicos e filósofos na busca pela eliminação de conotações metafísicas no conceito de força, tais como: Peter Guthrie Tait (1831d.C. – 1901d.C.) que considerava o conceito de força puramente intelectual; Karl Pearson (1857d.C. – 1936d.C.) afirmava que as tentativas de atribuir a força aquilo que impõe certas mudanças ou sequências de movimentos é um resquício de uma espiritualidade que ainda nos assombra; Henri Poincaré (1854d.C. – 1912d.C.) reconhecia que o conceito de força construído com características, ou propriedades, das quais ele chama de antropomórficas pode ter seu valor, mas nunca servirá para o raciocínio científico; Bertrand Russell (1872d.C. – 1970d.C.) que tratava o conceito físico de força como fictício por dois motivos, um porque a força é somente um número, a derivada segunda do espaço com relação ao tempo, e sendo a aceleração uma ficção matemática, a força que é sua causa não poderia ser considerada como um evento físico real (JAMMER, 2011).

#### 4.10 O CONCEITO DE FORÇA NA FÍSICA CONTEMPORÂNEA

Na física contemporânea, a interpretação do conceito de força apenas como um recurso metodológico a ser utilizado na análise do movimento, continua sendo a melhor estratégia adotada para não se enveredar por hipóteses consideradas como metafísicas. De acordo com Jammer (2011, p. 303-304):

[...] para mostrar ou prever que um certo corpo A move-se numa certa trajetória B, quando cercado por uma dada constelação de corpos C, D, ..., que podem ser gravitacionais, eletricamente carregados, magnetizados etc., introduzimos o termo médio “força” e enunciamos as duas “premissas”: (1) A constelação C, D, ... dá origem a uma força F; (2) a força F (de acordo com as leis do movimento) faz o corpo A mover-se na trajetória B. Na conclusão – “O corpo A, cercado por C, D, ..., em circunstâncias dadas, move-se na trajetória B” –, o termo médio “força” também é eliminado. Em vez ligarmos diretamente o comportamento cinemático do corpo A à configuração arbitrariamente dada C, D, ..., dividimos a situação, por assim dizer, em duas partes [...].

Esse procedimento possibilita analisar o comportamento cinemático de um corpo, focando na descrição pura do fenômeno, ou seja, sem se preocupar com as suas causas. Segundo Jammer (2011), na mecânica clássica, ele comprovou ser adequado na análise das interações macroscópicas tanto para a estática quanto para a dinâmica. No caso da estática, em que a ausência do movimento pode levar a uma conclusão equivocada sobre a não existência de uma força, Mach (1942 apud JAMMER, 2011, p. 307) fez a seguinte observação:

Força é qualquer circunstância cuja consequência seja o movimento. Todavia, diversas circunstâncias desse tipo, cada uma das quais determina um movimento, podem juntar-se de tal modo que não resultem em nenhum movimento. Pois bem, a estática investiga qual é essa modalidade de conjunção, em termos gerais. Ela não se interessa pelo caráter particular do movimento condicionado pelas forças.

Então, a estática sendo um caso particular da dinâmica, também pode ser analisada pelo procedimento anterior, em que há a concepção de força como uma relação puramente funcional. De acordo com Jammer (2011, p. 310), temos que essa concepção:

[...] está de pleno acordo com sua aplicação na mecânica quântica e na física nuclear. Se o uso do conceito de força na física clássica é essencialmente um recurso para economizar o pensamento, baseado numa analogia com a experiência humana, isso se dá ainda mais na mecânica quântica. Quer esta seja formulada como um cálculo operacional em que variáveis dinâmicas, como coordenadas ou componentes do momento, sejam representadas por matrizes, quer se adote o formalismo de Schrödinger, o conceito de força, por meio da ideia da energia potencial, é introduzido em completa analogia com a dinâmica macroscópica e, por conseguinte, rigorosamente falando, é uma analogia de uma analogia [...].

O autor complementa o seu raciocínio fazendo a seguinte crítica:

Enquanto a mecânica quântica tiver que tomar emprestada da dinâmica clássica uma parte de suas concepções fundamentais, enquanto ela não

dispuser de um aparato conceitual independente em termos lógicos e metodológicos, não se pode esperar que produza uma revisão da concepção clássica de força. Isso não significa, é claro, que ela não possa lograr êxito em sua nova interpretação de certas forças macroscópicas, como a elasticidade ou magnetismo. Mas essas contribuições não têm nenhum peso no *status* lógico, epistemológico ou metodológico do conceito de força (JAMMER, 2011, p. 311).

Em síntese, podemos dizer que apesar de na mecânica quântica e na física nuclear o conceito de força ter se tornado mais complexo no seu formalismo matemático, o seu “*status* lógico, epistemológico ou metodológico” continuou o mesmo. Na opinião de Jammer (2011), isso dificulta e limita a compreensão de vários fenômenos observados. Por exemplo:

[...] a física nuclear procura aderir à suposição tradicional de que as forças envolvidas nos processos nucleares assemelham-se, em seu caráter geral, a “forças atômicas”, ou seja, de que são “forças de dois corpos” que agem entre pares de núcleons, embora a presença de outros núcleons não modifique a força entre os dois núcleons dados (numa analogia com a lei de força de Coulomb, segundo a qual a interação de duas cargas não é afetada pela presença de uma terceira). Mas são cada vez mais numerosas as opiniões no sentido de que parte das forças do interior do núcleo compõe-se de “forças de muitos corpos”, ou seja, de interações que são, sim, modificadas pela presença de outras partículas, e de que algumas dessas forças são tensoriais (forças não centrais, dependentes do *spin*) (JAMMER, 2011, p. 312).

Para Jammer (2011), nem mesmo a introdução das chamadas “forças de troca” por Werner Heisenberg (1901d.C. – 1976d.C.) e Ettore Majorana (1906d.C. – 1938d.C.) conseguiu modificar a concepção de força como tal, pois ela continua sendo compreendida como dependente do “estado” de dois núcleons que se interagem, ou seja, é uma função da configuração desses núcleons. As diversas teorias de “forças de troca” apenas “[...] expressam diferentes maneiras de introduzir a dependência das forças em relação ao ‘estado’ da partícula” (JAMMER, 2011, p. 314).

A mesma crítica serve para a Teoria da Relatividade Especial, pois a modificação introduzida na equação da Segunda Lei de Newton (como foi apresentada por Euler) foi apenas uma reestruturação matemática. Uma vez que a força relativística depende de uma massa que é variável com a velocidade, ou seja:

$$\vec{F} = \frac{d}{dt} \left( \frac{m_0 \vec{u}}{\left(1 - \frac{u^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}} \right) \quad (3)$$

Sendo  $m_0$  a massa de repouso;  $\vec{u}$  o vetor velocidade e  $c$  a constante que representa a velocidade da luz no vácuo. Esse novo formalismo trouxe algumas consequências como o fato da maioria das situações relativísticas lidar com a força não codirecional à aceleração que produz. Contudo:

[...] Tais modificações, por mais importantes que sejam do ponto de vista matemático, não afetam radicalmente a concepção de força. Mas convém assinalar um ponto importante: com base na rejeição da simultaneidade absoluta de dois eventos distantes, a relatividade chega à conclusão de que a ação a distância tem de ser excluída como ideia física legítima. Em outras palavras, as forças só podem ser forças de contato (JAMMER, 2011, p. 317).

A revisão mais profunda do conceito de força foi ocasionada pela Teoria da Relatividade Geral, no entanto, esse processo “[...] está longe de ter sido concluído, mesmo hoje; na verdade, ele só foi realizado com sucesso no tocante às forças gravitacionais [...]” (JAMMER, 2011, p. 317). Essa revisão foi feita em decorrência da síntese einsteiniana entre geometria e gravitação ao levar até as últimas consequências a teoria do *continuum* espaço-tempo. De acordo com Jammer (2011, p. 319-320):

[...] Enquanto, na mecânica clássica, a configuração  $X$  era o elemento determinante do movimento, na relatividade geral esse elemento é o próprio *continuum* espaço-tempo [...] na relatividade geral não haverá necessidade do conceito de “força” gravitacional, desde que se aplique a métrica riemanniana adequada (JAMMER, 2011, p. 319-320).

Em complemento, o autor afirma que:

[...] na relatividade geral a gravitação não tem o caráter de uma força. É uma propriedade do espaço-tempo. Com isso, os eventos mecânicos são explicados por concepções puramente geométrico-cinemáticas [...]. É muito natural, portanto, que a relatividade geral não inclua – pelo menos, não como lei rigorosa – o princípio da ação e reação [...] (JAMMER, 2011, p. 320).

Desse modo, percebe-se que há uma tendência do surgimento de uma nova concepção de forças em quaisquer resquícios newtonianos. No entanto, o seu domínio de aplicação estaria restrito a fenômenos de dimensões micro ou macroscópicas muito além de nossa capacidade de percepção sensorial. Nesse caso, só conseguirá compreender a essência do que vir a ser definido como força quem dominar a linguagem matemática avançada que serve como estrutura da Física do muito rápido, do muito pequeno e do muito grande.

#### 4.11 OS PERFIS EPISTEMOLÓGICOS DA FORÇA

A concepção de força ao longo da história da ciência sofreu inúmeras modificações, sendo compreendida de diversos modos, tais como: originada da percepção motora, indistinta de energia, trabalho, potência, poder e movimento; antropomórfica; animista; de origem divina; reguladora do universo; natural; ‘simpatia’ (atração dos semelhantes); força impressa (de contato); inerente ao objeto, agindo à distância; resistência ao movimento do objeto como força (vis resistiva); força como sequência de impulsos instantâneos que se somam; força centrípeta e centrífuga, como reguladora do movimento circular dos corpos; conceito apriorístico, intuitivo; força como um dado, valor; força como um vetor, podendo ser decomposta segundo a regra do paralelogramo; aspecto dual agindo em pares de ação e reação, possivelmente à distância; derivada do momento com relação ao tempo; análoga à força newtoniana, porém, com a massa relativística; e até a possibilidade de não se tratar efeitos mecânicos como a ação de forças para a consideração de uma propriedade do espaço-tempo. De modo geral, entre essas concepções, identificamos e destacamos quatro perfis epistemológicos: *Realismo Ingênuo*, *Empirismo Claro e Positivista*, *Racionalismo Clássico* e *Racionalismo Completo (ou complexo)*.

Podemos incluir no perfil *Realismo Ingênuo* as situações em que a força é: associada com o esforço humano, os músculos, assim como a algo que possa mover os objetos; relacionada como uma característica, um “poder” de uma **entidade sobre-humana** capaz de determinar o destino da humanidade; compreendida como uma **substância fluida** diferente de toda a matéria, chamada de “mente”, ou um agente regulador externo da natureza; considerada como o **motor do movimento**, como fez Aristóteles. Além disso, também se enquadra nesse perfil quando a **própria matéria** é entendida como composta de uma essência dita espiritual que representa a força original, ou ao se interpretar a **força da natureza como constantes tensões**, entendendo que ela é um organismo vivo e sua força existe para regulá-la e equilibrá-la, além da noção de **simpatia** entre os iguais, em que a força agia por meio de uma rede que interligava tudo em meio a atração e repulsão por simpatia ou por uma divindade onipresente.

Se enquadra no perfil *Empirismo claro e positivista* a noção do *ímpetus* medieval. Para refutar a teoria de Aristóteles que possuía inúmeros adeptos, Jean Buridan, no século XIV, construiu uma teoria que relacionava, qualitativamente, a velocidade com a quantidade de matéria, permitindo, desse modo, distinguir o ímpeto recebido por cada corpo. No *Racionalismo clássico*

temos a noção de força newtoniana que se torna quantitativa. Quando a força começa a ser interpretada por Mach, Kirchhoff e Hertz, no final do século XIX, como algo puramente matemático e não mais um evento físico real, a sua concepção muda para o perfil *Racionalismo Completo (ou complexo)*. As causas foram substituídas por uma análise pura da cinemática do sistema. A descrição do fenômeno em termos matemáticos assume o protagonismo.

A ausência do perfil *Racionalista Dialético* se justifica por atualmente a mecânica quântica e a física nuclear estudar propostas diversificadas de interações sem reconstruir um novo conceito que supere o perfil anterior de força mecânica. As novas teorias se aproveitam de uma maior complexidade matemática, mas não romperam com as considerações fundamentais de dependência da configuração das partículas em um sistema para conceituarem a força. Por exemplo, podemos citar a proposta da “força de muitos corpos” do interior do núcleo atômico de que a intensidade da interação entre duas partículas é modificada pela presença de uma terceira. Nesse caso, as forças passariam a ser consideradas como tensoriais, não mais centrais, e dependentes dos spins de cada partícula. No entanto, de acordo com Jammer (2011), esse procedimento não é adotado devido à complexidade do arranjo matemático a ser analisado.

Consideramos a Teoria da Relatividade Especial e a Teoria da Relatividade Geral como estando na transição entre os perfis *Racionalismo Completo (ou complexo)* e *Racionalista Dialético*. Com a primeira, há uma modificação na equação da mecânica clássica devido à nova concepção de espaço-tempo. Apesar do conceito de força não ser radicalmente modificado, a teoria rompe com a simultaneidade absoluta de eventos distantes, assim, passa ser impossível fisicamente a ação à distância. Em complemento, a Teoria da Relatividade Geral considera a gravitação como uma propriedade do espaço-tempo, não mais como uma força, não incluindo como uma lei rigorosa o princípio da ação e reação.

Então, em Quântica as interações não são mais mecânicas, são interações que cabem à eletrodinâmica quântica ainda discutir. Em Relatividade há o conceito de força, porém, somente com novas atribuições matemáticas as quais, ou não alteram epistemologicamente o conceito de força, ou trata do que Caruso e Freitas (2009, p. 357) dizem:

O princípio galileano de absoluta equivalência entre dois sistemas inerciais de referência que se movem um em relação ao outro implica o abandono de qualquer possibilidade de movimento absoluto. Tal princípio é fruto e ao mesmo tempo a base de uma cosmovisão mecanicista que se estrutura com

solidez a partir da Mecânica de Newton, fortemente calcada na *causa efficiens* – no conceito de força – que ocupa um lugar central na obra de Newton. No entanto, como bem salienta Steven Weinberg, a partir da fusão da Relatividade com a Mecânica Quântica, não é mais a matéria (e, acrescentaríamos, a força) que ocupa uma posição central na nova Weltanschauung. Nela, o papel da matéria foi usurpado pelos princípios de simetria, dentre os quais destacamos os relacionados não mais apenas ao espaço, mas ao espaço-tempo [...].

Logo, consideramos que tais conceitos não compreendem ao escopo da nossa pesquisa. E apesar de expormos que não reconhecemos o último perfil epistemológico de força na história, concordamos que a ciência não é estática e ainda há muito trabalho que concerne a Relatividade e a Quântica.

## 5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este trabalho é uma pesquisa de natureza qualitativa, tendo as seguintes características elencadas por Bogdan e Biklen (1994): a) O pesquisador coleta dados em contato com os fenômenos que ocorrem naturalmente em situações que estão sendo investigadas; b) Os dados não são em forma de número, há um predomínio de dados descritivos, em forma de imagens ou palavras; c) Ênfase no processo e não simplesmente obtenção de resultados e no produto final; d) A análise constitui-se de modo a gerar um quadro que se estrutura ao longo da pesquisa e não é como um quebra-cabeça no qual se sabe o resultado final.

Na pesquisa qualitativa, há uma diversidade imensa de incógnitas para serem levadas em consideração antes de se afirmar que algum resultado é universal. A investigação qualitativa em educação se restringe a um determinado grupo de pessoas, evento, período, material ou qualquer que seja o universo pesquisado, são limitadas as condições locais, sociais, culturais, temporais como também diversas outras variáveis. Pesquisas nessa área têm um carácter contínuo de análise possibilitando a criação de modelos e conceitos que podem ser alterados quando alterada a situação de pesquisa, expandindo-se a compreensão do fenômeno estudado (BOGDAN; BIKLEN, 1994). Para uma melhor compreensão dos limites e de como foi desenvolvido o nosso trabalho, apresentamos a seguir as técnicas de análise de conteúdo que utilizamos.

### 5.1 TÉCNICAS DA ANÁLISE DE CONTEÚDO

Bardin (1997) define a análise de conteúdo como um conjunto de técnicas de análise dos materiais registrados por meio de procedimentos sistemáticos e objetivos que visa por obter indícios que permitam a inferência de conhecimentos relativos às espécies de produção e recepção dessas mensagens. Está relacionada, dessa forma, com a informação contida nas mensagens.

As deduções lógicas ou inferências obtidas a partir das categorias serão responsáveis pela identificação das questões relevantes contidas no conteúdo das mensagens. A leitura do pesquisador responsável pela análise tem o objetivo de salientar o que se encontra em segundo plano. Um conjunto de categorias cuidadosamente selecionadas pode gerar indicações

produtivas para o processo de inferência, contribuindo para que as interpretações possam espelhar resultados validados pelo método. As etapas da análise de conteúdo estão resumidas no seguinte quadro:

**Quadro 1:** Etapas das técnicas da análise de conteúdo.

<i><b>Etapas</b></i>	<i><b>Descrição</b></i>
<i>Primeira Etapa:</i>  <i><b>Pré-análise</b></i>	Nesta etapa são desenvolvidas as operações preparatórias para a análise propriamente dita. Consiste num processo de escolha dos documentos ou definição do corpus de análise; formulação das hipóteses e dos objetivos da análise; elaboração dos indicadores que fundamentam a interpretação final.
<i>Segunda Etapa:</i>  <i><b>Exploração do material ou codificação</b></i>	Consiste no processo por meio do qual os dados brutos são transformados sistematicamente e agregados em unidades, as quais permitem uma descrição exata das características pertinentes ao conteúdo expresso no texto.
<i>Terceira Etapa:</i>  <i><b>Tratamento dos resultados: inferência e interpretação</b></i>	Busca-se, nessa etapa, colocar em relevo as informações fornecidas pela análise, por meio de quantificação simples (frequência) ou mais complexa como a análise fatorial, permitindo apresentar os dados em diagramas, figuras, modelos, etc.

*Fonte:* Bardin (1997).

Seguimos essas etapas descritas para desenvolver a nossa análise. Devemos lembrar que algumas especificidades da epistemologia bachelardiana são partes do nosso objeto, portanto, temos também o vínculo com esse referencial epistemológico em nossa análise. Assim, segue abaixo a descrição de como desenvolvemos as três etapas indicadas por Bardin (1997).

### 5.1.1 PRÉ-ANÁLISE

Selecionamos livros de Física para o Ensino Médio a partir da conciliação da relação dos livros aprovados pelo PNLD de 2018 para a Física com as escolhas dos livros didáticos dos professores da cidade de Maringá.

Das 12 coleções aprovadas pelo PNLD<sup>7</sup>, e, portanto, 36 livros, selecionamos os livros que apresentam o conteúdo de mecânica, em geral o primeiro volume das coleções, para analisarmos quais os perfis epistemológicos representados nas tentativas de se ensinar a força mecânica.

Dentre os livros disponíveis para serem escolhidos pelos professores, há uma relação dos livros escolhidos nas escolas de Maringá tanto como primeira quanto segunda opção<sup>8</sup>. Procuramos selecionar os livros que mais foram escolhidos na cidade e que eram de fácil acesso. Segue, em ordem alfabética, a lista dos livros selecionados para a análise:

**Quadro 2:** Livros selecionados para análise.

Livros
BARRETO E XAVIER. <b>Física aula por aula:</b> mecânica, 1º ano/ - 3. Ed. São Paulo: FTD, 2016.
BONJORNO et al. <b>Física:</b> Mecânica, 1º ano. – 3. Ed. São Paulo: FTD, 2016.
DOCA et al. <b>Física:</b> mecânica: ensino médio, volume 1 – 3. Ed. São Paulo: Saraiva, 2016.
FILHO e TOSCANO. <b>Física:</b> Interação e tecnologia, volume 1 – 2 Ed. São Paulo: Leya, 2016.
GUIMARÃES et al. <b>Física:</b> Mecânica, 1º ano – 2. Ed. São Paulo: Ática, 2016.
MÁXIMO et al. <b>Física:</b> contexto e aplicações, 1º ano – 2. Ed. São Paulo: Scipione, 2016.

*Fonte:* Elaborado pela autora.

Das 27 escolas de Maringá e, conseqüentemente, das 27 escolhas como primeira opção, 14 foram para o livro Guimarães et al (2016), 3 foram para Bonjorno et al (2016) e 2 para Máximo et al (2016), Barreto e Xavier (2016) e Doca et al (2016). Das 27 escolhas como segunda opção, 17 foram pra Máximo et al (2016), 3 para Guimarães et al (2016) e 1 para Bonjorno et al (2016), Barreto e Xavier (2016) e Doca et al (2016). O livro Filho e Toscano (2016) foi escolhido somente por um professor e como primeira opção, sua organização difere da maioria dos outros livros por trazer o conteúdo de força antes do conteúdo de cinemática, e assim, havia a possibilidade do tratamento abstrato ser mais intenso por poder iniciar o tratamento de força como um conceito que desassociado das situações concretas que a cinemática propõe.

<sup>7</sup> As coleções podem ser encontradas no seguinte site: <http://www.fnnde.gov.br/pnld-2018/>.

<sup>8</sup> A relação dos livros escolhidos pode ser encontrada no site <http://pddeinterativo.mec.gov.br/>, selecionando o quadro de resultado de escolha das obras e discriminando o estado do Paraná, a Cidade de Maringá e a o tipo da esfera da escola como Estadual.

**Quadro 3:** Relação dos livros selecionados para a análise com a quantidade de escolhas da cidade de Maringá.

Livros	1ª Opção	2ª Opção
BARRETO E XAVIER (2016)	2	1
BONJORNO et al (2016)	3	1
DOCA et al (2016)	2	1
FILHO e TOSCANO (2016)	1	0
GUIMARÃES et al (2016)	14	3
MÁXIMO et al (2016)	2	17

*Fonte:* Elaborado pela autora.

Ao procurar nos veículos de informação como a internet, podemos verificar que as coleções selecionadas pelos PNLD ao longo dos últimos anos possuem um núcleo forte, geralmente não há uma diversidade de autores, e ainda, identificamos que há diversas atualizações ao passar do tempo de apenas novas edições dos mesmos livros, os autores, então, permanecem em grande parte. Demarcando uma cultura comum da nossa época para os livros didáticos. Portanto, concordamos com a afirmação de Lopes (1990, p. 130) quando diz que

[...] um livro, uma vez publicado, evidencia em alguma medida um pensamento comum, uma orientação metodológica e epistemológica, incorpora-se ao conjunto do pensamento pedagógico de uma época. Esse pressuposto se mostrou perfeitamente válido, na medida em que os livros de um dado período, em seu conjunto, não apresentam alterações significativas.

Além disso, como o perfil epistemológico é de cada indivíduo, então, nos livros encontraremos um reflexo dos perfis dos autores. Acreditamos que essas características são suficientes para analisarmos livros de uma única seleção do PNLD e constituem uma amostra qualificada dos materiais que estão dentro das salas de aula e que servem de referência tanto para os alunos quanto para os professores.

### 5.1.2 EXPLORAÇÃO DO MATERIAL

Para a exploração do material categorizamos os dados. De acordo com Bardin (1977, p. 117):

A *categorização* é uma operação de classificação de elementos constitutivos de um conjunto, por diferenciação e, seguidamente, por reagrupamento

segundo o género (analogia), com os critérios previamente definidos. As categorias, são rubricas ou classes, as quais reúnem um grupo de elementos (unidades de registo, no caso da análise de conteúdo) sob um título genérico, agrupamento esse efectuado em razão dos caracteres comuns destes elementos.

Feito o destaque dos trechos que continham as palavras “força”, ou as que o próprio livro define como uma força, como exemplo: “peso” e “tração”, dos livros seleccionados, excluimos as palavras das áreas destinadas aos exercícios porque consideramos que esses apenas refletiriam as representações da parte teórica.

Construímos as categorias seguido da análise do desenvolvimento histórico da força. Portanto, iniciamos a nossa categorização com conceitos *a priori*. Prosseguimos com as identificações e agrupamentos de dados segundo os critérios já estabelecidos sobre as categorias as quais definimos como os perfis epistemológicos de força ao longo dos anos.

Dividimos o processo de categorização em duas partes, na primeira focamos os obstáculos epistemológicos e na segunda os perfis epistemológicos. Em uma segunda leitura buscamos relacionar as palavras e trechos com as categorias dos obstáculos epistemológicos definidos a partir do referencial epistemológico e as categorias dos perfis seguindo a nossa interpretação dos perfis epistemológicos de força relacionada ao texto sobre a história do conceito de força. Assim, escolhemos em quais obstáculos e perfis se enquadravam e expusemos no capítulo seguinte com a nossa interpretação dos livros.

## 6 INFERÊNCIA E INTERPRETAÇÃO

### 6.1 OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS DOS LIVROS

Dessa amostra de livros podemos tratar dos obstáculos epistemológicos que encontramos na análise dando alguns exemplos, seja por trechos ou imagens de modo geral. Entende-se aqui que a exposição exaustiva de seleções em que apresentam os obstáculos é desnecessária uma vez que o obstáculo já foi definido anteriormente e será argumentado com alguns exemplos retirados dos livros.

Na busca por obstáculos epistemológicos, analisamos os entornos das palavras selecionadas anteriormente, identificamos a seleção e com uma leitura crítica interpretamos os trechos como relacionados aos respectivos obstáculos epistemológicos. Dos oito apresentados por Bachelard, três se sobressaem nos textos analisados, a saber: *Conhecimento unitário e pragmático*; *Substancialista* e o *Animista*. Dentre estes, podemos identificar uma combinação de obstáculos com o *Verbal*. Uma vez que a metáfora é frequentemente utilizada, os obstáculos citados são paulatinamente reconhecidos, sejam juntos ou não. Além disso, não quer dizer que os outros obstáculos não apareçam, porém, escolhemos esses devido à grande frequência com relação aos outros.

#### 6.1.1 CONHECIMENTO UNITÁRIO E PRAGMÁTICO

Ao dar destaque para utilidade do conceito, surge o obstáculo epistemológico do conhecimento unitário e pragmático. Seguem alguns trechos dos livros didáticos em que esse obstáculo se faz presente:

As forças são, portanto, a chave para compreender como os movimentos são produzidos ou modificados, pois o estado de repouso ou o estado de movimento estão diretamente relacionados à ação das forças sobre os corpos (BONJORNIO et al, 2016, p. 123).

O texto que antecede tal trecho relata “aplicações” de força, situações nas quais o livro coloca como a existência de força. Ações comuns de atletas praticando exercícios. Além de ressaltar a relação direta entre força e movimento, o primeiro a causa e o segundo o efeito. E posterior ao

trecho há a tentativa de explicar a ação que ocorre a distância. Usa exemplos de ímãs e queda dos corpos, mas não apresenta o conceito de força, nem de força de campo.

Para a força de tração o livro traz imagens de um carro preso por um cabo de aço à um trator e uma pessoa puxando uma corda amarrada a uma caixa. Usando a primeira imagem o livro explica:

[...] observe que a função do cabo de aço é transmitir para o carro a força exercida pelo trator. Nessas condições, dizemos que o cabo de aço está tracionado, ou seja, ele está sob forças de tração – um par de forças que age nos extremos do cabo, mantendo-o tenso (GUIMARÃES et al, 2016, p. 109).

Nos exemplos podemos observar que a grandeza física chamada força, de forma intuitiva, pode ser considerada com um ‘empurrão’ ou um ‘puxão’ correspondendo a uma força de ação de um corpo sobre o outro (BONJORNIO et al, 2016, p. 122).

Em ambos não há uma preocupação de se definir a força, pois a sua existência é justificada por intuições. Há a comodidade em se expressar coisas cotidianas, há a praticidade de se definir como algo intrínseco.

No começo do livro Filho e Toscano (2016) observamos algumas considerações de que há diferença em como utilizamos a palavra força no dia a dia e como os físicos expressam o que é força. Na sequência, o livro define que “[...] **força** é uma maneira de dizer que existe algum tipo de interação entre duas ou mais coisas [...]” (FILHO; TOSCANO, 2016, p. 16). Porém, poucas páginas a frente há diversas situações onde o livro apresenta exemplos de força de atrito sem defini-la:

Quando freamos uma bicicleta, uma moto ou um carro, ocorre uma interação entre as pastilhas do freio e as rodas e entre as rodas e o chão; essas interações por contato fazem a bicicleta, a moto e o carro pararem. Isso só é possível porque existe a ação de uma força de contato, ou de **atrito**, que se opõe ao movimento da roda. A força de atrito entre o freio e o chão também é utilizada com o objetivo de, por exemplo, parar um patim.

Já a arrancada de um carro só é possível porque existe uma força na direção e no sentido do movimento do carro [...]

[...]. Por meio de uma força de contato, os pneus empurram o chão para trás (ação) e o chão empurra o carro para a frente (reação) [...] (FILHO; TOSCANO, 2016, p. 24-25).

O trecho, além de estabelecer exemplos ao invés de um conceito para a força de atrito, ou a definição de atrito, ainda explica em forma de exemplos novamente a ação e reação, como se

ocorressem com uma ordem, primeiro ocorre a ação depois a reação, não caracterizando uma interação mútua.

No livro Máximo et al (2016) há uma seção intitulada “Conceito de força” cujo conteúdo apresentado são diversos exemplos de “tipos” de força, inclusive tenta apresentar o conceito de “atração da Terra” sobre os objetos próximos a ela. Segue o trecho:

Quando exercemos um esforço muscular para puxar ou empurrar um objeto, estamos comunicando-lhe uma força [...], um caminhão exerce força para arrastar os tanques [...]; um jato de água exerce força para acionar uma turbina [...], etc. Todos nós temos, intuitivamente, a ideia do que seja força. Analisando esses exemplos, podemos dizer que, para que o efeito de uma força fique bem definido, será necessário especificar seu módulo, sua direção e seu sentido. **Em outras palavras, a força é uma grandeza vetorial e pode, portanto, ser representada por um vetor [...].** Outro exemplo de força, com que lidamos frequentemente, é a força de atração da Terra sobre os objetos situados próximos à sua superfície. Essa força é denominada peso do objeto (MÁXIMO et al, 2016, p. 83, grifo nosso).

Os trechos ocultados na compilação são referências as imagens das situações que o livro descreveu com flechas mostrando a direção das forças. Apesar de conceituar força, o livro recorre a noções intuitivas como o esforço muscular e força como geradora de movimento, puxando, empurrando, arrastando ou fazendo girar para exemplificar. Ainda apresenta a **força peso** de um objeto como a “[...] força com que a Terra atrai esse objeto” (MÁXIMO et al, 2016, p. 83). Para na sequência dizer que ela também é uma grandeza vetorial, porém, diferente dos exemplos citados, essa força é **exercida** à distância. Mas, mesmo assim, não há no texto menções de alguma conceituação.

Ao tentar explicar a força de atrito, o livro Barreto e Xavier (2016) apresenta uma subseção intitulada “Força de atrito” cuja página tem imagens de um menino tocando violino, uma pessoa conduzindo o gado para arar um terreno, uma pessoa desenhando, uma pessoa puxando para a esquerda um caixote que está no chão e o seguinte texto:

Podemos destacar muitas situações em que a força de atrito está presente. Basta observarmos o arco de um violino friccionando suas cordas, por exemplo. Em geral, quando falamos em atrito, a primeira característica que vem à mente é que ele desfavorece o movimento e deve ser reduzido o máximo possível. Por exemplo, se o atrito entre o arado e o solo diminuir, os trabalhadores e os animais não vão precisar fazer tanta força. Mas existem casos em que o atrito é necessário. Por exemplo, só conseguimos caminhar porque existe atrito entre

o solo e o pé ou calçado, caso contrário poderíamos escorregar e não sair do lugar.

Analisando qualitativamente a força de atrito, é possível constatar, de forma experimental, que ela se manifesta quando os corpos em contato se comprimem mutuamente e há arrastamento ou tendência de arrastamento entre eles (BARRETO; XAVIER, 2016, p. 145).

O texto segue diferenciando o atrito estático do atrito cinético sem definir o que é o atrito, nem o que é a força de atrito. Após a exemplificação de situações para caracterizar cada tipo de atrito, o trecho termina finalmente com a equação da força de atrito máxima com características do coeficiente de atrito, sem defini-lo também.

O livro Doca et al (2016) começa a o capítulo 5, intitulado “Princípios da Dinâmica”, apresentando superficialmente que a Dinâmica estuda o que produz e modifica os movimentos e em vez de buscar conceituar força, o livro traz a seção “O efeito dinâmico de uma força”, no qual ele questiona qual o agente físico causador da aceleração, afirma que somente a ação de uma força é capaz de acelerar uma partícula e destaca em um quadro colorido o trecho:

Força é o agente físico cujo efeito dinâmico é a aceleração (DOCA et al, 2016, p. 83).

E continua com um exemplo de onde visualizar tal efeito, sem discriminar o que é, apenas descrevendo seu “efeito”. Logo segue com o “Conceito de força resultante”, porém, dá exemplos de sistemas que estão sob efeito de mais de uma “força” e conclui que a força resultante é uma única força que sozinha causa o mesmo efeito das forças simultâneas utilizadas nos exemplos.

### 6.1.2 OBSTÁCULO SUBSTANCIALISTA

Uma característica marcante desse obstáculo é o conforto em se expressar de maneira concreta, substancial, muitas vezes por meio de metáforas, em detrimento da utilização de um conceito mais detalhado e abstrato. O livro descreve algumas “ações” como se fossem resultantes das interações entre uma entidade substancial, a força, e os objetos. Vejamos alguns trechos:

[...] Sempre que saltamos, retornamos no sentido do solo, **como se estivéssemos presos a algo**. Na verdade, estamos sujeitos à ação do campo gravitacional da Terra, como tudo o que está sobre sua superfície, do fundo

dos mares até a atmosfera. A Lua orbita o nosso planeta por conta dessa força que é exercida a distância (BONJORNNO et al, 2016, p. 123, grifo nosso).

[...] os átomos são mantidos unidos por forças interatômicas, **representadas por pequenas molas** [...]. A rede é quase perfeitamente rígida, o que é outra forma de dizer que **as ‘molas interatômicas’ são extremamente duras**[...] (BONJORNNO et al, 2016, p. 151, grifo nosso).

Os livros usam das metáforas e retomam a noção da força como uma substância real, recaem ainda no obstáculo *verbal* quando assemelha a força interatômica com pequenas molas. Seriam essas molas a própria força. Além de trechos que descrevem a força como algo passível de ser trocado, dado, recebido, ou ainda algo transmissível através de materiais sólidos. Seguem os trechos:

[...] O fio ideal se comporta como **mero transmissor de forças: ele transmite integralmente a força de uma extremidade à outra** [...] (GUIMARÃES et al, 2016, p. 109, grifo nosso).

Quando dobramos ou cortamos um pedaço de fio com um alicate, **a força feita no cabo é transferida e ampliada para a extremidade oposta** (BONJORNNO et al, 2016, p. 235, grifo nosso).

A propulsão da bicicleta é exercida pela pessoa que a conduz, usando sua força muscular. **Essa força é transferida da pessoa para o veículo por meio de uma engrenagem** movida por pedais que movimentam [...] (BONJORNNO et al, 2016, p. 114, grifo nosso);

[...] se um foguete lança uma massa de gás para fora, exerce uma força sobre o gás (ação) e, simultaneamente, **recebe do gás** uma força igual e oposta (reação) [...] (FILHO; TOSCANO, 2016, p. 24-25, grifo nosso).

[...] O dinamômetro é um aparelho que mede o módulo da força aplicada; neste caso, uma pessoa puxa o bloco com uma força de intensidade  $F$ , **transmitida ao bloco pelo fio** (FILHO; TOSCANO, 2016, p. 25).

Imagine um automóvel se deslocando em uma estrada horizontal, com movimento retilíneo uniforme. **O motor transfere para o carro uma força de propulsão** [...] (MÁXIMO et al, 2016, p. 89).

Os fios e cabos têm a função de transmitir as forças que agem neles de uma extremidade a outra. **A força de tração**, como é chamada a força em fios, cabos e cordas, é outro tipo de força de contato muito presente em nosso cotidiano [...]

No estudo sobre forças, consideraremos os fios e cabos como **ideais** [...]. Neste modelo, o fio ou cabo ideal são capazes de transmitir integralmente a força aplicada em um dos seus extremos. (BARRETO; XAVIER, 2016, p.132-133, grifo do autor).

Se analisarmos o sistema de corpos formado por duas esferas, como mostra a ilustração ao lado, teremos, durante a colisão de ambas, uma troca de forças em um intervalo de tempo muito pequeno. Como essas forças são trocadas

entre os corpos que pertencem ao sistema, chamamos de **forças internas** (BARRETO; XAVIER, 2016, p. 222, grifo do autor).

O livro Doca et al (2016) apresenta o desenho de um bloco e uma superfície com a indicação dos vetores das forças. Na utilização desse desenho para explicar a força de atrito o livro expressa a força como algo concreto passível de troca:

[...] ocorre que esse bloco recebe de **S**, na região de contato, uma força  $\vec{F}_{SB}$  horizontal dirigida para a esquerda, que equilibra a força  $\vec{F}$ .

[...]

As forças  $\vec{F}_{BS}$  e  $\vec{F}_{SB}$  que **B** e **S** trocam na região de contato são forças de atrito e constituem um par **ação-reação (3ª Lei de Newton)** (DOCA et al, 2016, p. 115, grifo do autor).

Além desses exemplos, há a intensa utilização do termo “peso de algo”, como se a força peso fosse uma substância contida em um corpo ou algo que possa ser transferido igual a água transportada de um recipiente a outro. Ou ainda pode ser considerado um obstáculo verbal considerando que comumente nos referimos ao processo de uso de balanças como uma pesagem na busca de identificar a massa do que foi colocado na balança.

Para a explicação de campo gravitacional, o livro Doca et al (2016) propõe uma propriedade oculta em massas:

De acordo com os preceitos da física Clássica, toda massa em capacidade de criar em torno de si um campo de forças, denominado **campo gravitacional**. Uma estrela, por exemplo, tem ao seu redor um campo gravitacional, o mesmo ocorrendo com um simples asteroide (DOCA et al, 2016, p. 158, grifo do autor).

Explicitando que a massa possui capacidade de criar, nem ao menos considerando a certeza da existência de campo gravitacional aos entornos da massa nem sua extensão infinita, quanto mais discriminando o campo como algo abstrato e a força gravitacional discutida como interação entre massas.

### 6.1.3 OBSTÁCULO ANIMISTA

Quando as metáforas se expressam a fim de aproximar do concreto por meio das características de seres vivos com instintos como as características físicas e psicológicas relacionadas a seres não vivos, o obstáculo epistemológico é definido como animista. No caso da força, isso

acontece quando são atribuídas aos objetos as propriedades de empurrar, puxar, aplicar. Em grande número, as palavras força caracterizadas como estando no perfil Realista ingênuo carregam esse obstáculo. Alguns exemplos abaixo retirados dos livros analisados:

No caso do windsurferista fazendo manobras, das pás em movimento de uma usina eólica e do voo da águia à elevada altura, sem bater as asas, a causa desses movimentos é a força dos ventos e o ar agente, ou seja, **aquele que atua ou exerce poder sobre os objetos** (BONJORNIO et al, 2016, p. 123, grifo nosso).

[...] são chamadas forças de contato, pois **as superfícies dos corpos que interagem se tocam, puxando-se ou empurrando-se** [...] (BONJORNIO et al, 2016, p. 123, grifo nosso).

**O ímã atrai** o clipe do aço **aplicando sobre ele** uma força a distância por causa do campo magnético produzido pelo ímã [...] (BONJORNIO et al, 2016, p. 123, grifo nosso)

Os corpos tendem a permanecer em movimento até que uma **força de resistência**, geralmente do ambiente à sua volta, **os obrigue a parar** [...] (BONJORNIO et al, 2016, p. 127, grifo nosso).

Podemos dizer que realizamos uma força de ação sobre o chão. Como resposta, **o chão reage sobre nossos pés, empurrando-os para a frente** [...] (BONJORNIO et al, 2016, p. 137, grifo nosso).

Sempre que **um corpo A exerce uma força em um corpo B**, este reagirá **exercendo em A outra força**, de mesma intensidade e direção, mas de sentido contrário (BONJORNIO et al, 2016, p. 137, grifo nosso).

Quando nadamos, com as mãos empurramos a água para trás, aplicando uma força de ação sobre ela. Entretanto, **a água aplica sobre as mãos uma força de reação** de mesmo valor da força de ação, de modo que **nos empurra para frente** (BONJORNIO et al, 2016, p. 138, grifo nosso).

[...] no ponto de contato entre seus pés e o chão, a pessoa aplica uma força na rampa no sentido de penetrá-la. Impedindo a penetração dos pés da pessoa e equilibrando a ação da força peso, **a rampa exerce sobre a pessoa uma força vertical para cima**, que chamamos de força de contato [...] (GUIMARÃES et al, 2016, p. 106, grifo nosso).

A força normal – componente da força de contato – **age sempre no sentido de empurrar os corpos**, impedindo a interpenetração, e **nunca no sentido de puxá-los uns contra os outros** (GUIMARÃES et al, 2016, p. 107, grifo nosso).

O dinamômetro é uma ferramenta que mede a intensidade de uma força a partir de sua ação sobre uma mola. Em alguns objetos, **a força produz uma deformação perceptível**, que pode ser determinada [...] (FILHO; TOSCANO, 2016, p. 114, grifo nosso).

[...] O bondinho, que está pendurado em um cabo de sustentação, é puxado por um segundo cabo ligado à torre, que exerce uma força  $\vec{F}$  horizontal, deslocando-o lateralmente e mantendo-o em equilíbrio na posição mostrada na figura 4.17.a. **O vetor  $\vec{T}$  representa a tensão no cabo, isto é, o esforço que ele exerce sobre a esfera naquela posição.** (MÁXIMO et al, 2016, p. 90, grifo nosso).

Você provavelmente deve ter notado que quando entramos na água – em um rio, lago, mar ou em uma piscina – experimentamos uma sensação de leveza. E, ao tentarmos permanecer abaixo do nível da água, **sentimos uma força nos “empurrando” para cima** (BARRETO; XAVIER, 2016, p. 269, grifo nosso).

De acordo com os preceitos da Mecânica Clássica, a massa de um corpo é uma característica sua, sendo constante em qualquer ponto do Universo. No entanto, o mesmo não ocorre com o peso, que é função do local, já que depende de  $\vec{g}$ . **Na Lua, por exemplo, uma pessoa pesa cerca de  $\frac{1}{6}$  do que pesa na Terra**, pois o módulo da aceleração da gravidade na superfície lunar é cerca de  $1,67m/s^2$  (DOCA et al, 2016, p. 93, grifo nosso).

Para explicar as “forças” de ação e reação, o livro Máximo (2016) traz, além de diversos outros “exemplos”, uma imagem onde estaria ocorrendo o fenômeno que poderia explicitar a ação e reação. Porém, em momento algum ele trata da força. As considerações para a imagem são que a pessoa usa de esforço muscular para puxar uma fita elástica e a mesma puxa a pessoa. Considerando a situação como uma representação da Terceira lei de Newton. Segue a imagem:

**Figura 11** –Representação, segundo o livro (MÁXIMO, 2016), das forças de ação e reação que seguem da Terceira lei de Newton.



As imagens desta página estão representadas fora de proporção.

**Figura 4.19.** Ao inclinar-se lentamente para trás, mantendo o corpo reto, a pessoa puxa as fitas elásticas. Estas reagem e puxam a pessoa para frente, exercitando os músculos dos braços e das costas.

Fonte: Máximo et al (2016, p. 91).

Após um desenho de uma pessoa tentando empurrar um bloco maior que ela em uma superfície plana, o livro Doca et al (2016) explica que:

Ao empurrar o bloco, o homem aplica sobre ele [bloco] uma força  $\vec{F}_{HB}$ , que convencionaremos chamar de **força de ação**.

Será que o bloco também “empurra” o homem? Sim! Fatos experimentais mostram que, se o homem exerce força no bloco, este faz o mesmo em relação ao homem. O bloco aplica no homem uma força  $\vec{F}_{BH}$ , dirigida para a esquerda, que convencionaremos chamar de **força de reação** (DOCA et al, 2016, p. 99, grifo do autor).

Considerando que com a frase “fatos experimentais mostram que” o livro se refira aos experimentos de colisões que Newton poderia ter feito no estudo da interação dinâmica, é uma ofensa para nossa consideração epistemológica sobre o fazer Ciência, uma vez que a realidade é construída com a racionalização do cientista e não se busca extrair tal conclusão da experimentação através dos sentidos, e mesmo que fosse tal referência, para Newton havia uma explicação diferente da que temos hoje e da que tinha anteriormente a ele e que poderemos ter no futuro. Logo, tal informação expressada no trecho não pode ser uma conclusão sobre a força de reação. Além de expressar uma ordem nos acontecimentos, o livro ainda especifica nomeando a “força” de ação e de reação, sem refletir sobre a interação simultânea e ainda sem reconhecer que se fossem duas “forças” o bloco não poderia agir empurrando a pessoa.

No box intitulado “O Sol – nossa grande ‘fornalha’”, o livro Doca et al (2016) busca expressar que o tamanho do Sol é grande em comparação com a Terra e que o Sol irradia luz, calor e algumas outras energias, radialmente para fora. Além disso,

O Sol desfruta de um equilíbrio hidrodinâmico em que **forças opostas trabalham concomitantemente**: uma é a força gravitacional, dirigida para o núcleo, **que tende a prensar toda a massa da estrela** em sua região central, onde se registram pressões da ordem de 340 bilhões de vezes a pressão atmosférica da Terra ao nível do mar, e a outra é uma **força de pressão que empurra as massas quentes** produzidas no núcleo para a região superficial (convecção) (DOCA et al, 2016, p. 182).

As forças ocorrem simultaneamente, uma tenta prensar a massa e a outra é denominada como força de pressão, não possui definição clara, uma vez que força e pressão são dois conceitos diferentes. Além de, a primeira força prensa a massa e a segunda empurra a massa. Porém, entre os parênteses existe a palavra convecção, a qual o livro não explica o que é.

Mais adiante, no mesmo livro há a secção “O conceito de pressão”. Até então, mesmo não explicitado se a ação da força poderia ser constatada ou definida a partir de algo pontual ou não, o livro diz que a força exerce pressão na superfície e quando dentro de um fluido como a água,

é ela, a água, que exerce pressão; ou ainda, podemos entender que a água exerce uma força que exerce pressão caso tenha algo dentro da água.

## 6.2 PERFIL EPISTEMOLÓGICO DOS LIVROS

Na construção do próprio perfil epistemológico do conceito de massa, Bachelard evidenciou cinco perfis: *realismo ingênuo* (senso comum); *empirismo claro e positivista* (filosofia pragmática); *racionalismo clássico* (introdução da racionalização matemática para além das primeiras experiências); *racionalismo completo ou complexo* (aprofundamento das abstrações na construção matemática do conceito) e o *racionalismo discursivo ou dialético* (racionalismo probabilístico, ultrarracional). No caso do conceito de força, pela revisão histórica que fizemos, não foi possível encontrar o último perfil.

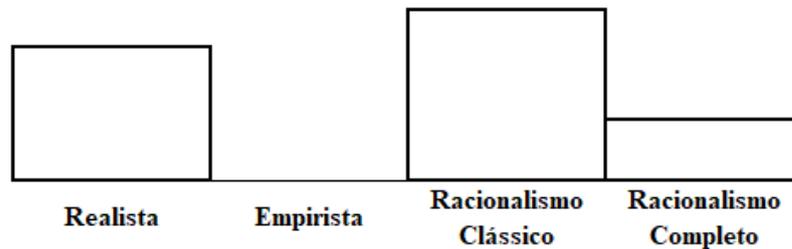
Seguimos o trabalho então, com os quatro perfis epistemológicos. Para os livros didáticos do Ensino Médio, em termos da análise quantitativa e qualitativa dos dados para um melhor panorama, pretendemos explorar as barras dos perfis dadas quantitativamente e analisar qualitativamente os livros segundo as interpretações já mencionadas sobre os perfis epistemológicos e como se enquadram as diversas expressões da palavra força em específicos perfis.

As imagens formadas pelos perfis são barras verticais, no eixo y, que representam a porcentagem de utilização das palavras relacionadas ao determinado perfil epistemológico que está exposto no eixo x na ordem crescente de racionalização.

O primeiro livro, Barreto e Xavier (2016), apresentou uma quantidade menor de palavras força. Há muitas seções de texto contendo história da ciência e algumas aplicações, ou ainda indicações de filmes que o livro tenta introduzir os conceitos que serão apresentados no corpo do capítulo. Nesses trechos, o livro raramente tenta reintroduzir o conceito diretamente na tentativa de explicação do mesmo, logo, justifica a quantidade de palavras. Apenas 680 palavras foram analisadas. Das 886 palavras força presentes no livro, 25 eram de títulos, subtítulos e outros tipos de força como a magnética e a nuclear, que não são de interesse para a pesquisa. Em exercícios, 258 palavras. Restando apenas 603 palavras força para a análise, porém, somadas as 77 palavras com as quais o próprio livro define como força: peso, tração, empuxo

e normal. Gerando 680 palavras analisadas no seguinte perfil: 252 palavras para o perfil Realista, 304 para o Racionalista Clássico e 124 para o Racionalista completo.

**Figura 12** – Perfil epistemológico do livro Barreto e Xavier (2016) sobre o conceito de força.

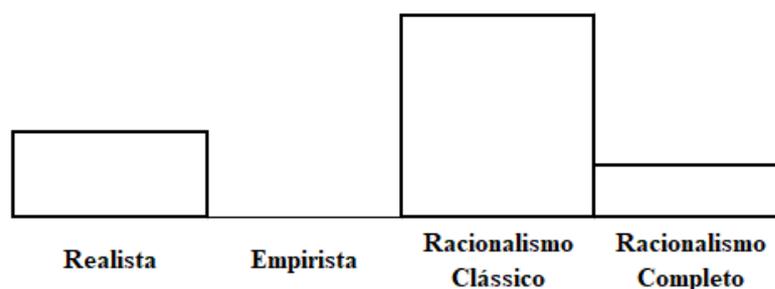


Fonte: Produzido pela autora.

Logo, a maioria das palavras “força” estão ligadas as expressões matemáticas ou denotadas como vetores, uma conceituação abstrata até concluírem que apesar de se expressar matematicamente, o fenômeno é real, digo, o livro apresenta o fenômeno de algo acelerando sendo resultado de algo real que é a força, constituindo a altura da barra do Racionalismo Clássico. Em poucos casos considerou a força como uma ferramenta matemática apenas. Sublinhamos ainda a enorme barra do perfil Realista, que justifica-se pelas diversas menções ao esforço físico relacionado à palavra força.

Para o segundo livro analisado, Bonjorno *et al* (2016), foram encontradas 722 palavras força, singular ou plural, porém, 235 estavam em exercícios e 16 em títulos e subtítulos das seções do livro ou palavras como “Força Aérea”, totalizando 244 palavras que descartamos. Entretanto, identificamos 54 palavras que eram definidas como um tipo de força mecânica como exemplo: peso, tração, empuxo. Concluindo em 525 palavras analisadas que geraram o seguinte perfil: 129 palavras para o perfil Realista, 2 para o Empirista, 316 para o Racionalista Clássico e 78 para o Racionalista completo.

**Figura 13** – Perfil epistemológico do livro Bonjorno et al (2016) sobre o conceito de força.

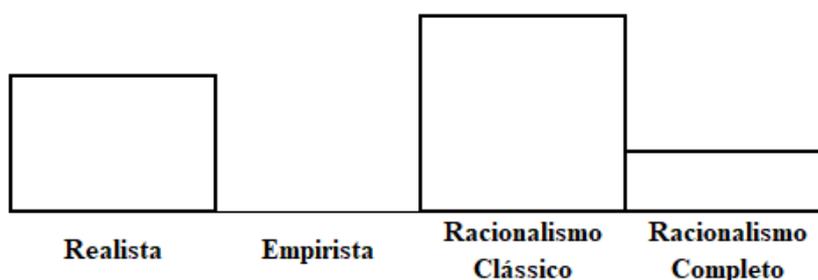


*Fonte:* Produzido pela autora.

A barra do Racionalismo Clássico supera em muito as outras barras devido à grande utilização de expressões matemáticas em suas definições e explicações. Porém, retomam a existência perceptível do fenômeno. Em comparação ao livro anterior, a porcentagem de palavras no perfil Realista é menor, haja vista que, como já mencionado, o livro utiliza diversas expressões matemáticas, mas ainda não superou tal perfil.

No terceiro livro, Doca et al (2016), foram encontradas 860 vezes a palavra força. Dentre elas, foram descartadas 113 palavras que estavam em exercícios, 22 em títulos, subtítulos e outros tipos de força como a magnética e a nuclear. Restando apenas 725 palavras força para a análise, porém, somadas as 128 palavras nas quais o próprio livro define como força: peso, tração, empuxo e normal. Gerando 853 palavras analisadas no seguinte perfil: 294 palavras para o perfil Realista, 437 para o Racionalista Clássico e 122 para o Racionalista completo.

**Figura 14** – Perfil epistemológico do livro Doca et al (2016) sobre o conceito de força.

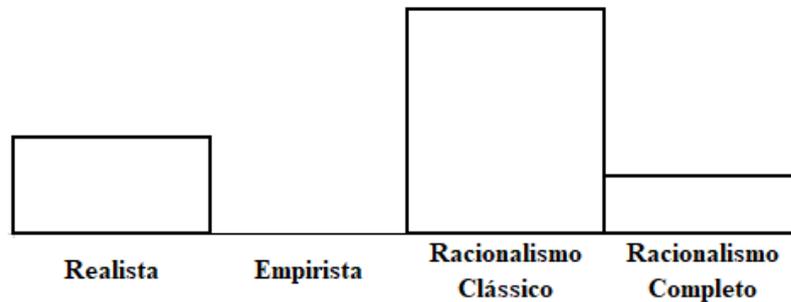


*Fonte:* Produzido pela autora.

Em relação a porcentagem de cada perfil, este livro está entre o meio-termo dos dois livros anteriores.

Para o quarto livro, Filho e Toscano (2016), das 1142 palavras força presentes no livro, 33 eram de títulos, subtítulos ou tipos de força que não eram do interesse para a pesquisa como a força magnética. Além de o maior número de palavras encontradas em exercícios, 428 palavras. Restando apenas 681 palavras força para a análise, porém, somadas as 72 palavras nas quais o próprio livro define como força: peso, tração, empuxo e normal. Gerando 753 palavras analisadas no seguinte perfil: 193 palavras para o perfil Realista, 445 para o Racionalista Clássico e 115 para o Racionalista completo. Superando em porcentagem o segundo livro devido as mesmas justificativas.

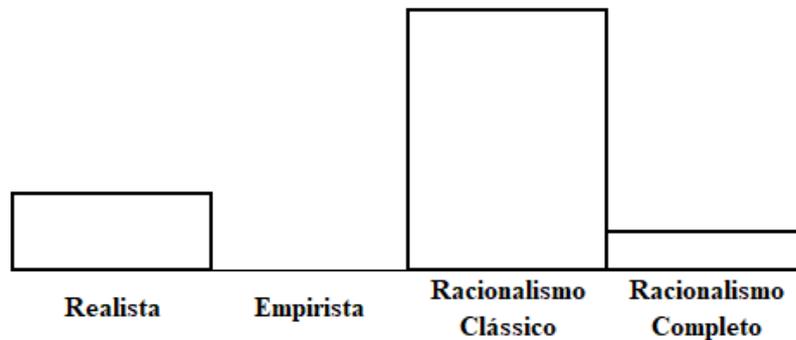
**Figura 15** – Perfil epistemológico do livro Filho e Toscano (2016) sobre o conceito de força.



Fonte: Produzido pela autora.

Para o quinto livro, Guimarães *et al* (2016), das 834 palavras força encontradas, 171 estavam em exercícios e 25 em títulos e subtítulos das seções do livro ou “força elétrica”, totalizando 196 palavras. Entretanto, identificamos 79 palavras que eram definidas como força como exemplo: peso, tração, empuxo, normal. Concluindo em 717 palavras analisadas que geraram o seguinte perfil: 133 palavras para o perfil Realista, 507 para o Racionalista Clássico e 77 para o Racionalista completo.

**Figura 16** – Perfil epistemológico do livro Guimarães et al (2016) sobre o conceito de força.



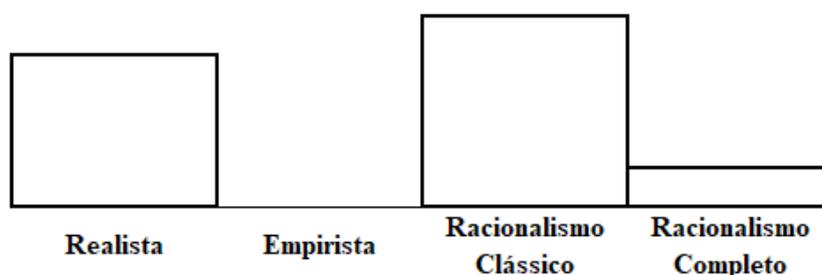
Fonte: Produzido pela autora.

Constitui o livro com a maior diferença entre os perfis. Justifica-se a intensa utilização de representação vetorial da força e expressões matemáticas. Porém, com poucas considerações à força como apenas um dado matemático. Salientamos ainda que, apesar de pouco se expressar como esforço físico, o livro ainda não superou o perfil Realista.

Para o sexto livro, Máximo et al (2016), das 1003 palavras força presentes no livro, 47 eram de títulos, subtítulos e outros tipos de força como a magnética e a nuclear, que não são de interesse para a pesquisa. Em exercícios, 193 palavras. Restando 763 palavras força para a análise,

porém, somadas as 202 palavras nas quais o próprio livro define como força: peso, tração, empuxo e normal. Gerando 965 palavras analisadas no seguinte perfil: 398 palavras para o perfil Realista, 461 para o Racionalista Clássico e 106 para o Racionalista completo.

**Figura 17** – Perfil epistemológico do livro Máximo et al (2016) sobre o conceito de força.



Fonte: Produzido pela autora.

Em resumo as quantidades de palavras que se enquadram nos determinados perfis estão expostas no Quadro 4:

**Quadro 4:** Relação da porcentagem (quantidade) de palavras por perfil.

<i>Livros</i>	<i>Realista</i>	<i>Empirista</i>	<i>Racionalismo Clássico</i>	<i>Racionalismo Completo</i>
<i>Barreto e Xavier, 2016</i>	37,06% (252)	0	44,70% (304)	18,24% (124)
<i>Bonjorno et al., 2016</i>	24,57% (129)	0,38% (2)	60,19% (316)	14,86% (78)
<i>Doca et al., 2016.</i>	34,47% (294)	0	51,23% (437)	14,30% (122)
<i>Filho e Toscano, 2016.</i>	25,63% (193)	0	59,10% (445)	15,27% (115)
<i>Guimarães et al., 2016.</i>	18,55% (133)	0	70,71% (507)	10,74% (77)
<i>Máximo et al., 2016.</i>	41,24% (398)	0	47,78% (461)	10,98% (106)

Fonte: Elaborado pela autora.

Todos os livros apresentaram um perfil de *Racionalismo Clássico* elevado em comparação com as outras filosofias. Tal característica nos mostra que, na maioria das vezes, no Ensino Médio o conceito de força é apresentado aos alunos na transição entre o concreto e o abstrato. Salientamos que os livros Máximo et al (2016) e Barreto e Xavier (2016) apresentam um perfil Realista muito intenso, com um pouco mais de 40% das palavras que remetem à força do livro

para o primeiro e aproximadamente 37% para o segundo, devido ao uso excessivo de força relacionada ao esforço humano e a força como um agente físico com características humanas como: querer, fazer e empurrar.

O perfil *Realista* ainda não foi erradicado nesse nível de ensino, aparece nos livros como uma forma cômoda de conceituação do conceito de força quando expressa esforço físico e prejudica uma compreensão mais próxima da aceita atualmente pela ciência. Os livros apresentam figuras e frases que remetem à força mecânica como a força muscular. As páginas estão preenchidas com ilustrações de pessoas puxando ou empurrando blocos fictícios ou materiais reais como carriola, martelo e altere, comumente encontrado em academias, entre outros. Além de expressar constantemente o obstáculo animista com as palavras “puxando”, “empurrando” destinadas aos objetos inanimados. Seguem alguns exemplos:

O livro Bonjorno et al (2016), possui uma subseção intitulada “Força” na qual busca explicar e/ou definir o conceito de força. Para tanto, o livro utiliza de três imagens de pessoas fazendo atividade física, apresentando seu esforço muscular, e escreve:

Nos exemplos podemos observar que a grandeza física chamada **força**, de forma intuitiva, pode ser considerada com um ‘empurrão’ ou um ‘puxão’ correspondendo a uma força de ação de um corpo sobre o outro (BONJORNNO et al, 2016, p. 122, grifo do autor).

Poderíamos esperar que tal trecho fosse uma introdução ao assunto, um desenvolvimento do concreto a caminho do abstrato. Porém, não há menções diferentes desse trecho na tentativa de conceituar força. Inclusive, na sequência, há duas imagens (Figura 18) nas quais o livro pressupõe uma relação direta, porém, sem dar maiores explicações, a coloca com sua respectiva legenda para exemplificar “forças que atuam à distância”, exigindo dos alunos uma concepção não tratada anteriormente no próprio livro, a preconcepção de que no ímã os cliques ficam presos devido a uma força à distância, mesmo os cliques estando em contato com o ímã, e que uma pessoa sem contato com o solo, aparentemente pulando representa algo semelhante.

**Figura 18** – Imagem cujo o livro Bonjorno et al (2016) expõe representações de força.



As imagens ilustram exemplos de forças que atuam a distância.

Fonte: Bonjorno et al (2016, p. 123).

Para a força peso, na subseção “Peso de um corpo”:

O “**puxão**” gravitacional da Terra sobre um corpo em sua superfície ou próximo dela é chamado de **força gravitacional** ou **força peso** (BONJORNO et al, 2016, p. 134, grifo do autor).

Na seção “Impulso de uma força”:

Ao empurrar um carrinho de supermercado para frente verificamos que: se o fizermos com mais força, sua velocidade aumentará e, portanto, maior será a variação de sua quantidade de movimento (BONJORNO et al, 2016, p. 162).

Para a seção “Momento de uma força”, o livro apresenta a imagem de uma chave de boca com dois pontos marcados e:

Se a pessoa aplicar no ponto B uma **força** que não é capaz de girar a chave, essa mesma **força** será capaz de fazê-la girar se a aplicarmos no ponto A? (BONJORNO et al, 2016, p. 224, grifo do autor).

No livro Guimarães et al (2016) não há tantas passagens assim, em comparação aos outros livros analisados, porém, há a insistência em apresentar o ser humano executando uma ação para definir e/ou exemplificar “força”. Os trechos representam uma constante retomada ao esforço muscular, ao conforto do concreto para explicar. Seguem três exemplos com as características mencionadas:

**Figura 19** – Imagem que expõe a deformação de um corpo devido ao esforço muscular.



Figura 5.2 Uma força pode deformar um corpo.

Fonte: Guimarães et al (2016, p. 103).

Na seção “Segunda lei de Newton”:

Observamos que a bola adquire maior velocidade quando chutada pelo adulto, pois a **força** que ele imprime à bola é maior que a imprimida pela criança (GUIMARÃES et al, 2016, p. 116).

Na seção “Potência mecânica e rendimento”, o livro busca explicar a unidade *horse power* com um trecho singelo de história, contextualizando para justificar a nomenclatura que em uma tradução livre significa “poder de cavalo”.

[...] até então esse serviço era realizado principalmente com o uso da **força** de cavalos, fato que tornou inevitável a comparação entre as máquinas e esses animais (GUIMARÃES et al, 2016, p. 165).

Quando trata de energia o livro Filho e Toscano (2016, p. 189, grifo nosso) diz:

Um exemplo de trabalho de uma força: uma pessoa empurra um carrinho na direção e sentido do deslocamento com uma força de 25 N e o carrinho se desloca 2 m. Essa força estará realizando um trabalho de 50 J. Isso significa que o carrinho recebe da pessoa 50 J de energia, que também é a variação de sua energia cinética. Para essa força realizar trabalho, a pessoa necessita ter uma energia armazenada. Por isso, a energia pode ser definida como a capacidade de realizar trabalho. Além disso, sempre que uma força realizar trabalho, estará ocorrendo uma transferência e/ou transformação de energia (FILHO; TOSCANO, 2016, p. 24-25).

A sequência de figuras a seguir retrata que todos os livros analisados possuem trechos e/ou imagens retratando a força como a “força física”. Tais recortes justificam os altos níveis do perfil Realista.

**Figura 20** – Representação de pessoas empurrando um carro.



Figura 3: Pessoas empurrando um carro. A força média feita por elas deve ser aplicada durante um grande intervalo de tempo para que o veículo seja colocado em movimento.

Fonte: Filho e Toscano (2016, p. 40).

**Figura 21** – Representações de pessoas exercendo esforço físico.



Figura 7.6. O trabalho de uma força depende do ângulo entre ela e o deslocamento.

Fonte: Máximo et al (2016, p. 177).

Apesar de ter um texto que trate de forma interdisciplinar, mesmo que superficialmente e necessitando da contribuição de outros professores para que o assunto seja expressado de maneira profunda, no conteúdo de alavancas, o livro Máximo et al (2016) recai, no âmbito da física, no perfil realista, uma vez que trata de força como o esforço muscular, como segue:

**Figura 22** – Representação ilustrativa do músculo em um braço.

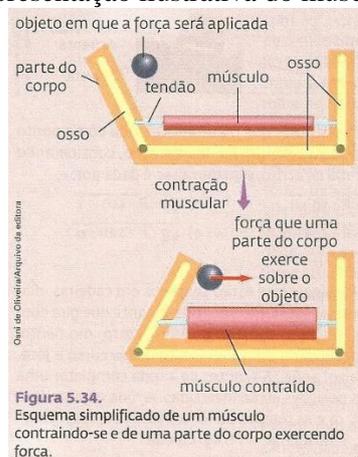


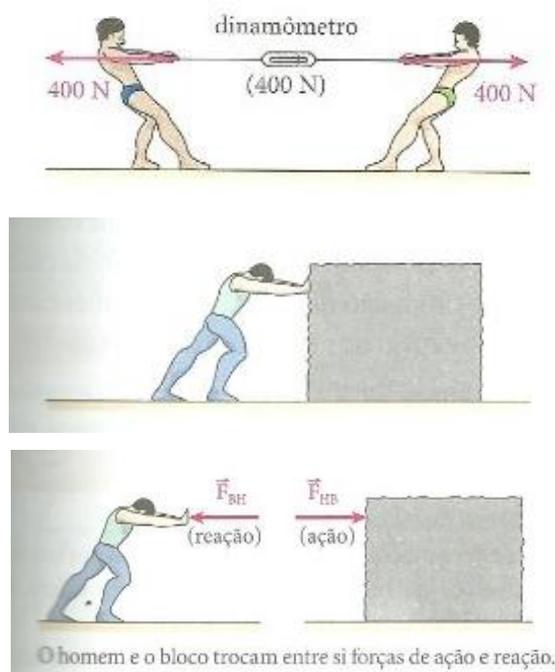
Figura 5.34. Esquema simplificado de um músculo contraindo-se e de uma parte do corpo exercendo força.

Fonte: Máximo et al (2016, p. 134).

O braço humano tem estrutura semelhante a uma alavanca interpotente. A mão que segura algum peso exerce o papel da força resistente, a força aplicada pelo músculo em um osso do antebraço é a força potente, e a junção no cotovelo é o ponto de apoio (BARRETO; XAVIER, 2016, p. 279).

Na tentativa de explicar o funcionamento do dinamômetro para, na sequência, explicar o princípio da ação e reação, o livro Doca et al (2016), entre textos, apresenta as seguintes imagens:

**Figura 23** – Representações de pessoas exercendo esforço físico.



Fonte: Doca et al (2016, p. 98-99).

A primeira é para explicar que o dinamômetro vai acusar 400N devido a tração de 400N gerada pelas pessoas. As outras duas são para expressar que ao ponto que a **pessoa se esforça, “aplica força”**, para empurrar um bloco, o mesmo **“aplica” força** na pessoa.

Segue o mesmo livro apresentando a palavra força relacionada aos fenômenos naturais como sinônimo de natureza viva e que contém um poder oculto, colocando este como sinônimo de força, a força natural ou a força da natureza.

Constituem, com os terremotos, **uma força natural de imenso poder destruidor**. Na maior parte dos casos, no hemisfério Sul os ciclones tropicais

têm rotação horária ocorrendo o oposto no hemisfério Norte (DOCA et al, 2016, p. 80, grifo nosso).

Por outro lado, o perfil *Empirista* praticamente não apareceu, menos de 1% das vezes o conceito de força se enquadrou nesse perfil. Talvez a justificativa seja pelo fato desse conceito, diferente do da massa, não ser uma característica intrínseca de um corpo. Desse modo, escapa de uma apreciação imediata pelos sentidos. O que vemos nos livros, por exemplo, é um objeto se movendo com alteração de velocidade, mas não a força em si. Esta precisa ser analisada por raciocínios matemáticos mais abstratos. Não encontramos a noção clara de *impetus*, mas há momentos sutis em que se referem à força como alguma substância capaz de ser transportada de um lugar para outro por algum meio ou até trocada de um objeto para outro devido ao contato e/ou a colisão, assim como alguns exemplos do obstáculo substancialista. Porém, não caracterizamos como empirista devido a sua qualidade, a força, não se consumir ao gerar o movimento, como tratava a teoria de Buridan.

A representação da Força por meio de vetores é um procedimento característico do perfil *Racionalismo Clássico*, pois está associada a uma análise matemática mais rebuscada. Por este motivo, incluímos nos trechos apresentados a seguir, como exemplo desse perfil, os raciocínios que envolvem uma compreensão qualitativa e quantitativa da Força como uma grandeza vetorial. Eis os trechos:

[...] se o fio se romper, a força deixa de existir, e o objeto se moverá na direção para qual o vetor velocidade estiver dirigindo no momento em que a força cessou (BONJORNIO et al, 2016, p. 155).

Tudo isso pode ser explicado pela existência de uma força a que um objeto é submetido quando está em um fluido. Essa força, é denominada empuxo ( $\vec{E}$ ), tem direção vertical e sentido de baixo para cima, contrário ao peso do objeto (BONJORNIO et al, 2016, p. 262).

**Figura 24** – Destaque feito pelo livro Filho e Toscano (2016) para apresentar o conceito da Segunda Lei de Newton.

**Segunda lei de Newton**

$$\vec{F} = \frac{\Delta\vec{Q}}{\Delta t}$$

A relação existente entre a variação da quantidade de movimento de um objeto ( $\Delta\vec{Q}$ ) num certo intervalo de tempo ( $\Delta t$ ) e a força ( $\vec{F}$ ) é denominada **lei fundamental dos movimentos** ou **segunda lei de Newton**.

*Fonte:* Filho e Toscano (2016, p. 45).

Podemos usar a segunda lei de Newton para estudar a queda livre de um objeto: a força gravitacional, ou peso ( $\vec{P}$ ), corresponde ao produto entre a massa ( $m$ ) do objeto e a aceleração da gravidade ( $\vec{a}_g$ ) (FILHO; TOSCANO, 2016, p. 51).

Se o módulo da força varia durante o deslocamento, como é o caso da força elástica – representada no gráfico da figura 9 –, o cálculo do trabalho **não** pode ser feito com a expressão  $\tau = F \cdot \cos \theta \cdot d$ , pois essa função serve apenas para o cálculo do trabalho de forças constantes e não para forças que variam (FILHO; TOSCANO, 2016, p. 180).

Consideremos uma partícula sob a ação de um sistema de forças  $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3$ , etc [...]. Decompondo essas forças segundo os eixos Ox e Oy, como estudamos na seção 3.2 [...] (MÁXIMO et al, 2016, p. 89).

Para calcular a tensão do fio, teremos de analisar as forças internas de interação entre os objetos que constituem o sistema (MÁXIMO et al, 2016, p. 144).

[...] a força  $\vec{F}$  pode ser decomposta na **componente normal** (perpendicular à superfície – força normal  $\vec{N}$ ) e na **componente tangencial** (paralela à superfície – força de atrito  $\vec{F}_{at}$ ) [...] (BARRETO; XAVIER, 2016, p. 128, grifo do autor).

É importante destacar que, em muitos casos, mesmo trabalhando com a expressão matemática ou a representação vetorial o texto manifesta o perfil Realista e Racionalista Clássico, pois a força é representada como um ente físico real que causa a variação do movimento. Desse modo, a busca por uma compreensão mais abstrata do conceito perde a sua motivação.

## 7 CONCLUSÕES

Notamos a intensa utilização de termos que induzem ou reforçam os três principais obstáculos epistemológicos identificados. Além disso, os livros possuem um nível de *Realismo* relativamente alto em seus perfis, contrariando nossa hipótese previamente destacada na pesquisa. Cabe, então, um alerta aos professores para problematizarem mais as situações em que a análise por meio de forças se faz necessária, possibilitando a construção de reflexões mais abstratas sobre o conceito.

A nossa recomendação é a redução ou extinção de imagens e trechos citando a ação de seres humanos empurrando, puxando, correndo, pulando de paraquedas nas seções em que se explica qualquer “tipo de força”. A grande parte do perfil Realista de todos os livros analisados foi devido a essas referências. Além dos diversos trechos que relatam os fenômenos observáveis que são caracterizados força como se fossem empurrões ou puxões.

Entendemos que os livros não precisam expressar a força em todo o momento no perfil Racionalista Completo, porém, o desenvolvimento desse conceito deve ocorrer. O livro é uma ferramenta que tanto alunos quanto professores podem usar, para tanto deve conseguir alcançar o mais alto estágio do perfil epistemológico sem retomar em obstáculos epistemológicos como ocorreu em todos os livros.

Sabemos que a quantidade de metáforas expressas nos livros é alta, uma vez que Bachelard já nos alertava para tal utilização. O cuidado na introdução de conceitos ou utilização dos livros didáticos está também no cuidado com as metáforas. Independente da didática utilizada pelo professor, os obstáculos aqui assinalados corrompem o espírito científico. Principalmente quando vimos que ao longo da história esses obstáculos existiram para os cientistas e o desenvolvimento científico só ocorreu devido à superação dos mesmos.

Devemos considerar que nossos estudantes podem ser futuros cientistas ou professores de ciências, logo, a reflexão do professor sobre os recursos e a própria ação deve ser constante. A análise aqui feita reconhece que há muito trabalho a se fazer dentro da sala de aula para a superação desses obstáculos e em consequência a reflexão sobre a epistemologia das ciências na busca da melhora no ensino de física, como no caso tratamos do conceito de força.

Entendemos que, se os professores ao menos tiverem o conhecimento sobre a história da ciência e refletirem sobre a natureza da ciência podem reconhecer quais pontos podem se apresentar como empecilhos ao desenvolvimento do espírito científico do aluno, não somente para o incentivo a futuros cientistas, mas seres cada vez mais racionais, digo, seres capazes de ultrapassar as aparências e trabalhar para conquistar o maior nível de abstração possível.

Os obstáculos devem ser vistos com cautela. Apesar dos obstáculos serem um empecilho para o desenvolvimento do espírito científico do aluno, não precisam ser evitados, mas sim superados. Estarão presentes em diversos momentos no trabalho do espírito. O professor que conhece os possíveis obstáculos pode tentar articular suas aulas para superá-los.

As maneiras para tentar superar os obstáculos é fazer atividades que os alunos precisem resolver um problema, não somente uma equação matemática, mas problemas que envolvem a compreensão do conceito. Sugerimos, no caso do conceito de força, trabalhar com a análise de vetores em situações reais, posteriormente refletir sobre as condições reais descartadas para conseguir trabalhar com corpos extensos, por exemplo. Assim, tratar de situação com corpos pontuais não concretos. As metáforas com o real podem ser utilizadas na introdução do conceito, porém, situações problema que propõem a criticidade do aluno devem ser executadas para um melhor aproveitamento da aula.

Sugerimos um trabalho com a História da ciência. O professor poderia levar o texto produzido no referencial teórico sobre a história da força e discuti-lo em partes com os alunos. Antes da introdução de cada parte, como se fosse dividida nas representações dos 4 perfis, devem ser feitos questões como situações problemas que evidenciarão a noção de cada perfil que será discutido. Essa dinâmica possibilitará a exploração do conceito como foi executada ao longo dos anos, além de se conciliar os conflitos na ciência que fazem progredir na racionalidade.

Aqui ainda cabem as reflexões sobre a possível falta de preparo do professor para escolher o livro didático. A pesquisa trabalhou com os livros, porém, eles serão usados pelos professores como referência e instrumento para ensinar. A consideração da importância de como o professor usa ou mesmo antes, quando escolhe o livro, deve ter a devida dimensão. Ao destacarmos o grande nível de Racionalismo Clássico nos livros, podemos concluir que os livros possuem uma atenção maior para as equações, porém, da perspectiva de que o conceito de força é uma causa

real do movimento, assim como muitos na história buscaram descrever as causas. Atualmente a física busca criar teorias que expliquem como as coisas funcionam, não mais os porquês as coisas existem ou são. Galileu já se conscientizava com isso uma vez que expressou nos seus estudos a descrição da queda acelerada dos corpos e colocou o porquê em uma missão que os futuros cientistas poderiam estudar.

O movimento dos anos finais do século XVIII e início do século XIX direcionou-se para o abandono da metafísica. Logo, a física moderna foi, está e será cunhada nos resultados tecnológicos, as causas e porquês dos fenômenos se tornaram obsoletos quando tratamos do puro abstrato, tanto para o macro quanto para o micro.

Retomar as tentativas de explicar o porquê traz o conforto do fenômeno, do concreto. Poderíamos caracterizar a maioria das passagens que alcançam a equação matemática mas retomam a concreto como realismo, porém, o realismo como obstáculo tratará efetivamente o sensível. As considerações dos livros didáticos falam da força ser real, existente, porém, expressa no abstrato. Essa oscilação nos faz expressar apenas essas considerações ao invés de afirmar tal obstáculo. As recomendações aqui são para se atentar ao realismo como obstáculo, porém, um realismo fundado na abstração. Fica como possibilidades a trabalhos futuros a abordagem desse obstáculo, especificamente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARISTÓTELES. **Metafísica**. Tradução: Leonel Vallandro. Porto Alegre, RS: Editora Globo, 1969.

\_\_\_\_\_. **Física**. Tradução: Guillermo R. de Echandía. Versão digital. Editorial Gredos, S.A. 1995. Disponível em: <<http://bz.otsoa.net/Libros%20de%20Divulgacion%20Cientifica/Historicos%20de%20Ciencia/Aristoteles%20-%20Fisica.pdf>>. Acesso em: 15 de nov. 2016.

ASSIS, O. Z. M. **A Solicitação do Meio e a Construção das Estruturas Lógicas Elementares na Criança**. 1976. 173f. Tese (Doutorado em Ciências/Psicologia) - Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1976.

ASSIS, A. K. T. **Mecânica Relacional**. Coleção CLE, v. 22. Campinas: Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência da Unicamp, 1998.

ASSIS, A. K. T.; CHAIB, J. P. M. C. Experiência de Oersted em sala de aula. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 1, p. 41-51, 2007.

ASSIS, A. K. T.; PESSOA JR., O. Erwin Schrödinger e o Princípio de Mach. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, Campinas, v. 11, n.2, p. 131-152, jul-dez. 2001.

BACHELARD, G. **O racionalismo aplicado**. Tradução de Nathanael C. Caixeiro. Rio de Janeiro: Zahar ed., 1977.

\_\_\_\_\_. **A filosofia do não**. São Paulo: Abril Cultural, 1978a. (Coleção Os Pensadores).

\_\_\_\_\_. **O novo espírito científico**. São Paulo: Abril Cultural, 1978b. (Coleção Os Pensadores).

\_\_\_\_\_. **Vida e Obra**. São Paulo: Abril Cultural, 1978c. (Coleção Os Pensadores).

\_\_\_\_\_. **A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento**. Rio de Janeiro, RJ: Contraponto, 2005, 5ª reimpressão.

BARBOSA, E. **O secreto do mundo: Uma leitura de Gaston Bachelard**. 1985. Tese (Doutorado em Filosofia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1985.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 1997.

BARRA, E. S. O. **Omnis Philosophiæ Difficultas: o conceito de força na filosofia natural de Newton**. São Paulo, 1994. 193 f. Dissertação (Mestrado em Filosofia) – Faculdade de Filosofia, Ciências Humanas e Letras, Universidade de São Paulo, 1994.

\_\_\_\_\_. A realidade do mundo da ciência: um desafio para a história, a filosofia e a educação científica. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 5, n. 1, p. 15-26, 1998.

\_\_\_\_\_. A metafísica cartesiana das causas do movimento: mecanicismo e ação divina. **Scientiae Studia**, v. 1, n. 3, p. 299-322, 2003. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/ss/article/viewFile/10978/12746>>. Acesso em: 30 de jan. 2017

BARRETO, M. C. **Pedagogia da ruptura**: o conhecimento como processo descontínuo. Revista IDEACÃO, n. 9, p. 125-142, jan.-jun. 2002.

BARRETO; B.; XAVIER, C. **Física aula por aula**: mecânica, 1º ano/ - 3. Ed. São Paulo: FTD, 2016. (Coleção física aula por aula).

BASTOS, F. **História da ciência e ensino de biologia**: a pesquisa médica sobre a febre amarela (1881-1903). 1998. 203f. Tese (Doutorado em Educação) - Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

BLACKWELL, R. J. Descartes' Laws of Motion. **Isis**, v. 57, n. 2, pp. 220–234, Summer, 1966.

BOGDAN, R. C.; BIKLEN, S. K. **Investigação qualitativa em educação**: uma introdução à teoria e aos métodos. Tradução: Maria João Alvarez, Sara Bahia dos Santos e Telmo Mourinho Baptista. Portugal: Porto Editora, 1994.

BONJORNO, J. R.; RAMOS, C. M.; PRADO, E.P.; BONJORNO, V.; BONJORNO, M. A.; CASEMIRO, R.; BONJORNO, R. F. S. A. **Física: Mecânica**, 1º ano. – 3. Ed. – São Paulo: FTD, 2016. (Coleção Física).

BORBA, F. S. Dicionário **UNESP do português contemporâneo**. Edição ilustrada. UNESP, 2005. 1470p.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais + (PCN+) – Ciências da Natureza e suas Tecnologias**. Brasília: MEC, 2002a. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>>. Acesso em: 23 de out. de 2016.

\_\_\_\_\_. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) – Bases Legais**. Brasília: MEC, 2002b. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/blegais.pdf>>. Acesso em: 24 de out. de 2016.

\_\_\_\_\_. Ministério da Educação. **PNLD 2017**: guia de livros didáticos – ensino fundamental anos finais / Ministério da Educação – Secretária de Educação Básica – SEB – Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação. Brasília, DF: 2015. Disponível em: <<http://www.fnnde.gov.br/pnld-2017/>>. Acesso em: 24 de jul. de 2017.

\_\_\_\_\_. Ministério da Educação. **PNLD 2018**: apresentação – guia de livros didáticos– ensino médio/ Ministério da Educação – Secretária de Educação Básica – SEB –Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação. Brasília, DF: Ministério da Educação, Secretária de Educação Básica, 2017. Disponível em: <<http://www.fnnde.gov.br/pnld-2018/index.html>>. Acesso em: 24 de jul. de 2017.

BULCÃO, M.; BARBOSA, E. **Bachelard**: pedagogia da razão, pedagogia da imaginação. Petrópolis, RJ: Vozes, 2004.

BULCÃO, M. **O Racionalismo da Ciência Contemporânea: Uma Análise da Epistemologia de Gaston Bachelard**. Rio de Janeiro, RJ: Edições Antares, 1981.

CARUSO, F.; FREITAS, N. Física moderna no ensino médio: o espaço-tempo de Einstein em tirinhas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 26, n. 2, p. 355-366, ago. 2009.

CARVALHO, A. M. P. Construção do conhecimento e ensino de ciências. **Em Aberto**, Brasília, ano 11, n. 55, p. 9-16, jul/set. 1992.

\_\_\_\_\_. O currículo de Física: inovações e tendências nos anos noventa. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 1, n. 2, p. 3-19, 1996.

CARVALHO, A. M. P.; GIL-PEREZ, D. **Formação de professores de ciências: tendências e inovações**. 10ª ed. 26 v. Ed. Cortez. São Paulo, 2011.

CARVALHO, A. M. P.; SASSERON, L. H. Abordagens histórico-filosóficas em sala de aula: questões e propostas. In: CARVALHO, A. M. P. (Org.). **Ensino de Física**. São Paulo: Cengage Learning, 2010, p. 107-139.

CARVALHO, C. **A história da indução eletromagnética contada em livros didáticos de física**. Dissertação (Mestrado em Educação). 2007. 134p. Setor de Educação, Universidade Federal do Paraná. 2007.

CHERMAN, A.; MENDONÇA, B. R. **Por que as coisas caem?: uma história da gravidade**. 2ª Ed. Rio de Janeiro: Zahar, 2010.

CHOPPIN, A. História dos livros e das edições didáticas: sobre o estado da arte. **Educação e Pesquisa**, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 549-566, set./dez. 2004.

COHEN, B. **Nascimento de uma nova física**. Lisboa: Gradiva, 1988.

COHEN, I. B.; WESTFALL, R. S. **Newton: textos, antecedentes, comentários**. Tradução de Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Ed UERJ – Contraponto, 2002.

COLOMBO JUNIOR, P.D. **A percepção da gravidade em um espaço fisicamente modificado: uma análise a luz de Gaston Bachelard**. 2010. 169 f. Dissertação (Mestrado em Educação), Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

CROMBIE, A. C. **Historia de la Ciencia: De San Agustín a Galileo**. Volume II. Versão Espanhola de José Bernia. Siglos XIII-XVII. Madrid: Alianza Editorial, 1987.

CROWELL, B. **Mechanics**. Versão digital. Disponível em: <[http://www.lightandmatter.com/html\\_books/me/](http://www.lightandmatter.com/html_books/me/)>. Acesso em: 10 de nov. 2016.

CRUZ, F. F. S. O conceito de força no pensamento grego. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 2, n. 1, p. 16-24, abr. 1985. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/5797/5318>>. Acesso em: 5 de nov. 2016.

DESCARTES, R. **Princípios da Filosofia**. Tradução Heloisa da Graça Burati. São Paulo: Rideel, 2005. (Coleção Biblioteca Clássica)

DOCA, R. H.; BISCOULA, G. J.; BÔAS, N. V. **Física: mecânica**, volume 1 – 3 Ed. São Paulo: Saraiva, 2016.

ÉVORA, F. **A revolução copernicana-galileana: origem, significado e inserção na história do pensamento científico filosófico medieval**. Tese de Mestrado. Campinas. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) – Instituto de Filosofia e Ciências Humanas. 1987.

\_\_\_\_\_. Natureza e Movimento: um estudo da física e da cosmologia aristotélicas. **Caderno de História e Filosofia da Ciência**, Campinas, Série 3, v. 15, n. 1, p. 127-170, jan.-jun. 2005. Disponível em: <<http://www.cle.unicamp.br/cadernos/pdf/FatimaEvora-v15-n1.pdf>>. Acesso em: 8 de nov. de 2016.

FERNANDES, S. A. **Um estudo sobre a consistência de modelos mentais sobre mecânica de estudantes de ensino médio**. Tese de Doutorado. Belo Horizonte. Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). 2011.

FILHO, A. G.; TOSCANO, C. **Física: Interação e tecnologia**, volume 1 – 2 Ed. São Paulo: Leya, 2016.

FITAS, A. J. S. **Os Principia de Newton, alguns comentários** (Primeira parte, a Axiomática). Vértice, n. 72, p. 61-68, 1996.

GARDELLI, D. **Concepções de Interação Física: Subsídios para uma abordagem histórica do assunto no Ensino Médio**. Dissertação de Mestrado. São Paulo. Universidade de São Paulo (USP) – Instituto de Física. 2004.

GRANEY, C. M. Mass, Speed, Direction: John Buridan's 14th century concept of momentum. **The Physics Teacher**, v. 51, n. 7, p. 411-414, out. 2013. Disponível em: <<https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1309/1309.4474.pdf>>. Acesso em: 16 de dez. de 2016.

GRANT, E. **A Source Book in Medieval Science**. Harvard University Press, 1974. Disponível em: <[https://books.google.com.br/books/about/A\\_Source\\_Book\\_in\\_Medieval\\_Science.html?id=fAPN\\_3w4hAUC&redir\\_esc=y](https://books.google.com.br/books/about/A_Source_Book_in_Medieval_Science.html?id=fAPN_3w4hAUC&redir_esc=y)>. Acesso em: 10 de dez. de 2016.

GUIMARÃES, O.; PIQUEIRA, J. R.; CARRON, W. **Física: Mecânica – 2. Ed.** – São Paulo: Ática, 2016. (Coleção: Física: Ensino Médio).

HESTENES, D.; WELLS, M.; SWACKHAMER, G. Force Concept Inventory. **The physics teacher**, v. 30, mar. 1992.

HOLTON, G.; WATSON, F.; RUTHERFORD, F. J. Harvard project physics-A progress report. **The Physics Teacher**, v. 5, n. 5, 1967. Disponível em: <[https://ia801304.us.archive.org/35/items/ERIC\\_ED020117/ERIC\\_ED020117.pdf](https://ia801304.us.archive.org/35/items/ERIC_ED020117/ERIC_ED020117.pdf)>. Acesso em: 31 de out. de 2016.

ITOKAZU, A. G. **A Astronomia nova: a história da guerra contra Marte como exposição do método astronômico de Kepler.** Tese de Doutorado. Campinas. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) – Instituto de Filosofia e Ciências. 2006. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000388206&fd=y>>. Acesso em: 27 de jan. 2017

JACOB, E. Classification and categorization: a difference that makes a difference. **Library trends**, v. 52, n.3, p. 515-540, 2004.

JAMMER, M. **Conceitos de força: estudo sobre os fundamentos da dinâmica.** Tradução: Vera Ribeiro. Revisão técnica: Waldemar Monteiro da Silva Junior. Tradução das passagens em latim: Antônio Mattoso. Rio de Janeiro: Contraponto: Ed. PUC-Rio, 2011.

JAPIASSÚ, H. **Para ler Bachelard.** Rio de Janeiro, RJ: Livraria Francisco Alves, 1976.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas.** 5. ed. São Paulo: Editora Perspectiva S.A, 1997.

LEIBNIZ, G. W. **Discurso de Metafísica.** Tradução: Marilena de Souza Chauí. São Paulo: Abril Cultural, 1983.

LINDSAY, R. B. **Energy: historical development of the concept.** Stroudsburg, Pennsylvania: Halsted Press, 1975.

LÓBO, S. F. Crise no ensino de ciências: Um olhar a partir da epistemologia bachelardiana. **Revista IDEACÇÃO**, n. 9, p. 143-158, jan/jun. 2002.

LOPES, A. R. C. **Livros didáticos: obstáculos ao aprendizado da ciência química.** Rio de Janeiro, 1990. 289p. Dissertação (Mestrado em Educação) — Instituto de Estudos Avançados em Educação, Fundação Getúlio Vargas. 1990.

LOPES, A. R. C. Bachelard: o filósofo da desilusão. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.13, n. 3, p.248-273, dez.1996.

MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B.; GUIMARÃES, C. **Física: contextos e aplicações, volume 1 – 2.** Ed. – São Paulo: Scipione, 2016.

MARTINS, A. F. P. **Concepções de estudantes acerca do conceito de tempo: uma análise à luz da epistemologia de Gaston Bachelard.** 2004. 218 f. Tese (Doutorado em Educação), Faculdade de Educação da Universidade Estadual de São Paulo, São Paulo, 2004.

MARTINS, A. L. **Estudo e Aplicação do Referencial Bachelardiano do Obstáculos Epistemológicos no Ensino de Sistemas Químicos Oscilantes.** 2013. 66 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

MARTINS, R. A. **Descartes e a impossibilidade de ações à distância.** In: FUKS, S. (Org.). **Descartes 400 anos: um legado científico e filosófico.** Rio de Janeiro: Relume Dumará, 1998. p. 79-126.

\_\_\_\_\_. Introdução: A história das ciências e seus usos na educação. P. xxi-xxxiv, in: SILVA, C. C. (ed.). **Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino**. São Paulo: Livraria da Física, 2006.

MARTINS, R. A; CARDOSO, W. T. **O Trattato della Sfera ovvero Cosmografia de Galileo Galilei e algumas Cosmografias e Tratados da Esfera do Século XVI**. Disponível em: <<http://www.ghc.usp.br/server/pdf/ram-Sfera-Galileo.pdf>>. Acesso em: 29 de jan. 2017.

MATTHEWS, M. R. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995.

MEDEIROS, A. A atualidade pedagógica da controvérsia histórica sobre a verdadeira definição da "força de um corpo". *Ensaio*, v. 3, n. 1, p.1-19, 2001.

\_\_\_\_\_. Entrevista com o Conde Rumford: da teoria do calórico ao calor como uma forma de movimento. **Física na Escola**, v. 10, n. 1, 2009. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol10/Num1/a02.pdf>>. Acesso em: 10 de nov. 2016.

MEGID NETO, J.; PACHECO, D. Pesquisas sobre o ensino de Física no nível médio no Brasil. In: **Pesquisas em Ensino de Física**. NARDI, R. (org.). São Paulo: Escrituras Editora, 1998.

MONTEIRO JUNIOR, F. N.; MEDEIROS, A. J. G. Síntese ou distorção: como os livros didáticos apresentam o conceito de timbre? In: **Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, 2, 1999, Valinhos. Atas... Valinhos: ABRAPEC, 1999. p.1-15.

MOREIRA, M. A. Ensino de Física no Brasil: Retrospectiva e Perspectivas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 22, n. 1, p. 94-99, 2000.

\_\_\_\_\_. A pesquisa básica em educação em ciências: uma visão pessoal. **Revista Chilena de Educacion Científica**, v. 3, n. 1, p. 10-17, 2004.

MORTIMER, E.F. **Linguagem e Formação de Conceitos no Ensino de Ciências**. Belo Horizonte, Ed. UFMG, 2000.

MORTIMER, E.F. Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos? **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 1, n. 1, p. 20-39, 1996.

MOURA, B. A. O que é natureza da Ciência e qual sua relação com a História e Filosofia da Ciência? **Revista Brasileira de História da Ciência**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 1, p. 32-46, jan/jun 2014.

NASCIMENTO, V. B.; CARVALHO, A. M. P. Visões sobre a natureza da ciência construídas a partir do uso de um texto histórico na escola média. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 10, n. 1, p. 1-22, 2011.

NASCIMENTO, D. F. M. P; MARCONDES. D. Fílon de Alexandria e a tradição filosófica. **Μετανόια**. São João del-Rei, n. 5, p.55-80, jul. 2003. Disponível em: <<http://www.ufsj.edu.br/portal->

[repositorio/File/lable/revistametanoia\\_material\\_revisto/revista05/texto05\\_filondealexandria\\_t\\_radicaofilosofica.pdf](http://repositorio/File/lable/revistametanoia_material_revisto/revista05/texto05_filondealexandria_t_radicaofilosofica.pdf)>. Acesso em: 13 de nov. 2016.

NEVES, M. C. D. Uma investigação sobre a natureza do movimento ou sobre uma história para a noção do conceito de força. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 22, n. 4, dez. 2000. Disponível em: <[http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v22\\_543.pdf](http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v22_543.pdf)>. Acesso em: 12 de nov. 2016.

NEWTON, I. **Princípios**: princípios matemáticos de filosofia natural. Tradução: Trieste Ricci, Leonardo Gregory Brunet, Sônia Terezinha Gehring e Maria Helena Curcio Célia. São Paulo: Nova Stella/Edusp, 1990. Livro I: O Movimento dos Corpos.

\_\_\_\_\_. **Princípios**: princípios matemáticos de filosofia natural. Tradução: Andre Koch Torres Assis. São Paulo: Edusp, 2012. Livro II: O Movimento dos Corpos e Livro III: O Sistema do Mundo.

\_\_\_\_\_. **Princípios matemáticos da filosofia natural**. São Paulo: Nova Cultural, 1996, p. 14-260.

\_\_\_\_\_. **Os princípios matemáticos da filosofia natural**. In: HAWKING, S (Org.). Os gênios da ciência: sobre os ombros de gigantes. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005. p. 449-908.

OLIVEIRA, D. C. Análise de Conteúdo Temático-Categorial: Uma Proposta de Sistematização. **Revista Enfermagem UERJ**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 4, p.569-576, 2008.

PEDUZZI, L. O. Q. Sobre a utilização didática da história da ciência. In: PIETROCOLA, M. (Org.). **Ensino de Física**: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora. Florianópolis: Editora da UFSC, 2001, p. 151-170.

\_\_\_\_\_. **Força e movimento**: de Thales a Galileu. 161p. (Material didático ou instrucional - Texto de física, em nível universitário básico) Departamento de Física – Publicação Interna – Universidade Federal de Santa Catarina, 2008. Disponível em: <[https://www.if.ufrgs.br/~lang/Textos/Textos\\_Peduzzi/For%20e%20movimento%20-%20de%20Thales%20a%20Galileu.pdf](https://www.if.ufrgs.br/~lang/Textos/Textos_Peduzzi/For%20e%20movimento%20-%20de%20Thales%20a%20Galileu.pdf)>. Acesso em: 12 de nov. 2016.

PEDUZZI, L. O. Q.; PEDUZZI, S. S. O conceito de força no movimento e as duas primeiras leis de newton. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 2, n. 1, p. 6-15, abr. 1985a.

\_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. Força no Movimento de Projéteis. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 2, n. 3, p.114-127, dez. 1985b.

PEDUZZI, L. O. Força e Movimento na Ciência Curricular. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 14, n. 2, p. 87-93, 1992.

PIAGET, J. **Epistemologia Genética**. Petrópolis: Vozes, 1970.

\_\_\_\_\_. **A equilibrção das estruturas cognitivas**. Rio de Janeiro: Zahar, 1976.

PIAGET, J.; GARCÍA, R. **Psicogênese e história das ciências**. Tradução: Giselle Unti. Petrópolis, RJ: Editora Vozes, 2011. (Coleção Textos Fundantes de Educação).

PONCZEK, R.L. A polêmica entre Leibniz e os cartesianos:  $mv$  ou  $mv^2$ ? **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 17, n. 3, p. 336-347, dez. 2000.

PREGNOLATTO, Y. H.; PACCA, J. L. A.; TOSCANO, C. Concepções sobre força e movimento. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 14, n. 1, p. 19-23, 1992.

ROSMORDUC, J. **Uma história da física e da química: De Tales a Einstein**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 1985.

ROSSI, P. **O nascimento da ciência moderna na Europa**. Bauro, São Paulo: EDUSC, 2001.

SAITO, F. História da Ciência e Ensino: em busca de diálogo entre historiadores e educadores. **História da Ciência e Ensino: Construindo interfaces**, v. 1, p. 1-6, 2010.

SALVADOR, A. D. **Métodos e técnicas de pesquisa bibliográfica**. Porto Alegre: Sulina, 1986.

SANTOS, M. E. V. M. **Mudança Conceptual na Sala de Aula – Um Desafio Pedagógico**. Lisboa: Livros Horizontes, 1991.

SAPUNARU, R. A. **O “Estilo Newtoniano”, o espaço, o tempo e o movimento “absolutos”**: controvérsias entre cartesianos e newtonianos. Rio de Janeiro, 2006. 178 f. Dissertação (Mestrado em Filosofia) – Faculdade de Filosofia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <[http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/biblioteca/php/mostrateses.php?open=1&arqtese=0410642\\_06\\_Indice.html](http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/biblioteca/php/mostrateses.php?open=1&arqtese=0410642_06_Indice.html)>. Acesso em: 27 de jan. 2017.

SARMENTO, P. S. **A organização racional da experiência**: o racionalismo aplicado como base para uma aproximação do real. *Textos & Debates*, n. 4, p. 36-43, 1997.

SIEGEL, H. On the Distortion of the History of Science in Science Education. **Science Education**, v. 63, n. 1, p. 111-118, 1979. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sce.3730630115/epdf>>. Acesso em: 31 de out. de 2016.

SILVA, E. T. Livro didático: do ritual de passagem à ultrapassagem. **Em Aberto**, Brasília, ano 16, n.69, jan./mar. 1996.

SILVA, G. R. História da Ciência e experimentação: perspectivas de uma abordagem para os anos iniciais do Ensino Fundamental. **Revista Brasileira de História da Ciência**, Rio de Janeiro, v. 6, n. 1, p. 121-132, jan/jun, 2013.

SILVA, T. H.; SILVA, G. S. F.; MANSOR, M. O uso do Inventário dos Conceitos de Força para análise das concepções de mecânica newtoniana de alunos de Licenciatura em Física. **XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física**, Vitória, ES, 2009. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xviii/sys/resumos/T0458-2.pdf>>. Acesso em: 05 de nov. de 2017.

SILVEIRA, M. P. **Uma análise epistemológica do conceito de substância em livros didáticos de 5ª e 8ª séries do Ensino Fundamental**. 2003. 144 f. Dissertação (Mestrado em Educação), Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SLOWIK, E. **Descartes' Physics**. The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Summer 2014 Edition), Edward N. Zalta (Ed.). 2014. Disponível em: <<https://plato.stanford.edu/archives/sum2014/entries/descartes-physics/>>. Acesso em: 30 de jan. 2017.

SOUZA, M. R. A epistemologia de Gaston Bachelard e o Ensino de Física: O estado da arte. **Latin American Journal of Science Education**, v. 2, n. 1, p. 12036-1–12036-14, 2015. Disponível em: <[http://www.lajse.org/may15/12036\\_Souza.pdf](http://www.lajse.org/may15/12036_Souza.pdf)>. Acesso em: 3 de abr. de 2017.

SOUZA FILHO, M. P. **O erro em sala de aula: subsídios para o Ensino do eletromagnetismo**. 2009. 230 f. Tese (Doutorado em Educação para a Ciências), Faculdade de Ciências da Unesp, Bauru- SP. 2009.

SOUZA FILHO, M. P.; CALUZI, J. J. Os obstáculos epistemológicos dos estudantes do curso de licenciatura em Física ao clássico experimento de Ørsted In: **Anais do V Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, 2005. Disponível em: <<http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/venpec/conteudo/artigos/1/pdf/p797.pdf>>. Acesso em: 8 de abr. de 2017.

SOUZA FILHO, M. P.; CALUZI, J. J. A dialética entre os fenômenos elétricos e magnéticos e o ensino do eletromagnetismo In: **Anais do X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**, 2006. Disponível em: <<http://www.cienciamao.usp.br/dados/epef/ adialeticaentrefenomenos.trabalho.pdf>>. Acesso em: 10 de abr. de 2017.

SOUZA FILHO, M. P.S.; BOSS, S. L. B.; CALUZI, J. J. Perfil e obstáculo epistemológico na aprendizagem do conceito de ímã In: **Anais do XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**, 2008a. Disponível em: <<http://www.cienciamao.usp.br/dados/epef/ perfilobstaculoepistemo.trabalho.pdf>>. Acesso em: 5 de abr. de 2017.

SOUZA FILHO, M. P.; BOSS, S. L. B.; CALUZI, J. J. Diferenças e semelhanças entre eletricidade e magnetismo: o diálogo histórico entre o erro e a verdade subsidiando o ensino de física In: **Anais do XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**, 2008b. Disponível em: <<http://www.cienciamao.usp.br/dados/epef/ diferencasesemelhancasen.trabalho.pdf>>. Acesso em: 6 de abr. de 2017.

SOUZA FILHO, M. P.; BOSS, S. L. B.; CALUZI, J. J. A eletricidade do século XVIII sob a óptica de Bachelard e suas implicações para o ensino de física In: **Anais do VII Encontro Nacional Pesquisa em Educação em Ciências**, 2009. Disponível em: <<http://posgrad.fae.ufmg.br/posgrad/viiienpec/pdfs/1439.pdf>>. Acesso em: 5 de abr. de 2017.

SOUZA FILHO, M. P.; BOSS, S. L. B.; CALUZI, J. J. Problematização no ensino de tópicos do eletromagnetismo por meio das etapas da psicanálise bachelardiana. **Nuances: Estudo sobre educação**, v. 22, n. 23, p. 72-95, 2012. Disponível em:

<<http://revista.fct.unesp.br/index.php/Nuances/article/viewDownloadInterstitial/1751/1672>>.

Acesso em: 6 de abr. de 2017.

TEIXEIRA, E. S.; PEDUZZI, L. O. Q.; FREIRE, O. Os caminhos de newton para a Gravitação Universal: uma revisão do debate historiográfico entre Cohen e Westfall. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 27, n. 2, p. 215-254, ago. 2010.

VAGAS, M. História da matematização da natureza. **Estudos Avançados**, São Paulo, v.10, n. 28, set.-dez, 1996. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v10n28/v10n28a11.pdf>>. Acesso em: 08 de jan. 2017.

VASCONCELOS, S. D.; SOUTO, E. O livro didático de ciências no ensino fundamental – proposta de critérios para análise do conteúdo zoológico. **Ciência & Educação**, v. 9, n. 1, p. 93-104, 2003.

ZANETIC, J. **Textos de Evolução**: Alguns tópicos de “filosofia” da ciência. Instituto de Física - USP. São Paulo, SP. 2006.

\_\_\_\_\_. **Física também é cultura**. 1989. 252 f. Tese (Doutorado em educação) – Instituto de Física/Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.