

UNIVERSIDADE LUTERANA DO BRASIL

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DIRETORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE
CIÊNCIAS E MATEMÁTICA



O CONCEITO DE FORÇA NA FÍSICA – EVOLUÇÃO HISTÓRICA E PERFIL CONCEITUAL.

TANE DA SILVA RADÉ
ORIENTADOR: RENATO PIRES DOS SANTOS

Canoas, 2005.

UNIVERSIDADE LUTERANA DO BRASIL

**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DIRETORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE
CIÊNCIAS E MATEMÁTICA**



O CONCEITO DE FORÇA NA FÍSICA – EVOLUÇÃO HISTÓRICA E PERFIL CONCEITUAL.

TANE DA SILVA RADÉ

ORIENTADOR: RENATO PIRES DOS SANTOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Luterana do Brasil para obtenção do título de mestre em Ensino de Ciências e Matemática.

Canoas, 2005.

DEDICATÓRIA

A meus pais Rajá e Antonieta (*in memoriam*).

AGRADECIMENTOS

Mais do que agradecimentos, um profundo reconhecimento:

Ao Divino Criador que por longos anos preparou, a seu modo, o caminho para a consolidação deste antigo projeto;

A minha família, Mara (esposa), Tane, Eric e Vitor (filhos), pelo espaço-tempo aberto, para que esta obra se concretizasse;

Ao Professor Dr. Renato Pires dos Santos, pela plena sintonia no processo de orientação desse trabalho e também pela inestimável contribuição na descoberta de outras desafiadoras possibilidades na área do Ensino em Ciências.

Aos Professores do Mestrado, muito especialmente, pelo modo como nas suas disciplinas e numa convergência de todas, contribuíram para dar uma visão dos necessários suportes aos formadores de formadores;

À Professora Moema Menezes de Arcos pelo precioso tempo dedicado à revisão dos originais e pelas sugestões apresentadas;

Aos colegas de mestrado, pela prazerosa companhia ao longo dessa jornada, na certeza de sólidos relacionamentos construídos;

Ao Professor Dr. Arno Bayer, Coordenador deste Mestrado e pessoal de apoio, pelo firme e inequívoco procedimento em prover o suporte técnico e administrativo aos alunos desse mestrado.

“Só se pode entender a essência das coisas quando se conhecem sua origem e desenvolvimento”.

Heráclito

RESUMO

Os estudantes em sala de aula são, quase sempre, bruscamente submetidos a concepções científicas de cunho racional sofisticado, tais como força, energia, massa, trabalho entre outras, em contraponto com noções cujo caráter simbólico cotidiano lhes traz significações impregnadas de um empirismo simplista, concernentes ao senso comum vigente em seu contexto. Um dos grandes desafios a serem tratados nas relações ensino-aprendizado é, assim, o ensino de conceitos em ciências, tendo em vista os obstáculos de ordem epistemológica e ontológica, enfrentados tanto por alunos como também por professores, face às concepções alternativas ou idéias prévias sobre tais conceitos que os alunos trazem para sala de aula e que tendem a se manter inclusive após sua graduação, coexistindo simultaneamente com as concepções científicas. Mortimer (1995), buscando entender essa coexistência, construiu um modelo, denominado 'perfil conceitual'.

Para o desenvolvimento deste projeto, foi selecionado o conceito de força, que é um conceito considerado maduro em ciências, possui um largo espectro histórico para uma análise crítica mais acurada. O objetivo deste trabalho é construir, com base na pesquisa bibliográfica selecionada, um perfil conceitual de "força", partindo de seu desenvolvimento histórico e ontológico, associado a aspectos de sua epistemologia psicogenética, visando identificar as categorias epistemológicas e ontológicas presentes na literatura consultada, para uma melhor compreensão da coexistência de concepções alternativas e conceitos científicos, nas diversas etapas do processo de ensino-aprendizado, desde a escola fundamental até a formação acadêmica.

O perfil conceitual de força foi construído através de uma Matriz Epistemológica que articula diferentes visões epistemológicas, segundo processo delineado por Santos (2005), conforme disposto na Metodologia. As visões epistemológicas utilizadas foram a visão histórico-epistemológica do conceito de força, desenvolvida por Jammer (1957), desde a Antigüidade até a Contemporaneidade; a visão psicogenética desenvolvimental segundo a pesquisa de Piaget com crianças (1973); as etapas do desenvolvimento psicogenético-histórico de força, segundo Piaget & Garcia (1983), desde Aristóteles até Newton, e as concepções alternativas e newtonianas de alunos, analisadas em diversos trabalhos de pesquisa na área. A análise desta matriz buscou identificar possíveis categorias do perfil conceitual do conceito de força, mediante um processo de reinterpretação e síntese das diferentes visões epistemológicas e ontológicas deste conceito. Esta análise histórica nos possibilitou a identificação de oito zonas representativas para o perfil conceitual de força, indicando com tal variedade de concepções, a complexidade de um conceito tão usual e aparentemente simples.

Por outro lado, entendemos que o perfil conceitual pode ser utilizado como instrumento para aceder às representações dos estudantes com relação a conceitos em ciências, ensejando aos professores desenvolverem estratégias que os façam evoluir para a noção conceitual científica.

Palavras-chave:

Ensino de Física - força (Física) - perfil conceitual - Piaget.

ABSTRACT

Students in classroom, are, almost always, brusquely submitted to highly sophisticated conceptions such as force, energy, mass, and work among others. In counterpoint their daily conceptions have symbolic character and are impregnated of a simplistic empiricism, concerning their common sense which is effective in its context. One of the great challenges in the teach-learning relationship is, thus, the concept teaching in sciences, in view of the obstacles of epistemological and ontological order faced by pupils and teachers. These conceptions or ideas that the pupils bring for classroom tend to survive to their undergraduate studies, coexisting simultaneously with the scientific conceptions. Mortimer (1995), trying to understand this coexistence, constructed a model called conceptual profile.

To develop this project, we chose the concept of force, considered mature in sciences and possessing a wide historical *spectrum*, in order to achieve a more accurate critical analysis. The objective of this work is to establish, on the basis of the selected bibliographical research, a conceptual profile of “*force*”, beginning with its historical and ontological development, in association to its psychogenetic epistemology, in order to identify the epistemological and ontological categories found in the particular selected literature, to provide a better understanding of this coexistence of misconceptions and scientific concepts, along the various stages of the teaching-learning process, from the basic school to the academic instruction.

The conceptual profile was constructed by means of the Epistemological Matrix, which articulates the different epistemological visions, according to the process developed by Santos (2005), as stated in the Methodology. The epistemological visions used were the historic-epistemological point of view of the force concept, developed by Jammer (1957), from Antiquity until Contemporaneity; the psychogenetic-developmental view, according to Piaget’s research with children (1973); the psychogenetic-epistemological stages of the concept of force, according to Piaget & Garcia (1983), from Aristotle to Newton; and widely available research literature upon the student’s *alternative conceptions* and Newtonian conceptions. The analysis of this matrix intended to identify possible categories of the force conceptual profile, by means of a process of reinterpreting and synthesis the different epistemological and ontological visions of this concept. The historical analysis led us to the identification of eight representative zones for the conceptual profile of force, indicating with such variety of conceptions, the complexity of an apparently usual and simple concept.

On the other hand, we understand that the conceptual profile can be used as an instrument to access the student’s representations of concepts in sciences, permitting the professors to develop strategies that make the students to evolve to the scientific conceptual notion.

Key-words:

Physics teaching, force (Physics), conceptual profile, Piaget.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----|
| INTRODUÇÃO | 4 |
| 1 OBJETIVOS | 8 |
| 1.1 Objetivo geral | 9 |
| 1.2 Objetivos específicos | 9 |
| 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... | 11 |
| 2.1 A noção de perfil epistemológico segundo bachelard | 13 |
| 2.2 A noção de perfil conceitual segundo mortimer | 19 |
| 2.3 Ausubel e a aprendizagem significativa | 24 |
| 3 METODOLOGIA..... | 35 |
| 4 EVOLUÇÃO DO CONCEITO DE FORÇA..... | 38 |
| 4.1 Etimologia do termo força | 39 |
| 4.2 Definições de força | 44 |
| 4.3 A visão histórico-epistemológica de força segundo jammer | 52 |
| 4.3.1 Antiguidade | 54 |
| 4.3.2 Ciência Grega | 56 |
| 4.3.3 Mecânica Pré-clássica | 63 |
| 4.3.4 Kepler e a conceituação científica de força..... | 69 |
| 4.3.5 Mecânica Clássica | 72 |
| 4.3.6 Newton de o conceito de força..... | 77 |
| 4.3.7 Interpretações Teológicas da Mecânica Newtoniana..... | 85 |
| 4.3.8 Dinamismo | 88 |
| 4.3.9 O conceito de força na ciência contemporânea | 92 |
| 4.3.10 Conclusão | 98 |
| 4.4 A visão psicogenética-epistemológica de força segundo piaget | 99 |
| 4.4.1 Visão Psicogenética Desenvolvimental | 100 |
| 4.4.2 Visão Psicogenético-Histórica..... | 105 |
| 4.5 As concepções alternativas do conceito de força | 114 |
| 5 O PERFIL CONCEITUAL DE FORÇA | 122 |
| 5.1 Construção do perfil conceitual | 122 |
| 5.1.1 A Matriz Epistemológica da noção de força | 123 |
| 5.1.2 As categorias do Perfil Conceitual de Força | 128 |
| 5.2 Validação do perfil conceitual..... | 130 |
| 5.2.1 Taxonomia das concepções alternativas e científicas | 131 |
| 5.2.2 Análise dos resultados dos testes..... | 134 |
| CONCLUSÃO..... | 154 |
| REFERÊNCIAS..... | 158 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----|
| Tabela 1 – Taxonomia de concepções alternativas ou científicas e categorias do perfil conceitual de força | 133 |
| Tabela 2 – Resultado geral do teste..... | 135 |
| Tabela 3 – Categorias das respostas das questões 5 e 6..... | 140 |
| Tabela 4 – Categorias das respostas da questão 7 | 142 |
| Tabela 5 – Categorias das respostas da questão 10 | 145 |
| Tabela 6 – Categorias das respostas da questão 13 | 147 |
| Tabela 7 – Categorias das respostas da questão 16 | 148 |
| Tabela 8 – Categorias das respostas da questão 17 | 149 |

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: O perfil epistemológico de Bachelard em relação ao conceito de massa ..17
- Figura 2: Esboço do perfil conceitual individual do aluno F..... 152
- Figura 3: Esboço do perfil conceitual individual do aluno I..... 153

INTRODUÇÃO

Vivemos em uma época onde a tecnologia evolui com tal rapidez que se sobrepõe, freqüentemente, à capacidade de “apreender” e de “assimilar” do ser humano. Não raro, mal um novo conhecimento é anunciado e escassamente assimilado, logo surgem novas concepções, tornando-o prematuramente ultrapassado.

Assim, o saber-fazer toma lugar e primazia na atividade cotidiana do novo homem tecnológico, sobrepondo-se ao filosófico, ao histórico e, desse modo, as raízes epistemológicas dos conceitos científicos acabam por ceder seu espaço às concepções prévias sempre presentes no indivíduo, com origem já a partir de suas primeiras interações com o seu meio ambiente (PIAGET, 1987).

Ao lidar com conceitos fundamentais em ciências, tais como massa, força, energia, trabalho, potencial elétrico, etc., o engenheiro, o cientista ou o professor de ciências talvez jamais tenha analisado e discutido, criticamente, seus significados sob o ponto de vista histórico ou epistemológico, apesar de serem conceitos de

fundamental importância para o desenvolvimento de sua atividade, seja no campo da pesquisa científica ou de aplicações em engenharia.

Ocorre que nos acostumamos, desde pequenos, a ouvir termos diversos como massa, força, energia, trabalho, associados às mais variadas situações do cotidiano. Por outro lado, à medida que crescemos, vamos criando nossas próprias concepções sobre seus significados, através de nossas próprias experiências, baseadas no senso comum, não científico.

Assim, nossas idéias iniciais sobre tais termos, serão modeladas no convívio familiar ou social, através de propagandas veiculadas nos meios de comunicação, usualmente vinculadas a um produto alimentar ou medicinal, e se constituirão nas chamadas “concepções alternativas” ou “idéias prévias”, as quais formarão a base para o nosso processo de aprendizado.

Quando, na escola, são ensinadas as primeiras idéias sobre conceitos fundamentais em ciências, a forma de apresentação do tema pouco colabora para a evolução das concepções já adquiridas pelos jovens alunos para as concepções já consagradas pela Ciência.

Uma das dificuldades apontadas em estudos sobre a aprendizagem de conceitos em ciências, (DRIVER, 1989), tem como fonte o fato dos professores não levarem em conta que os estudantes não são uma “*tabula rasa*”, porém possuem estruturas bem formadas sobre diversos termos utilizados em ciências, como o de *força*, por exemplo.

Tal forma de ensino permite que “O físico nuclear, por exemplo, que trabalha com forças de troca (do tipo Majorana, Bartelett ou Heisenberg) e discuta forças tensoriais não centrais, talvez raramente tenha analisado o conceito de força em geral, um conceito que é absolutamente fundamental para todo o seu trabalho. A análise histórico-crítica das concepções básicas em ciências é, portanto, de primordial importância, não apenas para o filósofo profissional ou para o historiador das ciências” (JAMMER, 1999, p. vii).

Conseqüentemente, um dos grandes desafios a ser tratado nas relações ensino-aprendizado é o ensino de conceitos em ciências, tendo em vista os obstáculos de ordem epistemológica e ontológica, enfrentados tanto por alunos como também por professores, face às concepções alternativas sobre tais conceitos que os alunos trazem para sala de aula e que tendem a se manter inclusive após sua graduação.

Diante disso, entendemos ser de relevante importância para o Ensino em Ciências, a idéia do “perfil conceitual” de conceitos em ciências. A visão do processo histórico-constutivo de conceitos em ciências, suas noções primeiras, de caráter extra-científico, seu desenvolvimento/maturidade no uso como descrição do fenômeno científico, podem tornar o ensino de conceitos científicos, uma tarefa mais objetiva e de resultados afinados com o Ensino em Ciências.

Para o desenvolvimento deste projeto, foi selecionado o conceito de força, que é um conceito considerado maduro em ciências, possui um largo espectro histórico para uma análise crítica mais acurada e cujo perfil conceitual será

construído através de uma Matriz Epistemológica que articula diferentes visões epistemológicas, segundo processo delineado por Santos (2005), conforme disposto na metodologia (Capítulo 3).

Ressaltamos que este tipo de estudo já foi realizado em relação aos conceitos de reações químicas, átomo e de estados físicos dos materiais (MORTIMER, 1994), calor (MORTIMER & AMARAL, 2001), espontaneidade (AMARAL & MORTIMER, 2001), transformação (SCHNETZLER & ROSA, 1997) e energia (MICHINEL & ALMEIDA, 2000), em Química; energia (OLIVEIRA *et al.*, 2003), em Bioquímica; função (CARRIÃO, 1998), em Matemática; vida (COUTINHO, 2002); periodicidade (GOBARA, 1997), radiação (ZAIANE, 2003) e massa (SANTOS, 2005), em Física.

1 OBJETIVOS

É interessante observar que décadas de estudos, análises e propostas de modelos para uma mudança conceitual, mostraram que as concepções alternativas fazem parte da estrutura cognitiva do indivíduo e tendem a ser permanentes, em que pesem esforços para sua evolução para a estrutura de conceitos científicos (POSNER, 1982). O que resulta efetivamente, é a tendência de coexistirem, simultaneamente, tais visões conceituais.

Procurando entender a coexistência simultânea dessas visões de realidade dos estudantes, Mortimer (1995), desenvolveu a noção de perfil conceitual, como seu principal instrumento de análise da evolução conceitual em sala de aula, partindo da noção de perfil epistemológico, desenvolvida por Bachelard (1940).

Por outro lado, é preciso levar em consideração que os conceitos em Ciência passaram, em sua grande maioria, por um longo processo de “depuração histórica” à medida que as ciências se desenvolviam e que os estudantes em sala de aula, são, quase sempre, imediatamente submetidos a concepções científicas de alto teor

técnico tais como força, energia, massa, trabalho, entre outras. Assim, os estudante vêm-se de repente, em contraponto com noções, cujo caráter simbólico do cotidiano lhes traz significações impregnadas de metáforas, concernentes ao senso comum vigente em seu contexto.

Diante disso, estabelecemos os objetivos abaixo, para o desenvolvimento deste trabalho.

1.1 OBJETIVO GERAL

Promover uma compreensão mais ampla e profunda, da formação de um dos conceitos mais básicos em Física, nomeadamente o de força.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a) Construir, com base na pesquisa bibliográfica selecionada, um perfil conceitual de “força”, partindo de seu desenvolvimento histórico e ontológico, associado a aspectos de sua epistemologia psicogenética, visando identificar as categorias epistemológicas e ontológicas presentes na literatura consultada, para

uma melhor compreensão da coexistência de concepções alternativas e conceitos científicos.

b) Oferecer ao professor um instrumento que possibilite construir o perfil conceitual de seus alunos relativamente às noções científicas como força, dentre outras, identificando suas categorias epistemológicas e ontológicas mais marcantes, eventuais obstáculos epistemológicos e ontológicos, subsidiando o desenvolvimento de estratégias orientadas à evolução conceitual em sala de aula, para a visão científica destas noções, além de avaliar as evoluções que ocorram.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O objetivo primordial deste capítulo é apresentar a fundamentação teórica na qual está embasado o tema central desta dissertação que é, em síntese, construir um perfil conceitual de força, procurando identificar eventuais obstáculos epistemológicos e/ou ontológicos, associados a cada zona do perfil. A idéia de perfil conceitual, desenvolvida por Mortimer, tem origem na noção de perfil epistemológico introduzida por Bachelard em sua obra “Filosofia do Não” (1940).

Após anos de tentativas de produzir métodos para uma “mudança conceitual”, pouco alentadores foram os resultados. Estudos mais recentes (POSNER et. al., 1982) dão conta de que as concepções alternativas dos alunos não costumam evoluir para um modelo de representação científica. Ao contrário, tendem a persistir, independentemente dos esforços que se façam para sua substituição pelos conceitos científicos. Estas idéias, que os alunos trazem para a sala de aula como estruturas cognitivas significativamente relevantes, resistem ao plano da educação científica formal, coexistindo com os conceitos utilizados em ciência.

Podemos estabelecer, portanto, dois pólos de referência para o desenvolvimento da fundamentação teórica deste trabalho: um pólo vinculado à evolução histórica do conceito de força, o outro centrado na análise das concepções alternativas dos alunos sobre o conceito de força. Com isso, visamos obter uma melhor compreensão da coexistência de conceitos científicos e das concepções alternativas dos estudantes.

Temos consciência de que o conceito de força, um conceito expressivo em educação de ciências, possui uma ampla compreensão intuitiva por parte da maioria das pessoas. A construção do perfil conceitual (MORTIMER, 1995), através de uma Matriz Epistemológica que articula diferentes visões epistemológicas, conforme processo delineado por Santos (2005), e explicitando em cada zona do perfil, suas *possíveis* categorias epistemológicas e ontológicas, serve como elemento de mediação para a melhor condução de uma análise crítica do processo de ensino em ciências.

Por outro lado, ao lidarmos com a abordagem científica do conceito de força, começam a surgir os obstáculos epistemológicos e ontológicos à construção das noções científicas relacionadas a este conceito, em função das concepções alternativas dos estudantes e, portanto, os professores se deparam com desafios no sentido de que o estudante entenda o significado científico de força.

É idéia que o professor conheça e saiba lidar com tais concepções e que um “*perfil conceitual*” pode ser um instrumento de análise, com o qual ele possa trabalhar objetivando resultados satisfatórios no ensino *de conceitos* em ciências.

2.1 A NOÇÃO DE PERFIL EPISTEMOLÓGICO SEGUNDO BACHELARD

O entendimento de um conceito científico segundo a visão bachelardiana, não se apresenta segundo uma única perspectiva filosófica, ou seja, pode ser visto e representado, "... sob os vários pontos de vista como do animismo, do realismo, do positivismo, do racionalismo, do racionalismo complexo e do racionalismo dialético" (BACHELARD, 1940).

Desenvolvendo sua análise sobre esta idéia, Bachelard apresenta em sua obra, a Filosofia do Não (1940), a noção do que ele chamou de perfil epistemológico, de um conceito científico. Bachelard mostra através desta noção, que uma única doutrina filosófica não é capaz de expressar as diferentes representações de um conceito científico, mas sim, que o mesmo é sujeito a um processo de evolução filosófica, num movimento que envolve o conjunto das doutrinas acima citadas, na ordem indicada.

Como nem todos os conceitos científicos têm atingido o mesmo grau de desenvolvimento, Bachelard utiliza para sua análise do perfil epistemológico, o conceito de massa que, conforme seu pensamento, encerra uma perspectiva filosófica completa, podendo ser interpretado sob os vários pontos de vista, desde o animismo ao racionalismo dialético, passando por todas as correntes filosóficas anteriormente mencionadas.

Trabalhando com o conceito de massa e as visões e interpretações apresentadas pelas diferentes filosofias, Bachelard constrói o perfil epistemológico que representa sua *visão pessoal* do conceito de massa, embasado na idéia de *pluralismo da cultura filosófica*.

Para Bachelard, "... bastou apenas um conceito para dispersar as filosofias, para mostrar que as filosofias parciais se debruçavam apenas sobre um aspecto, esclareciam apenas uma face do conceito" (BACHELARD, 1940, p. 39).

Como resultado desse processo, resultou a construção de uma escala polêmica, mas que coloca uma graduação na evolução das diferentes visões de um conceito científico, de acordo com um sistema filosófico e não apenas uma dada filosofia. Essa escala é suficiente para apoiar os diversos pontos de debate da filosofia científica e também para evitar a confusão de argumentos, na medida em que situa adequadamente essas visões e suas pertinentes filosofias.

Vale citar o que Bachelard (1940) diz com relação à posição da filosofia das ciências:

"Assim a filosofia das ciências fica muitas vezes cantonada nas duas extremidades do saber: no estudo, feito pelos filósofos, dos princípios muito gerais, e no estudo, realizado pelos cientistas, dos resultados particulares".

"Enfraquece-se contra os dois obstáculos epistemológicos contrários que limitam todo o pensamento: o geral e o imediato. Ora valoriza o a priori, ora o a posteriori, abstraindo das transmutações de valores epistemológicos que o pensamento científico contemporâneo permanentemente opera entre o a priori e o a posteriori, entre os valores experimentais e os valores racionais."

Esta colocação leva-nos a inferir que um conhecimento, um conceito científico, não é uma idéia estanque, como que possuindo dois pólos separados por um espaço vazio, sendo um dos pólos as idéias filosóficas fundamentadas em princípios gerais e, o outro pólo, as idéias particulares, geradas pelos homens de ciências. Em verdade, o que podemos depreender da noção de perfil epistemológico é que as interpretações de um conceito científico evoluem por diversos estágios filosóficos, “*operando transmutações de caráter epistemológico entre estes dois pólos*”.

Nesta obra, Bachelard desenvolve seu trabalho de construção do perfil epistemológico, questionando a condição de que o cientista seja realista em todos os seus pensamentos. O cientista quando supõe, resume, esquematiza, erra, ou até mesmo quando afirma, será ele necessariamente realista? Não haverá coeficientes de realidade diversos para os diversos pensamentos de um mesmo espírito? Tais coeficientes não diferirão consoante as noções, de acordo com a evolução dos conceitos e com as concepções teóricas da época? Com essa ênfase de pensamento, Bachelard força o realismo a introduzir uma hierarquia em sua experiência, sem contentar-se, contudo com uma hierarquia geral, pois mostra em seu trabalho, que em relação a uma particular noção como o caso do conceito de massa, a hierarquia dos conhecimentos se distribui de forma diversa segundo as utilizações.

Bachelard coloca que se muitas vezes é necessário atacar o realista, há também uma evidente necessidade de proteger o racionalista, de vigiar seus ‘a priori’, dar-lhes o seu justo valor de ‘a posteriori’. Ressalta a necessidade de

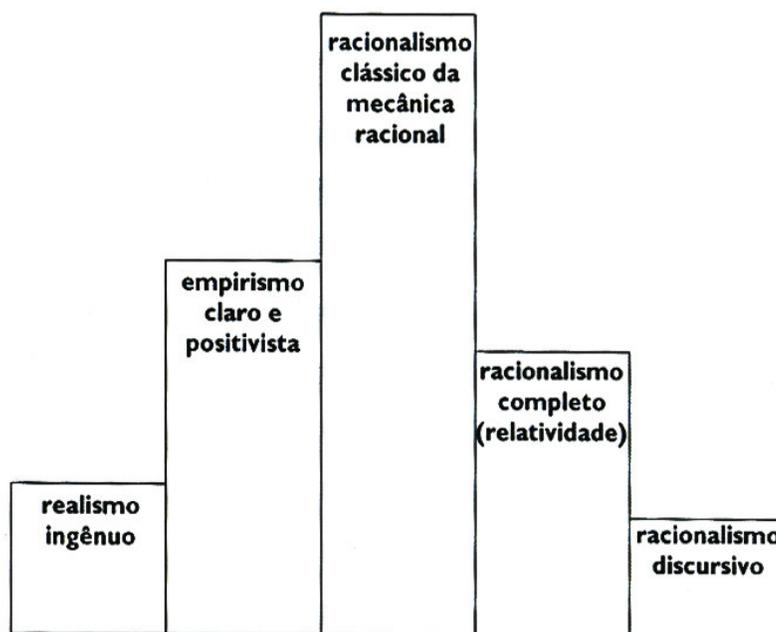
constantemente mostrar o que permanece de conhecimento comum nos conhecimentos científicos. Nada pode legitimar um racionalismo absoluto, invariável, definitivo.

Para ele, é preciso chamar tanto um como outro ao pluralismo da cultura filosófica. Explicita ainda que “Nestas condições, parece-nos que uma psicologia do espírito científico deveria esboçar aquilo a que chamaremos o *perfil epistemológico* das diversas conceptualizações” (BACHELARD, 1940).

E vai buscar em um particular conceito de ciências, que é o conceito de massa, o qual ele considera um conceito maduro em sua pluralidade de utilizações, a base para o esboço desta escala de medida que denominou de *perfil epistemológico*.

Com a idéia de perfil epistemológico, Bachelard relaciona também a noção de obstáculo epistemológico, pois segundo ele, um perfil epistemológico guarda a marca dos obstáculos que uma cultura teve que superar. (BACHELARD, 1940, p. 48).

Para exemplificar a noção de perfil epistemológico, Bachelard utiliza como exemplo seu *próprio* perfil epistemológico do conceito de massa, apresentando-o sob a forma de um gráfico, conforme a Figura 1, a seguir. Assim, Bachelard pretende caracterizar que é “através de um tal perfil mental que poderia medir-se a ação psicológica efetiva das diversas filosofias na obra do conhecimento”, (Bachelard, 1940).



Fonte: Mortimer, 2000.

Figura 1: O perfil epistemológico de Bachelard em relação ao conceito de massa

Nesse gráfico, as abscissas representam as diversas filosofias por ele consideradas (realismo ingênuo – empirismo claro e positivista – racionalismo newtoniano ou kantiano – racionalismo completo – racionalismo dialético), enquanto que as ordenadas (alturas das zonas do perfil), conforme explicita Bachelard, se seus valores pudessem ser exatos, mediriam “a frequência de utilização efetiva da noção, a importância relativa de nossas convicções” (Bachelard, 1940). Com isso, Bachelard, ressalva, contudo, certa reserva relativamente a esta *medida* muito grosseira, para a representação de um ‘perfil epistemológico’.

Embora a noção de perfil epistemológico esteja essencialmente ligada ao plano filosófico, a construção desenvolvida por Bachelard nos disponibiliza um importante instrumento para a análise histórico-crítica das diferentes visões e interpretações de conceitos em ciência, através dos vários estágios do desenvolvimento do conhecimento humano ao longo da história, quer sob o aspecto do senso comum, quer sob a visão do conhecimento científico.

Vale aqui mencionar que para Bunge (1985),

“A teoria deve resolver os problemas propostos pela explicação dos fatos e (das ou as) generalizações empíricas – em caso de existirem – de um âmbito dado, e deve fazê-lo da maneira mais exata possível. Expressando de forma sintetizada, poder explanatório = alcance + exatidão” (BUNGE, 1985).

A identificação de zonas do perfil conceitual de força, com poder explanatório crescente, é um dos resultados que se busca obter neste processo.

É nosso pensamento que esta análise poderá levar à visão de eventuais obstáculos epistemológicos e ontológicos predominantes nas diversas zonas do perfil e que contribuíram, ou têm contribuído, para que o ser humano consolide o que se considera como concepções alternativas, a respeito de conceitos ensinados em ciência.

Por outro lado, na medida em que buscamos entender as interpretações dos conceitos científicos, seja na sala de aula, seja no cotidiano dos indivíduos, esta noção de perfil epistemológico de Bachelard nos conduz à possibilidade de,

similarmente, construir um gráfico que apresente de forma seqüencial e discreta, as diferentes idéias e interpretações dos conceitos em ciências, incluindo as concepções alternativas, para cada aluno ou indivíduo, explicitando as ontologias envolvidas.

2.2 A NOÇÃO DE PERFIL CONCEITUAL SEGUNDO MORTIMER

O nosso segundo suporte para a construção de um referencial teórico dos objetivos de nossa dissertação centra-se na noção de Perfil Conceitual desenvolvida por Mortimer (1995).

Conforme já mencionado, partindo da noção de perfil epistemológico, desenvolvida por Bachelard (1940), Mortimer constrói a noção de perfil conceitual, como seu principal instrumento de análise da evolução conceitual em sala de aula.

Na análise da idéia de perfil epistemológico de Bachelard, alguns aspectos essenciais são considerados por Mortimer (1995), para introduzir a noção de perfil conceitual:

- O fato de que as pessoas tenham formas diferentes de ver e representar a realidade a sua volta é uma situação que Bachelard já havia observado em 1940 e usado este parâmetro na construção do seu perfil epistemológico. Ao desenvolver

este tema, Bachelard evidencia a idéia de que uma realidade (um conceito científico), não pode ser descrito sob uma única doutrina filosófica, iluminando apenas uma única faceta do conceito.

- Mortimer (1995) ressalta o fato de que Bachelard não é o único a considerar que “diferentes formas de ver o mundo ou, a realidade, possam ser encontradas numa mesma pessoa”. Faz menção a Schutz, que fala de um mundo social que não é homogêneo “mas mostra uma estrutura multiforme”. “Cada uma de suas esferas ou regiões é tanto uma maneira de perceber quanto uma forma de entender a experiência subjetiva dos outros”. (SCHUTZ, apud MORTIMER, 1995).

Outro aspecto importante levantado por Mortimer (1995) é que as diferentes realidades, pertencentes a contextos sociais específicos, correspondem diferentes formas de conhecimento. Cita Berger & Luckmann (1967) que “ênfatizam que entre essas múltiplas realidades, há uma que se apresenta como realidade por excelência: aquela da vida cotidiana”. Outras realidades comparadas à realidade da vida cotidiana constituiriam províncias finitas de significados.

Ao mudar o foco da realidade cotidiana para uma dessas províncias, seja a do conhecimento científico, por exemplo, para Mortimer (1995), ocorre uma mudança radical na tensão da consciência. No entanto, em que pese tal mudança radical, a tendência é que a realidade da vida cotidiana ainda seja uma presença marcante na mente do indivíduo.

Se nos reportarmos ao processo do desenvolvimento cultural do homem, desde os tempos pré-científicos, a história nos mostra a tendência do homem procurar expressar suas diferentes experiências na base da linguagem do cotidiano. De acordo com Jammer (1957), "... concepções científicas, embora freqüentemente resultado da intuição espontânea, tendem a ser moldadas, tanto quanto possível, em analogia com as concepções da experiência diária".

Ainda que linguagens mais elaboradas possam ser usadas, tal como a Matemática, há essa inclinação do ser humano em explicar o desconhecido em base ao que ele conhece, ao trilhado no cotidiano, àquilo que os sentidos percebem e que ele assimila.

Surge aqui um primeiro elo, uma primeira conexão entre o conhecimento comum (vulgar) e o científico, onde este último tende a ser traduzido em termos da experiência cotidiana do homem, para que este o assimile, o entenda de conformidade com aquilo que já lhe é de certa forma, matéria de domínio.

Ainda na idéia de que as pessoas percebem e entendem de diferentes formas suas realidades, Mortimer (1995), fala sobre concepções e formas de entendimento como categorias de descrição da realidade. Salienta que tais "categorias podem ser observadas em um grande número de indivíduos, de modo que a sua totalidade denota um tipo de intelecto coletivo" (MORTIMER, 1995).

Mortimer encontra em Bachelard, na sua obra "Filosofia do Não", uma explicação detalhada de diferentes maneiras de se conceituar a realidade em termos

científicos” (MORTIMER, 1995). Tais idéias, embora com formulação de ordem filosófica, podem ajudar no desenvolvimento de um modelo de ensino suportado na explicitação das idéias dos estudantes, cujo objetivo seja o de tentar solucionar inconsistências determinadas relativamente a outras estratégias ou modelos. No entanto, desenvolve uma análise crítica das categorias do perfil epistemológico de Bachelard, segundo a ordem por este proposta, e indicada no item anterior.

Apresenta também, uma comparação de seu próprio perfil em relação ao conceito de massa, que é diferente do apresentado por Bachelard, dado que sua zona mais acentuada seria a empirista, e não a racionalista clássica como a de Bachelard. Mortimer relaciona o fato a sua formação como químico, usando balanças como parte da atividade cotidiana. Já o setor racional, bastante acentuado de Bachelard, é consequência de sua experiência como físico e filósofo profissional.

Desta análise, Mortimer propõe a introdução da noção de “perfil conceitual”, com o “propósito de introduzir algumas características que não estão presentes na visão filosófica de Bachelard, já que minha intenção é construir um modelo para descrever a evolução das idéias, tanto no espaço social da sala de aula como nos indivíduos, como consequência do processo de ensino”. (MORTIMER, 1995). Há certamente, características comuns entre o perfil epistemológico e o perfil conceitual como, por exemplo, a hierarquia entre as diferentes zonas, onde cada zona sucessiva se caracteriza por conter categorias de análise com poder explanatório maior que a que lhe antecede.

Abaixo destacamos alguns elementos importantes que, na visão de Mortimer, devem ser adicionados à noção bachelardiana.

O primeiro deles é a distinção entre características ontológicas e epistemológicas de cada zona do perfil. Chama a atenção para o fato de que embora lidando com o mesmo conceito, cada zona do perfil poderá ser tanto epistemologicamente quanto ontologicamente diferente. Cita como exemplo o perfil do conceito de átomo, observando que a distinção entre aspectos epistemológicos e ontológicos é importante dado que, parte dos problemas na aprendizagem de conceitos em ciências, relaciona-se à dificuldade de mudanças de categorias ontológicas às quais se acham estes conceitos vinculados.

De relevante importância também, é considerar o fato de que o conhecimento pelo estudante, de seu próprio perfil conceitual, tem um papel importante na relação ensino-aprendizagem. Para Mortimer (1995) “o uso, pelo estudante, de concepções prévias em problemas cotidianos e/ou novos poderia indicar a falta de consciência de seu próprio perfil”.

Um aspecto importante a considerar ainda na noção de perfil conceitual, segundo Mortimer, “é que seus níveis pré-científicos não são determinados por escolas filosóficas de pensamento, mas pelos compromissos epistemológicos e ontológicos dos indivíduos” (MORTIMER, 1995). Tais características individuais sofrem forte influência da cultura, levando a alternativa de tentar definir o perfil conceitual como um sistema supra-individual de formas de pensamento, de tal forma que pode ser atribuído a qualquer indivíduo dentro de uma mesma cultura. Assim,

em que pese cada indivíduo possuir um perfil conceitual diferente, o que importa é que as categorias pelas quais ele é traçado são as mesmas para cada conceito. A noção de perfil conceitual é, portanto, dependente do contexto, visto ser influenciada pelas distintas experiências de cada indivíduo; e também do conteúdo, uma vez que, para cada conceito em particular, tem-se um perfil diferente.

Mortimer, apoiado na estrutura do perfil epistemológico, desenvolvido por Bachelard, desenvolve um instrumento que chama de perfil conceitual, conservando algumas características e acrescentando outras, conforme vimos acima, de forma que este modelo (instrumento) possibilite “descrever a evolução das idéias, tanto no espaço social da sala de aula como nos indivíduos, como consequência do processo de ensino” (MORTIMER, 1995).

Assim, este instrumento poderia auxiliar grandemente o professor de ciências na abordagem de conceitos científicos em sala de aula, de modo que o estudante possa trabalhar o assunto no devido contexto, sem que suas concepções alternativas constituam a visão predominante no contexto científico.

2.3 AUSUBEL E A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Na medida em que estabelecemos os dois marcos anteriores para o suporte teórico de nosso trabalho, isto é, as noções de Perfil Epistemológico de Bachelard e

de Perfil Conceitual de Mortimer, na busca da construção de um perfil conceitual de força, é importante relacionarmos esta construção com a evolução do processo de aprendizagem em sala de aula.

Assim, vamos buscar na 'teoria da aprendizagem significativa' de Ausubel, um elemento de fechamento para a fundamentação teórica de nosso trabalho.

Queremos registrar aqui, que nosso escopo é utilizar alguns suportes da extensa obra desenvolvida por Ausubel no campo da psicologia educacional sem pretender, de forma alguma, analisá-la ou esgotá-la em seu conteúdo.

Para Ausubel, "O papel da psicologia educacional na formação do professor baseia-se na premissa de que há princípios gerais de aprendizagem significativa realizada em classe, que podem ser derivados de uma teoria sobre tal aprendizagem". (AUSUBEL, NOVAK, & HANESIAN, 1980, p. 3).

Conforme Moreira, "Ausubel é um representante do cognitivismo e, como tal, propõe uma explicação teórica do processo de aprendizagem, segundo o ponto de vista cognitivista, embora reconheça a importância da experiência afetiva". (MOREIRA, 1999).

Sobre o papel da teoria da aprendizagem para o ensino, Ausubel coloca que,

"Embora uma teoria válida da aprendizagem não nos possa dizer como ensinar no sentido prescritível, pode nos oferecer pontos de partida mais viáveis para a descoberta de princípios gerais do ensino, que podem

ser formulados tanto em termos de processos psicológicos intervenientes como em termos de relações de causa e efeito. Em geral, a partir de uma teoria da aprendizagem é que podemos desenvolver noções defensáveis de como fatores decisivos na situação aprendizagem-ensino, podem ser manipulados com maior eficácia”. (AUSUBEL, NOVAK, & HANESIAN, 1980, p. 13).

A teoria de Ausubel está essencialmente fundada na idéia da aprendizagem significativa. Para ele, a aprendizagem significativa é um processo que consiste em relacionar novas idéias ou conhecimentos, às informações relevantes que já fazem parte da estrutura cognitiva do indivíduo ou aluno. Esta relação se dá de forma “não arbitrária e substantiva (não literal)”. (AUSUBEL, NOVAK, & HANESIAN, 1980, p. 34).

A disposição para a aprendizagem significativa é uma condição que deve ser manifestada pelo aluno, para que tal processo ocorra. Esta é uma condição preconizada por Ausubel. É importante que o aluno se disponha a estabelecer uma relação do novo material aprendido, que deve ser potencialmente significativo, com o que ele já possui em sua estrutura cognitiva.

Porém, se o aluno memoriza uma determinada proposição de forma arbitrária e literalmente, isto é, estabelecendo uma relação de modo arbitrário de um conjunto de palavras, o processo de aprendizagem e seu resultado, ambos serão automáticos. Ausubel reforça que se a tarefa da aprendizagem não for ‘potencialmente significativa’, tanto o processo como o produto da aprendizagem não serão significativos, qualquer que seja a disposição do aluno para a aprendizagem significativa.

Assim, um contraponto à idéia da aprendizagem significativa é o processo de aprendizagem automática ou mecânica. De um modo mais concreto, a aprendizagem mecânica é o processo onde as aquisições de novas informações pelo indivíduo ou aluno, possuem pouca ou nenhuma relação com idéias ou conceitos relevantes, já disponibilizados na sua estrutura cognitiva.

Ao tratar da aprendizagem significativa, Ausubel introduz também a idéia de ‘conceito subsunçor’ ou simplesmente ‘subsunçor’.

Para Ausubel, aprendizagem significativa é um processo que “envolve a interação da nova informação com uma estrutura de conhecimento específica, a qual Ausubel define como *conceito subsunçor*, ou simplesmente *subsunçor*.” (MOREIRA, 1999, pág. 153).

Convém ressaltar que o termo *subsunçor* não existe em português; é uma tentativa de aporuguesar o termo inglês ‘*subsumer*’. Uma equivalência aproximada poderia ser algo como inseridor, facilitador ou subordinador. (MOREIRA, 1999; nota de rodapé, p. 153).

No processo da aprendizagem significativa, as novas informações ao interagirem com subsunçores existentes na estrutura cognitiva do aluno, resultam em “um crescimento e modificação dos subsunçores que lhes servem de ancoragem” (MOREIRA, 1999, p. 153).

Ausubel especifica (AUSUBEL, NOVAK, & HANESIAN, 1980) três formas de aprendizagem significativa: aprendizagem representacional, de conceitos e proposicional.

- *Aprendizagem representacional*: é o tipo de aprendizagem significativa mais básico, que condiciona todos os demais aprendizados significativos. Neste caso, o indivíduo estabelece uma relação entre símbolos particulares, representados geralmente por palavras, associadas a um conceito, uma situação ou um objeto unitário do mundo físico.
- *Aprendizagem de conceitos*: é o tipo mais complexo da aprendizagem representacional, pois os conceitos (unidades genéricas ou idéias categóricas) são também representados por símbolos particulares (palavras ou nomes). Aprender o que o conceito significa consiste na aprendizagem de seus atributos essenciais (distinguir ou identificar).
- *Aprendizagem proposicional*: esta tem por objetivo aprender o significado de proposições verbais, ou seja, o significado das idéias em forma de proposições. Não se trata simplesmente da tarefa de aprender o que representam palavras isoladas ou o que sua combinação representa, mas sim, de aprender o significado de proposições verbais que expressam idéias outras, que estão além da soma dos significados das palavras ou conceitos constituintes da proposição.

Ausubel (1980) ressalta que, dentre os fatores cognitivos da aprendizagem em sala de aula, a estrutura de conhecimento existente na ocasião da aprendizagem (variáveis de estrutura cognitiva) talvez seja a consideração mais importante. Segue, pois, que uma importante variável para a aprendizagem e retenção de novas idéias ou conceitos, materiais logicamente significativos, é a existência na estrutura cognitiva do estudante, de idéias e conceitos relevantes, cujo padrão de inclusividade deve propiciar a melhor condição de relacionamento com o novo material. (AUSUBEL, NOVAK, & HANESIAN, 1980, p. 137).

É essencial considerar o processo de interação das novas informações com as idéias e conceitos preexistentes da estrutura cognitiva. Ausubel (1980) explicita que "... somente na aprendizagem automática ocorre uma simples ligação arbitrária e não substantiva com estrutura cognitiva preexistente". É preciso levar em conta também, que na aprendizagem significativa, além do efeito da experiência anterior sobre o novo material de aprendizagem, a própria estrutura cognitiva sofre modificações relevantes neste processo.

Vale mencionar Moreira (1999): "Há, pois, um processo de interação, por meio do qual conceitos mais relevantes e inclusivos interagem com o novo material, funcionando como ancoradouro, isto é, abrangendo e integrando este material e, ao mesmo tempo, modificando-se em função dessa ancoragem".

Esta ancoragem ou vinculação de novas idéias ou conceitos a elementos já existentes (subsunçores) na estrutura cognitiva do estudante, Ausubel chama de aprendizagem *subordinativa*. Para ele, como a estrutura cognitiva tende a ser

organizada hierarquicamente, relativamente ao nível de abstração, generalização e abrangência das idéias, a emergência de uma nova estrutura proposicional significativa reflete mais tipicamente uma relação subordinativa do novo material à estrutura cognitiva existente. Coloca ainda que “Isso implica a subordinação de proposições potencialmente significativas a idéias mais gerais e abrangentes na estrutura cognitiva existente, e isto, por sua vez, resulta na organização hierárquica da estrutura cognitiva”. (AUSUBEL, NOVAK, & HANESIAN, 1980, pp. 48-49).

Contudo, AUSUBEL (1980, p. 141), levanta uma questão com relação à indisponibilidade de idéias especificamente relevantes na estrutura cognitiva do estudante, quando o material novo for apresentado ao aprendiz. Sugere que nestes casos, é preferível inserir materiais introdutórios apropriados, chamados de “organizadores prévios”, que sirvam de subsunçores, objetivando facilitar a aprendizagem significativa. Servem como uma espécie de “ponte cognitiva” entre o material novo, alvo da aprendizagem, e o material preexistente na estrutura cognitiva do estudante.

A abordagem de Ausubel com relação ao processo de instrução em sala de aula foca-se principalmente na estrutura cognitiva do estudante, durante o processo da aprendizagem.

Em decorrência, o professor envolvido na utilização do processo de aprendizagem significativa tem como ação fundamental estabelecer uma relação entre o material novo a ser apresentado ao aluno, identificar quais conceitos e idéias são relevantes ao processo de ensino do novo material e diagnosticar o que o

estudante já sabe. A partir daí, vai desenvolver sua metodologia de ensino, objetivando tornar a estrutura cognitiva do estudante mais abrangente e inclusiva relativamente ao novo material de aprendizagem.

Isso posto, focando nossa atenção no processo da aprendizagem de conceitos em ciências, nos deparamos com estruturas cognitivas fortemente influenciadas pelas concepções alternativas, baseadas no senso comum, do cotidiano dos indivíduos e dos estudantes conseqüentemente. Nesse esquema, considerando o conceito de força na Física, podemos observar, após pesquisa na vasta literatura existente sobre concepções alternativas deste conceito, que o aluno traz em sua estrutura cognitiva, um espectro bastante generalizado de idéias extracientíficas, sobre o conceito de força. Não se poderia esperar outra condição, quando analisamos a própria etimologia do termo força e sua evolução histórico-epistemológica.

Tais concepções assumem, em nossa ótica, o papel de subsunçores alicerçados no senso comum, relativamente a este conceito. Estes subsunçores poderão se constituir em obstáculos ontológicos ao ensino do conceito de força sob o ponto de vista da ciência, no Ensino de Física.

Lembremos aqui Bachelard (1940) e sua noção de perfil epistemológico. Para ele, uma só doutrina filosófica não é capaz de expressar as diferentes representações de um conceito científico, mas que o mesmo é sujeito a um processo de evolução filosófica através de um conjunto de doutrinas filosóficas,

desde o realismo ingênuo ao racionalismo dialético, onde cada doutrina tem um poder explanatório maior do que a anterior.

Desta forma, o professor pode orientar o processo de ensino de seus alunos, em base às premissas da teoria de aprendizagem significativa, construindo gradativamente uma conexão a partir das noções do senso comum sobre o conceito de força, ou seja, aquilo que o aluno já sabe sobre o material de aprendizagem, visando à evolução deste conceito para categorias científicas de poder explanatório sucessivamente crescente, do conceito de força. Podemos pensar como a construção de uma ponte, onde cada elemento de sua estrutura, tanto é apoiado no anterior, como serve de apoio ao seguinte. Ancorando cada nova categoria na anterior, estabelecemos uma espécie de ponte entre o novo material de aprendizagem e o material preexistente na estrutura cognitiva do aluno. É válido e importante lembrar aqui, que isto implica em uma modificação na estrutura cognitiva do aluno, em um crescimento e evolução dos subsunçores preexistentes.

Tal situação possibilitará ao professor, construir o 'perfil conceitual' de força de seus alunos e, conseqüentemente, identificar suas ontologias com relação a este conceito. Vale lembrar que, dentro deste modelo, as categorias do perfil conceitual distinguem-se por epistemologias e ontologias diferentes e que o processo de evolução conceitual se dará através de uma mudança ontológica (MORTIMER, 2000, pp. 78-79). No entanto, essas mesmas ontologias podem se tornar obstáculos a essa evolução, uma noção semelhante à de "noção obstáculo" de Bachelard, especialmente para se alcançar o "espírito científico". O perfil conceitual

possibilitará, assim, também identificar as mudanças ontológicas necessárias para essa evolução conceitual.

Note-se que, neste processo de evolução conceitual, o aprendiz, como já vimos, avança para categorias do perfil com poder explanatório crescente, relativamente às primeiras zonas, freqüentemente mais obscuras e mal definidas, alterando seu perfil conceitual individual. Não está claro, no entanto, se neste processo de assimilação, em que as categorias anteriores não são eliminadas, ocorrerá a “obliteração” apontada por Ausubel (1980, pp. 114-115).

O perfil conceitual propiciará meios para identificar qual a categoria que melhor representa a noção que o estudante tem do conceito de força e, caso necessário, a partir daí, desenvolver ações para que o mesmo evolua para categorias de maior poder explanatório, sob o ponto de vista da ciência. Uma discussão sobre como essa evolução ontológica se poderia fazer se encontra em CHI (2002).

Observamos, à guisa de conclusão, que a aplicação de teorias de aprendizagem não coerentes com o ambiente disponível ao professor, tenderá a produzir resultados no mínimo inócuos, se não negativos, do ponto de vista da aprendizagem.

É essencial que o professor esteja capacitado a buscar e selecionar métodos de ensino mais eficazes e relacionados ao processo da aprendizagem em sala de aula, certamente levando em consideração o contexto em que está inserido.

Vale aqui lembrar a afirmativa da folha de rosto em *Psicologia Educacional* (AUSUBEL, NOVAK, & HANESIAN, 1980): “Se eu tivesse que reduzir toda a psicologia educacional a um único princípio, diria isto: O fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já conhece. Descubra o que ele sabe e baseie nisso os seus ensinamentos”. (AUSUBEL, NOVAK, & HANESIAN, 1980).

3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada para a construção do perfil conceitual de força, conforme processo delineado por Santos (2005), constituiu-se inicialmente na análise histórico-crítica da literatura pertinente, tendo como base, principalmente, a obra de Jammer (1957), abrangendo a noção de força desde a Antigüidade até a Contemporaneidade. Nesta análise, da visão histórico-epistemológica de Jammer sobre o conceito de força, buscou-se identificar possíveis categorias da Matriz Epistemológica da noção de força, mediante um processo de reinterpretação das diferentes visões epistemológicas e ontológicas deste conceito.

Adicionalmente, tendo como suporte a obra '*La Formation de la Notion de Force*' (1973) de Piaget, demos mais um passo na construção de nossa Matriz Epistemológica, a partir de outro enfoque, ou seja, o da noção do conceito de força sob o ponto de vista psicogenético-epistemológica. Procuramos aqui, identificar as diversas representações deste conceito e seu desenvolvimento, observadas por este autor em suas pesquisas com crianças, em diferentes idades.

Outra contribuição para a construção da Matriz Epistemológica, encontra-se na obra *Psicogênese e História das Ciências*, (PIAGET & GARCIA, 1983), onde estes autores procuram estabelecer um paralelo entre a formação individual, psicológica de conceitos de físicos e a evolução das formulações científicas ortodoxas.

Uma última contribuição para a construção da Matriz Epistemológica, foi a pesquisa bibliográfica da literatura acumulada sobre concepções alternativas referente ao conceito de “força”.

A partir das categorias identificadas nessas fontes, fizemos um cruzamento das mesmas na Matriz Epistemológica, correlacionando visões epistemológicas afins, de modo a obter uma versão mais elaborada e completa do perfil conceitual de força.

No intuito de validar as zonas do “perfil conceitual” de força, procedemos à aplicação de um instrumento de teste, com questões fechadas e abertas, tendo como público alvo alunos da disciplina de Física I, comum ao primeiro ano de várias licenciaturas (principalmente engenharias) da Ulbra, campus de Canoas. Este teste objetivou ter uma visão das representações dos estudantes sobre o conceito de força, relacionadas ao seu cotidiano.

Ressaltamos que este teste tem a finalidade precípua apenas de ‘validar’ o perfil conceitual de força obtido, como instrumento de acesso às visões dos alunos sobre o conceito de força, verificando quais categorias desse perfil, estão presentes

nos alunos, sem procurar estabelecer um procedimento de diagnóstico e possíveis soluções para as concepções extracientíficas dos alunos, nesta etapa.

4 EVOLUÇÃO DO CONCEITO DE FORÇA

Quando tratamos do ensino de conceitos em ciências e estamos também interessados na construção do seu perfil conceitual, dois aspectos básicos, em nossa ótica, devem ser considerados como elementos de partida e suporte: a etimologia do termo e sua utilização extracientífica.

Desta forma, em nosso trabalho para a construção do perfil conceitual de força, de consagrado uso universal, quer na linguagem do cotidiano, em contextos os mais variados, quer no âmbito científico, é de fundamental importância que se pesquise sua etimologia.

A noção de suas raízes e as significações atribuídas pelas diversas culturas ao longo dos tempos, certamente lançarão uma luz esclarecedora sobre sua evolução e persistência na forma de acepções extracientíficas, situação esta que torna mais difícil sua assimilação, na medida em que passa a ser também um vocábulo usado como forma de definição do fenômeno científico.

Uma breve visão de designações do termo força, determinadas pelo senso comum e encontradas na literatura é apresentada, objetivando explicitar aspectos que se consagram e se consolidam na linguagem do cotidiano e que chegam à sala de aula como estruturas cognitivas de relevante significação para o aluno. É importante que o professor tenha em mente que tais estruturas tendem a entrar em conflito e subsistir à noção científica de conceitos.

Para poder superar essa resistência à nova visão de conceitos, sob o ponto de vista da ciência, o professor interessado em fazer com que seus alunos evoluam da noção do senso comum, para a noção científica, necessita de uma 'visão espectral' dos conceitos. Isto pode ser obtido através da construção de um "perfil conceitual" para cada conceito em análise, que lhe sirva como uma escala evolutiva, desde as primeiras noções extracientíficas, passando por categorias diversas, até os limites das definições últimas da ciência para o dado conceito, onde cada categoria assinalada tem um poder explanatório mais abrangente que a anterior.

4.1 ETIMOLOGIA DO TERMO FORÇA

Sem pretender escrever aqui, um tratado sobre a etimologia do termo força, nosso foco é tentar situá-lo em sua origem, de modo a lançar uma luz que nos permita compreender sua ampla e variada gama de significados, em diversos

contextos, nas diversas línguas e que se apresentam de forma bastante similar, relativamente aos mesmos significados extracientíficos.

O termo 'força' tem sua origem invariavelmente apontada para o latim tardio, a partir do termo "*fortīa*, plural neutro tomado como substantivo feminino do adjetivo *fortis*", (p.ex., MACHADO, 1952).

No *Dicionário Etimológico da Língua Latina – Historia dos Nomes*, (ERNOUT & MEILLET, 1951), encontramos o termo '*fortis – e*', seguido dos termos '*frugi et bonus, siue validus*'. Tais termos, de acordo com os dicionários de latim - português consultados (CRETELLA JUNIOR & CINTRA, 1953; MAISSIAT, 2002), são adjetivos que apresentam significados como bom, útil, honesto, virtuoso, etc., no caso de *frugi*; bom, valente, virtuoso, etc., no caso de *bonus*; forte, vigoroso, robusto, com saúde, poderoso, enérgico, etc., no caso de *validus*. Como podemos constatar, a etimologia do termo força está associada fundamentalmente a adjetivos cujos significados estão ligados a aspectos de ordem física, moral, tanto dos indivíduos como de animais. Encontramos assim, expressões como 'forte cavalo', ou 'forte família', onde o termo família, em latim, tem uma abrangência a todas as pessoas da casa, em relação ao chefe da casa. ERNOUT & MEILLET (1951), colocam que o sentido de 'fortis' neste caso, pode ser próximo ao sentido de '*dives*', adjetivo que significa rico em bens ou '*locuples*', também um adjetivo que tem igual significado, no sentido de riquezas em terras, de opulência, abundância. Observamos aqui, que o termo 'fortis' parece indicar uma conotação de poder, de autoridade. É usado também como elemento indicativo de qualidade, como 'corajoso, bravo', embora estes autores considerem este sentido de uso do termo '*fortis*' como secundário.

Fortīa, “como plural, já se empregava na língua clássica, poeticamente, com o sentido de atos de força e de coragem” (ERNOUT & MEILLET, 1951; MACHADO, 1952). A partir daí, na língua da Igreja o emprego do termo ‘*fortīa*’ no sentido de força, que passa como feminino às línguas românicas (ERNOUT & MEILLET, 1951; HOUAISS, 1952).

Aprofundando um pouco mais a pesquisa da etimologia de ‘*fortis – e*’, ERNOUT & MEILLET (1951) procuram estabelecer algumas aproximações com certas palavras em sânscrito, derivadas da raiz *dher*, que conduzem a termos como: *assegurar, fortalecer, consolidar; firme, sólido, com firmeza; segurar fortemente*, os quais têm alguma conexão com termos gregos que significam *agarrar, apoderar-se, tomar, prender*. Ainda, a aproximação mais plausível seria considerando o termo sânscrito *draṣṭe* que significa *ter, dominar, obter, dirigir*, etc., com os termos em grego como *τρέφομαι* significando *eu me coagulo*, onde também os significados no sentido de *espesso, grande, bem nutrido* podem ser associados. No entanto, ERNOUT & MEILLET (1951), concluem que não há evidências que consolidem tais relações.

Podemos perceber já a partir da etimologia do termo força, que este apresenta um sentido bastante geral e variado. Sob esse aspecto, é natural que se tenha consagrado e consolidado, ao longo dos séculos, como signo de diversas representações de realidades, relativamente ao senso comum do cotidiano dos indivíduos e das sociedades.

Convém lembrar, que o termo ‘força’ é um termo universal e, portanto, suas acepções extracientíficas nas diversas culturas, apresentam basicamente as mesmas conotações. A colaborar com esse ponto, temos a visão histórico-epistemológica de Jammer (1957), que investiga as concepções da noção de força desde a Antigüidade até os tempos modernos, da qual buscamos apresentar alguns aspectos ilustrativos para uma melhor compreensão, no item 4.3 deste trabalho.

É válido, pois, que apresentemos a seguir, algumas das utilizações extracientíficas mais comuns e freqüentes, encontradas em dicionários não só de língua portuguesa, como também de língua inglesa, italiana, francesa, alemã para mencionar alguns.

Algumas significações extracientíficas, encontradas no Dicionário Houaiss de Língua Portuguesa, para o termo força, são: - **1** qualidade do que é forte; robustez, vigor físico, energia vital <a fama de Hércules repousava em sua força>**2** violência ou coerção exercida sobre ou contra (algo ou alguém): <levei-a ao dentista à força>**3** algo desconhecido, que faz mover (algo ou alguém); impulso, incitamento<ser movido por uma f. cega>**4** poder, influência, eficácia <a f. de um testemunho><a f. de um remédio><a f. de um argumento>**5** autoridade, império, domínio, poderio<a f. da lei><a f. da igreja>**6** característica psicológica do que não se deixa abater nem dominar; vigor, firmeza<f. de espírito><f. de vontade>**7** causa inarredável<por f. das circunstâncias>**8** energia elétrica, eletricidade, luz, corrente<faltou f. hoje>**9** a parte mais numerosa de um todo<a f. do exército inimigo é a infantaria>**10** marinha: grupamento de navios ou tropa<f. de desembarque><f. anfíbia>**11** exército/aeronáutica<f.armadas><f. aérea>**12** grupos ou indivíduos poderosos que

não agem abertamente, influenciando o poder <f. *ocultas*> **13** fenômenos naturais como o vento, a chuva, o furacão, o raio, etc. <f. *natural*>. **14** dar apoio, incentivar algo <dar f. a um projeto> ajudar com palavras, ações ou dinheiro; colaborar, apoiar <deram uma f. na luta dos sem-teto>.

Tendo em vista esta maturação milenar de acepções não científicas da noção de força e o fato de que o termo começou a ter conotações de caráter científico em torno do século XV, vindo a consolidar-se como designação científica na era newtoniana, ou seja, apenas há três séculos, mostra claramente o grande desafio do ensino deste conceito em ciências.

Conforme mencionamos acima, a análise histórico-crítica do “conceito de força”, desenvolvida por Jammer (1957), corrobora estas noções não científicas e robustece a razão da prevalência das chamadas “concepções alternativas” ou “idéias prévias” sobre os conceitos científicos.

Não é, pois, sem justificativas bem fundamentadas, que esforços os mais variados, intensificados nas últimas décadas, (*vide, por exemplo, o site Ideas Previas, Universidad Nacional Autónoma de México*), tem sido despendidos por inúmeros autores ligados ao tema do Ensino de Ciências, pesquisando, analisando, avaliando e propondo métodos no sentido de buscar soluções para a melhoria no processo de ensino de conceitos em ciências, em especial do conceito de força na Física, objetivando que o estudante evolua para as concepções do ponto de vista da ciência.

4.2 DEFINIÇÕES DE FORÇA

No item anterior, ao tratarmos da etimologia do termo força, apresentamos alguns dos seus usos mais freqüentes, relativamente ao senso comum, e que fazem parte da literatura em geral.

Neste item, apresentamos algumas definições de força, voltadas à linguagem científica, encontradas na bibliografia da área de Ensino do Nível Médio, na Graduação ou, em bibliografia suporte como enciclopédias ou dicionários comuns. O objetivo é dar uma idéia de como o conceito de força é visto e introduzido na área didático-científica, em especial na Física.

Ressaltamos aqui, que procuramos evidenciar da bibliografia examinada, conceitos de força e algumas das definições mais significativas da teoria básica, com o propósito apenas de explicitar as formas de introdução e apresentação da noção de força sob o aspecto didático-científico, visando o específico objetivo deste trabalho.

No Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa (1998), (*Encyclopaedia Britannica* do Brasil) selecionamos as seguintes definições para o termo força, sob o ponto de vista da Física em geral:

- **1** Força: *Qualquer causa capaz de produzir ou acelerar movimentos, oferecer resistência aos deslocamentos ou determinar deformações dos corpos.* - **2**

Mec.: *Potência, agente, ação, causa que gera movimentos.* - **3** Força centrífuga: *a que impele os corpos a se afastarem do centro, quando são dotados de movimento giratório.* - **4** Força centrípeta: *a que impele os corpos para se aproximarem do centro em torno do qual se movem.* - **5** Força de Inércia: *força oposta em sentido a uma força acelerante que age sobre um corpo, e igual ao produto da força acelerante pela massa do corpo.* - **6** Força eletromotriz: *força que faz movimentar a eletricidade em forma de corrente elétrica e que tem por unidade o volt.* - **7** Força elétrica: *a que é produzida pela eletricidade.* - **8** Força motora ou motriz: a) *a que produz movimento;* b) *a que é gerada por um motor;* c) *a que aciona uma máquina.* - **9** Força resistente ou passiva: *a que se opõe ao movimento.*

Vale observar que nas noções de força acima, embora buscando o caráter de ordem científica, ainda persiste um traço de concepções extracientíficas, seja o caso da definição **2** ou da definição **6**, onde a força é confundida com outras grandezas físicas completamente distintas, tais como a potência, a ação e a f.e.m. até com unidades distintas: Joule, Joule-s e Volt, respectivamente.

Na Nova Enciclopédia Barsa, Vol. 6, (1998), temos a seguinte definição de força: *“Força, em física é todo agente capaz de alterar o estado de movimento ou repouso de um corpo, imprimindo-lhe uma aceleração a favor ou contrária ao movimento”*.

Também encontramos nesta publicação a definição de *tipos de força* como segue: *“Todos os efeitos dinâmicos observados na natureza podem ser explicados*

mediante quatro tipos de interações físicas: *gravitacionais*, *eletromagnéticas*, *fracas e fortes*".

- "As interações de origem *gravitacional* produzem forças de atração entre partículas materiais, amplamente descritas pelas teorias causal e da relatividade, respectivamente de Newton e Einstein".
- "As forças de atração e repulsão *eletromagnéticas* determinadas pelas equações de Maxwell, a *eletrostática*, própria de cargas elétricas em repouso, e a *magnética*, que afeta as cargas em movimento".
- "A interação *fraca* se verifica em grande número de transformações radioativas que têm lugar no núcleo do átomo".
- "Finalmente a interação *forte* é exclusiva dos núcleos atômicos e responsável pela coesão entre as diferentes partículas que os compõem".

No livro Curso de Física 1, literatura didática do ensino médio, (ÁLVARES & LUZ, 1987), apresentam a noção de força conjuntamente com o ensino das leis Newton, como: "Quando exercemos um esforço muscular para puxar ou empurrar um objeto, estamos lhe comunicando uma *força*; uma locomotiva exerce *força* para arrastar os vagões; um jato d'água exerce *força* para acionar uma turbina, etc. Assim, todos nós temos, intuitivamente, a idéia do que seja *força*".

Acrescentam ainda, "... 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...".

Outra idéia de força apresentada é a de força de atração da Terra sobre os corpos situados próximos a sua superfície. Esta força é denominada peso do corpo sendo definida como: “*peso de um corpo é a força com que a Terra atrai este corpo*”.

É introduzida ainda a noção de forças de *ação à distância*, como a força de atração da terra sobre um objeto e as forças elétricas e magnéticas que não necessitam de contato entre os corpos. As forças exercidas pelo esforço muscular, pela locomotiva ou pelo jato d’água, seriam *forças de contato*, “... *as quais só podem atuar se existir um contato entre os corpos*” (ÁLVARES & LUZ, 1987).

A noção de *força de atrito* é introduzida da forma clássica, considerando um bloco apoiado sobre uma superfície horizontal. De acordo com o texto temos:

Suponhamos, agora, que uma pessoa puxe ou empurre o bloco com uma força \mathbf{F} e que o bloco continue em repouso. Então, a resultante das forças que atuam no bloco é, ainda, nula. Deve, portanto, existir uma força atuando no bloco, que equilibre a força \mathbf{F} . Este equilíbrio é devido a uma força, exercida pela superfície sobre o bloco, denominada força de atrito \mathbf{f} (ÁLVARES & LUZ, 1987).

Definições da força de atrito como *força de atrito estático*, *força de atrito estático máxima* e *força de atrito cinético*, também são introduzidas, nos moldes da definição geral acima *de força de atrito*.

Na bibliografia da graduação, no volume FÍSICA 1 (SEARS; ZEMANSKY & YOUNG, 1994), ao tratar da noção de vetor para indicar que algumas grandezas

físicas para serem descritas, necessitam também definir uma direção de deslocamento ou de ação, o termo força é introduzido com a seguinte descrição: “quando se empurra ou se puxa um corpo, diz-se que se exerce uma força sobre ele”.

Adiante, como procedimento preparatório para introduzir as Leis de Newton, o termo força é novamente descrito como:

Força é um conceito central em tudo na Física. Quando se empurra ou se puxa um corpo, exerce-se uma *força* sobre ele. As forças também podem ser exercidas por objetos inanimados: uma mola esticada exerce forças sobre os corpos que estiverem presos às suas extremidades; o ar comprimido exerce-a sobre as paredes do vaso que o contém; uma locomotiva, sobre o trem que ela puxa. A força cuja presença mais se nota na vida diária é a da ação da gravidade, exercida pela Terra em todos os corpos e chamada *peso* do corpo (SEARS; ZEMANSKY & YOUNG, 1994).

É explicitado ainda que forças gravitacionais (e também forças elétricas e magnéticas) podem atuar através do espaço vazio, sem contato. Neste caso, temos o que se chama de *forças de ação à distância*. Se a força exercida sobre um corpo resultar de contato direto com um outro objeto, ela é chamada *força de contato*.

Uma colocação interessante é feita com relação à Primeira Lei de Newton, no sentido de que esta “contém uma definição qualitativa do conceito de força, ou, pelo menos, de um aspecto do conceito de força, como *aquele que muda o estado de movimento de um corpo*” (SEARS; ZEMANSKY & YOUNG, 1994). Uma ressalva é feita quanto ao fato de que uma força pode produzir outros tipos de efeitos, como mudar o comprimento de uma mola.

Esta *definição qualitativa* do conceito de força nos remete à definição anteriormente vista, e bastante geral, onde força é designada “*como todo o agente capaz de alterar o estado de movimento ou de repouso de um corpo*”.

No livro de Fundamentos de Física – Mecânica, Volume 1 (HALLIDAY; RESNICK & WALKER, 1996), a menção inicial da noção de força é feita da seguinte forma: “... (1) Introduzir o conceito de força (empurrar ou puxar), em termos da aceleração fornecida a um corpo-padrão selecionado”.

Após um estudo sobre a primeira lei de Newton, a seguinte consideração sobre força é feita:

“Agora, vamos definir força com mais precisão em termos da aceleração fornecida a um corpo-padrão de referência. [...] A esse corpo foi atribuído, exatamente e por definição, a massa de 1 kg”.

“Vamos colocar esse corpo sobre uma mesa horizontal, sem atrito, e puxá-lo para a direita de maneira que, por tentativa, ele adquira uma aceleração de 1m/s^2 . Por definição, dizemos, então, que estamos exercendo sobre o corpo uma força de Newton (abreviado por N)”.

TIPLER (1984), na introdução do capítulo dedicado ao estudo das leis de Newton, expõe um aspecto interessante com relação ao tratamento dado à noção de força e massa: “Todos nós temos idéias intuitivas sobre os conceitos de força e massa”. Pensamos numa força como um puxão, ou empurrão, tais como que efetuamos com os nossos músculos. Visualizamos um corpo maciço como um corpo grande ou pesado. “Estas noções intuitivas são apropriadas para o uso cotidiano,

mas não para a aplicação das leis de Newton aos problemas da física...” (TIPLER, 1984).

Releva a necessidade de uma definição cuidadosa destes conceitos, para a compreensão e aplicação correta das leis de Newton. E, para tal, indica a necessidade de “... proceder, então, esquematizando métodos para a respectiva medida, elaborando o que se denomina *definição operacional*” (TIPLER, 1984).

Consideremos por um momento, a pesquisa e análise desenvolvida por DOMÉNECH; CASASUS & DOMÉNECH (1993), sobre “O Conceito Clássico de Massa: dificuldades teóricas e definições dos estudantes”. Um dos critérios de análise do conceito de massa adotado é o da visão semântica geral, cujos níveis de representação são classificados com base no esquema de GORODETSKY et. al. (1986), que apresenta cinco classificações quais sejam: *ontológica, funcional, translacional, relacional e operacional*.

Se aplicarmos esta classificação às noções teóricas de força selecionadas da bibliografia que examinamos, observamos uma tendência para uma classificação destas noções como sendo do tipo *relacional* ou *operacional*.

De acordo com GORODETSKY et. al. (1986), uma definição *relacional* consiste de uma bem definida relação entre quantidades dentro da estrutura de conceitos e leis. Assim, força pode ser definida com o produto da massa pela aceleração de um considerado corpo, por exemplo.

Já a definição *operacional* é formulada em termos de operações explícitas e concebíveis. Um exemplo seria a definição de força a partir de dinamômetros.

O que podemos concluir é que os estudantes, de um modo geral, não são introduzidos a uma noção conceitual do que significa força. As informações a respeito da noção de força partem, aparentemente, de uma definição *relacional* ou *operacional*.

Esta forma de ensino do conceito de força tende a gerar uma espécie de “espaço vazio” entre duas noções de um mesmo conceito: aquelas noções do cotidiano, concernentes ao senso comum sobre a noção de força que, conforme AUSUBEL (1980) é “aquilo que o aprendiz já conhece”, e lhe é significativo (subsunçores), e as conceptualizações científicas do conceito de força, de alto teor técnico, recebidas em sala de aula.

Lembrando Bachelard (1940): “*Assim a filosofia das ciências fica muitas vezes cantonada nas duas extremidades do saber: no estudo, feito pelos filósofos, dos princípios muito gerais, e no estudo, realizado pelos cientistas, dos resultados particulares*”, também o aluno fica, de certa forma, cantonado entre duas extremidades do saber: a do senso comum relativas à noção de força e a outra, a das noções científicas de força.

Diante disso, é desejável que o professor, tomando como ponto de partida as noções do senso comum de força, conduza seus alunos a uma evolução gradual

para a noção científica de força, no contexto de cada etapa de ensino, preenchendo este espaço vazio com categorias do conceito de força, cada vez mais abrangentes.

É nosso entendimento, que o perfil conceitual pode constituir-se num instrumento facilitador ao professor interessado na evolução de seus alunos para a visão científica de conceitos, em particular o de força, ao longo de seu aprendizado em ciências.

A estrutura do perfil conceitual permite também ao professor, como que uma escala evolutiva individual dos seus alunos, uma espécie de espectro discreto e contínuo das visões pessoais destes em relação à noção de força, evidenciando eventuais obstáculos epistemológicos e ontológicos, propiciando que ações mais eficazes no ensino das noções de força, na visão da ciência, sejam adotadas.

No item que se segue, uma sumarizada visão da evolução histórico-epistemológica do conceito de força, desenvolvida por Jammer (1957), nos conduz a uma melhor compreensão não apenas da formação, mas também da utilização deste conceito pela própria ciência.

4.3 A VISÃO HISTÓRICO-EPISTEMOLÓGICA DE FORÇA SEGUNDO JAMMER

Sendo o conceito de força na física, sua evolução histórica e epistemológica e a construção de seu perfil conceitual, o foco deste trabalho, é essencial que

dediquemos um espaço para descrever sua trajetória ao longo da história do homem e da ciência, uma visão de seu desenvolvimento e participação nesta longa jornada até os dias atuais.

Portanto, apresentamos neste item, alguns dos aspectos mais marcantes do desenvolvimento da *noção de força* desde a Antigüidade até a Contemporaneidade, com base na obra de Jammer (1957), "*Concepts of Force*", seguindo a ordem cronológica estabelecida pelo autor, com um breve resumo das principais noções de força, identificadas em cada período abrangido. Jammer desenvolve sua análise histórico-crítica do conceito de força, a partir da Antigüidade, até a Contemporaneidade. Alguns comentários ou passagens selecionadas do texto são introduzidos, visando um melhor entendimento destas noções.

Deixamos bem claro que, dada a extensão e complexidade da obra de Jammer, não é nossa intenção aqui, analisar ou sintetizar seu conteúdo. O que procuramos neste item de nosso trabalho é mostrar de forma sucinta, da grande maioria dos capítulos, algumas passagens que entendemos como básicas, ilustrando parcialmente o trabalho do autor sobre as noções de força, nos vários estágios de desenvolvimento deste conceito.

É importante notar que o conceito de força é um conceito de vanguarda no esquema conceitual científico e, contudo, pouca ou até mesmo nenhuma ênfase lhe é dedicada, no sentido de conduzir uma investigação sobre suas origens e evolução através dos tempos. Para Jammer (1957), "*... o conceito de força parece nunca antes ter sido objeto de uma compreensiva análise histórica e investigação crítica*".

Jammer (1957), no prefácio à primeira edição, escreve:

... como o pensamento antigo, com suas interpretações animística e espiritual da realidade física, estabeleceu os fundamentos para o desenvolvimento do conceito de força e como, na ciência pré-clássica, o conceito de força tornou-se investido de uma multidão de conotações extracientíficas que grandemente influenciaram a interpretação do conceito até tempos muito recentes.

4.3.1 Antiguidade

Iniciamos, pois, com a Concepção de Força no Pensamento Antigo, que chamaremos de Antiguidade.

Jammer inicia a análise histórico-crítica do conceito de força, declarando que a ciência como um todo, é inquestionavelmente um gradual e contínuo crescimento da experiência comum de cada dia. Como decorrência, seria natural supor que conceitos científicos tenham também suas origens e fundamentos últimos nas concepções da experiência diária. Tal assertiva não contradiz a colocação de que os conceitos científicos são livres criações do intelecto humano desde que: “Em primeiro lugar, os conceitos do pensamento comum, pré-científico, são eles mesmos o resultado das decomposições arbitrárias do coerente e contínuo substrato da experiência sensorial. Em segundo lugar, a ciência como uma atividade técnica, nunca tenta intencionalmente, separar a si própria, das concepções formadas pela experiência do cotidiano” (JAMMER, 1957).

Ao contrário, concepções científicas, embora freqüentemente resultado da intuição espontânea, tendem a ser moldadas, tanto quanto possível, em analogia com as concepções da experiência diária.

Para Jammer, a idéia de força no estágio pré-científico, foi formada mais provavelmente pela consciência (percepção) de nosso esforço, despendido em ações voluntárias, como na experiência imediata de mover nossos membros ou pela consciência (percepção) do sentimento de uma resistência a ser vencida para erguer um objeto pesado do chão e transportá-lo a um outro lugar. Claramente “força”, “intensidade”, “esforço”, “potência”, e “trabalho”, eram sinônimos, como ainda o são hoje, na linguagem do cotidiano.

Nossa experiência pessoal com o ambiente externo, característica do estágio animístico no processo de crescimento intelectual do ser humano, levou a uma vasta generalização do conceito de força: árvores, rios, nuvens e pedras, eram dotados de força e vistos como elementos concentradores de poder.

Neste estágio é possível identificar-se, grosso modo, a noção de força como: originada da percepção de nosso esforço físico muscular; indistinta de energia, esforço, trabalho, potência, poder e movimento; antropomórfica; animista; origem Divina; reguladora do universo.

4.3.2 Ciência Grega

Na Ciência Grega, a noção de força passa por um processo de análise filosófica mais profunda. Cabe mencionar as idéias de cosmologistas como Tales, Anaximandro ou Anaxágoras, que concebiam a natureza como a substância primária, como um ser vivo, provida de movimento próprio e dando origem (nascimento) às coisas individuais.

Saliente-se aqui que esta forma de abordagem isentava a justificação do movimento e sua origem, problema de difícil explicação sob o ponto de vista filosófico da época.

Assim posto, considerando a substância do mundo como orgânica e imortal, não tinham dificuldade sobre a causa do movimento e não levantaram o problema de sua possível origem. Somente mais tarde, quando o elemento primário (a natureza) foi reduzido ao nível corpóreo, matéria inanimada, o problema de ser um agente externo a causa do movimento pôde ser levantado. De fato, a concepção da causação dinâmica teve sua origem na reação ao pensamento eleático. Na visão de Parmênides (de Eléia), o que é, é um finito, fixo, indivisível e contínuo *pleno*.

Para tratar deste problema, a crença em uma unicidade da existência deveria ser abandonada e, ao mesmo tempo, uma mudança nos seus elementos constituintes e o movimento de suas partes deveriam ser então considerados. O movimento, até agora tido como uma garantida característica corpórea e inerente na natureza, torna-se, a partir de então, um objeto de análise filosófica. Enquanto

Parmênides negava a possibilidade do movimento, seus oponentes tinham que explicar sua origem, o que constituía um grande desafio filosófico.

De acordo com Jammer, uma das primeiras concepções dinâmicas da natureza, isto é, relacionadas à análise e explicação do movimento, é a doutrina de Heráclito, *das tensões em oposição*, na qual todas as coisas, embora bastante estáveis na aparência, são como que campos de batalha de forças antagônicas. O conceito de força aqui, ainda está confinado a este inerente antagonismo e conflito balanceado dos opostos no objeto individual.

A idéia de força como agente regulador na natureza aparece, talvez pela primeira vez no pensamento grego, com a doutrina de Empédocles, do amor e da luta, e com Anaxágoras, na sua teoria da mente. “O que eles sentiam, na realidade, era obviamente o que posteriormente seria a concepção física de força, mas, é igualmente claro, que eles eram ainda incapazes de desmembrar completamente esta noção de uma vinculação corpórea”. (Burnet, 1950, apud Jammer). Tais agentes, continua Jammer, como causas do movimento podem, justificadamente, ser interpretados como “forças”, embora não sejam tomados como imateriais, mas como estendidos no espaço e corpóreos. Embora a doutrina de Anaxágoras se aproxime bastante do reconhecimento da imaterialidade da mente e possa daí em diante ser considerada como o começo do rompimento da longa relação entre mente e matéria, sua concepção de força como “mente” mostra ainda as características de uma substância corpórea. Força é ainda alguma espécie de substância fluida embora diferente de todas as outras coisas materiais.

Em Platão, a noção de força está intimamente relacionada à sua doutrina metafísica do ser. Para ele, a realidade física é dotada com o movimento porque a natureza tem uma alma viva e imortal. Em consequência de seus ensinamentos metafísicos, vê-se frente ao problema de explicar a origem do movimento. A real e particular diferenciação de um ser é realizada através da atividade de forças, emanando da alma do mundo. Jammer coloca que esta idéia, através das interpretações neoplatônicas, teria grande influência no conceito de força. Em Platão encontramos ainda o axioma da atração dos semelhantes, onde o que é terra é atraído para terra, água em direção à água, e fogo em direção ao fogo.

Jammer salienta que o conceito de força ou de poder de Platão permanece completamente dentro dos limites de sua doutrina metafísica e encontra pouca relação com problemas de situações físicas reais. Observa ainda, que o termo usado por Platão para expressar sua idéia de força é a palavra "*dynamis*".

Aristóteles adota o termo *dynamis* como um termo técnico para qualquer espécie de empurrão ou puxão. Este termo normalmente é usado para indicar tração na dinâmica de Aristóteles.

Segundo Jammer, Aristóteles reconhece dois tipos de força: a concepção platônica de força inerente à matéria, a qual ele chama de "natureza" (*physis*), e força como uma emanção da substância, a força do empurrar e puxar, causando o movimento em um segundo objeto, e não em si próprio. Este segundo tipo de força, na visão de Aristóteles, não pode ser inteiramente separado da substância na qual é originada. Desta inseparabilidade segue que o motor, como sujeito de força, deve

estar em constante contato com o móvel, o objeto sobre o qual a força é exercida. Aristóteles concentra sua mecânica somente na concepção de força como agente envolvido na ação de empurrar ou puxar. É esta noção de força, como um agente compulsório do movimento, que Aristóteles submete à investigação quantitativa e que forma o cerne de sua mecânica. Jammer salienta que é também este conceito de força que, mais proximamente, corresponde à experiência do cotidiano dos gregos, naqueles tempos.

Com relação ao peso, para Aristóteles isto era a manifestação do movimento natural e não a causa de obrigatoriedade; em outras palavras, não era uma força de empurrar ou puxar e, conseqüentemente, não poderia ser empregado como um padrão para medidas de forças.

Jammer, em nota sobre o livro sétimo de Física de Aristóteles, observa que o atrito não é ainda concebido como uma espécie de força, embora ele inclua um agente externo que “trás um corpo ao repouso contra sua própria tendência interna, sob a categoria de forças”. Outro aspecto interessante colocado por Jammer é que força, como uma ação à distância, não tem lugar no esquema conceitual de Aristóteles.

O próprio Arquimedes pouco contribui no desenvolvimento do conceito de força, de acordo com Jammer. Seu tratamento da mecânica é puramente geométrico, implicando em noções de distância e peso.

A partir dos estóicos, com a busca de uma explicação da conexão entre as marés e o movimento do sol e da lua, é que a história do conceito de força mostra um novo aspecto.

Posidônio explica o fenômeno das marés como uma manifestação de forças difundindo-se por todo o espaço, mas forças completamente em desacordo com a concepção aristotélica, que tinha uma localização no objeto portador da força. Com Posidônio, força torna-se uma mútua correspondência de ação, “simpatia” no sentido original da palavra. A concepção estóica de força, na qual o agente e o paciente são inseparáveis na formação da atividade conectiva, está intimamente relacionada à sua doutrina da unidade do cosmos. A antiga idéia grega de “simpatia” na medicina é transferida pelos estóicos ao cosmos como um todo.

Jammer comenta que a concepção de Posidônio de força como uma “simpatia” chegou muito perto da noção de ação a distância, como concebida pela física clássica dos séculos dezessete e dezoito.

A concepção de força como simpatia tem um importante papel na literatura científica, filosófica e mítica do período romano.

Mágica e astrologia, por exemplo, parecem encontrar justificativa racional na concepção de força de Plotino. Este explica que mágica é possível através de simpatia dos semelhantes e do contraste com o oposto.

Ironicamente, foi a Demócrito que a ampla literatura sobre magia simpática foi atribuída neste período – os chamados escritos Pseudodemocricianos, os quais serviram de meios para a expansão da superstição no final da era romana e nos primórdios da idade Média.

A '*História natural*' de Plínio é baseada extensivamente nesta literatura de "*mirabilia*". O uso sem critério por Plínio, do termo *vis*, correspondente do grego *dynamis*, para a designação de forças físicas, químicas, médicas e ocultas, é em parte responsável pelo obscurantismo de seus escritos, que aparecem como uma peculiar mistura de ciência natural e superstição. Poderes ocultos eram indiscriminadamente considerados forças físicas e força física era considerada como mágica em sua essência.

O conceito de "simpatia" era também empregado de forma que desse à astrologia um suporte lógico. Assim, Sexto Empírico, Proclo e Plotino, tratam questões cósmicas e astrológicas baseadas em simpatia.

Destaca Jammer, também, a necessidade de se abordar, pela sua importância para a subsequente história do conceito de força, a escola de pensamento Judaica da Alexandria e sua explicação espiritual e religiosa do conceito de força, de acordo com Filo, seu mais importante expoente. Sua visão é naturalmente alimentada pelo seu ponto de vista profundamente religioso, mas também, em parte, derivada de seu anti-estoicismo. Analisando trechos bíblicos, Filo diz: Ele (Deus) fez Suas forças estenderem-se através da terra e água, ar e céus, e não deixou nenhuma parte do universo desprovida, e unindo tudo com tudo, ligou-os

rápido com correntes invisíveis. Postula assim, a existência de correntes de força invisíveis por todo o universo. Para ele força existe em três formas: como eterna propriedade de Deus, idêntica a sua essência; como seres incorpóreos criados por Deus antes da criação do mundo e como totalmente imanente no mundo. Assim, anjos, em sua visão, são como uma forma especial de tais forças imanentes no mundo.

A noção de “mente” (*nous*), introduzida pelos gregos, combinada à concepção platônica de “idéia” e à noção neo-platônica de “logos”, foi atribuída a uma substância espiritual, residindo além da mais alta esfera do universo, separada de seu pólo oposto, a terra, por esferas concêntricas de uma materialidade sempre crescente. Isto posto, forças e seres de natureza dual, meio corpórea e meio espiritual, são pressupostos como intermediários entre estes dois extremos, Deus e a terra. O judaísmo alexandrino e os primeiros cristãos transformam esta representação dinâmico-geométrica numa interpretação ética. Desse modo, a força (*dynamis*) divina e infinita torna-se o mais alto e fundamental princípio, tanto em grau como no tempo, para o sistema conceitual de Simão, o Mágico, ou o Mago, responsável pela introdução de forças (*dynameis*) nos ensinamentos das escolas gnósticas, noção esta que é uma generalização da noção de *dynamis*, referida em certos versículos dos evangelhos de Lucas e Marcos. Outros filósofos religiosos ao longo da idade média interpretam e explicam força em base a esta relação divina, de poder divino, de inteligências e/ou entidades divinas.

Jammer menciona ainda que desde os primórdios da literatura de Enoque, que caracteristicamente colocou o arcanjo Gabriel acima de todos os poderes e que

descreve as revoluções das estrelas “de acordo com o número de anjos”, através da concepção de João Damasceno, de uma inteligência presidindo a ordem celestial, passando por São Tomás de Aquino e sua Suma Teológica e mesmo até os escritos astrológicos de Kepler, o movimento celestial era concebido como uma incontestável manifestação de entidades divinas.

No período concernente à ciência grega, prolífico no tratamento da visão de força, sem pretender uma abrangência plena, destacamos algumas de suas noções: força de caráter substancialista, dual (opostos em conflito), reguladora da natureza, de origem divina, inerente á matéria, atuando por contato, força como simpatia.

4.3.3 Mecânica Pré-clássica

Na ciência pré-clássica o conceito de força viu-se investido de uma multidão de conotações extracientíficas que, de modo incisivo, influenciaram a interpretação do conceito até recentes tempos. De forma sucinta, apresentaremos alguns dos principais autores e suas idéias neste período.

Vale ressaltar o papel de Jean Buridan que, de acordo com Duhem (apud JAMMER, 1957), demarca o início da ciência moderna quando concebe sua teoria do momento, abandonando a idéia de que as estrelas são mantidas em movimento por certas divinas inteligências, proclamando que movimentos celestiais e terrestres estão sujeitos as mesmas leis mecânicas.

De acordo com Jammer, enquanto Buridan se opunha à concepção neoplatônica de força como um ser divino, Newton seria aquele que daria o golpe de misericórdia na doutrina de forças astrológicas. Ressalta ainda, que a importância das especulações astrológicas, em particular, para a história do conceito força, pode ser entendida do seguinte trecho de George Sarton:

Bacon por exemplo, "... ponderava sobre a natureza da força, especialmente sobre força ou ação à distância. Curiosamente, estes pensamentos, sérios como eram, eram parcialmente astrológicos. Pois entre as forças ou ações consideradas por ele, estavam a luz e a gravidade, apenas também influências astrológicas, cuja realidade estava além de dúvida". (Sarton, 1931, apud, Jammer).

Jammer esclarece que, no contexto de sua obra, usa o termo "astrologia" para indicar uma suposição geral de que o mundo inteiro da natureza é governado e determinado pelo movimento dos corpos celestes.

A astrologia é introduzida no mundo Islâmico no século VIII, pelo califa Al-Mansur. Nesse período surgem diversos astrólogos árabes. Jammer observa que a dinâmica aristoteliana e seu conceito de força, eram as noções geralmente aceitas na ciência islâmica. Al Kindi combinou conceitos aristotelianos com noções neoplatônicas e com isso, contribuiu com algumas novas e originais idéias para o conceito de força. "*Quwa*", força em árabe, é para ele ambos: a potência de tornar-se calor, a susceptibilidade latente no corpo, e também a "força" com a qual dois corpos são atritados até surgir fogo. No entanto, talvez sob a influência de suas investigação no campo da ótica, ele concebia força como uma entidade propagada por raios. Para ele, não apenas a luz, talvez o calor fosse propagado por raios, mas também qualquer outro tipo de força.

Bacon é influenciado pelas especulações astrológicas da época, na sua concepção de forças. Em parte de sua obra, dedicada a esclarecer a propagação das forças de recíprocas ações e reações, Bacon usa o termo “species”, um conceito bastante discutido na literatura sobre Bacon. Jammer observa que é uma noção muito obscura e o próprio Bacon, aparentemente, era incapaz de dar uma exata definição do termo; nem seus sucessores, embora muitos tenham o usado. É mencionado aqui, tendo em vista sua importância para Bacon, na sua concepção de forças. Adiante, a idéia de transmissão de força, é tida como uma espécie de reação em cadeia que sucessivamente energiza partes consecutivas do meio ou o paciente. “Species”, contudo, é concebida por Bacon como algo corpóreo, sua natureza corpórea sendo idêntica à natureza corpórea do meio.

No século XIII, diversos escritores se envolvem com o problema dos corpos pesados. Entre eles S. Boaventura, cujas idéias contradizem as tradicionais concepções dos Peripatéticos. S. Boaventura, em seu “Livro de sentenças” inclui entre as causas do movimento de um corpo pesado, a força de repulsão exercida sobre ele pelas esferas celestiais.

William de Occam descarta o conceito de “species” e entra explicitamente com o conceito de ação à distância. Rejeita também o princípio de Aristóteles, do contato imediato entre motor e móvel. Segundo ele, uma “*simultas virtualis*”, era bastante suficiente para manter a continuidade do movimento do móvel separado do seu motor.

Para os escolásticos, esta noção não era bem aceita certamente. Seu pensamento, como um todo, não podia se desfazer suficientemente das idéias dos peripatéticos, para aceitar esta revolucionária concepção de força. No entanto, cabe salientar que a gradual elaboração da teoria da gravidade levou os escolásticos eventualmente a dispensar a doutrina aristoteliana de que cada movimento de objetos inanimados requer um motor distinto e diferente do móvel. Resistência era concebida pelos escolásticos, explicitamente como força (*vis resistiva*).

Nesse período, várias novas teorias sobre força foram avançadas. Na maioria delas, uma nova concepção de força era empregada, com o movimento dos corpos sendo explicado por um princípio intrínseco, por uma força suposta situada no próprio móvel. Em analogia a concepção de *impetus*, onde a força motora era concebida como inerente ao “*projectum*” (projétil, móvel), a gravidade foi reduzida a uma força intrínseca ao corpo (*gravis*), uma força que não necessita qualquer substrato para sua ação.

Esta concepção de força como inerente no objeto, é também empregada por Duns Scotus, João de Jandun e outros. Este conceito também se ajusta com a tradicional doutrina expressa por Averroes e reformulada por Alberto o Grande, que diz o seguinte: o peso de um corpo (*gravis*) não varia com sua distância do centro da terra, tanto quanto ele esteja dentro dos limites de uma e mesma esfera dos elementos (doutrina rejeitada por Tomás de Aquino).

Paralelamente a essa noção de força, no século XIV, surge uma nova tendência de idéias que levou a uma antecipação prévia, da noção de campo de

forças. Buridan, um dos principais proponentes da teoria do *impetus*, é quem formula estas idéias claramente. Fala em “*virtus caelestis*”, que permeiam todo o espaço e assim exercem sua influência sobre os corpos, mais ou menos como um campo de forças estacionário. Esta teoria não é compatível com as concepções aristotélicas de causalidade e menos consoante com o pensamento peripatético das inteligências motrizes.

Jammer salienta que embora a teoria do *impetus*, originada talvez com Filopon e sustentada por diversos escritores muçulmanos, tendo uma longa história mesmo antes de Buridan, foi este o primeiro a aplicar sua teoria sistematicamente ao movimento circular das estrelas. O conceito de *impetus circular* de Buridan, como causa inerente dos movimentos celestes, foi interpretado com a renovação de idéias platônicas no século XV, em um modo mais espiritualista. Nicolau de Cusa, cardeal e bispo de Brixen, é uma excelente ilustração deste fato, ao responder a seguinte pergunta em seu escrito *Diálogo sobre a esfera*: “Mas como Deus criou o movimento da mais externa esfera?”.

Sua resposta resumidamente é: Como você dá movimento ao globo que tem na mão. Não é você, nem seu espírito. Assim como não é Deus ou seu Espírito que move a esfera externa. Contudo é você que inicia o movimento, desde que o impulso de sua mão, seguindo sua vontade, produziu um *impetus* e tanto quanto este dure, o globo continuará seu movimento.

No século XVI, o conceito de força geralmente, aparte o conceito de força empregado na estática, era uma razoável combinação do princípio da atração dos

semelhantes, a teoria neoplatônica da simpatia cósmica e a aceitação da visão dos peripatéticos, de inteligências superiores como potências motoras atrás das estrelas. Copérnico fala de uma intrínseca “*apetência*” do móvel, quando em seu livro I, cap. 9, “*De revolutionibus orbium caelestium*” (Sobre as revoluções dos orbes celestes) diz que: gravidade é nada mais que certa natural apetência dada a partes da terra pela divina providência do Arquiteto do universo de modo que elas possam ser restauradas a sua unidade e sua integridade, reunindo-se na forma de uma esfera. Tal visão é estendida também a outros corpos celestes como o sol, a lua, etc. Segundo Jammer, a interpretação de Copérnico, da gravidade como uma tendência ou “*apetência*” das partes se unirem ao todo ao qual elas pertencem, em 1543, ano de seu falecimento e de publicação da obra acima citada era, em última análise, a teoria da simpatia. Esta concepção de força é compatível com a noção de força como emanção da alma do mundo. Salienta Jammer que ambas as concepções se originam da antiga tradição platônica, revivida na escola de Chartres e transmitida através de Cusano, Ficino e outros pensadores anteriores a Copérnico.

Bernardino Telésio, filósofo italiano, sistematicamente introduziu forças como *principia agentia* e procurou uma correlação destas forças, (e este é o ponto importante ressalta Jammer), com a imediata experiência. Em sua obra de 1565, *De rerum natura juxta propria principia*, ele reduz todas as forças ativas a força de expansão pelo calor e a força de contração pelo frio. Todas as mudanças e variações na natureza são, em sua visão, apenas participações da matéria corpórea (*corporea moles*) nestas duas forças, calor de frio, em graus diferentes. Como explicado nas primeiras quatro partes do trabalho, calor e frio são as forças primordiais, antes da criação do céu e da terra. Jammer comenta que foi,

certamente, a inacessibilidade ao tratamento matemático das forças de calor e frio de Telésio, o que levou a sua imediata rejeição como concepções básicas na ciência.

Jammer conclui esta visão pré-clássica do conceito de força, observando que os conceitos de “atração da partes pelo todo” e da “tendência em direção à reunião”, são noções quase equivalentes nos escritos de todos os autores do século XVI.

As diversas culturas envolvidas no processo de desenvolvimento da ciência neste largo período, filosofias e fundamentações diversas, produziram também diferentes conotações para a noção de força.

Assim, apresentamos um breve resumo com as principais noções de força neste período: força como ‘simpatia’ (atração dos semelhantes); atração das partes pelo todo; corpórea, inerente ao objeto, de natureza ou origem divina, agindo à distância; resistência ao movimento do objeto como força (*vis resistiva*).

4.3.4 Kepler e a conceituação científica de força

Seguindo-se a esse período pré-clássico, um capítulo específico é dedicado ao trabalho de Kepler, pela sua contribuição para a conceituação científica de força. Em seu esforço para obter uma formulação matemática e uma acurada determinação para “força”, Kepler determina um estágio decisivo para o conceito de força. De acordo com Jammer (1957), “o desenvolvimento intelectual de Kepler era um processo de extremas vacilações”. Cita, entretanto Macaulay, que falando sobre

a inconsistência de expressão de Kepler: “reflete apenas a extrema sinceridade intelectual de profundo pensador que, sem intenção e para sua própria surpresa, lançou as fundações de uma nova abordagem e um novo esquema conceitual, radicalmente diferente do edifício escolástico de pensamento” (JAMMER, 1957).

Em seu “*Mysterium comographicum*”, Kepler ainda mantém a tradicional concepção de força como uma alma animando os corpos celestes e dirigindo seus próprios movimentos. Contudo, Jammer comenta que já neste trabalho inicial, um traço de antecipação de alguma espécie de força, emanando de um corpo central, parece estar por trás de seu pensamento, quando ele diz: “A lua segue, ou melhor, é arrastada pela terra onde e como esta se mova”. Parece também, que em certas passagens de seu trabalho, Kepler emprega o termo “alma” (*anima*), meramente como uma metáfora, para expressar a imaterialidade do princípio que governa o movimento mútuo dos corpos celestes. Não possui ainda um termo especial para designar esta noção.

Escrevendo a Herwart de Hohenburg, Kepler concebe a natureza universal das forças gravitacionais e chama gravidade uma “*passividade*” mais do que uma atividade, abordando, desta forma, uma concepção mais funcional do que psíquica. Gravidade não é uma ação, mas a passividade com que uma pedra é atraída pela terra.

Em outubro de 1605, escrevendo a David Fabricius, a idéia de reciprocidade de atração e aproximação mútua está claramente expressa, quando Kepler coloca que não somente a pedra se aproxima da terra, mas também a terra se aproxima da

pedra. Em carta a John Brengger, datada de novembro de 1605, Kepler deixa claro que forças de atração pertencem a aspectos materiais da realidade e conseqüentemente, são sujeitas ao formalismo matemático.

Escrevendo a David Fabricius, em novembro de 1608, Kepler claramente imagina as forças de atração exercidas pela terra sobre uma pedra como linhas magnéticas, ou correntes. Adiante, a idéia de que se força pressupõe para sua atividade a existência de um ser animado, sua fonte deve ser um objeto físico com extensão e animado com essa faculdade.

Jammer ressalta que para Kepler, nesse tempo, força é ainda uma faculdade animadora, expressão que ele usa na falta de uma palavra apropriada para expressar a imaterialidade de sua essência.

Com a progressiva elaboração de suas leis do movimento planetário, fortalece sua convicção de que a faculdade imaterial, localizada no sol e responsável pelos movimentos planetários é algo mais mecânico do que espiritual. Em suas pesquisas, assume a existência de uma força reguladora, atribuindo as flutuações de velocidade a correspondentes flutuações na magnitude de sua correlata física (força).

Sob a influência da visão de forças magnéticas de William Gilbert, escreve enfaticamente no artigo 51 de um pequeno tratado "*Tertius interveniens*": "Os planetas são magnetos e são conduzidos ao redor pelo sol, pela força magnética". Kepler, de acordo com Jammer, imaginava essas forças magnéticas, emanando de

um corpo central como o sol, serem como braços gigantesco, impulsionando os planetas em suas apropriadas órbitas.

Uma nova concepção de força como algo corpóreo, isto é, mecânico, é claramente identificada em suas anotações da segunda edição do seu "*Mysterium comographicum*" de 1621: "Se você substituir a palavra "alma" pela palavra "força", você tem o exato principio no qual a física celeste, do tratado sobre Marte etc., está baseada". Adiante, Jammer cita que foi Kepler que transformou o conceito de força de sua forma e interpretação platônicas, em um conceito essencialmente relacional.

Para Kepler, podemos resumir alguns de seus pontos de vista em relação à noção de força como: força inicialmente como uma faculdade animadora. Posteriormente, força de atração mútua (gravitação). Força atrativa, de ordem imaterial, passível de formalização matemática.

4.3.5 Mecânica Clássica

Com Galileu, surge o período da mecânica clássica e o conceito de força ganha novas conotações. Segundo Jammer, "Galileu tem, geralmente, recebido o crédito como o lançador dos fundamentos da dinâmica clássica, uma colocação que é bastante justificada. Contudo, desde que se concebe a idéia da conceituação clássica de força, a contribuição de Galileu pode ser considerada como complementar a contribuição de Kepler".

Para Galileu, “força é primeiro e principalmente um conceito físico, cuja determinação está ainda além de seu poder” (JAMMER, 1957).

Segundo Jammer, o pensamento naturalista italiano do século XVI empregava o termo “*forza*” também para a designação de *impetus* e noções similares. Veja-se, por exemplo, a definição de Leonardo da Vinci de “força”: “Eu defino força como um agente incorpóreo, um poder invisível, que por meio de uma pressão externa imprevista é causada pelo movimento armazenado e difundido dentro dos corpos que são contidos e deslocados do seu uso natural”.

O que Leonardo define, assim, é mais *impetus*, ou talvez o que hoje chamamos de energia cinética.

É interessante salientar aqui, a colocação de Jammer, com relação à vaga, ambígua e multivariada nomenclatura empregada indiscriminadamente para indicar força, *impetus*, *momentum*, energia, e assim por diante, como sendo reflexo da confluência de idéias platônicas com concepções aristotelianas. Ainda com Galileu encontramos esta variedade de sinônimos para a designação de força: força, potência, momento da potência, *verbo*, etc.

Nos primeiros escritos de Galileu, o conceito de força é equivalente a peso, e força na concepção arquimediana sem maiores análises. Para ele, nesse estágio, peso é a natural inclinação (tendência) de um corpo vir a aproximar-se do centro do mundo.

Ímpeto torna-se sua expressão favorita para a ação instantânea de uma força e é freqüentemente tomada pelo que chamamos de “impulso”. Às vezes pode significar também velocidade adquirida por um móvel num dado intervalo de tempo.

Investigando as leis da queda livre, Galileu desaprova a suposição de que “imediatamente após um corpo pesado começar a sair do repouso, ele adquire uma considerável velocidade”. Na sua argumentação, compara o comportamento de ganho de velocidade de uma pedra que deixa o repouso e cai de certa altura, com o de redução de velocidade, que deve seguir a mesma seqüência do ganho, quando a mesma pedra é impelida por uma força, para cima, ao mesmo ponto de onde estava em repouso. É nesta conexão que Galileu compara força muscular (a força impulsora) com a força da gravidade. De fato, quando a pedra atinge seu ponto de máxima altura, ou seja, seu estado momentâneo de repouso, isto é para Galileu, uma indicação de que estas duas forças, o “*impetus impresso*” e o “peso do corpo”, estão em equilíbrio.

Jammer faz o seguinte comentário a respeito desse ponto:

Embora a força impressa do agente, seja aqui ainda concebida como um *impetus* que é gradualmente consumido pela força de oposição da gravidade, esta passagem mostra que Galileu tentava entender a força da gravidade relacionando-a com outras espécies de forças (JAMMER, 1957).

Com o reconhecimento da lei da inércia, formulada já em 1585 por Benedetti, como parte de sua teoria do *impetus* e pressuposta por Galileu na sua análise do

movimento acelerado, ou com a aceitação do princípio da conservação do movimento, como anunciado por Isaac Beeckmann e René Descartes, duas possibilidades alternativas se apresentavam: ou conceber força como causa da mudança do movimento, ou abolir a noção de força completamente. Um resultado importante, colocado por Jammer é que, em qualquer caso, a velocidade como tal não mais poderia ser considerada como uma indicação da existência de força ou de sua medida.

Para Descartes, embora em seus primeiros escritos refira-se a forças de atração exercidas pela terra sobre um objeto em queda e explica o movimento acelerado de tal objeto pela ação cumulativa da força, ele eventualmente concebia força como meramente um aparecimento fictício. Descartes empenha-se em eliminar o conceito de força do seu sistema empregando a noção medieval de *impetus*, mas recorre mais tarde a sua teoria dos vórtices, que para ele era de caráter puramente cinemático. Rejeita a teoria de ação a distância e constrói a teoria dos vórtices para explicar os movimentos celestes remotos. Para Descartes o conceito de força não tem lugar em sua física.

Uma nota de Jammer observa que na primeira metade do século XVII muitos astrônomos, de acordo com as primeiras hipóteses de Kepler, ainda acreditavam na natureza magnética de uma força rotacional exercida por um corpo girante central, que conduzia os demais planetas ou satélites ao longo de suas órbitas.

Mas, já pela metade do século a existência de alguma espécie de força central, dirigida do sol para os planetas, era geralmente aceita.

Borelli, baseado em observações dos satélites de Júpiter, concebe as órbitas planetárias como se fossem posições de equilíbrio de forças em oposição, falando, de modo vago, sobre laços materiais que unem o planeta ao seu corpo central, correntes etéreas que transportam o planeta em volta do sol, e uma natural tendência dos planetas de se aproximarem do sol, contraposta por certa propensão dos planetas em alcançarem a circunferência do sistema planetário. Algumas vezes, estes laços materiais são tidos como forças magnéticas de magnitude constante. Analisando esta teoria, Jammer observa que assumir que uma força “inerente” no corpo móvel, que jamais é relacionada com a distância ao centro, é uma séria fraqueza conceitual, senão uma inconsistência lógica, na explanação de Borelli, mesmo que esta relação seja concebida como acidental. Contudo, este trabalho de Borelli serviu para a decisiva rejeição das forças magnéticas rotacionais como causa do movimento planetário.

Especialmente com Huygens, no século XVII, o conceito de “*conatus*”, torna-se a primeira expressão quantitativa para força. Frequentemente empregado no século XVII, o termo *conatus* era usado para significar a ação de uma força, ou tendência, durante um curto e constante intervalo de tempo. Seu significado latino original era “*esforço*”, ou “*impulso*”.

Huygens fala de força centrífuga. Segundo Jammer é óbvio que esta força é concebida por ele como uma força real, no mesmo padrão que as outras forças conhecidas no seu tempo. A idéia de considerá-la como uma força fictícia ou inercial é, por certo, de uma época bastante posterior. Como muitos cientistas do continente,

Huygens não aceitava a idéia de ação a distância, pois tal idéia era submeter o raciocínio científico a qualidades ocultas. Sua visão tem uma base na filosofia cartesiana.

Neste período, nomes como Descartes e Huygens juntaram-se a Galileu, nas discussões para a formação do conceito de força.

Um resumo das principais noções de força, na mecânica clássica seria: força como uma idéia de equivalência a peso; força impressa (de contato); seqüência de impulsos instantâneos que se somam; força centrífuga, real, como reguladora do movimento circular dos corpos.

4.3.6 Newton de o conceito de força

Neste item nos deteremos um pouco mais, considerando a importância do trabalho de Newton na construção do edifício da ciência na área da Mecânica, procurando apresentar, com maiores detalhes, algumas das suas principais idéias.

Em capítulo específico dedicado ao conceito newtoniano de força, dentro da mecânica clássica, coloca Jammer (1957), que “Muito tem sido escrito sobre o conceito Newton sobre a gravitação, mas próximo a nada, sobre seu conceito de força em geral”.

As idéias de Newton sobre força como tal, estão expostas no capítulo introdutório de seu *Philosophiae naturalis principia matemática*, publicado em 1687.

Salienta Jammer (1957), que “a quase completa falta de comentário sobre este assunto é um tanto surpreendente, não somente porque o *Principia* é geralmente considerado, e com justiça, como a primeira exposição dedutiva sistemática da mecânica clássica, mas também porque o conceito de força de Newton, como será visto, é relativamente simples”.

O conceito de força de Newton está intimamente ligado, tanto historicamente como metodologicamente, ao seu profundo estudo da gravitação, numa relação histórica, tendo em vista que suas idéias fundamentais sobre a mecânica tinham a intenção de servir, primeiro e principalmente, como os fundamentos axiomáticos para sua dedução matemática da teoria gravitacional no sistema solar.

Assim que, as considerações gerais de Newton, com relação à noção de força, estão metodologicamente relacionadas ao seu estudo da gravitação, tendo em vista que o problema da explicação dinâmica dos movimentos planetários, levando em conta as três leis de Kepler, era o desafio do momento.

No desenvolvimento de seus estudos, e tendo como consequência o conceito de massa se tornado uma noção fundamental do sistema conceitual, a definição de ‘*momentum*’, ou, nas palavras de Newton, “*quantidade de movimento*”, e de força, sendo esta determinada pela variação do ‘*momentum*’, não era mais uma difícil tarefa, se o princípio de inércia de Galileu e o trabalho preparatório de Huygens nesta linha, fossem devidamente considerados.

O termo “força” (*vis*) aparece pela primeira vez no seu magno trabalho na Definição III. Essa definição, originalmente escrita em latim, traduzida do inglês tem a seguinte leitura: “A *vis insita*, ou força inata da matéria, é um poder de resistência pelo qual cada corpo, tanto quanto em si está contido, continua no seu estado presente, tanto se está em repouso como esteja se movendo uniformemente para frente, numa linha reta” (JAMMER, 1957).

Jammer ressalta que, na opinião de Newton, inércia é uma espécie de força que é inerente (*insita*) à matéria e latente na medida em que nenhuma outra força, impressa sobre o corpo, “empenha-se em mudar sua condição”. Cita que além do mais, pode ser considerada ambas como *resistência* e como *impulso*. “Newton ele próprio admite: É *resistência* na medida em que o corpo, para manter seu presente estado, se opõe à força impressa; é *impulso* na medida em que o corpo, dificultando a ação da força impressa por outro, empenha-se em mudar o estado daquele outro corpo”.

Num contraste com a “força inata” ou inércia, a Definição IV do *Principia* de Newton, define “força impressa” desta forma: “Uma força impressa é uma ação exercida sobre um corpo, de modo a mudar seu estado, ou de repouso ou movimento uniforme sobre uma linha reta”.

É interessante notar, que a definição de força impressa de Newton, como uma mudança do estado de repouso ou de movimento uniforme de um corpo está intimamente relacionada ao seu princípio metafísico da causalidade. Uma colocação de Newton, relativamente ao caráter efêmero desta força impressa, parece, de

acordo com Jammer, que ele tem em sua mente ainda um velho ditado escolástico: *Cessante causa cessat effectus*.

Uma importante consideração que Jammer faz diz respeito aos axiomas ou leis de Newton. O primeiro axioma, o princípio da inércia pode ser interpretado como uma definição qualitativa de força ou, se força é tomada como reconhecível numa maneira independente das leis do movimento, como uma definição empírica, descrevendo as leis do movimento. A segunda lei, do mesmo modo, tem duas possíveis interpretações: pode servir como uma definição quantitativa de força ou como uma generalização de fatos empíricos. Uma moderna notação da lei, de acordo com Newton seria $F \propto \Delta (mv)$.

Segundo Jammer, desde que Newton distingue claramente entre definições e axiomas (ou leis do movimento), é obvio que, a segunda lei do movimento, não exprime a intenção de Newton, que seja uma definição de força, embora algumas vezes, esta lei seja interpretada como tal, por modernos escritores sobre os fundamentos da mecânica. Tampouco significava meramente uma definição de um método para medir forças (JAMMER, 1957).

De acordo com Jammer, força, para Newton, era um conceito dado a priori, intuitivamente, e fundamentalmente em analogia com a força muscular humana. A Definição IV, vista acima, portanto, não é para ser interpretada como a definição nominal, mas como sumarizando as propriedades características das forças, para determinar acelerações.

Adiante, Jammer em continuação a sua análise, coloca que a expressão da força como variação do *momentum*, parece sugerir que Newton foi levado a esta formulação pelo estudo das leis do impacto de corpos sólidos, algo que estava em intenso estudo, décadas antes da publicação do *Principia*. No entanto, após desenvolver o assunto, Jammer ressalta que não supõe que Newton possa ter inferido a segunda lei desta forma, pois tais inferências encontrariam insuperáveis dificuldades conceituais e matemáticas. Para ele, fundamentalmente a segunda lei de Newton foi um “*lance de gênio*”, uma livre criação da mente humana.

Outro aspecto importante é o teorema do paralelogramo de forças: “Um corpo submetido a duas forças, simultaneamente, descreverá a diagonal do paralelogramo no mesmo tempo que descreveria os lados, sob estas forças separadamente”.

A formulação deste teorema por Newton, é de grande importância para nosso entendimento de sua concepção de força, não só porque caracteriza força como uma quantidade vetorial, para usar uma expressão moderna, mas também porque ele traz alguma luz sobre como ele concebia o preciso mecanismo da ação dinâmica ao tempo em que ele escreveu o capítulo introdutório do seu *Principia*.

Um aspecto que Jammer observa em sua análise, é o fato de que Newton também não rejeitava a possível existência de um *meio etéreo*, instrumental para uma teoria essencialmente cinética da gravidade, ao tempo em que ele compôs a primeira edição do *Principia*, é óbvio, a partir de seus comentários sobre a Definição I. Evoluindo neste assunto, adiante Jammer referencia que na segunda edição do

Principia (1713), no começo do Livro III, no capítulo em que discute as regras do raciocínio em filosofia, Newton acrescenta na segunda edição: “Não que eu afirme que a gravidade seja essencial aos corpos: por sua *vis insita*, eu refiro-me apenas a sua *inércia*”. Aqui, a idéia desta colocação, era neutralizar suas expressões anteriores, isto é, Definição III, na qual inércia era chamada uma “*força inata da matéria*”, “*um poder de resistência*” e, seus comentários sobre inércia na Regra III, onde estabelecia que todos os corpos são “*dotados com certos poderes (os quais nós chamamos de inércia)*”.

Jammer ressalta que no fim do Livro III, no *Scholium Geral*, está o famoso “*hypotheses non fingo*”, onde Newton diz enfaticamente:

“Até aqui temos explicado o fenômeno dos céus e de nosso mar pelo poder da gravidade, mas não temos ainda designada a causa deste poder... Mas até aqui eu não tenho sido capaz de descobrir a causa destas propriedades da gravidade a partir do fenômeno, e” eu não faço hipóteses”; pois aquilo que não é deduzido do fenômeno deve ser chamado de uma hipótese; e hipóteses, se metafísicas ou físicas, se qualidades ocultas ou mecânicas, não tem lugar na filosofia experimental...”.

Ao mesmo tempo, contudo, Newton no final de seu famoso *Scholium Geral*, alude à idéia de “espíritos etéreos”, quando diz: “E agora nós podemos acrescentar algo concernente a certo espírito mais sutil, que impregna e permanece escondido em todos os grandes corpos;...”.

Esta posição de Newton foi mal interpretada como “espíritos imateriais ou princípios” e foi vigorosamente empregada já por seus contemporâneos, para uma fundamentação racional de suas doutrinas teístas, dentre os quais, um dos mais

famosos chamava-se Richard Bentley, com suas interpretações da gravitação universal. A ele, Newton escreve uma carta, datada de 1692, opondo-se as suas asserções, com as seguintes palavras:

“Você algumas vezes fala da gravidade como essencial e inerente à matéria. Rezo que não atribua esta noção a mim; porque a causa da gravidade é o que eu não tenho pretensões de conhecer, e, portanto, levaria muito tempo para considerações sobre ela”.

De qualquer forma, seus comentários no *Scholium Geral*, no qual ele dá livre vazão ao seu entusiasmo religioso, no qual ele fala de Deus como um ser em quem “todas as coisas estão contidas e movidas”, forneceram material adicional aos seus interpretadores teístas, para substanciar suas doutrinas baseadas na teoria gravitacional de Newton.

Um documento final, na lista de referencias de Jammer é “*Opticks*”, publicado em 1704. Na sua segunda edição em 1717, Newton diz, que:

E para mostrar que eu não tomo a Gravidade por uma essencial Propriedade dos Corpos, eu acrescento uma Questão concernente a sua Causa, preferindo propô-la por meio de uma Questão, porque eu não estou ainda satisfeito sobre ela e procuro por Experimentos.

Adiante, na Questão 31, Newton declara novamente:

“Como estas Atrações podem ser realizadas, eu não considero aqui. O que eu chamo Atração pode ser realizado por um impulso, ou por algum outro meio desconhecido para mim. Eu uso esta Palavra aqui apenas para significar em geral qualquer Força pela qual corpos tendem em direção um do outro, qualquer que seja a Causa”.

Jammer conclui, com relação ao conceito de força gravitacional de Newton, que esta é fundamentalmente uma irreduzível noção no esquema conceitual da ciência física de Newton. Distingue-se das outras espécies de força por sua universalidade e conseqüente importância para considerações de ordem astronômicas e cosmológicas. Seus aspectos quantitativos são averiguados a partir da observação experimental; sua natureza última é desconhecida. Ressalta que isto implicou, para os contemporâneos de Newton, que a gravitação permanecia um fenômeno não explicado.

Nesta breve síntese, procuramos dar uma idéia seqüenciada do desenvolvimento das ações de Newton, na construção das fundações do grande edifício da Mecânica Clássica. Foi-nos dado também observar o grau de complexidade e muitas vezes da falta de suporte científico para Newton fundamentar muitas de suas idéias e daí, talvez, a recorrência a explicações iniciais do fenômeno, atribuídas a entidades espirituais. Embora muito haja para ser desenvolvido sob o ponto de vista histórico, com relação à visão newtoniana de força, nesta fase apresentaremos algumas das noções de força, identificadas ao longo de análise deste capítulo:

Conceito apriorístico, intuitivo, em analogia a força muscular humana. Força como propriedade de resistência inerente à matéria (inércia) ou como força impressa por ação externa, mudando seu estado de repouso ou movimento uniforme numa linha reta; esta vetorial e, componível segundo a regra do paralelogramo no caso de duas forças agindo sobre um corpo; agente causal da aceleração; Aspecto dual

agindo em pares de ação e reação, possivelmente à distância; Idéia metafísica de espíritos etéreos, como atração sobre corpos em distâncias próximas. Força como taxa de variação do momento - 2ª lei de Newton. Força da gravidade de origem externa à matéria.

4.3.7 Interpretações Teológicas da Mecânica Newtoniana

Ao iniciar este capítulo, Jammer faz o seguinte comentário:

Parece que Newton, pessoalmente, estava convencido que a força gravitacional poderia eventualmente ser explicada, mecanicamente ou não mecanicamente, por processos e concepções mais profundos e fundamentais. Ainda, como indicado no capítulo anterior, em lugar algum nos seus escritos científicos ele toma uma posição sobre esta questão. A física newtoniana concebe força e gravitação como um irreduzível fato da experiência e não permite informações sobre a natureza metafísica da força ou da gravitação (JAMMER, 1957).

Contudo, discípulos, seguidores e comentaristas de Newton, viam a situação sob uma luz diferenciada.

Cotes, prefaciando a segunda edição do *Principia* (1713), salienta Jammer, no entusiasmado esforço de aclamar o grande poder explanatório da teoria gravitacional de Newton, descreve gravitação de forma descompromissada como “a natureza da gravidade em corpos terrestres” como tendo “um lugar entre as qualidades primárias de todos os corpos” e assim por diante. Embora Cotes torne bem claro que a gravidade pode ser considerada como um conceito primitivo no esquema conceitual de Newton, Jammer faz uma importante observação, que

expressões como as acima mencionadas, encorajaram as primeiras especulações metafísicas sobre natureza da força gravitacional.

Um aspecto notável, sob o ponto de vista de pensamento da época, que Jammer coloca, é que sob a influência da física cartesiana como a geometria da extensão da matéria e sua impenetrabilidade, e por causa da aversão das “*inerentes qualidades*”, entenda-se “*propriedades ocultas*”, ação a distância era vista por muitos dos teóricos do início do século XVIII como um disfarce da “qualidade oculta” e era criticada como incompreensível. Para conciliar esta nova e imensamente bem sucedida noção newtoniana com as idéias tradicionais, o modo encontrado foi supri-la com uma fundamentação metafísico-teológica e incorporá-la no corpo neoplatônico de doutrinas. Força e gravitação eram assim concebidas como manifestações, por excelência, da divina onipresença e onipotência. Jammer comenta que:

De fato,... o pensamento neoplatônico, ainda vigorosamente ativo na Inglaterra ao tempo de Newton, estava bem preparado para este processo de incorporação e, tanto estava que o próprio Newton, um ardente estudante da literatura teológica, podia quase ser classificado, tanto quanto suas concepções extracientíficas concernem, como imbuído com este espírito (JAMMER, 1957).

A física newtoniana, aliada à monadologia de Leibniz, formou a base de uma escola de pensamento da qual Rogério Boscovich pode ser considerado seu melhor representante e para quem força era o elemento último da realidade.

Ralph Cudworth concebe uma “Natureza Plástica” que é uma variação do conceito neoplatônico de “alma do mundo”, com uma importante diferenciação: o universo não é concebido como ativado por forças trabalhando a partir de fora, e sim

formando um princípio a partir de dentro. Cudworth desenvolve esta construção para escapar do dualismo cartesiano de mente e matéria.

Henry More, um dos mais famosos platonistas de Cambridge, une-se a Cudworth em oposição ao mecanismo de Descartes e ao materialismo de Hobbes. More escreve em uma carta a Boyle: “o fenômeno do mundo não pode ser resolvido mecanicamente, mas há necessidade da assistência de uma substância distinta da matéria, isto é, de um espírito, ou um ser incorpóreo”. Força, como o espaço, tem sua origem em Deus e a extensão e o movimento são apenas manifestações da onipresença e onipotência de Deus.

De acordo com Jammer, More exerceu uma forte influência em Locke, Newton e Clarke e, através deles, no século XVIII em geral.

Jammer coloca ainda que a conotação espiritual de força e gravidade de More não forma o estágio final de desenvolvimento, iniciado pelos primeiros humanistas ingleses, da interpretação do fenômeno natural sob uma maneira teológica, no sentido de promover a religião.

Além dos já mencionados, nomes como William Derham, John Michell Samuel Horsley e J. Priestley entre outros, contribuíram para as discussões em torno da visão newtoniana de força e suas relações com as ordens Divinas, com a clara participação do Criador para a explicação dos fenômenos naturais.

Vale aqui mencionar a citação de Jammer colocando como:

“Um interessante exemplo de uma interpretação teísta da concepção de “atração” de Newton, é o artigo “Sobre as leis da atração” (1732,) de P. L. Moreau de Maupertuis, no qual este famoso proponente do princípio da mínima ação considera a possibilidade de outras leis da atração, além da lei do inverso quadrado. Por uma conclusiva demonstração matemática Maupertuis tenta mostrar que a escolha de Deus da lei do inverso-quadrado para a transmissão das forças gravitacionais dota a natureza de uma harmoniosa unidade que esta não exibiria tivesse Deus selecionado uma diferente lei de propagação”. (JAMMER, 1957).

Destacando algumas das idéias mais marcantes neste período, citamos: força é o elemento último da realidade; a idéia de força é como sendo de origem divina, corpórea; força ainda como manifestação da divina presença e onipotência.

4.3.8 Dinamismo

Leibniz, Boscovich, Kant e Spencer são os principais nomes citados por Jammer, relacionados à doutrina do dinamismo, na teoria da física.

Leibniz rejeita qualquer princípio espiritual para a explicação de fenômenos físicos. Com ele o conceito de força muda radicalmente de significado: de um modo mecânico de operação, torna-se um princípio de quase uma vital atividade. Estritamente falando, o conceito de força de Leibniz é o que hoje chamamos de energia cinética, mas concebida como inerente na matéria e representando a natureza mais íntima da mesma.

Jammer comenta que em seus trabalhos como “*Acta Eruditorum*” e *Monadologia*, procurando formular sua nova concepção de matéria, algumas de suas declarações são de grande interesse para a história da física, não somente

porque contém um *status* ontológico independente do conceito leibniziano de força, mas também porque proclamam uma nova e especial ciência, chamada, talvez pela primeira vez, *dinâmica*.

Com Leibniz, inércia torna-se a real “*vis insita*”, num sentido dinâmico. Para ele, a força ou ação de algo que se move, está neste algo mesmo (inerente).

No desenvolvimento de seu trabalho, Leibniz apresenta uma relação de força como proporcional à massa pela seguinte relação: força = $mf(v)$, sendo que nesta equação a função $f(v)$ deve ser uma função quadrática de seu argumento, ou seja, v^2 . Segundo ele, o que é conservado e o que é a medida de força é: mv^2 .

No seu escrito “*Specimen dynamicum*”, Leibniz introduz o termo *vis viva*, em contraste com *vis mortua*, de Galileu, usado para designar o que hoje chamamos de pressão ou tensão no sentido não científico da palavra, isto é, força não associada com o movimento.

Um meio do produto da *vis viva*, isto é, $\frac{1}{2} mv^2$, foi mais tarde chamado por João Batista Belanger de “potencia viva” e é conhecida hoje como energia cinética.

No estudo das colisões inelásticas e as transformações de energia, os newtonianos eram da opinião de que a força decresce constantemente nestas colisões, e que novas forças devem ser supridas de tempos em tempos por Deus ao universo, o qual, de outro modo ficaria completamente parado. Clarke, em defesa

desta posição discute a questão de se tal injeção de novas forças constitui um processo natural ou sobrenatural.

Boscovich é quem realmente avança a teoria dinâmica de Leibniz, embora fundamentalmente, seu conceito de força seja mais relacional do que dinâmico. Considera que no impacto de dois corpos a força é repulsiva, enquanto que no exemplo da aproximação orbital de Júpiter e Saturno, a força exercida é de atração. Defende também a tese de que a impenetrabilidade é apenas uma expressão espacial para a ação de uma força repulsiva. Pois a distâncias muito pequenas apenas forças repulsivas são ativas e sua magnitude aumenta indefinidamente com a diminuição da distância.

Jammer conclui a discussão da teoria de Boscovich, com a sua definição de força, conforme dada na seção nona do seu livro “Teoria da filosofia natural”. Para ele, força é a determinação, a propensão de aproximação ou recessão, e é medida pela aceleração produzida. Em nenhum lugar, em seus escritos, contudo, Boscovich explica a causa destas determinações ou propensões. Meramente postula sua existência.

O tratamento de Kant ao conceito de força é desenvolvido quase ao mesmo tempo que o de Boscovich e de modo similar. Em um escrito seu, permanece num meio curso entre os cartesianos e os leibnizianos na sua disputa sobre a verdadeira medida de força. Aceita o conceito leibniziano de força viva como essencial à matéria. Referindo-se ao assunto da impenetrabilidade, Kant declara: “A resistência oferecida por uma matéria no espaço que ela preenche, a toda impressão de outra

(matéria), é a causa do movimento da última na direção oposta; mas a causa de um movimento é chamada de força motora”. Assim, a impenetrabilidade é reduzida a uma força motora e não é concebida como o resultado de mera existência.

Jammer coloca adiante, que quando comparando a doutrina de forças de Kant com a de Boscovich, certamente se nota que Kant, desde o início, pressupõe duas espécies de força, diferente uma da outra em sua fundamental qualidade enquanto Boscovich assume a existência de apenas uma simples força. Para Boscovich, a força muda a certa distância de repulsão em atração, volta novamente, e assim por diante.

Em 1862, Herbert Spencer tem publicado a primeira edição de seu livro *Primeiros Princípios*; nele, a exploração filosófica do conceito de força atingiu seu zênite. Com base em duas novas idéias do século XIX, a idéia da *evolução* e do princípio de *correlação de forças*, como era chamada a lei de conservação da energia naquela época, Spencer sustenta que deve haver algo por detrás do drama evolucionário que nós testemunhamos algo que é tanto um princípio de atividade como um permanente nexos. Jammer ressalta a extrema “frouxidão” e falta de objetividade por parte de Spencer, no uso da noção de força. Diz ainda que seu promíscuo uso da noção de força, tanto no sentido newtoniano como para energia, levou-o a sérias inconsistências e seus leitores a desafortunados mal entendidos.

O dinamismo tende a ser mais voltado às relações de energia (cinética) e o movimento do que uma real preocupação com o conceito de força especificamente.

Conforme Jammer, a escola do Dinamismo concebia “força” como a suprema (fundamental) essência da realidade física. Coloca ainda que a “concepção de força como elemento primordial da realidade física, como pretendida por Leibniz, Boscovich, Kant e seus seguidores, não foi muito contributiva para o desenvolvimento da física teórica”. Cita Thomson e Tait que chamam tal doutrina dinâmica uma “insustentável teoria”.

Podemos, contudo, destacar algumas noções de força dentro deste contexto. Assim, com Leibniz, temos que força é um princípio de quase toda atividade vital. Força é ativa, um meio termo entre a faculdade de ação e a própria ação. Nela está contido o próprio esforço e age por si própria. Para Boscovich força é um conceito mais relacional do que dinâmico. Em Kant força é substancialista. Força movedora igualada à noção de impenetrabilidade (propriedade da matéria). Forças primárias de atração e repulsão são os dois únicos tipos de força que podem ser concebidos. Já Spencer coloca a noção de princípio da correlação de forças. Força se manifesta diferentemente, de forma condicionada pela Matéria e o Movimento, como são estas conhecidas.

4.3.9 O conceito de força na ciência contemporânea

Ao iniciar o desenvolvimento deste tema, Jammer faz uma breve retrospectiva da evolução do conceito de força e tece comentários sobre o papel do conceito de força na construção da ciência como um todo, conforme segue:

“Primeiramente Kepler descobriu na noção de força (vis) um conceito conveniente para conectar as mudanças de velocidade no

movimento planetário, com mudanças de distância... foi essencialmente um dispositivo metodológico que o induziu a introduzir este conceito na mecânica – embora ele próprio estivesse alheio ao aspecto metodológico envolvido. Também vimos nos capítulos precedentes..., como o conceito de força durante nos seus estágios pré-científico e semicientífico, tornou-se carregado com uma multidão de conotações metafísicas, espirituais e outras conotações extracientíficas.” (JAMMER, 1957).

Jammer observa que estas conotações e associações, formaram um impressionante plano de fundo, psicológico, e o conceito de força, quando visto contra este plano de fundo, parecia ser um conveniente instrumento lógico para satisfazer o desejo humano para a explicação causal.

Jammer (1957) ressalta ainda que:

“Com o surgimento da dinâmica newtoniana e suas interpretações ao longo das linhas de Bosovich, Kant e Spencer, o conceito de força atingiu quase o “status” de um potentado todo poderoso como governante totalitário sobre o fenômeno. E ainda, desde o princípio desta tomada de poder, forças revolucionárias estavam trabalhando (Keill, Berkeley, Maupertuis, Hume, d’Alembert), as quais no devido tempo, levaram ao seu destronamento (Mach, Kirchhoff e Hertz). (JAMMER, 1957).

Cabe aqui observar, que há uma tendência a eliminar o conceito de força da mecânica. Com os trabalhos de Mach, Kirchhoff e Hertz, este processo completa seu desenvolvimento lógico. Este movimento na física matemática, do tempo de Newton em diante, era essencialmente uma tentativa de explicar o fenômeno físico em termos de pontos de massa e suas relações espaciais. Segue Jammer dizendo que se tornou crescentemente claro que o conceito de força, se despido de todas as suas conotações extracientíficas, revela-se a si próprio como um esquema vazio, uma pura relação. Relembrando o conto de fadas “rei por um dia”, Jammer expõe

que o conceito de força, de fato, volta para o início onde começou. A concepção de força de Hertz “como um meio termo entre dois movimentos” era, de fato, o ponto de partida de Kepler. Jammer coloca que a história da física mostra claramente que a introdução do conceito de força levou a uma unificação metodológica do esquema conceitual da ciência. Ainda, desde que a razão de ser de um conceito científico e sua importância residem na função metodológica que ele desempenha, o conceito de força na física clássica não é simplesmente uma quimera. Ao contrário, o conceito de força representou um papel altamente construtivo no avanço da ciência e, por conseguinte, é inteiramente justificada sua existência.

Um aspecto salientado por Jammer como importante é que o conceito de força foi instrumental na construção do conceito de energia, noção cuja contribuição para uma concepção unificada do fenômeno físico é inquestionável. Adiante Jammer coloca que a principal vantagem do conceito de força – e isso nos traz o *status* do nosso conceito da física dos dias atuais – é que ele nos habilita a discutir as leis gerais dos movimentos, independentemente da situação física particular com as quais esses movimentos estejam associados.

E levanta, em conclusão, a discussão do conceito de força no moderno tratamento da mecânica clássica, um outro ponto a ser esclarecido: a questão de que pode ser argumentado que a noção de força, como proposta nas seções anteriores, pode bem ser aplicada à dinâmica própria, mas não a estática, desde que na estática nem movimentos, e conseqüentemente nem acelerações, estão envolvidos. Jammer cita que tal objeção já havia sido antecipada pelo próprio Mach. “Força” diz ele, “é qualquer circunstância da qual a conseqüência é movimento.

Diversas “circunstâncias” desta espécie, em que cada uma delas, singularmente, determine movimento, podem ser combinadas de tal modo que no resultado não haja movimento. Agora a estática investiga qual é este modo de associação, em termos gerais. A estática em si não se envolve mais profundamente sobre o particular caráter do movimento condicionado pelas forças”. A estática assim vista, é um particular ramo da dinâmica, a saber, o equilíbrio de forças.

Jammer explicita que a moderna física reconhece o conceito de força tanto na estática como na dinâmica, e daí por diante em qualquer outro campo da física, tanto quanto forças motoras sejam consideradas, como um intermediário metodológico que em si próprio não contém qualquer poder explanatório. É um construto ao qual nenhuma regra imediata de interpretação ou correlação epistêmica pode ser vinculada.

A concepção de força como uma relação puramente funcional está em completo acordo com sua aplicação na mecânica quântica e física nuclear. Observa Jammer que se na física clássica o conceito de força é essencialmente um dispositivo para economia de pensamento, baseado na analogia com a experiência humana, o é muito mais na mecânica quântica.

Na visão de Jammer, tanto quanto a mecânica quântica empresta parte de suas concepções básicas da dinâmica clássica, tanto quanto ela não tem um aparato conceitual lógica e metodologicamente independente não se pode esperar que esta leve a uma revisão da concepção clássica de força. O que não significa,

por certo, que ela não possa ser bem sucedida em sua nova interpretação de certas forças macroscópicas, tais como elasticidade ou magnetismo.

Uma excelente ilustração dessa disputa, com relação ao conceito de força, coloca Jammer, é o presente estado da teoria de forças nucleares, incompleto e problemático como o é. A experiência mostra claramente que a física nuclear tem se defrontado com uma nova espécie de forças (de curto alcance), inteiramente diferente das forças gravitacional ou eletromagnética. Na falta de uma teoria fundamental satisfatória, a moderna física busca seguir a convencional abordagem e modelar seu esquema conceitual em analogia com o adotado no estudo das forças clássicas.

Jammer comenta que há, contudo, um crescente grupo de opinião de que parte das forças, no interior do núcleo, são “forças multi-corpos”, isto é, interações que se tornam modificadas pela presença de outras partículas, e que algumas destas, são forças tensoriais (não centrais, ou forças dependentes do spin).

De modo a contribuir para a saturação da energia de ligação e densidade nuclear, Heisenberg e Majorana introduziram as chamadas “forças de troca”, que, segundo Jammer, foi feito em analogia com a teoria quântico-mecânica de órbitas covalentes, tal como existe entre dois átomos de hidrogênio, em uma molécula de hidrogênio.

Para Jammer, contudo, embora forças de troca, um conceito puramente quântico-mecânico, não é essencialmente uma nova concepção de força como tal.

Considera que foi a teoria geral da relatividade que levou a uma mais profunda revisão do conceito de força. Sua generalização para forças não gravitacionais e, primariamente para forças eletromagnéticas, está intimamente ligada com o problema do chamado “teorias de campo unificado”. No desenvolvimento de uma argumentação teórica, Jammer coloca que a relatividade geral agora assume apenas uma lei do movimento: uma partícula livre move-se sobre uma linha geodésica, definida pela equação:

$$\delta \int ds = 0.$$

Partícula “livre”, aqui, significa uma partícula não sujeita a colisões ou forças eletromagnéticas; no entanto, considera que ela pode estar situada na proximidade de outros pedaços de matéria (presença da “gravitação”).

A eliminação do conceito (relacional) de força na relatividade geral é obtida, em princípio, por meio de alguns dispositivos metodológicos, como: “Força” é definida pelo desvio de uma partícula do seu “natural” caminho no espaço-tempo. Sobre isso, Jammer apresenta uma argumentação cujo objetivo é mostrar que, de alguma forma, estas colocações acima, acabam indo ao encontro de uma relação com forças gravitacionais clássicas.

Adiante Jammer explicita que, obviamente, as teorias relativísticas da gravitação, como propostas por Whitehead, Birkhoff e outros, nas quais a geometria

do espaço-tempo é euclidiana, não possuem a simplificação metodológica de eliminação do conceito de força.

Na ciência contemporânea, da Mecânica Quântica, da Teoria da Relatividade, o foco tende a mudar de força para energia, momento e potencial.

Assim, a noção de força, na ciência contemporânea assume formas como: forças como trocas de partículas virtuais (píon, fóton, W/Z e gráviton), na Mecânica Quântica. Força na Relatividade Restrita, análoga à força newtoniana, relacionando-se, porém com a massa relativística, dependente da velocidade, e não a massa inercial, de repouso. No entanto, a aceleração não é, em geral, codirecional à força e à ação a distância não é instantânea, mas propaga-se limitada pela velocidade da luz. Força como o desvio do corpo de seu percurso natural (geodésica) no espaço-tempo, na Relatividade Geral.

4.3.10 Conclusão

Finalizando este item, cabe comentar que o trabalho de Jammer mostra quão difícil e desafiador é, para o homem de ciências, estabelecer os fundamentos para a construção de um esquema conceitual em ciências, onde a análise fenomenológica é complexa, sujeita a variáveis diversas e interpretações individuais cujos suportes estão muitas vezes, fundados num esquema não científico de conhecimentos e sim, de visões, ora pessoais, ora de profunda ordem religiosa. Como vimos para o conceito força, após ampla e delongada maturação, sua consolidação como “conceito científico”, no paradigma da mecânica newtoniana, tem em torno de 300

anos e a ciência contemporânea busca mostrar um novo paradigma no tratamento da noção de força para a Mecânica Quântica e Teoria da Relatividade.

Para encerrar este capítulo, colocamos as palavras finais de Jammer, na conclusão de sua obra:

Se fosse possível trabalhar uma teoria de campo unificada que sujeitasse forças eletromagnéticas e possivelmente também forças nucleares a um tratamento similar ao da gravitação, isto nos levaria a um estágio final na história do conceito de força". "Enquanto o moderno tratamento da mecânica clássica ainda admitisse, tolerantemente, por assim dizer, o conceito de força como um intermediário metodológico, a teoria dos campos teria de bani-lo para sempre de sua humilde posição (JAMMER, 1957).

4.4 A VISÃO PSICOGENÉTICA-EPISTEMOLÓGICA DE FORÇA SEGUNDO PIAGET

Na busca por elementos de suporte para a estruturação da matriz epistemológica, as contribuições de PIAGET (1973) e PIAGET & GARCIA (1983) fornecem subsídios para que possamos trabalhar o aspecto psicogenético-epistemológico do desenvolvimento da noção de força no ser humano, em determinado período, conforme a visão e construção piagetiana.

Queremos, contudo, esclarecer que as colocações que se seguem, foram selecionadas com o objetivo apenas de dar uma visão bastante geral sobre estas

duas obras de Piaget, procurando situá-las no contexto de nosso trabalho, buscando a convergência necessária para o suporte psicogenético e epistemológico do perfil conceitual do conceito de força. Não é nosso escopo, neste trabalho, traçar qualquer análise ou síntese sobre a vasta e profunda obra desenvolvida por Piaget, ao longo de décadas.

4.4.1 Visão Psicogenética Desenvolvimental

Em sua obra 'A Formação da Noção de Força', PIAGET (1973), apresenta as explicações causais que se relacionam à formação da noção de força. Independentemente do interesse que se possa atribuir à elaboração desta noção em particular, se coloca a essa consideração, um problema de importância mais geral.

Segundo Piaget, dentre os conceitos utilizados pela física, pode-se distinguir duas espécies, pelo menos, e constatar uma gradação para mais ou para menos. Uns aparecem como *compostos* a partir das noções mais elementares ou supostas mais simples: tal é o conceito de velocidade em relação aquele de espaço percorrido e de duração. Os outros são então considerados como *componentes*, com a pressuposição que estes são dados anteriormente aos primeiros. Ora, ocorre que, do ponto de vista psicogenético, as noções aparentemente compostas são, às vezes, as mais primitivas na relação correspondente às intuições indiferenciadas, enquanto que os componentes ou aqueles que se tornarão seus componentes, por meio de coordenações precisas, se constituem por diferenciações a partir dos primeiros e graças à colocação em *relações* que estas diferenciações permitem. Tal é a situação que nós cremos ter podido observar, no caso das relações entre as

velocidades e os tempos: os primeiros podem ser elaborados por via ordinal, independentemente das durações, (mas em referência a uma ordem espaço-temporal) enquanto que os segundos comportam uma relação entre aquilo que se produz (o conteúdo da duração) e a velocidade à qual estes acontecimentos se sucedem. A noção de “ultrapassagem” implica, para dois móveis A e B , uma inversão da ordem espacial AB em BA , entre um momento anterior T_1 , correspondente a AB , e um momento ulterior T_2 , correspondente a BA . Embora ela apenas forneça uma comparação das velocidades relativas dos dois móveis e não permita a medição duma velocidade isolável, o seu valor epistemológico é o de não comportar nenhum raciocínio circular com a duração, este fato provando, pelo menos, o carácter independente e primitivo da noção de velocidade. A noção ordinal da ultrapassagem prolonga-se, em seguida, numa noção hiperordinal consistindo em comparar entre si os intervalos espaciais, sucessivos no tempo, entre dois móveis: intervalos que decrescem até A alcançar B , e que seguidamente crescem após a ultrapassagem. Por último constrói-se a noção métrica $v = e/t$.” (PIAGET, 1967).

No caso da noção de força, se bem que ela seja por si própria relativamente composta, podemos nos perguntar se não encontramos um processo análogo de construção e se ela não resulta de diferenciações e de novas composições, a partir de uma noção ainda mais complexa e aparentemente mais composta que será um impulso espaço-temporal mve (onde m será a massa que a criança chama “peso”, v a velocidade e , e o espaço percorrido) parente da grandeza física “ação”.

Piaget coloca que o interesse epistemológico deste processo é que as noções aqui designadas como compostas, o podem ser de fato, de diversas maneiras a

partir de componentes e sustentar com estes, as relações modificáveis. Resulta que os primeiros se apresentam como os mais estáveis ou mais resistentes que os segundos e interpretam então o papel de conceitos elementares, ainda que complexos. É desta maneira que na teoria da relatividade, o tempo e o espaço são subordinados à velocidade, enquanto que estes se tornam uma espécie de absoluto. Em micro física, a grandeza *ação* adquire da mesma maneira, uma situação preponderante, esta noção multivalente, para não menos dizer “composta”, podendo se decompor de diversas maneiras conduzindo dentre outras, às noções de impulso, trabalho, energia assim como de força. Piaget coloca que isto é o que faz o matemático Gil Henriques dizer em suas contribuições epistemológicas desenvolvidas no Centro Internacional de Epistemologia Genética: as noções que têm melhor resistido às revoluções científicas recentes, são sem dúvida aquelas que são geneticamente primárias.

Ainda para Piaget, no desenvolvimento do pensamento científico, a noção total é então primária, à medida que as outras se lhe subordinam, enquanto que do ponto de vista psicogenético ela é primitiva porque indiferenciada, o que é igualmente resultado de seu caráter de totalidade, que adiante, dá lugar às diferenciações e coordenações que os fatos e a lógica impõem pouco a pouco.

Piaget desenvolve sua análise psicogenética a partir das grandezas dinâmicas da *ação*, *trabalho* e *impulso* para após, trabalhar a partir da noção *impulso espaço-temporal* à noção de *força*.

Assim, do mesmo modo que em cinemática, o sujeito parte do movimento e de uma intuição ordinal da velocidade, enquanto avanço de um movimento para outro, por não separar senão secundariamente as relações entre a velocidade, espaço percorrido e duração, da mesma maneira, em dinâmica, ele parte de um complexo espaço-temporal com conexão entre os móveis e suas velocidades (*mve*), mas com respeito à transmissão imediata do movimento do agente ao paciente, portanto, enquanto que *ação* globalmente dinâmica, sem que as relações entre as massas, as mudanças de velocidade, os espaços e as durações sejam separados de uma só vez. Mas o fato novo em relação à síntese cinemática é a ligação entre a velocidade do móvel e sua “massa” (volume, peso, etc.) com intuições precoces de peso enquanto favoráveis ao impulso ou que lho resistam (conforme se trate de agente ou paciente), mas um peso variável, ainda dependente das situações. Isso evoca nosso problema de procurar compreender como o sujeito vai passar da indiferenciação à síntese e disso à separação das noções, implicitamente em jogo no impulso espaço-temporal imediato, para refiná-las e as colocar em forma de *relação* de modo a obter as formas sucessivas da noção de força.

Estas idéias de Piaget são essenciais para o desenvolvimento de seu trabalho, mas também, são essenciais para que possamos entender suas constatações com relação às etapas do desenvolvimento da noção de força na criança. A partir destas etapas, com a reinterpretação necessária, podemos estabelecer um critério de correlação entre a visão da formação da noção de força e a visão histórico-epistemológica desenvolvida por Jammer.

Das etapas identificadas por Piaget (1973), apresentamos abaixo uma síntese, que será um dos elementos na construção do perfil conceitual de força, constituindo a coluna 2 (dois) da matriz epistemológica e que designaremos como: *Visão Psicogenética Desenvolvimental*.

Síntese das etapas da Visão Psicogenética Desenvolvimental:

- Etapa I: noção global e correspondente à intuição elementar do impulso ou da grandeza física “ação” (enquanto impulso espaço-temporal); ligação entre a velocidade do móvel e sua “massa” (volume, peso, etc.) com intuições precoces de peso enquanto favoráveis ao impulso ou que lho resistam (conforme se trate de agente ou paciente), mas um peso variável, ainda dependente das situações;
- Etapa II: intervenção da transitividade conduzindo à noção de transmissão mediada e semi-interna do impulso, idéia de qualquer coisa (“corrente”, etc.) que passa de um móvel a outro e que ultrapassa desta maneira o simples impulso - conceito de “impulso” que é, todavia, uma mudança de velocidade (seu aumento até à perda do impulso) e de uma passagem dinâmica (o impulso tanto é “dado” como é “tomado”), adicionando-se à transmissão semi-interna ou corrente certa conservação e certa aditividade dos pesos, ao mesmo tempo em que o impulso espaço-temporal inicia, pode se diferenciar em impulso temporal (início da impulsão) e espacial (início do trabalho, ao menos no plano horizontal) - uma primeira noção de força como variação

temporal do impulso ou $f = \frac{d(mv)}{dt}$ com precisões novas sobre m e sobre v ou

dv .

- Etapa III: permanência das forças nos estados de equilíbrio (os pesos continuam em repouso ao pesar e puxar, etc.) - um princípio de composição vetorial das direções e intensidades - descoberta da aceleração em certas situações (dv tomando, assim, o sentido de um aumento ou diminuição crescentes) - a ligação entre as duas primeiras destas conquistas é evidente e a relação entre direção e aceleração se impõe no caso dos planos inclinados - a força se aproxima, assim, de $f = \frac{d(mv)}{dt}$.

4.4.2 Visão Psicogenético-Histórica

Um segundo suporte de contribuição para nosso balizador psicogenético epistemológico, é conduzido a partir da obra *Psicogênese e História das Ciências*, conforme PIAGET & GARCIA (1983).

Sem sombra de dúvidas, é muito apropriada a colocação de Inhelder, no prefácio da obra de PIAGET & GARCIA (1983), nos seguintes termos:

Toda a obra de Piaget tem sido consagrada à criação de uma epistemologia genética, que, apoiando-se no método psicogenético, tira partido do método histórico-crítico. A sua visão da gênese do conhecimento na criança, clarificada e aprofundada pelo estudo histórico do pensamento científico, foi se renovando incessantemente até a presente obra.

Ainda no prefácio (PIAGET & GARCIA, 1983), Inhelder explicita o fato de que os autores procuram “saber se os mecanismos de passagem de um período histórico ao seguinte, são análogos aos da passagem de um estado genético aos seus sucessores”.

Esta proposição investigativa é exemplificada com as explicações sucessivas que as crianças dão da transmissão de movimento. Tais explicações, segundo a análise dos autores, são elaboradas em função das operações do seu pensamento e podem ser comparáveis às explicações do *impetus*, dadas em épocas sucessivas por pensadores diferentes, desde Aristóteles, Buridan e Benedetti.

Retomando brevemente a análise histórico-crítica desenvolvida por Jammer sobre o conceito de força, evidenciamos o que poderíamos chamar de “flutuação” da noção de força. Observamos que a idéia de força em sua trajetória assume variadas noções em períodos históricos sucessivos, mas também apresenta, muitas vezes, a mesma visão ou visões bastante similares, dadas por pensadores diferentes nestes períodos, num processo que tende a um refinamento como noção, para a efetiva conceituação científica de força.

Ao iniciar a introdução à obra os autores fazem a seguinte colocação:

A opinião mais difundida entre os cientistas e os historiadores das ciências é a de que não existe qualquer relação entre a formação das noções e operações nos estágios mais elementares e a sua evolução nos níveis superiores (Piaget & Garcia, 1983).

É interessante aqui, expor um pensamento de Piaget & Garcia (1983), quando citam o fato de que os autores que contestam a importância da psicogênese para a epistemologia apenas vêem este aspecto factual dos desenvolvimentos e esquecem que, a qualquer nível, o sujeito, obedece às normas cognitivas. [...]. Evidentemente que se trata de normas pré-científicas, mas: O facto fundamental para a epistemologia das ciências é que o sujeito, partindo de níveis muito baixos, de estruturas pré-lógicas, chegará a normas racionais isomorfas das estruturas das ciências aquando do seu nascimento (Piaget & Garcia, 1983).

Piaget e Garcia desenvolvem seu trabalho, analisando os pensamentos de Aristóteles, Buridan entre outros, sobre aspectos da Física, além da Geometria, iniciando com a doutrina aristotélica do movimento, passando pela mecânica medieval, psicogênese e física pré-newtoniana, onde desenvolvem uma análise da psicogênese do *impetus*, caracterizando sua formação final, a partir de quatro estágios construtivos. O desenvolvimento da mecânica e a psicogênese dos conhecimentos físicos são também fatores de análise, no processo de construção desta teoria.

É interessante, para situar e dar uma breve idéia da dimensão deste trabalho de Piaget & Garcia (1983), apresentar alguns parâmetros considerados na esquematização da psicogênese do *impetus*, sem pretender de modo algum, descrever aqui o complexo processo de análise e desenvolvimento até a conclusão do tema.

Piaget & Garcia (1983) distinguem quatro grandes períodos, *desprezando* acelerações e retrocessos, ao esquematizar a história do *impetus*: 1. Um período inicial caracterizado pela teoria aristotélica dos dois motores que admite, para além da causa exterior do movimento, uma força endógena do móvel; 2. Um segundo período em que o motor interno já não é invocado no sentido precedente e em que a única causa do movimento é uma força motriz global, sem a distinção daquilo em que se transformará, na seqüência, a força e o *impetus*; 3. Durante o período seguinte, o *impetus* ou *élan* resulta da força e produz o movimento, ocupando assim uma posição causal intermédia e necessária; 4. Por fim o *impetus* é o resultado do movimento causado pela força e tende assim a traduzir-se, cedo ou tarde, em aceleração.

Acrescentam ainda, que “encontramos um equivalente destes quatro períodos na evolução da psicogênese. E, o que é mais, a criança tem, espontaneamente, uma idéia original que lembra o *impetus* sob o próprio termo de ‘força’ [*élan*], retirado do vocabulário do adulto, mas de acordo com significados de modo algum ditados este” (Piaget & Garcia, 1983).

Ao concluir este tema da psicogênese do *impetus*, os autores colocam:

Se esta é a psicogênese do *impetus*, repare-se que não há nada de inverossímil em fazer-lhe corresponder os períodos históricos no decorrer dos quais nasceu o *impetus* e se atingiu igualmente uma noção que está na origem da noção de aceleração como componente essencial da força (Piaget & Garcia, 1983).

E ainda:

Que estes mecanismos funcionais sejam precoces, mas se encontrem em seguida em todos os estágios, não significa que os sábios de Aristóteles ao período pré-newtoniano tenham extraído as suas idéias do seu inconsciente infantil, caso contrário teria havido prolongamento imediato e não semelhança de processos construtivos: esta semelhança prova, pelo contrario, e isso é muito mais instrutivo, que, nível a nível, o funcionamento da inteligência permanece o mesmo e deve reconstruir sem cessar para superar; o progresso do saber não consiste em simples adições, mas em reorganizações que condicionam as criações. O que parece, em contrapartida, misterioso é a aceleração considerável que manifesta, quanto a este problema do impetus, a sucessão dos estágios na criança por comparação a dos períodos da história. A razão tem a ver, seguramente, com o meio social adulto, cuja ação contínua se traduz por múltiplos incitamentos e por problemas incessantemente renovados (Piaget & Garcia, 1983).

Cabe aqui um comentário: Do que acima expusemos, podemos fazer uma conexão de convergência com o trabalho de Jammer quando desenvolve as idéias de Aristóteles em relação à noção de '*força*' e '*movimento*', muito embora Jammer não mencione, ao menos de forma explícita, a relação de Aristóteles e a idéia de *impetus*. Com mais razão ainda, esta conexão de convergência faz sentido, com a obra predecessora de Piaget (1973), *A Formação da Noção de Força*.

O trabalho desenvolvido Piaget & Garcia, (1983), relativamente ao desenvolvimento da mecânica, desde os gregos até o século XVII, está dividido em quatro fases históricas, correspondentes às quatro etapas da psicogênese.

No desenvolvimento de seu trabalho, os autores identificaram as seguintes formas para a passagem de uma etapa a outra: passagem das pseudonecessidades e pseudo-impossibilidades à necessidade lógica e causal; passagem dos atributos às relações e transição de uma "explicação física" em termos de causas últimas e causas concorrentes para a concepção de uma dinâmica que apenas estabelece dependências funcionais e sistemas de transição.

Assim como os autores, nesta análise, procuram “saber se os mecanismos de passagem de um período histórico ao seguinte, são análogos aos da passagem de um estado genético aos seus sucessores”, procuramos associar estas etapas às categorias do conceito de força, identificadas a partir da visão histórico-crítica de Jammer. Nosso objetivo é estabelecer uma correlação entre estas e as etapas psicogenéticas, identificadas por Piaget e Garcia, no correspondente período histórico, de modo a consolidar a construção do perfil conceitual de força, apresentado sob a forma de uma matriz epistemológica. Embora este estudo psicogenético parta do período histórico grego é possível, num processo de reinterpretação do mesmo, extrapolar algumas das noções mais básicas da visão psicogenética de conceitos associadas à etapa I, ao período anterior ao da ciência grega, devido à compatibilidade das primeiras noções do conceito de força. E mesmo porque, não há uma linha divisória específica que divida com exatidão, a transição de períodos históricos ou mesmo psicogenéticos.

As etapas identificadas por Piaget & Garcia, (1983), referentes à Psicogênese e História das Ciências, abaixo sintetizadas, em contribuição à formação do perfil conceitual de força, constituirão a coluna 3 (três) da matriz epistemológica, designada por: Visão Psicogenético-Histórica. Alguns termos utilizados por Piaget & Garcia serão esclarecidos num pequeno glossário adiante.

Síntese das etapas da Visão Psicogenético-Histórica:

- Etapa I: animismo - primado do sensorial - pseudonecessidades - finalismo - motor interno - egocentrismo - centração nos atributos (predicados) - indiferenciação dos conceitos - contradições;
- Etapa II: início da passagem dos atributos às relações (assimétricas) - diferenciação parcial dos conceitos - introdução da medida (comparações);
- Etapa III: relações - diferenciação dos conceitos - medida;
- Etapa IV : transformações - explicações causais - estruturação dos conceitos num sistema.

4.4.4 Glossário de Terminologia Piagetiana:

Este pequeno glossário foi compilado a partir de nosso entendimento da obra de Piaget & Garcia (1983) e com auxílio do Dicionário Terminológico de Jean Piaget, (BATTRO, 1978), contemplando alguns termos cuja compreensão não se apresenta de forma tão intuitiva.

- **animismo:** crença de que os objetos inanimados, especialmente se em movimento, estão vivos e dotados de consciência, intenções, desejos, sentimentos e pensamentos. Por vezes, o animismo, como explicação, é uma forma de pseudonecessidade.

- **centração nos atributos (predicados ou qualidades):** centração em um só aspecto da situação de cada vez (altura \times largura, peso \times volume, etc.) ou um só ponto de vista (o próprio), obviando outras possíveis dimensões ou pontos de vista diferentes, crendo que todo o mundo vê e pensa como o próprio (egocentrismo).
- **contradições:** até devido à centração em um só aspecto da situação de cada vez e ao egocentrismo, a criança passa facilmente, num momento, de uma explicação para outra, contraditória àquela, num momento posterior, sem preferência definitiva por nenhuma.
- **egocentrismo:** ausência de objetividade; indissociação entre o sujeito e o mundo exterior; apreender tudo a partir da própria perspectiva; incapacidade de adotar o ponto de vista do outro e pouco esforço para adaptar a comunicação às necessidades de quem ouve. Manifesta-se também através das pseudonecessidades, da centração nos atributos, do animismo e do finalismo.
- **estruturação dos conceitos num sistema:** mais do que relações funcionais, num estágio mais avançado, os conceitos são articulados num sistema nocional, tal como o newtoniano.
- **explicações causais:** formulação de um conjunto de explicações possíveis, baseadas num raciocínio dedutivo, que permite identificar quais são as conseqüências das ações realizadas sobre a realidade.

- **finalismo:** crença de que todos os processos ocorrem tendo em vista um 'ponto de chegada', um propósito, um objetivo a ser atingido, este muitas vezes presente na consciência atribuída ao objeto que realiza a ação (animismo). Lembra tanto a "causa final" e o "lugar natural" aristotélicos, quanto à teleologia. Por vezes, o finalismo, como explicação, é uma forma de pseudonecessidade. Frequentemente o objetivo é o de satisfazer alguma necessidade humana (egocentrismo).
- **indiferenciação dos conceitos:** conceitos básicos afins são confundidos, p. ex., energia, impulso, força, potência e trabalho; massa, peso e volume; seres vivos e inanimados; etc.
- **motor interno:** suposição aristotélica para justificar o movimento dos corpos, uma vez terminado o contato com o motor externo; nas crianças é consequência da diferenciação tardia entre os seres vivos e os não-vivos.
- **passagem dos predicados às relações:** passagem gradual do foco da atenção dos aspectos particulares às possíveis relações funcionais entre eles, p.ex., do volume e do peso para a densidade.
- **primado do sensorial:** deixar-se levar mais pelos aspectos perceptivos do problema (cor, peso, etc.) do que por mecanismos e explicações menos visíveis.

- **pseudonecessidades:** indiferenciação entre o geral e o necessário, entre o factual e o normativo (se o objeto x é tal como é, é porque ele deve ser assim). A todos os níveis do pensamento científico, a descoberta de um novo possível pode ser longamente bloqueada pelas pseudonecessidades (vide, p.ex., Kepler e as órbitas circulares).
- **transformações:** ser capaz de seguir e ter em conta as transformações físicas, em vez de se fixar somente nos estados iniciais e finais de uma transformação, relacionando os estados anteriores e futuros ou potenciais através da identidade, compensação e reversibilidade do processo.
- **transformações:** ser capaz de seguir e ter em conta as transformações físicas, em vez de se fixar somente nos estados iniciais e finais de uma transformação, relacionando os estados anteriores e futuros ou potenciais através da identidade, compensação e reversibilidade do processo.

4.5 AS CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS DO CONCEITO DE FORÇA

Na seqüência do desenvolvimento de nosso trabalho, apresentamos neste item, algumas considerações a respeito das concepções alternativas que os alunos trazem para sala de aula com relação ao conceito de força.

Nosso objetivo aqui é procurar estabelecer uma correlação entre o resultado de alguns trabalhos de pesquisa das duas ou três últimas décadas do século passado relativamente às visões do senso comum sobre o conceito de força e, as possibilidades de uso de um recurso como a noção de “perfil conceitual de força”, no sentido de que os alunos possam evoluir de uma forma suave, porém consistente, para a noção científica do conceito de força.

Isto decorre, tendo em vista que a análise da literatura sobre concepções alternativas, selecionada para desenvolver este trabalho, mostra claramente, através dos resultados da metodologia de avaliação aplicada, que apesar dos esforços dos professores, para que o estudante evolua para a noção científica do conceito de força, um número significativo deles, mantêm sua visão extracientífica em determinados aspectos.

Dentre os instrumentos de teste e avaliação desenvolvidos por diversos pesquisadores, sobre as noções extracientíficas do conceito de força, um dos mais destacados e completos é o conhecido “*Force Concept Inventory*” (HESTENES; WELLS & SWACKHAMER, 1992). Sua importância reside no fato de que, partindo da condição de que o conceito central da mecânica newtoniana é *força*, os autores projetaram este instrumento para sondar as crenças dos estudantes neste tema e como estas crenças são comparáveis com as muitas dimensões do conceito newtoniano.

De fato, a tabela I do “*Force Concept Inventory*”, relaciona uma série de conceitos newtonianos, essenciais ao conceito newtoniano de força,

compreendendo as três Leis de Newton, o Princípio da Superposição; Tipos de Força: como de contato sólido (impulsiva, passiva, etc.); Contato Fluido e Gravitação, que são trabalhados com uma taxonomia de 28 (vinte e oito) concepções extracientíficas, agrupadas em um conjunto maior de 6 (seis) categorias como: *impetus* (*impetus* circular, fornecido por impacto, perda/recuperação do *impetus* original, etc.); *forças ativas* (movimento implica em força ativa; não movimento implica em não força, etc.); pares ação/reação (maior massa implica em maior força, etc.), além de *concatenação de influências* como a maior força determina o movimento, e *outras influências sobre o movimento* como força centrífuga, resistência e gravidade. Este instrumento de teste apresenta um conjunto de 29 (vinte e nove) questões, nas quais apenas uma alternativa, usualmente, corresponde à resposta correta sob o ponto de vista newtoniano e as demais alternativas, normalmente 4 (quatro), apresentam respostas na visão do senso comum, via de regra inerente a uma dada concepção como *impetus* ou pares ação/reação, por exemplo.

Observamos aqui, que este instrumento, “*Force Concept Inventory*”, conforme explicitado no capítulo 5 (cinco) deste trabalho, serviu de base para a elaboração do instrumento de teste desenvolvido para a validação de nosso perfil conceitual de força.

Trabalhando em algumas idéias sobre força, de um grupo de jovens com idade inicial de 14 anos, Watts e Zylberstajn desenvolvem um trabalho interessante, propondo um conjunto de 12 (doze) questões de múltipla escolha, separadas em conjuntos específicos, procurando pesquisar a associação entre “*força e*

movimento”, “forças de ação-e-reação e movimento” e “outro conjunto explorando noções de força e gravidade”.

Um comentário interessante dos autores é: *“Está o professor mesmo consciente do abismo que pode existir entre sua estrutura de referência e aquela dos seus alunos?”* (WATTS & ZYLBERSTAJN, 1981).

Segundo os autores, não é novidade que os jovens têm uma pronunciada visão aristotélica sobre força e movimento, e freqüentemente rejeitam, ou falham em apreciar, a essência da versão da mecânica newtoniana. Citando Cohen (1960), Watts & Zylberstajn colocam que, como os antigos gregos, os estudantes parecem sugerir que o repouso é algo natural, e que um pesado objeto como uma bola ou uma pedra tem um “violento” ou não natural movimento quando se move para cima. Os objetos ou coisas movem-se para baixo, para o seu lugar natural.

Outra importante assertiva neste trabalho é que tipicamente, os jovens baseiam suas idéias na experiência diária e sensações, e consideram que “forças causam movimento” e que “uma força constante” é necessária para manter “constante o movimento”.

Watts & Zylberstajn, expressam que “nosso propósito neste exercício foi o de aceder à popularidade de algumas estruturas alternativas em particular, derivadas de um estudo da literatura. Nossa suposição era que um ‘abismo de entendimento’ existe entre professores e alunos e queríamos julgar a extensão desta lacuna”.

Como discussão do resultado, Watts & Zylberstajn colocam que a grande maioria das amostragens, respondeu as questões de múltipla escolha, de acordo com as estruturas alternativas mencionadas no parágrafo inicial. Com relação ao comportamento dos professores, em geral, pareciam conscientes em suas predições com relação aos resultados das concepções pertinentes a força e movimento e ação e reação. No entanto, salientam Watts & Zylberstajn, suas predições quanto aos resultados dos alunos, em relação a outras concepções alternativas, como no exemplo de dois pesos iguais, ligados por um pedaço de mola e colocados levemente sobre uma polia em alturas distintas com relação ao chão, entre outros exemplos, não foram tão boas. Um outro aspecto colocado é que as visões dos jovens diferem mesmo dentro de uma concepção de caráter geral. Há evidências que sugerem que as concepções alternativas não se desfazem com anos de ensino formal. Também uma conscientização por parte do professor da existência e resistência das concepções dos alunos é desejável.

Embora vários outros trabalhos similares tenham contribuído para o desenvolvimento de nosso trabalho e também para a construção de nossa Matriz Epistemológica, esta pesquisa de Watts & Zylberstajn, mostra claramente que:

- Os alunos trazem concepções alternativas sobre o conceito de força, que se enquadram basicamente nas categorias primeiras, pré-newtonianas, identificadas na análise histórico-crítica do conceito de força, e integrantes da Matriz Epistemológica.

- A persistência das noções alternativas do conceito de força, mesmo após anos de ensino formal, é um indicativo de que há uma descontinuidade, uma espécie de “abismo” entre o que aluno já sabe (o senso comum) sobre força e aquilo que o professor ensina em sala de aula, suas estruturas científicas sobre força.
- Esta descontinuidade por sua vez, promove um obstáculo tanto ontológico, como epistemológico, para que o aluno evolua, de forma suave e contínua, para categorias de poder explanatório sucessivamente mais abrangentes da noção de força.

Vale aqui lembrar a citação de Ausubel (1980), conforme disposto na metodologia deste trabalho, onde ressalta que dentre os fatores cognitivos da aprendizagem em sala de aula, a estrutura de conhecimento existente na ocasião da aprendizagem (variáveis de estrutura cognitiva) talvez seja a consideração mais importante. Segue, pois, que uma importante variável para a aprendizagem e retenção de novas idéias ou conceitos, materiais logicamente significativos, é a existência na estrutura cognitiva do estudante, de idéias e conceitos relevantes, cujo padrão de inclusividade deve propiciar a melhor condição de relacionamento com o novo material. (AUSUBEL, NOVAK, & HANESIAN, 1980).

Portanto, conforme os autores mencionam e a citação de Ausubel acima reforça, é importante que o professor esteja conscientizado do fato de que o aluno traz noções do senso comum sobre o conceito de força e que estas noções, isto é,

aquilo que o aluno já sabe, constituem-se subsunçoes, e prováveis obstáculos ontológicos à evolução para a noção científica de força.

Entendemos que o professor de ciências deve desenvolver um processo construtivo e evolutivo de forma gradual, para cobrir este “abismo” mencionado por Watts & Zylberstajn (1981), entre o que o aluno já sabe sobre força e suas estruturas científicas.

O perfil conceitual de força, que reúne um conjunto de categorias deste conceito, onde cada uma delas possui um poder explanatório mais abrangente que a anterior, pode servir como instrumento de suporte nesta tarefa da evolução da noção de força para a visão científica.

Por outro lado, o professor, com base neste instrumento, pode ainda construir o perfil conceitual de força, individual, de seus alunos, obtendo não só para si, mas também dando ao aluno o conhecimento de seu próprio perfil conceitual de força e a visão de eventuais obstáculos ontológicos e/ou epistemológicos a serem superados.

Fica-nos claro também, considerando o trabalho desenvolvido por Jammer, com relação ao conceito de força, a relevância do conhecimento, por parte do professor de ciências, da visão histórico-crítica de conceitos em ciências.

Além de mostrar o processo de maturação e a ampla gama de noções que um conceito pode assumir ao longo de sua construção, pode propiciar ao professor outro poder de análise e de superação de obstáculos ontológicos e epistemológicos,

concorrendo para que o aluno evolua de forma gradual para o aprendizado de conceitos sob a visão Científica.

5 O PERFIL CONCEITUAL DE FORÇA

No capítulo anterior, procuramos estruturar um conjunto de categorias, referentes ao desenvolvimento da noção de força, sob os aspectos de ordem histórico-crítica e psicogenético-epistemológica, de acordo com a metodologia proposta.

Uma vez estabelecidos estes parâmetros necessários, passemos agora à construção e validação do perfil conceitual de força.

5.1 CONSTRUÇÃO DO PERFIL CONCEITUAL

Neste item abordamos o processo de construção de nossa proposta de um perfil conceitual de força, conforme disposto na Metodologia do presente trabalho.

Este item está tecnicamente subdividido em dois subitens que são: A Matriz Epistemológica da noção de força e, As categorias do “Perfil Conceitual” de força.

5.1.1 A Matriz Epistemológica da noção de força

Nosso objetivo neste item é introduzir um instrumento que denominamos de ‘Matriz Epistemológica’, cujo conteúdo tem por base as várias interpretações da noção de força, identificadas na pesquisa bibliográfica das diferentes visões deste conceito, relativamente: (1) à visão histórico-epistemológica do conceito de força, desenvolvida por Jammer (1957); (2) à visão psicogenética desenvolvimental segundo a pesquisa de Piaget com crianças (1973); (3) às etapas do desenvolvimento psicogenético-histórico de força, segundo Piaget & Garcia (1983) e, (4) às concepções alternativas e newtonianas de alunos, analisadas em diversos trabalhos de pesquisa na área.

O arranjo desta matriz foi elaborado de forma que a ordem das categorias do conceito de força, identificadas em cada uma das diferentes visões analisadas e representadas pelas colunas desta matriz, seja tal que cada categoria subsequente, tenha um poder explanatório sucessivamente crescente, em relação à categoria anterior.

Esta estrutura em forma de matriz, das diversas visões da noção de força, busca correlacionar horizontalmente, sempre que viável, as interpretações nas diferentes colunas da matriz. O objetivo é verificar a existência de isomorfismos

entre elas, permitindo identificar as categorias do perfil conceitual de força, com base na noção desenvolvida por Mortimer (1995).

Tal correlação permite, especialmente nas etapas iniciais, que algum entendimento possa ser inferido quanto à persistência das noções de força do senso comum nos alunos e indivíduos de modo geral, mesmo após o ensino da visão científica do conceito de força. Vale lembrar que estas noções do senso comum constituem-se em obstáculos epistemológicos e/ou ontológicos ao ensino de conceitos em ciências.

Entendemos ser oportuno relembrar Mortimer (1995): “não se constitui em novidade o fato de que as pessoas possam exibir diferentes formas de ver e representar a realidade a sua volta”. Comenta ainda que Bachelard já havia usado esta idéia em 1940, na construção do seu perfil epistemológico.

Ao contrário de Mortimer, visando evoluir na idéia da construção de um perfil conceitual da noção de força, de modo a estabelecer um espectro das ontologias identificadas na análise histórico-crítica desenvolvida por Jammer e, conseqüentemente, dispor de uma flexibilidade técnica maior para a construção da Matriz Epistemológica, não nos ativemos às estruturas filosóficas que Bachelard utiliza para construir seu perfil epistemológico, relativamente ao conceito de massa.

A seguir, de conformidade com as concepções identificadas e reinterpretadas pela pesquisa bibliográfica, apresentamos a estrutura que denominamos “Matriz Epistemológica” da noção de força.

Matriz Epistemológica

| Cat. | Visão Histórico-Epistemológica ¹ | Visão Psicogenética Desenvolvimental ² | Visão Psicogenético-Histórica ³ | Concepções dos estudantes |
|------|--|---|---|---|
| I | <ul style="list-style-type: none"> - noção de força originada da percepção de nosso esforço físico, muscular; antropomórfica, animista, indistinta de energia, esforço, trabalho, potência, poder e movimento. | | <ul style="list-style-type: none"> - animismo; - primado do sensorial; - indiferenciação dos conceitos | <ul style="list-style-type: none"> - confundem conceitos de força, energia potencial, potência, energia, força gravitacional e peso⁶. |
| II | <ul style="list-style-type: none"> - força como elementos antagônicos, agindo simultaneamente sobre todas as coisas (visão corpórea); - inerente à matéria, emanando desta e agindo sobre outro corpo, mas sob contato direto; - força como propriedade de Deus, manifesta como seres incorpóreos divinos, criados por Deus e totalmente imanente no mundo; - substancialista, dual (opostos em conflito), reguladora da natureza, de origem divina, atuando por contato; - movimento proporcional à força. | <ul style="list-style-type: none"> - noção global e correspondente à intuição elementar do impulso ou da grandeza física “ação” (enquanto impulso espaço-temporal); - ligação entre a velocidade do móvel e sua “massa” (volume, peso, etc.) com intuições precoces de peso enquanto favoráveis ao impulso ou que lho resistam (conforme se trate de agente ou paciente), mas um peso variável, ainda dependente das situações. | <ul style="list-style-type: none"> - pseudonecessidades; - finalismo; - motor interno; - egocentrismo; - concentração nos atributos (predicados); - contradições. | <ul style="list-style-type: none"> - força parece residir dentro dos objetos; é imanente e sugere alguma espécie de poder residindo no objeto ou corpo⁷; - associam movimento com força⁶; - se um corpo se move há uma força atuando sobre ele, na direção do movimento; - se um corpo não se move, não há força atuando sobre ele^{6,7}. |

| | | | | |
|-----|--|--|---|---|
| III | <ul style="list-style-type: none"> - força como ação a distância, sem contato, corpórea, inerente ao objeto, influenciada pela astrologia, como elemento de atração ou repulsão sem dualidade inicial; - persiste a idéia de natureza ou origem divina; - forças musculares ou naturais, resistivas ao movimento local do objeto; - como 'simpatia' (emanação divina), de conotação psíquica, partes se unem ao todo (atração dos semelhantes); - como expansão (calor) e contração (frio). | <ul style="list-style-type: none"> - intervenção da transitividade conduzindo à noção de transmissão mediada e semi-interna do impulso, idéia de qualquer coisa ("corrente", etc.) que flui de um móvel a outro e que ultrapassa desta maneira o simples impulso; - conceito de "impulso" que é, todavia, uma mudança de velocidade (aumento até à perda do impulso) e de uma passagem dinâmica (o impulso tanto é "dado" como é "tomado") reunindo-se à transmissão semi-interna ou corrente uma certa conservação e uma certa aditividade dos pesos, ao mesmo tempo que o impulso espaço-temporal inicia pode se diferenciar em impulso temporal (início da impulsão) e espacial (início do trabalho, ao menos no plano horizontal); - uma primeira noção de força como variação temporal do impulso ou $f = \frac{d(mv)}{dt}$ com precisões novas sobre m e sobre v ou dv. | <ul style="list-style-type: none"> - início da passagem dos atributos às relações (assimétricas); - diferenciação parcial dos conceitos; - introdução da medida (comparações). | <ul style="list-style-type: none"> - há uma força para cima e decrescente no corpo que sobe, podendo ser identificada com o <i>impetus</i> em dissipação^{4,5}; - objetos inanimados não exercem força^{4,5}; - força como propriedade de objetos⁸. |
|-----|--|--|---|---|

| | | | | |
|-----------|--|--|--|--|
| IV | <ul style="list-style-type: none"> - força de ordem imaterial, ora como alma (faculdade animadora), dirigindo os corpos celestes, ora como uma quantidade física, quase corpóreo-mecânica; - de atração mútua (gravitação), emanando dos corpos; - sujeita ao formalismo matemático; - reguladora do movimento dos corpos celeste, não é centralmente atrativa; - equivalente a peso; - impressa (de contato); - como seqüência de impulsos instantâneos que se somam. Ação externa, não inerente à matéria; - centrífuga, real como equilibradora da força de gravitação; - na visão cartesiana: é uma noção psíquica. | <ul style="list-style-type: none"> - permanência das forças nos estados de equilíbrio (os pesos continuam em repouso ao pesar e puxar, etc.); - um princípio de composição vetorial das direções e intensidades; - descoberta da aceleração em certas situações (<i>dv</i> tomando, assim, o sentido de um aumento ou diminuição crescentes); - a ligação entre as duas primeiras destas conquistas é evidente e a relação entre direção e aceleração se impõe no caso dos planos inclinados; - a força se aproxima, assim, de $f = \frac{d(mv)}{dt}$. | <ul style="list-style-type: none"> - relações; - diferenciação dos conceitos; - medida. | |
| V | <ul style="list-style-type: none"> - conceito apriorístico, intuitivo; - força como propriedade de resistência inerente à matéria (inércia) ou como força impressa por ação externa, mudando seu estado de repouso ou movimento uniforme numa linha reta; - vetorial e, componível segundo a regra do paralelogramo no caso de duas forças agindo sobre um corpo; - agente causal da aceleração; - dual agindo em pares de ação e reação, possivelmente adistância; - idéia metafísica de espíritos etéreos, como atração sobre corpos em distâncias próximas; - taxa de variação do momento - 2ª lei de Newton; - força da gravidade de origem externa à matéria. | | <ul style="list-style-type: none"> - transformações; - explicações causais; - estruturação dos conceitos num sistema. | <ul style="list-style-type: none"> - movimento não associado à força e sim pela inércia⁴; - força como soma vetorial; - composição de forças⁴; - gravidade: aceleração independente da massa do corpo⁴. |
| VI | <ul style="list-style-type: none"> - força como troca de partículas virtuais (fótons, glúons, grávitons, W^+, W^- e Z^0) | | | |

| | | | | |
|-------------|---|--|--|--|
| VII | - força análoga à força newtoniana, relacionando-se, porém com a massa relativística, dependente da velocidade, e não a massa inercial, de repouso. No entanto, a aceleração não é, em geral, codirecional à força e a ação adistância não é instantânea, mas propaga-se limitada pela velocidade da luz. | | | |
| VIII | - força como o desvio do corpo de seu percurso natural (geodésica) no espaço-tempo | | | |

Fontes: ¹ JAMMER, 1957; ² PIAGET, 1973; ³ PIAGET & GARCIA, 1983; ⁴ HESTENES, WELLS & SWACKHAMER, 1992; ⁵ SADANAND & KESS, 1990; ⁶ WATTS & ZYLBERSZTAJN, 1981; ⁷ WATTS, 1983; ⁸ BROWN, 1989.

5.1.2 As categorias do Perfil Conceitual de Força

Com o objetivo de possibilitar uma visão mais compreensiva, apresentamos em destaque da Matriz Epistemológica, a relação específica das categorias identificadas do perfil conceitual de força, tendo por base a obra de Jammer (1957), conforme item 4.3 deste trabalho.

Estas categorias representam as diferentes zonas do perfil do conceito de força e foram reinterpretadas e sintetizadas, de modo a tornar o 'Perfil Conceitual' um instrumento ágil e acessível em uma de suas finalidades, que é a construção e análise de perfis conceituais individuais dos alunos, com relação ao conceito de força.

Com as categorias do perfil conceitual, a tabela de Taxonomias indicada no item 5.2, e a aplicação de um instrumento de teste adequadamente elaborado, o

professor pode construir o perfil conceitual individual de força dos alunos, acedendo as suas ontologias mais marcantes e, assim, desenvolver uma metodologia de ensino potencialmente mais eficaz, no sentido destes evoluírem para a noção científica de força.

Isso posto, relacionamos a seguir, as categorias do perfil conceitual de força, extraídas da matriz epistemológica anterior:

- I: noção de força originada da percepção de nosso esforço físico, muscular; antropomórfica, animista; indistinta de energia, esforço, trabalho, potência, poder e movimento.
- II: força dual (opostos em conflito), reguladora, de origem divina, inerente à matéria, atuando por contato;
- III: força como 'simpatia' (atração dos semelhantes), corpórea, inerente ao objeto, de natureza ou origem divina, agindo à distância. Resistência ao movimento do objeto como força (vis resistiva).
- IV: força de ordem imaterial, passível de formalização matemática. Força como seqüência de impulsos instantâneos, externos, que se somam. Força centrífuga, real, como reguladora do movimento circular dos corpos.
- V: força como conceito apriorístico. Força como propriedade de resistência inerente à matéria (inércia) ou como força impressa por ação externa, esta

vetorial, componível segundo a regra do paralelogramo, agente causal da aceleração, agindo em pares de ação e reação, possivelmente à distância, mas através de espíritos etéreos, formando um 'campo de forças'.

- VI: forças como trocas de partículas virtuais (píon, fóton, W/Z e gráviton), na Mecânica Quântica.
- VII: força na Relatividade Restrita análoga à força newtoniana, relacionando-se, porém com a massa relativística, dependente da velocidade, e não a massa inercial, de repouso. No entanto, a aceleração não é, em geral, codirecional à força e a ação a distância não é instantânea, mas propaga-se limitada pela velocidade da luz.
- VIII: Força como o desvio do corpo de seu percurso natural (geodésica) no espaço-tempo, na Relatividade Geral.

5.2 VALIDAÇÃO DO PERFIL CONCEITUAL

Aqui tratamos da análise e discussão do processo de validação de nossa proposta de perfil conceitual de força, de conformidade com o estabelecido na Metodologia do presente trabalho. Este item está tecnicamente subdividido em dois

subitens que são: Taxonomia das concepções alternativas e científicas e Análise dos resultados dos testes.

5.2.1 Taxonomia das concepções alternativas e científicas

De conformidade com o previsto no capítulo 3, Metodologia, foi aplicado um teste com o objetivo apenas de verificar que categorias do perfil conceitual de força estão presentes nos alunos. Este teste é apenas um protótipo, cuja idéia é aceder às representações dos estudantes com relação à noção de força, relacionadas ao seu cotidiano, sendo que os resultados estão analisados e dispostos em tabelas específicas na seqüência deste item. Num trabalho posterior, pretende-se desenvolver um instrumento de teste mais elaborado.

Para tal, com base na matriz epistemológica da noção de força e no “*Force Concept Inventory*”, elaboramos a Tabela 1 “Taxonomia de concepções alternativas ou científicas e categorias do perfil conceitual de força”, como o instrumento de caráter prático, tanto para a construção do teste realizado como para a efetiva consolidação de seus resultados.

Procuramos selecionar um conjunto de concepções que, embora não tendo a abrangência da taxonomia investigada pelo *Force Concept Inventory*, fossem representativas o suficiente, a fim de possibilitar a validação do perfil conceitual de força dos estudantes, com o maior número possível de zonas destes perfis.

Na Tabela 1 abaixo, apresentamos a taxonomia de concepções alternativas,

de conceitos newtonianos e categorias do perfil conceitual, selecionadas para elaboração deste instrumento de teste. Buscando dar uma melhor compreensão desta tabela, indicamos também a coluna pertinente às questões de nosso instrumento de teste.

Tabela 1

Taxonomia de concepções alternativas ou científicas e categorias do perfil conceitual de força

| Categoria | Concepção | Item |
|------------------|--|----------------|
| I | Noção indistinta; animista e antropocêntrica. | |
| II | Força dual, reguladora, de origem divina, inerente à matéria, atuando por contato. | 6,7 |
| III | Força como 'simpatia', corpórea, inerente ao objeto, de natureza ou origem divina, agindo à distância. Resistência ao movimento do objeto como força (<i>vis resistiva</i>). | |
| III | G2 - gravidade intrínseca à massa | 3e |
| | CI1 - a maior força determina o movimento | 9a |
| | CI2 - compromisso de forças determina o movimento | 2c; 9c,d; 1a |
| | CI3 - última força a agir determina o movimento | 4a |
| | AF1 - apenas agentes ativos exercem forças | 8d; 12a |
| III | AF2 - movimento implica em força ativa | 11a |
| | AF3 - ausência de movimento implica ausência de forças | 12e |
| III | AF4 - velocidade proporcional à força aplicada | 10 |
| | AR1 - maior massa implica em maior força | 8b |
| | AR2 - agente mais ativo produz a maior força | 8c |
| | CF - força centrífuga | 2c,d,e |
| | Ob. - obstáculos não exercem força | 8e; 12a |
| | R1 - massa faz objetos pararem | 11a,b |
| | G1 - gravidade ajudada pela pressão do ar | 12c |
| III | Visão funcional de força | 5F |
| IV | I1 - impetus fornecido por impacto | 11d - 10 |
| IV | I2 - perda/recuperação do <i>impetus</i> | 2d, 4c,e |
| IV | I3 - dissipação de <i>impetus</i> | 3a,b,c; 1c;11b |
| IV | I4 - formação gradual/retardada do <i>impetus</i> | 4d; 11e |
| IV | I5 - impetus circular | 2a,d |
| IV | G5 - gravidade atua depois que o <i>impetus</i> se esgota | 1c |
| V | 1ª Lei de Newton | 2b; 4b |
| V | 2ª Lei de Newton | 4b |
| V | 3ª Lei de Newton | 8a |
| V | 4 - força vetorial, componível segundo a regra do paralelogramo. | 9b |
| V | Visão relacional de força | 5R |
| V | Visão newtoniana de força | 7 |
| | 5S - força passiva de contato com sólido | 12b,d |
| | - atrito se opõe ao movimento | 11c |
| | 5F - força de empuxo de contato com fluido | 12d |
| | 5G - gravitação | 12b,d; 3d |
| | 5G - trajetória parabólica do projétil | 1b |
| VI | Forças de troca (interação) entre partículas | 13, |
| VI | Forças de troca (interação) entre partículas | 14c, 15e |
| VII | Força relativística | 16 |
| VIII | Força como curvatura do espaço | 17 |

Salientamos que a funcionalidade desta taxonomia está no processo que permitirá associar, mesmo que de forma aproximada, cada particular resposta de um teste individual, a uma correspondente categoria do conceito de força da matriz epistemológica, identificando a visão ontológica do aluno com relação à noção de força proposta na questão, seja ela uma visão newtoniana ou uma alternativa do senso comum.

5.2.2 Análise dos resultados dos testes

O público alvo constituiu-se num total de nove alunos que, efetivamente, apresentaram pelo menos uma questão respondida no instrumento de teste entregue. Estes alunos estão identificados nas tabelas de resultados, por letras em ordem alfabética de A até I.

O modelo de teste aplicado consta no Apêndice 1. Na Tabela 2 abaixo estão assinaladas as respostas dos alunos às questões propostas, relativas à taxonomia de concepções alternativas e de conceitos newtonianos, pertinentes às questões fechadas e também as respostas pertinentes às questões abertas, associando tais respostas, às categorias do perfil conceitual de força, conforme disposto na Matriz Epistemológica.

As questões fechadas têm como base questões formuladas no “*Force Concept Inventory*” (HESTENES; WELLS & SWACKHAMER, 1992), um instrumento desenvolvido para verificar o que os estudantes pensam a respeito da noção de “força” e foram selecionadas de modo que as respostas relativas às noções do

senso comum, busquem evidenciar qual a noção mais marcante no estudante, para aquela situação proposta. Por outro lado, uma alternativa de resposta, dentro do conceito newtoniano de força, é oferecida dentro do conjunto de respostas da questão.

Como salientam os autores (HESTENES; WELLS & SWACKHAMER, 1992), este instrumento não é um teste de inteligência; é uma investigação sobre um sistema de crenças.

Tabela 2

| Resultado geral do teste | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|---|----------------------|--------------------|------------|---|---|---|---|---|---|---|--------|
| Catego- ria | Concepção | Item FCI | Item | Estudantes | | | | | | | | |
| | | | | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
| I | Noção indistinta; animista e antropocêntrica. | | | | | | | | | | | |
| II | Força dual, reguladora, de origem divina, inerente à matéria, atuando por contato. | | 6; 7 | | | | | | | | | * * |
| III | Força como 'simpatia', corpórea, inerente ao objeto, de natureza ou origem divina, agindo à distância. Resistência ao movimento do objeto como força (<i>vis resistiva</i>) | | | | | | | | | | | |
| III | G2 - gravidade intrínseca à massa | 5e | 3e | | | | | | | | | |
| | CI1 - a maior força determina o movimento | 19a | 9a | | | | | | | | | |
| | CI2 - compromisso de forças determina o movimento | 4c; 19c,d; 16a | 2c; 9c,d; 1a | | | | | | | | | * * |
| | CI3 - última força a agir determina o movimento | 6a | 4a | | | | | | | | | |
| | AF1 - apenas agentes ativos exercem forças | 14d; 12a | 8d; 12a | | * | | | | | | | |
| III | AF2 - movimento implica em força ativa | 29a | 11a | | | | | | | | | * |
| | AF3 - ausência de movimento implica ausência de forças | 12e | 12e | | | | | | | | | |
| III | AF4 – velocidade proporcional à força aplicada | | 10 | * | | * | | | | | | |

| Catego- ria | Concepção | Item FCI | Item | Estudantes | | | | | | | | | | | |
|----------------|--|-------------------------|-------------------|------------|---|---|---|---|---|--------|---|---|---|---|---|
| | | | | A | B | C | D | E | F | G | H | I | | | |
| | AR1 - maior massa implica em maior força | 14b | 8b | | | | | | | | | | | | |
| | AR2 - agente mais ativo produz a maior força | 14c | 8c | | | | | | | | | | | | |
| | CF – força centrífuga | 4c,d,e | 2c,d,e | | * | | | | | | | | | | |
| | Ob. - obstáculos não exercem força | 14e; 12a | 8e; 12a | | | | | | | | | | | | |
| | R1 – massa faz objetos pararem | 29a,b | 11a,b | | | | | | | | | | | | * |
| | G1 - gravidade ajudada pela pressão do ar | 12c | 12c | * | | | | | | | | | | | |
| III | Visão funcional de força | -- | 5F | | | | | | | | | * | * | | |
| IV | Força como impetus – externa à matéria | | 7 | * | | | | | | | | | | | |
| IV | I1 – impetus fornecido por impacto | 29d | 11d - 10 | | | * | | | | | | | | | * |
| IV | I2 - perda/recuperação do impetus | 4d, 6c,e | 2d, 4c,e | | | | | | | | | | | | |
| IV | I3 - dissipação de impetus | 5a,b,c ; 16c; 29b | 3a,b,c; 1c;11b | * | * | * | | * | * | * | * | * | * | * | * |
| IV | I4 - formação gradual/retardada do impetus | 6d; 29e | 4d; 11e | * | | | | | | | | | | | * |
| IV | I5 - impetus circular | 4a,d | 2a,d | | | | | | | | | | | | |
| IV | G5 - gravidade atua depois que o impetus se esgota | 16c | 1c | | | | | | | | | | | | |
| V | 1ª Lei de Newton | 4b; 6b | 2b; 4b | * | | * | | * | * | | | | | | |
| V | 2ª Lei de Newton | 6b | 4b | | * | * | | | * | * | * | * | * | * | |
| V | 3ª Lei de Newton | 14a | 8a | * | * | * | | * | * | * | * | * | * | * | |
| V | 4 - força vetorial, componível segundo a regra do paralelogramo. | 19b | 9b | | | | | | | * | * | * | * | * | |
| V | Visão relacional de força | -- | 5R | | * | | | | * | | | | | | * |
| V | Visão newtoniana de força | -- | 7 | | | * | | | * | * | * | * | * | * | |
| | 5S - força passiva de contato com sólido | 12b,d | 12b,d | | * | * | | * | * | * | * | * | * | * | * |
| | - atrito se opõe ao movimento | 29c | 11c | | | | | * | | * | * | * | * | * | |
| | 5F – força de empuxo de contato com fluido | 12d | 12d | | | | | | | | | | | | |
| | 5G - Gravitação | 12b,d; 5d | 12b,d; 3d | | * | * | | * | * | * | * | * | * | * | * |
| | 5G - trajetória parabólica do projétil | 16b | 1b | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| VI | Forças de troca (interação) entre partículas | -- | 13, | | | | | | | T M | | | | | |
| VI | Forças de troca (interação) entre partículas | -- | 14c, 15e | | | | | | | | | | | | |
| VII | Força relativística | -- | 16 | | | | | | | | | * | | | |
| VIII | Força como curvatura do espaço | -- | 17 | | | | | | | | | | | | |

As questões abertas foram apresentadas em dois conjuntos com

características distintas. No primeiro conjunto, questões de números cinco, seis e sete, argüindo sobre como o aluno definiria força, o que causa uma força e tipos de força conhecidos, nosso objetivo básico, na medida em que os parâmetros das respostas individuais nos permitissem, era estabelecer um indicador que mostrasse a tendência à categoria do perfil de força, que cada aluno mais se identifica. No segundo conjunto de questões, formado pelas questões de números treze a dezessete, nosso objetivo foi o de verificar, para o grupo de alunos selecionados, que possíveis idéias a respeito da noção de força eles possuem nesta fase de escolarização, em termos do que chamamos de Física Moderna. Qual a sua noção do conceito de força em situações onde o âmbito da ciência já não é o da Mecânica Newtoniana. De forma semelhante ao item anterior, buscamos com esses dados, estabelecer aqui uma correlação com categorias de ordem superior da noção de força, que nos indicasse a presença ou não de zonas representativas de noções mais avançadas do conceito de força, no perfil individual dos alunos.

Ressalvamos aqui, que ao contrário das questões do *Force Concept Inventory*, as questões de número 14 (catorze) e 15 (quinze), possuem apenas uma alternativa correta, sendo que as demais alternativas propostas são meros distratores, não representando qualquer concepção alternativa no âmbito da questão.

No desenvolvimento de nossa análise, com relação ao conjunto de questões fechadas, baseadas no "*Force Concept Inventory*", selecionamos as respostas mais representativas das visões extracientíficas e das conceptualizações newtonianas de

força, apresentadas pelos alunos. A análise e comentários sobre os resultados deste procedimento são apresentados a seguir.

Iniciando com a questão 9 (nove), sobre composição de forças, 5 (cinco) alunos marcaram respostas relativas à noções do senso comum, do tipo compromisso de forças determina o movimento (CI2). Na questão 11 (onze), 4 (quatro) estudantes marcaram a alternativa 11a, que de acordo com a taxonomia do *Force Concept Inventory (FCI)*, explicitam a idéia de (1) movimento implica em força ativa (AF2) e (2) massa faz objetos pararem (R1).

Nota-se aqui, uma visão claramente aristoteliana dos alunos, nas questões relativas à força e movimento.

Já a questão 3 (três), sobre que forças atuam num objeto que é lançado para cima e retorna após determinado tempo, 8 (oito) alunos que escolheram uma alternativa de resposta, o fizeram entre aquelas que mencionavam a atuação de “uma força para cima”, cuja classificação em nossa Tabela 2 e do *FCI*, equivale à dissipação de *impetus* (I3). Percebe-se, pois, que a noção de *impetus* está significativamente marcada na estrutura cognitiva destes alunos, mesmo depois de um período de ensino de Mecânica Newtoniana em Física I, certamente reforçando a aprendizagem da Física do ensino médio.

Estas noções de senso comum mencionadas estão classificadas dentro das categorias III e IV de nossa Matriz Epistemológica.

Por outro lado, dentre as respostas representativas da visão conceptual newtoniana de força, na questão 1 (um), todos os 9 (nove) alunos escolheram a alternativa 1b, que representa corretamente o tipo de trajetória (parabólica) descrito por uma bala disparada por um canhão colocado numa posição horizontal. Outras duas questões que tiveram 7 (sete) respostas corretas selecionadas dentre os 9 (nove) alunos foram: **(1)** a questão 12, cuja alternativa correta 12b, está classificada em “tipos de força” como *gravitação e força passiva de contato com sólido*, expressas pelas designações (5G) e (5S) na tabela de concepções newtonianas do “*Force concept Inventory*” e em nossa Tabela 2; **(2)** a questão 8, cuja alternativa correta 8a, foi a selecionada também por 7 (alunos) e refere-se a aplicação da terceira lei de Newton, *para forças contínuas*, de acordo o “*Force Concept Inventory*” e representada na categoria V da Tabela 2.

É desejável ressaltar, que as três questões acima, referem-se a exemplos clássicos da Física (Mecânica). A primeira refere-se à trajetória parabólica descrita pela bala de um canhão, a segunda questão é o conhecido exemplo de um corpo (livro) em repouso sobre uma mesa; por último, temos a terceira lei de Newton, para *forças contínuas, de contato*, exercidas entre dois corpos, neste caso dois veículos, onde um pequeno automóvel (massa menor), empurra um grande caminhão (massa maior). São exemplos bastante comuns, que podem ser acedidos, muitas vezes, por recorrência à memória.

Quanto às questões abertas de números cinco a sete, pertinentes a uma noção mais específica do termo força, sua definição, causa e tipos, os alunos

mostraram certa dificuldade em tratar o termo força de uma forma não diretamente ligada ao formalismo matemático, a definições do tipo *operacional* ou *relacional*.

Para uma visão mais compreensiva, as respostas a estas questões, estão apresentadas, em resumo, nas Tabelas 3 e 4 abaixo, com os pertinentes comentários.

Tabela 3

Categorias das respostas das questões 5 e 6

| Categoria | Concepção | Item | Estudantes | | | | | | | | |
|-----------|---|------|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
| III | Visão funcional de força. | 5F | | | | | | | * | * | |
| V | Visão relacional de força. | 5R | | * | | | | * | | | * |
| II | Força atuando por contato; inerente à matéria (objeto). | 6 | | | | | | | | | * |

Ao se defrontarem com a questão nº. 5: “Como você definiria força”, dois alunos responderam que se tratava de “*grandeza vetorial que pode causar aceleração*” e três alunos colocaram simplesmente a fórmula “ $F = m \cdot a$ ” como resposta. De acordo com GORODETSKY et. al. (1986 *apud* DOMÉNECH), consideramos que estas respostas podem ser enquadradas numa classificação do tipo *relacional*, no caso da resposta “*grandeza vetorial...*” e do tipo *operacional* resposta “ $F = m \cdot a$ ”. Estas visões enquadram-se nas categorias III e V da Matriz Epistemológica.

Com relação à questão nº. 6: “O que causa uma força”, esta foi respondida apenas pelo aluno I da seguinte forma: *para cada ação uma reação* o que, efetivamente, não indica a causa de uma força.

De acordo com a bibliografia didático-científica, examinada no item 4.2, sobre definições de força, a noção de força é introduzida freqüentemente com citações do tipo: uma locomotiva exerce força para arrastar os vagões; o esforço muscular para puxar ou arrastar um objeto, comunica-lhe uma força entre outros exemplos. Estes aspectos poderiam, eventualmente, influir ou levar os alunos, de um modo geral, a algum tipo de manifestação sobre o que causa uma força, mesmo que dentro de uma visão ontológica, funcional ou talvez relacional da noção de força. No entanto, a única resposta a essa questão foi a acima mencionada, dada pelo aluno I.

Analisando esta resposta e tendo em vista o retrospecto das respostas deste aluno às questões fechadas inerentes ao *Force Concept Inventory*, as quais se situam fundamentalmente nas categorias III e IV de nossa tabela de taxonomias de força, relativas a noções do senso comum, poderíamos inferir que sua noção de força está centrada em pares de ação/reação, possivelmente forças de contato.

Ainda, considerando que os demais alunos não responderam a esta questão, isto nos leva a avaliar, também, que seu enunciado necessite de uma reformulação, tornando-a mais eficaz.

Tabela 4

Categorias das respostas da questão 7

| Categoria | Concepção | Item | Estudantes | | | | | | | | |
|-----------|---|------|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
| II | Força atuando por contato; inerente à matéria (objeto). | 7 | | | | | | | | | * |
| IV | Força como impetus – ação externa à matéria | 7 | * | | | | | | | | |
| V | Visão newtoniana de força | 7 | | | * | | | * | * | * | |

Na questão nº. 7: “Que tipos de força você conhece”, os alunos que apresentaram resposta, citaram invariavelmente a força gravitacional como tipo de força conhecida, seguida de outras designações. Os tipos de força citados foram: “*tração, gravidade, centrípeta, eletromagnética, gravitacional, ação/reação, impulso*”. Estas designações encontram-se dentre as mais comumente conhecidas no ensino formal, mas também são quase todas, bastante usuais no trato do cotidiano dos indivíduos. Isto nos fornece um dado importante sobre a abrangência de conhecimentos de noções de força, até este nível formal do ensino. Ainda que outras noções de força sejam tratadas no instrumento de teste, os alunos demonstram que suas idéias com relação às noções de força, situam-se em torno de uma visão newtoniana ou, até pré-newtoniana deste conceito. O termo “*impulso*” como tipo de força, foi citado pelo aluno A. Observamos que a maioria das respostas deste aluno às questões fechadas do *Force Concept Inventory*, distribuem-se mais nas categorias III e IV, referentes às taxonomias do senso comum, listadas nas Tabelas 1 e 2. Podemos talvez pensar que esta sua idéia de força como um *impulso* esteja de algum modo, ligada à visão de força como *impetus*. Notadamente, este aluno não respondeu as questões cinco e seis.

Observamos que a única menção a força como ação/reação nessa questão, é feita pelo aluno I. Conforme citamos acima, este aluno também respondeu a questão seis, usando a idéia de força como pares de ação/reação. Esta idéia, ação/reação, mostra uma tendência a uma noção *ontológica* de força, relativamente à categoria II de nossa Matriz epistemológica, como força atuando por contato e, talvez, inerente à matéria.

Quanto aos alunos C, F, G e H, classificamos suas respostas como categoria V, visão newtoniana de força, considerando também, o fato de que suas respostas relativas as noções de força relacionadas às questões fechadas do teste, estão bastante representadas em alternativas da categoria V da Tabela 2.

A análise de tais resultados, para estas questões, nos leva a inferir que os alunos talvez possuam pouca ou nenhuma ‘noção conceitual’ de força, em termos científicos.

Sua percepção do ponto de vista da ciência é sempre sob a visão do formalismo matemático, ou seja, os alunos normalmente aprendem a noção operacional de força. A confirmar tal fato, está a bibliografia didática examinada no item 4.2, que em sua grande maioria, introduz a noção de força, ou conforme os exemplos acima citados ou já a partir da noção de massa e aceleração, estabelecendo uma correlação entre elas, tendo como resultado a expressão já nossa conhecida: “ $F = m \cdot a$ ”, que expressa matematicamente a segunda Lei de Newton.

É de se esperar que ao serem questionados sobre o que causa uma força, os alunos encontrem certa dificuldade para expressar uma resposta conceitual em termos científicos da noção de força. Possivelmente, um conhecimento histórico-crítico e filosófico do conceito de força, os ajudasse a formular tal resposta.

Vale aqui lembrar Jammer (1957): “A análise histórico-crítica das concepções básicas em ciências é, portanto, de primordial importância, não apenas para o filósofo profissional ou para o historiador das ciências” (JAMMER, 1999, p. vii).

Com relação às questões abertas, de números 10 e 13 a 17, apresentamos abaixo a análise e comentários sobre as respostas dos alunos.

As respostas apresentadas pelos alunos para a questão 10, foram as seguintes: “*ela imediatamente reduzirá sua velocidade com mesma proporção que a força for reduzida*” (Aluno A); “*Ela diminuirá a velocidade e permanecerá constante, mas em outra velocidade*”.(Aluno C); “*Diminuirá a velocidade da caixa*” (Aluno F); . “*A velocidade diminuirá pela metade*” (Aluno G); “*A velocidade cairá pela metade*” (Aluno H); “*Manterá velocidade*” (Aluno I); e, os alunos B, D e E, não responderam.

Os resultados da questão dez estão indicados na Tabela 5 abaixo onde podemos observar que a concepção do senso comum, designada por (AF4), relativa à noção de velocidade proporcional à força aplicada, parece dominar a visão dos alunos, como um elemento ativo, como agente causal, que tem o poder de causar movimento. Segundo o *Force Concept Inventory*, o conceito no senso comum de

força ativa, está mais próximo da noção de *impetus* do que do conceito newtoniano de força, exceto quando, como expresso pela concepção AF1 de nossa Tabela 1, é atribuído somente a certos “agentes ativos” (usualmente coisas vivas) e agindo somente por contacto direto.

Tabela 5

Categorias das respostas da questão 10

| Categor ia | Concepção | Item | Estudantes | | | | | | | | | |
|---------------|--|------|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | A | B | C | D | E | F | G | H | I | |
| III | AF4 – velocidade proporcional à força aplicada | 10 | * | | * | | | | * | * | * | |
| IV | I1 – impetus fornecido por impacto | 10 | | | * | | | | | | | * |
| | Não responderam | 10 | | * | | * | * | | | | | |

As respostas dos alunos a esta questão foram comparadas com as taxonomias da Tabela 1 deste trabalho e com as categorias afins, de nossa Matriz Epistemológica.

Podemos observar que todas as repostas efetivas, situaram-se na categoria III e/ou IV, expressando uma visão bastante aristotélica da relação força x movimento, associada em duas respostas, com a noção de *impetus*.

Relativamente à questão 13, as repostas dos alunos foram as seguintes: “Acesa”. (Aluno B); “Nenhuma das opções acima. O fato de estar acesa ou apagada não influencia nas forças exercidas sobre a lanterna”. (Aluno G); “São iguais p/ abrir e fechar o circuito”. (Aluno I); “Apagada, porque ao acender a lanterna perde energia (Peso)”. (Aluno C); “Acesa. Porque o campo eletromagnético da lâmpada deve agir

de alguma maneira na lanterna". (Aluno F); "A mesma força. A lanterna permanece imóvel" (Aluno H) e os alunos A, D, E não responderam.

Na Tabela 6 abaixo, estão indicadas as categorias associadas às respostas à questão 13. A designação das concepções, como tendência moderna, newtoniana ou extracientífica, foi desenvolvida buscando identificar que categorias do perfil conceitual poderiam estar representadas nas respostas destes alunos, ainda que de forma implícita.

Apenas a resposta apresentada pelo aluno F, demonstra, implicitamente, uma visão diferenciada com relação à noção de força, não necessariamente newtoniana. Daí sua designação como tendência moderna, mais próxima à categoria VI da Tabela 1, no sentido da noção de forças de troca (interação) entre partículas. Vale mencionar suas respostas às questões fechadas do teste, as quais demonstram um domínio fortemente newtoniano com relação à noção de força.

As respostas classificadas como tendência newtoniana, relativamente aos alunos G e H, têm como suporte também, o fato de que a noção de força destes alunos situa-se num domínio bastante newtoniano, conforme alternativas escolhidas como respostas das questões fechadas deste teste.

Tabela 6

Categorias das respostas da questão 13

| Categoria | Concepção | Item | Estudantes | | | | | | | | |
|-----------|---------------------------|------|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
| VI | Tendência Moderna | 13 | | | | | | * | | | |
| VI | Tendência Newtoniana | 13 | | | | | | | * | * | |
| VI | Tendência Extracientífica | 13 | | | * | | | | | | |
| VI | Sem Fundamentação Teórica | 13 | | * | | | | | | | * |
| VI | Não Responderam | 13 | * | | | * | * | | | | |

As questões de número 14 (catorze) e 15 (quinze), buscando verificar a presença da noção de forças de interação entre os alunos, não foram acecidas pelo grupo. As alternativas distratoras foram as escolhas dos alunos que marcaram respostas. Os resultados estão indicados na Tabela 2.

Através da questão 16 (dezesseis), procuramos evidenciar a noção de força relativística dos alunos. No entanto, suas respostas não trazem qualquer potencial explanatório que leve a classificar alguma delas como tendência moderna. As respostas apresentadas foram as seguintes: “a velocidade da luz é muito alta” (Aluno A); “As aeronaves não suportariam as pressões que atuariam nelas” (Aluno B); “Sim, mas não possuímos tecnologia para tal”. (Aluno F); “Isso não é possível, pois para viajar a velocidade da luz a matéria teria que ser transformada em energia”. (Aluno G); “Ainda não existe propulsor que faça a matéria atingir esta velocidade e nem material resistente para suportar o atrito” (Aluno I) e os alunos C, D, E, H, não responderam.

Quatro deles não responderam e as respostas dos demais ou carecem de uma fundamentação teórica, ou embora com alguma característica técnica, tendem

mais a uma visão extracientífica do assunto. Na Tabela 7 abaixo, estão classificadas as respostas dos alunos a esta questão.

Tabela 7

Categorias das respostas da questão 16

| Categoria | Concepção | Item | Estudantes | | | | | | | | |
|-----------|---------------------------|------|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
| VII | Tendência Moderna | 16 | | | | | | | | | |
| VII | Tendência Newtoniana | 16 | | | | | | | | | |
| VII | Tendência Extracientífica | 16 | | * | | | | * | | | * |
| VII | Sem Fundamentação Teórica | 16 | * | | | | | | * | | |
| VII | Não Responderam | 16 | | | | * | * | * | | | * |

A noção de força como curvatura do espaço, sondada através da questão 17 (dezesete), não foi igualmente acedida pelos alunos. As respostas a esta questão foram: “*Não*” (Alunos A, B e I); “*Nunca ouvi falar*” (Alunos G e H); “*Não. Nenhum corpo ocupa o mesmo lugar no espaço, assim uma matéria alteraria o espaço*” (Aluno F) e os alunos C, D e E, não responderam.

Apenas 6 (seis) alunos responderam, manifestando a condição não ter ouvido falar no tema, o que classificamos como sem fundamentação teórica, no sentido dos alunos demonstrarem não ter embasamento teórico para expressar alguma informação sobre este assunto. O aluno F acrescenta um comentário à resposta, que alocamos como uma tendência a uma visão extracientífica do assunto. Na Tabela 8 abaixo, estão classificadas as respostas dos alunos a esta questão.

Tabela 8

Categorias das respostas da questão 17

| Categoria | Concepção | Item | Estudantes | | | | | | | | | |
|-----------|---------------------------|------|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | A | B | C | D | E | F | G | H | I | |
| VIII | Tendência Moderna | 17 | | | | | | | | | | |
| VIII | Tendência Newtoniana | 17 | | | | | | | | | | |
| VIII | Tendência Extracientífica | 17 | | | | | | * | | | | |
| VIII | Sem Fundamentação Teórica | 17 | * | * | | | | * | * | * | * | * |
| VIII | Não Responderam | 17 | | | * | * | * | | | | | |

Concluindo esta análise, conforme disposto na Metodologia deste trabalho, tratamos aqui, do processo de validação de nossa proposta de perfil conceitual de força, procurando determinar nas respostas apresentadas pelos alunos às questões do instrumento de teste, a *presença* de categorias do perfil conceitual, em maior ou menor grau, relativamente às categorias identificadas na Matriz Epistemológica.

Em base aos resultados expressos na Tabela 2, relativamente às visões dos alunos sobre o conceito de força, tanto do ponto de vista do senso comum, como de concepções científicas, comparados às categorias da Matriz Epistemológica, numa correlação bastante estreita entre os parâmetros de ambos os instrumentos, podemos considerar que nosso objetivo de validação do perfil conceitual de força foi plenamente atingido.

Não é do escopo deste trabalho fazer a análise completa do teste nem esboçar os perfis de cada participante. No entanto, dentro da motivação inicial que levou Mortimer a elaborar o perfil conceitual, acreditamos que valeria a pena esboçar o perfil de alguns participantes.

Uma vez explicitados nas Tabelas II a VIII, os resultados individuais dos testes dos alunos participantes, vamos selecionar dois alunos, com características bem diferenciadas ontologicamente, para um esboço dos perfis conceituais dos mesmos, sob a forma de um gráfico, considerando que os comentários sobre as respostas, estão já elaborados junto às respectivas tabelas.

A construção deste gráfico obedece ao seguinte critério: as abscissas indicam as oito zonas do nosso perfil conceitual de força. As ordenadas (alturas das zonas do perfil), conforme explicita Bachelard, se seus valores pudessem ser exatos, mediriam “a freqüência de utilização efetiva da noção, a importância relativa de nossas convicções” (Bachelard, 1940). Analogamente, considerando este aspecto em relação ao ‘perfil conceitual’, procuramos associar as alturas em relação à quantidade de respostas por categorias do perfil, de modo a ter uma idéia aproximada da intensidade das ontologias de força, com relação às categorias presentes, no perfil conceitual destes alunos. Também, como Bachelard ressalva, esta é uma *medida* muito grosseira para a representação de um ‘*perfil conceitual*’ mas, seu resultado nos permite aceder ao espectro das ontologias de força, dos alunos pesquisados.

Queremos deixar claro que nosso objetivo nesta proposta inicial, é detectar as ontologias dos alunos, relativamente à noção de força, no espectro do perfil conceitual de força identificado, independentemente de suas intensidades. Certamente que entendemos a importância da precisão da freqüência de utilização da noção. Para tal, na continuidade de nossa investigação, estamos desenvolvendo

um instrumento de teste mais preciso, com apenas questões fechadas e um procedimento de avaliação interativo, buscando estabelecer uma relação entre os tipos de questões propostas, concepções envolvidas e respostas dadas, para uma aferição mais acurada do uso da noção de força, nos devidos contextos.

Com essa visão, ou seja, conhecendo o que o aluno traz para sala de aula relativamente à noção de força, pode o professor elaborar um planejamento de ensino mais eficaz, facilitando sua tarefa no sentido do aluno evoluir para categorias de poder explanatório sucessivamente crescente, do conceito de força, sob o ponto de vista da ciência.

Assim, tomemos, por exemplo, o participante de ordem F, que foi quem apresentou uma resposta mais coerente à questão 13, em uma categoria de poder explanatório acima da concepção newtoniana de força. Este aluno também apresentou um total de nove respostas classificadas como categoria V do perfil conceitual, relativa à concepção newtoniana de força e duas respostas pertinentes às categorias III e IV respectivamente, relacionadas a concepções pré-newtonianas ou “concepções alternativas”.

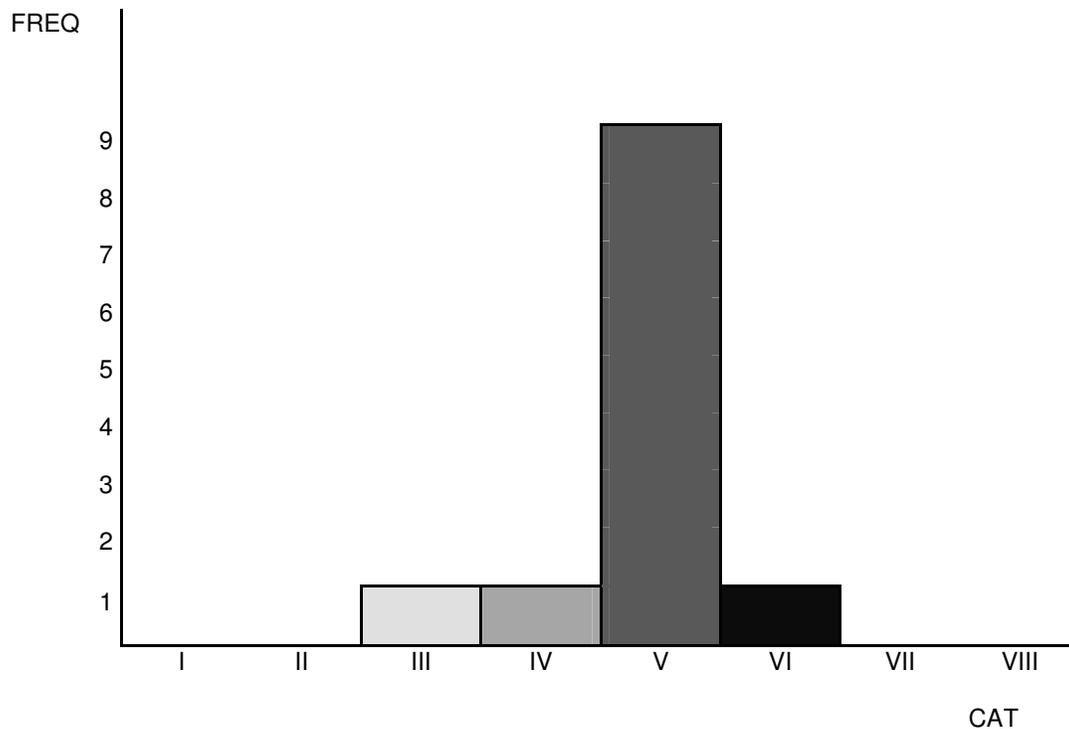


Figura 2: Esboço do perfil conceitual individual do aluno F

Já o aluno I, analisando seu retrospecto de respostas, de acordo com o gráfico abaixo, observa-se que o mesmo apresenta uma tendência muito forte a interpretar 'força' sob aspectos pré-newtonianos, dado que suas respostas estão bastante concentradas nas categorias II, III e IV, tipicamente de 'concepções alternativas' do conceito de força.

O conhecimento do espectro de sua noção de força permite que o professor estabeleça procedimentos de ensino, no sentido de deslocar seu foco para categorias superiores, de maior poder explanatório, buscando sua evolução para a visão científica de força.

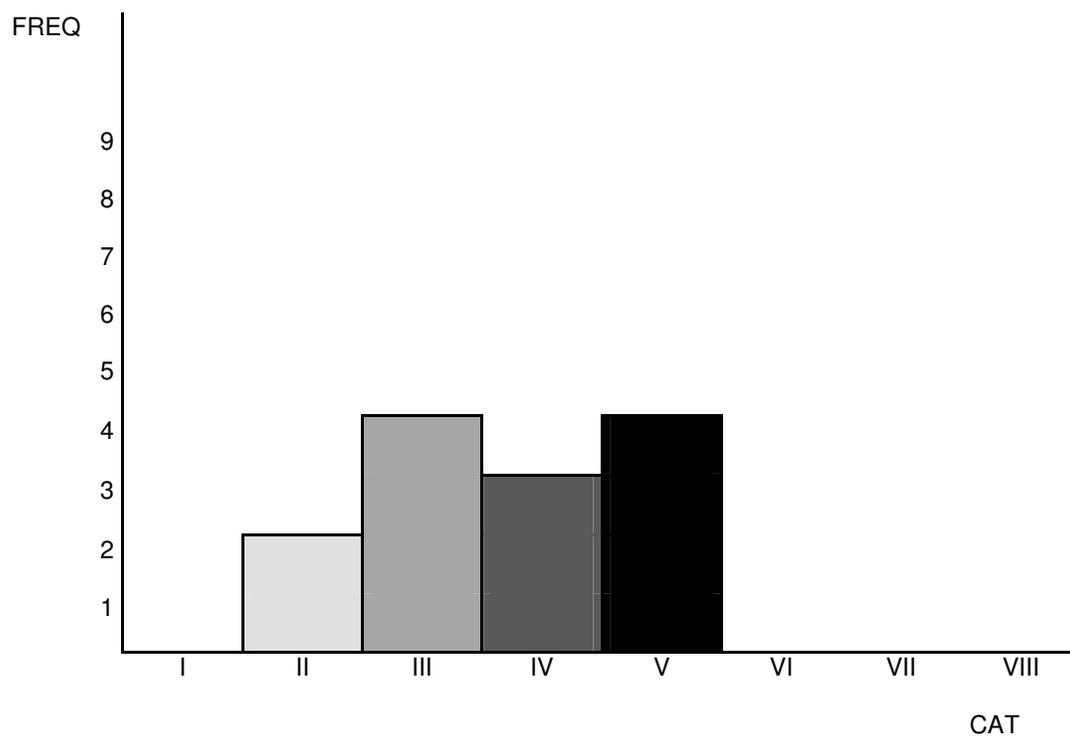


Figura 3: Esboço do perfil conceitual individual do aluno I

CONCLUSÃO

Muitos conceitos não têm a maturidade e consolidação em ciências do conceito de força. Sua milenar evolução, desenvolvimento histórico, suas diferentes conotações científicas e também extracientíficas, consagradas em diferentes épocas e que, também suplantaram estas épocas chegando praticamente aos nossos dias, devem servir, necessariamente, como subsídio aos professores, em especial aos formadores de formadores, dando-lhes uma ampla visão das diversas possíveis noções que um conceito em ciências pode assumir. Muitas dessas noções fazem parte da estrutura cognitiva dos alunos e indivíduos de um modo geral, gerando resistência para que estes evoluam para uma visão científica de conceitos.

Conforme pudemos ver a partir da análise histórica desenvolvida por JAMMER (1957), a noção de força, vem acompanhando o ser humano desde os mais remotos tempos, participando do seu cotidiano sob formas sinônimas das quais destacamos termos como esforço, trabalho, energia, potência, o que entendemos robustece as concepções alternativas que os alunos trazem para sala de aula.

A análise histórica nos possibilitou ainda a identificação de oito zonas representativas para o perfil conceitual de força, indicando com tal variedade de concepções, a complexidade de um conceito tão usual e aparentemente simples.

Por outro lado, entendemos que um “perfil conceitual” pode ser utilizado como instrumento na construção de perfis conceituais individuais, para aceder às representações dos estudantes com relação a conceitos em ciências, ensejando aos professores o desenvolvimento de estratégias que os façam evoluir para a noção conceitual científica.

Assim, a construção do perfil conceitual individual de força dos alunos, vai mostrar as ontologias mais marcantes, detectando os “*subsunçores*” dos alunos em relação ao conceito de força e, em nossa visão, resulta que o professor passa a ter uma idéia bastante aproximada do que os seus alunos sabem ou pensam a respeito do termo força.

É relevante lembrar Mortimer (1996): “a tomada de consciência, pelo estudante, de seu próprio perfil conceitual, dos vários significados que ele mesmo atribui à palavra em diferentes contextos, desempenha um papel importante no processo de ensino-aprendizagem”.

É preciso também considerar que o estudante de hoje poderá ser o cientista de amanhã, ou o futuro engenheiro ou o técnico, ou ainda um professor de ciências, e o fato de conhecer e entender o significado e aplicações específicas de conceitos

em ciências tal como o de força é de fundamental importância no desenvolvimento de suas atividades profissionais.

Isto posto, temos que para nós é importante que os formadores de formadores, isto é, dos futuros professores, tenham a exata noção de seu papel na construção do conhecimento das ciências, em particular dos conceitos em ciências.

No entanto, é mister que tal situação tenha sido vivenciada no decorrer de sua aprendizagem, pois assim, o futuro professor terá a experiência de um processo de aprendizagem. Há um grande desafio em desenvolver métodos de ensino, tendo como ponto de partida teorias de aprendizagem válidas, que lhe permita ultrapassar os limites da mera repetição da informação recebida. O professor deve incentivar seus alunos a redescobrir o que lhes é apresentado como pronto, questionar sua validade, tida como inquestionável e certa, ou seja, o aluno deve aprender a pensar.

Butland (2005) investigou a possibilidade da metodologia da História da Física no ensino favorecer a superação dos principais obstáculos epistemológicos dos alunos em Física e desenvolveu uma proposta de ensino voltada à História da Física, enfatizando suas rupturas e saltos, sejam eles científicos ou socioculturais, promovendo a evolução conceitual dos alunos e favorecendo a interdisciplinaridade e o aprendizado articulado e contextualizado.

A idéia é que o estudante não seja um futuro repetidor de informações, mas alguém que pensa, constrói ou reconstrói a partir daquilo que lhe é ensinado e vê

outras facetas, invisíveis a quem vê sempre sob o mesmo prisma, no conhecimento consolidado e tido como imutável e busca, também, apoio na História das Ciências.

REFERÊNCIAS

ÁLVARES, Beatriz Alvarenga & LUZ, Antonio Máximo Ribeiro da. *Curso de Física 1*. São Paulo: Harbra, 1987.

AMARAL, Edenia Maria Ribeiro & MORTIMER, Eduardo Fleury, Conceptual profile of spontaneinity and the teaching of Thermochemistry. in *6th European Conference on Research in Chemical Education e 2nd European Conference on Chemical Education*, Aveiro, 2001.

AUSUBEL, David P.; NOVAK, Joseph D. & HANESIAN, Helen. *Psicologia Educacional*. Rio de Janeiro: Editora Interamericana Ltda., 1980.

BACHELARD, Gaston. *La Philosophie du Non*, PUF, Paris, 1940 (trad. Port.: *A Filosofia do Não: O Novo Espírito Científico*, Lisboa: Presença, 1991).

BATTRO, Antonio M., Dicionário terminológico de Jean Piaget, São Paulo: Pioneira, 1978.

BREHME, Robert W. On force and the inertial frame. *American Journal of Physics*, College Park: AAPT, v. 53, n. 10, pp. 952-955, out. 1985.

BROWN, David E. Students' concept of force: the importance of understanding Newton's third law. *Physics Education*, Bristol: Institute of Physics Publishing, Ltd., v. 24, pp. 353-358, nov. 1989.

BUNGE, Mario. *Teoria y realidad*. Barcelona: Ariel, 1985

BURNET, John, Greek philosophy 1950, Londres: Macmillan, 1950, p. 70.

BUTLAND, Valéria Rodrigues Graça, *Um Estudo sobre o uso Pedagógico da História da Ciência no Ensino de Física*, 2005. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Luterana do Brasil, Canoas, 2005.

CARRIÃO, A., A aquisição do conceito de função: perfil das imagens produzidas pelos alunos. in: *II Encontro Brasileiro de Estudantes de Pós-Graduação em Educação Matemática*, 1998, Rio Claro, 1998, p. 99-103.

CHI, Michelene T.H. & ROSCOE, Rod D. The processes and challenges of conceptual change. In LIMON, M. & MASON, L. *Reconsidering Conceptual Change: Issues in Theory and Practice*. Dordrecht: Kluwer, 2002. pp. 3-27

COUTINHO, Francisco Ângelo. *O Perfil Conceitual do Conceito de Vida*. Tese de Doutorado (Educação) - Universidade Federal de Minas Gerais, 2002.

CRETELLA JUNIOR, José & CINTRA, Geraldo de Ulhoa. *Dicionário Latino - Português*. São Paulo: Companhia EDITORA Nacional, 1953.

DOLLE, Jean M. *Para Compreender Jean Piaget*. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1983.

DOMÉNECH, A.; CASASUS, E. & DOMÉNECH, M. T. *I. B. Buñol*/Universidad de Valencia, Buñol, Valencia, Spain: *Int. J. Sci. Educ.*, 1993, nº 2, 163-173.

DUHEM, Pierre, *Études sur Leonard de Vinci*. Paris: De Nobele, 1955, vol. 3, p. ix.

ERNOUT, A. & MEILLET, A. *Dicionário Etimológico da Língua Latina – História dos Nomes*. Paris: Librairie C. Klincksieck, 1951.

GALILI, Igal & BAR, Varda. Motion implies force: where to expect vestiges of the misconception? *International Journal of Science Education*, London: Taylor & Francis, v. 14, n. 1, pp. 63-81, jan./fev./mar. 1992.

GOBARA, Shirley Takeco, *Profil conceptuel et Situation-problème. Une contribution à l'analyse de l'apprentissage de la périodicité en Physique*, Tese de Doutorado, Université Claude Bernarde Lyon I, LYON I, Lyon: França, 1999.

GORODETSKY, M; HOZ, R. & VINNER, S. Hierarchical solution models of speed problems. *Science Education*, 70, 565-582, 1986.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert & WALKER, Jearl. *Fundamentos de Física – Mecânica. Vol. 1*. Rio de Janeiro: LTC, 1996.

HENDERSON, Charles. Common concerns about the force concept inventory. *The Physics Teacher*, College Park: AAPT, v. 40, pp. 542-546, dec. 2002.

HESTENES, David; WELLS, Malcolm & SWACKHAMER, Gregg. Force concept inventory. *The Physics Teacher*, College Park: AAPT, v. 30, pp. 141-158, mar. 1992.

HEWSON, Peter W. A Conceptual change approach to learning science. *International Journal of Science Education*, Londres: Taylor & Francis, v. 3, n. 4, pp. 383-396, out./nov./dez. 1981.

HEWSON, PETER W.; THORLEY, N. Richard. The conditions of conceptual change in the classroom. *International Journal of Science Education*, Londres: Taylor & Francis, v. 11, n. 5, pp. 541-553, 1989.

HOUAISS, Antonio; VILLAR, Mauro de S. & FRANCO, Francisco M. de Mello. Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa. Rio de Janeiro: Editora Objetiva Ltda., 1ª Ed., 2001.

Ideas Previas, Universidad Nacional Autónoma de México, <http://ideasprevias.cinstrum.unam.mx:2048/>, acessado em 22/4/2005.

JAMMER, Max. *Concepts of Force: A Study in the Foundations of Dynamics*. Mineola, NY: Dover Publications Inc., 1999 (orig. ed. 1957).

MACHADO, José P. *Dicionário Etimológico da Língua Portuguesa Vol. 1*. Lisboa: Editorial Confluência, L.^{da}, 1952.

MAISSIAT, Georges I. *Pequeno Dicionário de Latim*. Porto Alegre: EDIGAL, 2002.

MALONEY, David P. Forces as Interactions. *The Physics Teacher*, College Park: AAPT, v. 28, n. 6, pp. 386-390, set. 1990.

McCLELLAND, J. A. G. Misconceptions in mechanics and how to avoid them. *Physics Education*, Bristol: Institute of Physics Publishing, Ltd., v. 20, pp.159-162, 1985.

MICHINEL, José Luís, ALMEIDA, Maria José Pereira Monteiro, O Funcionamento da Leitura de Textos Divergentes Referentes a Energia: Perfil conceitual de Estudantes de Física. in *VII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 2000, Florianópolis - SC*. São Paulo: Sociedade Brasileira de Física -SBF, 2000.

MOREIRA, M. A. *Teorias de Aprendizagem*. São Paulo: EPU, 1999.

MOREIRA, M. A. *A Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, O Ensino de Ciências e a Pesquisa nesta Área. Investigações em Ensino de Ciências*. Porto Alegre: Instituto de Física – UFRGS, v. 7 n. 1 2002.

MORTIMER, Eduardo Fleury. Conceptual change or conceptual profile change? *Science & Education*, West Sussex: John Willey & Sons, vol. 4, n. 3, p. 265-287, 1995

MORTIMER, Eduardo Fleury. Construtivismo, Mudança Conceitual e Ensino de Ciências: Para Onde Vamos?. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 1 n. 1 pp. 20-39, 4/1996.

MORTIMER, Eduardo F. *Linguagem e Formação de Conceitos no Ensino de Ciências*. Belo Horizonte: Editora UFMG. 2000.

MORTIMER, Eduardo Fleury & AMARAL, Edenia Maria Ribeiro. Uma Proposta de Perfil Conceitual para o Conceito de Calor. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 1 n. 3 pp. 5-18, 2001.

Nova Enciclopédia Barsa, Vol. 6, - Macropédia. Rio de Janeiro e São Paulo: Encyclopaedia Britannica do Brasil, Publicações Ltda., 1998.

OLIVEIRA, Gabriel Aguiar; SOUSA, Cristiane R.; DA POIAN, Andrea T. & LUZ, Mauricio Roberto Motta Pinto, Students' misconceptions on Energy Yielding Metabolism: Glucose as the sole metabolic fuel. *Advances in Physiology Education*. Bethesda, MD: American Physiological Society, v. 27, n. 9, pp. 97-101, set./2003.

PALMER, David H. & FLANAGAN, Ross B. Readiness to change the conception that "Motion-Implies-Force": A comparison of 12-year old and 16-year old students. *Science Education*, West Sussex: John Willey & Sons, v. 81, n. 3, pp. 317-331, jun. 1997.

PIAGET, Jean, *Os Dados da Epistemologia Física*, in *Logique et Connaissance Scientifique*, Ed. Gallimard, Paris, 1967, (ed. portug.) *Lógica e Conhecimento Científico*, Livraria Civilização, Porto, 1981, p. 15.

PIAGET, Jean, *O Nascimento da Inteligência na Criança*. Rio de Janeiro: Guanabara, 1987.

PIAGET, Jean & GARCIA, Rolando, *Psychogenèse et Histoire des Sciences*, Paris: Flammarion, 1983 (trad. port.: *Psicogênese e História das Ciências*, Dom Lisboa: Quixote, 1987)

PIAGET, JEAN et al.. *La Formation de La Notion de Force*. Études d'Épistémologie Génétique XXIX. Paris: PUF. 1973.

POSNER, George J.; STRIKE, Kenneth A.; HEWSON, Peter W. & GERTZOG, W.A. Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, West Sussex: John Willey & Sons, v. 66, n. 2, pp. 211-227, abr. 1982.

SADANAND, Nanjundiah & KESS, Joseph. Concepts in Force and Motion. *The Physics Teacher*, College Park: AAPT, v. 28, n. 8, pp. 530-533, nov. 1990.

SANTOS, Renato P. dos. Uma Proposta para o Perfil Conceitual do Conceito de Massa na Física. *Anais do IX EPEF – Encontro de Pesquisa em Ensino de Ciências*, Jaboticatubas, MG, SBF, 26 a 29 de Outubro de 2004. São Paulo: Sociedade Brasileira de Física -SBF, 2005.

SARTON, George, Introduction to the history of science. Baltimore: Williams and Wilkins, 1931, vol. 2 part 2, p. 763.

SAVAGE, Michael & WILLIAMS, Julian. Centrifugal force: fact or fiction? *Physics Education*, Bristol: Institute of Physics Publishing, Ltd., v. 24, pp. 133-140, 1989.

SCHNETZLER, Roseli Pacheco & ROSA, M. I. P. S., Perfil epistemológico de Bachelard e a noção de perfil conceitual para transformação química, in *20ª Reunião Anual da SBQ*, 1997, Poços de Caldas: v.3. p.3, 1997

SEARS, Francis; ZEMANSKY, Mark W. & YOUNG, Hugh D. Física, vol. 1. Rio de Janeiro: LTC, 1994.

TERRY, Colin; JONES, George & HURFORD, Will. Children's conceptual understanding of forces and equilibrium. *Physics Education*, Bristol: Institute of Physics Publishing, Ltd., v. 20, pp. 162-165, 1985.

TIPLER, Paul A. Física. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1984.

WATTS, Michael & ZYLBERSZTAJN, Arden. A survey of some children's ideas about force. *Physics Education*, Bristol: Institute of Physics Publishing, Ltd., v.16, n. 6, pp. 360-365, nov. 1981.

WATTS, Michael. A study of schoolchildren's alternative frameworks of the concept of force. *European Journal of Science Education*, Londres: Taylor & Francis, v. 5, n. 2, pp 217-230, 1983.

ZAIANE, Najoua, Conceptual profile of pupils and students of the radiation, *Proceedings of the 4th ESERA Conference*, Noordwijkerhout, Holanda, 2003.

UNIVERSIDADE LUTERANA DO BRASIL

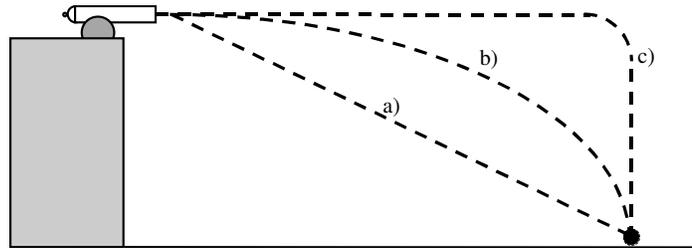


PPGECIM - PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA

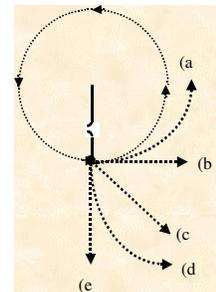
'Psicogênese dos Conceitos, Perfil Conceitual de Força'.

CURSO: _____ TURMA: _____ - DATA: __/__/2004

1. (FCY16) Qual dos caminhos no diagrama abaixo representa melhor a trajetória da bala de canhão?

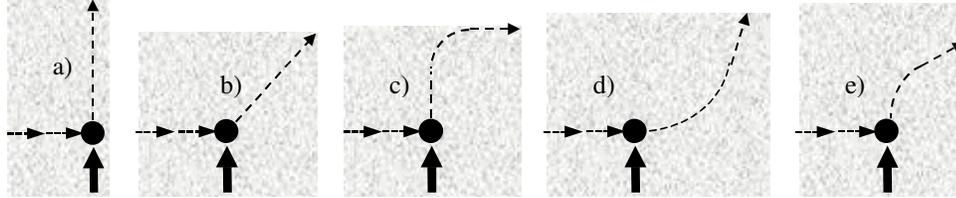


2. (FCY4) Um garoto gira horizontalmente uma esfera pesada atada a uma corda, como ilustrado na figura ao lado. No ponto indicado, a corda **parte-se** repentinamente. Observado **de cima**, indique o caminho feito pela esfera após a ruptura da corda.

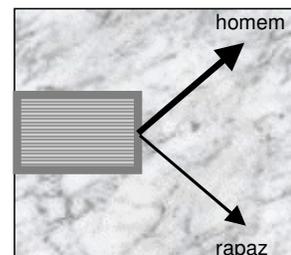


3. (FCY5) Um estudante lança uma esfera de metal para cima. **Desconsiderando-se quaisquer efeitos de resistência do ar**, as forças atuando na esfera até o seu retorno ao chão são:
- o seu **peso** verticalmente para baixo, juntamente com uma **força para cima continuamente decrescente**;
 - uma **força para cima, continuamente decrescente** desde o momento em que a esfera deixa a mão e até que ela atinge **o ponto mais alto, após o que** há a **força da gravidade** para baixo e **continuamente crescente** à medida que a esfera se aproxima do chão;
 - a **força da gravidade** para baixo e **constante**, juntamente com uma **força para cima** que **continuamente diminui** até que a esfera atinge **o ponto mais alto, após o que** há apenas a **força da gravidade** para baixo e **constante**.
 - apenas a força da gravidade** para baixo e **constante**;
 - nenhuma das anteriores**: a esfera cai de volta à terra simplesmente porque **é a sua tendência natural**.

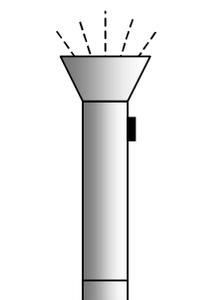
4. (FCY6) O diagrama abaixo representa um disco de hóquei deslizando, **com velocidade constante**, sobre a superfície do gelo **horizontal e sem atrito**, quando recebe uma pancada instantânea **do lado direito**, conforme indicada pela seta mais grossa. Ao longo de qual dos caminhos abaixo mover-se-á o disco de hóquei **após** receber a pancada?



5. Como você definiria força?
6. O que causa uma força?
7. Que tipos de força você conhece?
8. (FCY14) Um pesado caminhão avaria-se na estrada e recebe ajuda de um pequeno carro. Depois que o carro, sempre a empurrar o caminhão, atinge a velocidade que o seu condutor quer manter **constante** durante o restante da viagem,
- a força exercida pelo **carro** sobre o caminhão para empurrá-lo é **igual** à força que o caminhão exerce de volta contra o carro;
 - a força exercida pelo **carro** sobre o caminhão para empurrá-lo é **menor** que a força que o caminhão exerce de volta contra o carro;
 - a força exercida pelo **carro** sobre o caminhão para empurrá-lo é **maior** que a força que o caminhão exerce de volta contra o carro;
 - o **carro** tem o motor **a trabalhar** e **exerce** força sobre o caminhão para empurrá-lo mas o motor do **caminhão** está **desligado** e portanto o caminhão **não exerce** força de volta contra o carro; o **caminhão** é empurrado para a frente simplesmente porque está **no caminho do carro**;
 - nem o carro nem o caminhão** exercem qualquer forças um sobre o outro, o **caminhão** é empurrado para a frente simplesmente porque está **no caminho do carro**.
9. (FCY19) Um **homem forte** e um **rapaz** estão puxando, tão forte quanto podem, duas cordas amarradas a um caixote de mercadorias, tal como ilustrado no diagrama ao lado, **visto de cima**. Desenhe a direção exata do deslocamento do caixote enquanto eles o puxam.



10. Suponha que a caixa da questão anterior está sendo arrastada com **velocidade constante**. O que acontecerá com a caixa se o homem e o rapaz passarem a puxá-la com **metade da força** anterior? Explique.
11. (FCI 29) Se as **forças** aplicadas à caixa no problema anterior forem subitamente **retiradas**, a caixa irá:
- parar imediatamente;**
 - continuar a velocidade constante** por um **período muito curto** de tempo e em seguida **reduzir** a velocidade até parar;
 - começar **imediatamente a reduzir** a velocidade até parar;
 - continuar a velocidade constante;**
 - aumentar** a sua velocidade por um **período muito curto** de tempo e em seguida começar a **reduzir** a velocidade até parar.
12. (FCY12) Um livro está deitado sobre o tampo de uma mesa. Qual(is) da(s) força(s) seguintes está(ão) agindo sobre o livro?
- apenas uma força **para baixo** devida à gravidade
 - uma força **para baixo** devida à gravidade e uma força **para cima** devida à mesa;
 - uma força **para baixo** devida à gravidade, uma força **para cima** devida à mesa e uma força **para baixo** devida à pressão do ar;
 - uma força **para baixo** devida à gravidade, uma força **para cima** devida à mesa e uma força **para cima** devida à pressão do ar;
 - nenhuma das anteriores:** uma vez que o livro está **imóvel, não há forças atuando** sobre ele.



13. A lanterna abaixo terá uma força maior agindo sobre ela quando apagada ou quando acesa? Por quê?
14. A força-forte, uma das quatro forças fundamentais da natureza, é responsável por;
- orientar feixes fotônicos submetidos a um forte campo eletromagnético;
 - Permitir a detecção de radiação ultravioleta, gerada pelo sol;
 - Manter os hádrons unidos na formação do núcleo atômico, sendo transmitida pelos píons.
 - Interagir com partículas subatômicas, tais como W^+ , W^- e Z^0 ;
 - Manter os elétrons nas suas respectivas órbitas covalentes, evitando a realização do salto quântico.

15. A noção de “forças de troca” tem sua origem:
- a) na Mecânica Clássica, introduzida por Newton, na formulação de sua terceira lei que diz que a força que um corpo aplica sobre o outro é sempre igual e contrária à que este último aplica sobre o primeiro;
 - b) na Lei de Coulomb para forças entre duas cargas elétricas quaisquer, agindo a curtas distâncias;
 - c) no estudo das forças que agem em colisões de objetos macroscópicos, com massas e velocidades diferentes;
 - d) na teoria da Relatividade Especial de Einstein, que considera a velocidade da luz constante;
 - e) na Mecânica Quântica, introduzida por Heisenberg e Majorana, para designar propriedades das forças nucleares entre dois núcleons.
16. Talvez você já tenha ouvido falar da barreira do som e que já há muitos aviões que voam mais rápido que o som. Você já ouviu falar que não se consegue voar a uma velocidade superior à da luz. Porque você acha que isso acontece? Não se poderia simplesmente ir acelerando até atingir essa velocidade? Por quê?
17. Você já ouviu falar que a matéria encurva o espaço? O que você entende por isso?