

## Conceitos de força: significados em manuais didáticos

Juliana Machado<sup>1</sup> e Débora Beatriz Nass Marmitt<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro Federal Tecnológico Celso Suckow da Fonseca, Brasil; <sup>2</sup>Universidade Federal da Fronteira Sul, Brasil. E-mails: [juliana.fsc@gmail.com](mailto:juliana.fsc@gmail.com), [dbnmarmitt@gmail.com](mailto:dbnmarmitt@gmail.com).

**Resumo:** Examinamos como o conceito de força é apresentado nos manuais didáticos do Ensino Superior e nos projetos de ensino de Física da chamada “Era dos Projetos”. Buscamos avaliar os significados atribuídos a esse conceito encontrados nesses manuais e, para isso, realizamos o mapeamento e categorização das definições encontradas. Os resultados permitem obter um panorama das definições de força presentes nestes materiais, o que possibilitou evidenciar o caráter polissêmico desse conceito. As conceituações encontradas são analisadas criticamente e cotejadas com manuais antigos, procurando-se localizar possíveis filiações epistemológicas que tomaram parte na apresentação didática desse conceito ao longo do tempo. Esta reflexão justifica-se em virtude da importância do conceito de força nos conteúdos e no desenvolvimento da Física e pode possibilitar novas maneiras para repensar seus processos de ensino.

**Palavras-chave:** ensino de física, livro didático, conceito de força.

**Title:** Concepts of force: meanings in textbooks.

**Abstract:** We examine how the concept of force is presented in textbooks of Higher Education and in foreign and national projects of Physics teaching. We sought to evaluate the meanings attributed to the concept found in these books, and for this, we mapped and categorize the definitions found. The results allowed us to obtain an overview of the definitions of force contained in these materials, which made it possible to highlight the polysemic character of this concept. The definitions found are critically analyzed and collated with antique manuals, trying to find any potential epistemological affiliations which took part in the didactic presentation of this concept over time. This discussion is justified given the importance of the concept of force in the development of physics and can enable new ways to rethink its teaching processes.

**Keywords:** physics teaching, textbooks, concept of force.

### Introdução

O conceito de força talvez seja um dos mais presentes no Ensino de Física, já que o estudo da dinâmica perpassa diversas áreas abordadas nos livros escolares e manuais acadêmicos, como a mecânica, a hidrologia, o eletromagnetismo, entre outros. Forças de diferentes naturezas são conceitualizadas para a exploração de diversas interações. Ao mesmo tempo, o termo “força” traz consigo uma grande fonte de concepções

intuitivas, ideias prévias dos estudantes que são em geral conflitantes com as conceituações científicas.

Modernamente, com a ascensão do conceito de campo para substituir a ideia de ação à distância, pensou-se que a noção de força tornar-se-ia obsoleta; em meio à críticas constantes ao longo de toda sua história, não faltaram propostas de eminentes cientistas, como Kirchhoff, Hertz e Mach, para eliminar este conceito do corpo da Ciência (Coelho, 2010). Contrariando esta tendência, é possível argumentar que mesmo as teorias contemporâneas, fundamentadas na noção de campo, não abandonaram completamente o conceito de força (Jammer, 2011).

Por que um conceito tão essencial é, ao mesmo tempo, tão mal compreendido pelos estudantes? Como os obstáculos pedagógicos enfrentados pelos estudantes relacionam-se ou não com os obstáculos epistemológicos decorrentes da evolução do conceito de força? As formas assumidas por este conceito tendem a uma convergência, ou a uma polissemia? Nesse trabalho iremos nos concentrar nessa última questão, procurando pontuar o debate com algumas questões presentes no desenvolvimento desse conceito e apontando alguns indicativos que podem contribuir para pensar sobre as dificuldades de aprendizagem.

Admitindo os processos transformativos complexos sofridos pelos conteúdos de conhecimento científicos, sintetizados no conceito de Transposição Didática (Chevallard, 1991), entendemos importante investigar o livro didático, que constitui a principal (às vezes, única) fonte de consulta acadêmica/escolar de estudantes e professores, em especial na Educação Científica.

Nesse sentido nossa investigação buscou um resgate histórico dos conceitos de força em manuais didáticos, contemplando desde os livros "contemporâneos" voltados ao ensino de Mecânica em nível Superior até as principais obras da chamada Era dos Projetos nas décadas de 50 a 70 do século XX, cotejadas por alguns extratos de Tratados utilizados na formação científica e técnica nos séculos XIX e XX.

Além de realizar um mapeamento e categorização dessas definições de força existentes nesses materiais, reconhecendo possíveis convergências, polissemias e transformações, também são desenvolvidas considerações sobre as conceitualizações encontradas, fornecendo elementos para repensar os sentidos do conceito de força no saber a ensinar.

### **Fundamentação teórica**

Desde a publicação da obra do didata Yves Chevallard (1991), não restam dúvidas de que o conhecimento publicado pelos cientistas por ocasião da gênese das teorias sofre modificações até chegar aos estudantes. A forma utilizada por Isaac Newton ao descrever as leis básicas da Mecânica, por exemplo, é substancialmente distinta da forma pela qual esta aparece nos livros didáticos dirigidos a alunos de disciplinas introdutórias de Física, como aquelas dos cursos de licenciaturas científicas, bacharelados, engenharias, e ainda mais distinta da abordagem da Educação Básica (Ensino Médio). O saber conforme apresentado nas palavras originais de seus autores é chamado por Chevallard de "saber

sábio" (*savoir savant*). Para se transformar em um "saber a ensinar" (*savoir à enseigner*), ele sofre um conjunto de transformações adaptativas, chamado de "Transposição Didática". O produto desta Transposição Didática é regido por outro estatuto, diferente do saber que lhe deu origem, e passando a ser entendido como um conteúdo escolar ou "(...) explicitamente como os programas escolares; implicitamente: pela interpretação destes programas" (Pinho Alves, 2000). Este saber, que assume uma forma diferenciada em relação ao saber sábio, encontra-se materializado nos livros didáticos e manuais de ensino. Uma segunda Transposição ocorre na apresentação dos conhecimentos aos alunos em uma situação didática propriamente dita, gerando o "saber ensinado" (*savoir enseigné*). Nossas reflexões, nesta proposta, concentram-se apenas na primeira Transposição.

Chevallard (1991) assinala que cada um destes saberes possui uma instância própria que o legitima, para que seja aceito e compartilhado no contexto no qual foi criado. Assim, o saber sábio é legitimado pela comunidade científica, quando é exposto à análise e à crítica dos pares e publicado, de acordo com os critérios e seguindo os cânones pré-estabelecido. O saber a ensinar, por outro lado, necessita respeitar outro estatuto, com regras e critérios próprios, que interfere e legitima este novo saber. O conjunto de referências que normatizam este estatuto é chamado por Martinand (1986) de "Práticas Sociais de Referência" (PSR).

Ao se transformar em um saber a ensinar, segundo Chevallard (1991), o saber sábio passa por um processo de despersonalização, dessincretização e descontextualização, no qual perde vínculos com seus autores, seu ambiente epistemológico e seu contexto. Ele adquire novas contextualizações, na maioria das vezes muito diferentes daquela do saber de origem, mediante pressões de variados grupos que interferem nas PSR, contemplando inclusive interesses de diversas ordens.

O reconhecimento da existência de um processo de Transposição – nem bom, nem ruim em si mesmo – permite compreender diversos aspectos relacionados às diferentes formas assumidas pelos saberes; no caso da elaboração do saber a ensinar, constitui importante ferramenta de análise, permitindo esclarecer e repensar critérios nas reformulações deste saber.

### **Contexto e metodologia**

A constituição de uma comunidade científica no Brasil ocorreu sob forte influência da tradição francesa (Hamburguer, Dantes, Paty e Petitjean, 1996), em especial do ponto de vista da formação acadêmica e escolar. Essa influência foi exercida de forma direta no período que compreende desde as origens da integração efetiva da Física no currículo escolar – que ocorreu a partir de 1837, no Colégio Pedro II, no Rio de Janeiro – até meados do século XX, por meio da adoção de manuais didáticos traduzidos de cientistas e educadores franceses e utilizados nos cursos de formação científica e técnica daquele país. Eram os chamados "Traités" ou, posteriormente, "Cours", textos didáticos que derivavam de notas de aula de um professor, normalmente o único autor da obra. Via de regra, não incluíam exercícios ou problemas, mas enfatizavam os instrumentos de medida e aparatos experimentais, que eram descritos detalhadamente e

muitas vezes ilustrados. Utilizados nas instituições escolares brasileiras na forma de compêndios, esses materiais tinham um discurso marcadamente descritivo, intercalando conceitos e definições listados quase como um receituário, em uma estruturação fechada em que não há espaço para o aspecto processual da elaboração dos conhecimentos, para questionamentos ou controvérsias. Assim, através do processo de Transposição Didática (Chevallard, 1991), do qual eram frutos, esses manuais carregavam consigo não apenas conteúdos, mas também a concepção de Ensino de Ciências subjacente ao seu contexto de origem. Dessa forma, o resgate desses materiais auxilia-nos a compreender os textos didáticos atuais, porque

“... a concepção dogmático-instrumental ensaiada nos “traités” do século XVIII e absorvida pelos “cours” do século XIX não ficou restrita à formação dos engenheiros. De uma forma geral, ela foi absorvida por toda a educação científica posterior e em todos os níveis” (Braga; Guerra; Reis, 2008, p. 518).

Herdeiros dessa tradição, os manuais didáticos presentes na literatura universitária e dos colégios brasileiros no século XIX e até a primeira metade do século XX seguiam a forma dos Tratados que eram utilizados na formação científica e técnica francesa. Embora essa influência tenha sido diminuída progressivamente na segunda metade do século XX em diante, certamente a literatura didática francesa serviu de inspiração para a elaboração dos livros didáticos nacionais.

Em 1946, por meio de um Decreto Federal surge o IBCEC – Instituto Brasileiro de Educação, Ciência e Cultura –, que buscava contribuir com o desenvolvimento nacional através da melhoria da qualidade da educação científica escolar. Uma das ações do IBCEC foi iniciar o desenvolvimento de materiais didáticos tais como livros, equipamentos e kits experimentais.

Posteriormente, com o movimento de renovação do ensino de Ciências que se iniciou nos Estados Unidos na década de 60 e estendeu-se a mais de cinquenta países (Pinho Alves, 2000) novas perspectivas foram incorporadas nos textos didáticos das disciplinas científicas. A gênese desse movimento é atribuída à necessidade de os Estados Unidos e a Inglaterra oferecerem uma resposta à suposta superioridade das escolas soviéticas, que seria atestada pelo sucesso tecnológico demonstrado no lançamento do satélite russo Sputnik em 1957. Esforços empreendidos por instituições daqueles dois países resultaram na elaboração de projetos de ensino inovadores, como BSCS (Biological Science Curriculum Study), CBA (Chemical Bond Approach) e, na Física, PSSC (Physical Science Study Committee), Projeto Nuffield e Project Physics Course, conhecido como Projeto Harvard, entre outros, em uma época que pode ser chamada de “Era dos Projetos” (Pinho Alves, 2000).

No Brasil, inicialmente o IBCEC atuou traduzindo e adaptando Projetos estrangeiros, além de promover formações com professores para a utilização desses materiais. Mais tarde, passou a atuar também na produção de projetos de ensino nacionais. O primeiro deles foi o Projeto Piloto, que tinha como tema “A Física da Luz”, e que foi desenvolvido com o apoio da UNESCO. Como o próprio nome indica, o Projeto Piloto foi planejado para ser um ponto de partida, o início da implementação de

novas concepções na educação científica, com ênfase no laboratório didático e na utilização de material de baixo custo. A influência behaviorista prevalente nesse período pode ser percebida na estruturação via Instrução Programada, que orienta o Projeto Piloto.

Na década de 1970 surgiu o PEF – Projeto de Ensino de Física – nascido a partir de uma proposta apresentada por Ernst Hamburger no 1º. Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF), em 1969. Com o PEF, a importância do laboratório didático é intensificada, pois a realização dos experimentos é de caráter obrigatório e deve ser necessariamente realizada pelos alunos, não se limitando às demonstrações feitas pelo professor. O texto assume linguagem mais simples e direta, além de ser entremeado por questões, exercícios e experimentos a serem feitos pelos estudantes.

Outro projeto brasileiro importante surgido nessa safra é o FAI – Física Auto Instrutivo, desenvolvido pelo Grupo de Estudos em Tecnologia de Ensino de Física, da USP. O FAI, assim como o Projeto Piloto, aplicava a perspectiva da Instrução Programada, embora com diferenças metodológicas, em particular a menor necessidade das atividades experimentais. Fechando a Era dos Projetos no Brasil, não se pode deixar de mencionar o PBEF – Projeto Brasileiro de Ensino de Física, de autoria de Rodolpho Caniato (1975) e constituído de três volumes: 1) O Céu; 2) Interação no Universo; e 3) A Luz. Apesar da ordem de apresentação, deve-se notar que um dos aspectos desse material é o fato de não se estruturar por pré-requisitos, de modo que o professor pode iniciar a abordagem pelo volume que desejar. Outro ponto interessante do texto do PBEF é a tentativa de atender alunos com diferentes graus de interesse, permitindo um aprofundamento progressivo em níveis de dificuldade. Enquanto os dois primeiros volumes priorizam uma abordagem histórica, o terceiro volume enfatiza mais os aspectos utilitários.

Em função da significativa importância da Era dos Projetos para a história e desenvolvimento da educação científica escolar, esses materiais foram incluídos na amostra analisada nessa pesquisa. Dentre os projetos brasileiros, foram selecionados PEF, PBEF e FAI (o projeto Piloto não foi analisado em função de sua temática não contemplar o conceito que é objeto dessa investigação). Dos projetos estrangeiros, selecionamos o PSSC pelo seu papel pioneiro como “divisor de águas” para o movimento internacional de renovação do ensino de Ciências; e o Projeto Harvard, pelo aspecto diferenciado que se apresenta na concepção humanística e pela ênfase na perspectiva cultural e histórica que o orienta.

Com relação aos Compêndios (Traités e Cours), devido à sua estruturação diferenciada em relação aos outros materiais e também por se tratarem de obras cuja disponibilidade é limitada, não foram incluídos no mapeamento geral dos livros e projetos. O uso desses materiais serviu para referenciar origens dos saberes a ensinar, permitindo evidenciar algumas filiações e distanciamentos.

#### *Livros Didáticos de Ensino Superior*

A escolha dos livros didáticos atuais que comporiam a amostra seguiu diferentes critérios. Para o caso dos livros do Ensino Superior, foram considerados inicialmente os livros mais utilizados nos cursos universitários,

como Física I de Resnick, Halliday e Krane, editora LTC de 2003, material amplamente utilizado em disciplinas introdutórias de Física. Outro critério de escolha foi termos diferentes edições de mesmos autores para observar diferentes significações em edições distintas como no caso das duas edições de Física I: Mecânica de Young e Freedman, editora Addison Wesley de 2003 e de 2008. Em seguida, foram acrescentados outros textos frequentemente utilizados: Física: um curso universitário de Alonso e Finn, editora Edgar Blücher de 1972; Curso de Física Básica: Mecânica de Nussenzveig, editora Edgard Blücher LTDA de 2002; Física: Mecânica-Hidrodinâmica de Sears e Zemansky, editora Universidade de Brasília de 1973; Princípios de Física: Mecânica Clássica de Serway e Jewett, editora Thomson Learning de 2007; Física: mecânica, oscilações e ondas, termodinâmica de Tipler, editora LTC de 2000.

Anteriormente à análise documental dos manuais didáticos, a equipe desenvolveu um quadro de categorias preliminares a partir da leitura de material histórico-epistemológico sobre a temática, principalmente pela obra "Conceitos de Força", de Max Jammer (2011). Essa leitura permitiu evidenciar a riqueza da evolução do conceito de força ao longo da história, além de estabelecer distinções importantes entre a palavra e o seu significado, pois o uso da denominação de "força" ocorre muitas vezes sob o emprego de sinônimos: "Ainda em Galileu encontramos a mesma variedade de sinônimos para designar a 'força': forza, potenza, virtù, possanza, momento dela potenza, etc." (Jammer, 2011, p. 131). Ainda, é preciso atentar para a utilização do termo "força" para denominar uma variedade de conceitos, que mais tarde foram sendo substituídos pelo surgimento de outros que lhes definissem melhor, como o que hoje conhecemos como energia cinética, trabalho, impulso, etc. Há, também, que se observar a presença de concepções de força que se mantiveram enraizadas no senso comum e ainda outras que, mesmo não sendo incompatíveis com o saber sábio, foram sendo modificadas e reconstruídas ao passarem pelos processos da Transposição Didática e por fim serem apresentadas no saber a ensinar nos manuais didáticos.

Isto posto, foram buscadas as definições e expressões relativas aos conceitos de força, conforme apresentados nos livros didáticos de ensino superior nos e projetos, nas seções em que se espera encontrar essa discussão: no caso dos livros didáticos, no volume destinado ao primeiro ano do Ensino Médio; nos livros dirigidos ao Ensino Superior, tradicionalmente o conceito aparece no quarto ou no quinto capítulo da Física I. Nos Projetos, em função de sua organização diferenciada, foi necessário realizar uma busca quase integral nos materiais, para em seguida selecionar as passagens relevantes para essa investigação. Durante essa fase, foram realizadas modificações no quadro de categorias inicialmente estabelecido, inserindo-se algumas categorias e subtraindo outras. A necessidade dessa operação, por si só, já deixa claro a existência de um processo adaptativo entre os saberes, pois evidencia a não-identidade entre os saberes sábio e a ensinar.

## **Resultados e discussão**

Durante o processo da realização da nossa pesquisa alguns aspectos

ficaram evidentes quanto ao grau de diferenciação entre os materiais. Os manuais da chamada Era dos Projetos foram grandes influentes para a elaboração dos manuais didáticos posteriores e possuíam como grande diferencial aos materiais anteriores as seções de experimentação e novas metodologias de ensino centradas no estudante. No entanto, as seções de conceitualização, no que compete ao conceito de força, estão estreitamente articuladas com as seções de exemplos e com a realização dos experimentos, o que conseqüentemente restringiu a área da nossa pesquisa nestes materiais e obtivemos poucas ocorrências das categorias apontadas em termos de quantidade em relação aos outros manuais didáticos analisados.

As conceituações de força encontradas na amostra analisada foram os seguintes: puxão ou empurrão (2 ocorrências); definida pela segunda lei de Newton (2 ocorrências); causa da aceleração (8 ocorrências); interação entre corpos (8 ocorrências); vetor (9 ocorrências). A conceituação "interação entre corpos" mostrou-se presente em quase todos os livros didáticos de Ensino Superior analisados, porém não consta em nenhum dos Projetos. Nestes últimos, as conceituações preferenciais foram "causa da aceleração" e "vetor". Um quadro sintético das ocorrências encontradas nos materiais pode ser visualizado na Tabela 1.

#### *Puxão ou empurrão*

Observamos nos materiais de análise que a relação entre o conceito de força e o esforço muscular na forma de empurrar ou puxar foi tratada de duas formas distintas. Em um primeiro sentido, como uma exemplificação ou como uma definição explícita, como em "Uma força representa a ação de empurrar ou puxar em uma determinada direção" (Resnick; Halliday; Krane, 2003, p.48). Em seguida, outra forma, trazendo a concepção como pertencente ao senso comum, contrapondo-o com a definição científica (Serway; Jewett Jr., 2007, Tipler, 2000, Young; Freedman, 2008, Nussenzveig, 2002). No entanto, essas afirmações, por vezes eram feitas num mesmo material didático, havendo contradições que, se não forem bem trabalhadas na situação didática, podem reforçar compreensões do senso comum. Ressaltamos que, para nossa análise, foram consideradas apenas as ocorrências que se referem à da categoria como definição científica e não as consideradas pelos próprios autores como intuitivas.

O conceito de força como esforço muscular e ação de empurrar e puxar parece estar associado a uma certa compreensão de senso comum da utilização da palavra "força" no cotidiano. Na perspectiva da aprendizagem, esta noção pode ser entendida como uma concepção espontânea dos estudantes, que atribuem a esse termo um significado originado a partir das vivências cotidianas, como acontece com outros termos presentes na Física, tais como trabalho, impulso, entre outros.

Do ponto de vista dos manuais didáticos, essa noção parece ter se originado no "Cours de Mécanique" de Reech (1852). Ao criticar a noção de que a força seria apenas um desvio de um certo estado movimento, Reech aponta que essa definição seria meramente geométrica e teria um significado essencialmente relativo. Propõe então "uma maneira de conceber a força como uma quantidade real e absoluta [...]: a única e

verdadeira ideia que devemos fazer da força é aquela que adquirimos quando, com ajuda dos nossos órgãos, procuramos modificar o estado de repouso ou de movimento dos corpos que nos cercam" (Reech, 1852, p. 37, tradução nossa). Para Reech, a força seria uma ideia despertada em nós através das sensações de pressão ou tração que experimentamos.

	Puxão ou empurrão	Definida pela 2ª Lei	Causa da aceleração	Interação entre corpos	Vetor
Alonso; Finn, 1972		x		x	x
Sears; Zemansky, 1973	x			x	x
Tipler, vol. 1b, 1982					
Tipler, vol.1, 2000.		x	x	x	
Nussenzveig, 2002			x	x	
Resnick; Halliday; Krane; 2003	x		x	x	
Young; Freedman, 2003				x	x
Serway; Jewett, 2007				x	
Young; Freedman, 2008			x	x	x
PSSC			x		x
PEF			x		x
Projeto Harvard			x		x
PBEF					x
FAI			x		x

Tabela 1.- Conceituações de força encontradas nos livros didáticos e Projetos de ensino.

#### *Definida pela 2ª Lei de Newton*

Alguns manuais didáticos analisados tratam a definição do conceito de força explicitamente identificando-a com a segunda Lei de Newton. Como em "A primeira e segunda Lei de Newton permitem que definamos força" (Tipler, 2000, p.77) e a "... força é um conceito matemático que, por definição, é igual à variação temporal da quantidade de movimento de uma dada partícula" (Alonso, Finn, 1972, p. 154). Em uma obra amplamente utilizada nos cursos de mecânica voltados à formação de pesquisadores, os autores vão ainda mais além: "... a Primeira e a Segunda leis não são realmente 'leis' no sentido usual; ao invés disso, elas podem ser consideradas definições [...] nós usamos a Primeira e a Segunda Leis de



Newton como a definição operacional de força" (Thornton; Marion, 2004, p. 50).

Essas visões parecem influenciadas pela perspectiva empirista do conhecimento científico, ao desconsiderar qualquer significado factual e buscar atribuir um papel exclusivamente teórico a esse construto. Nesse sentido, ao tentar elaborar uma mecânica baseada unicamente em observáveis, Mach é igualmente levado a definir a força como o produto  $m \cdot a$  (Mach, 1907), após ter definido a massa relativa entre dois corpos (a razão entre suas massas) em função de suas acelerações. O objetivo de Mach nesse contexto era o de eliminar construtos "metafísicos", não-observáveis, do corpo de conhecimentos da Ciência. Não iremos aprofundar aqui um debate sobre a falência de um projeto dessa natureza, mas apontaremos de passagem que tal abordagem operacionalista não está livre de problemas lógicos. Em primeiro lugar, é necessário perceber que as duas primeiras leis de Newton versam sobre transformações (processos) entre estados físicos: assim, o conceito de força não pode ser definido por essas leis, precisamente por estar definindo o mecanismo dessas transformações. Em segundo lugar, como notou Bunge (1966), caso a Segunda Lei fosse apenas uma definição, seria impossível sujeitá-la a qualquer tipo de contrastação empírica: no entanto, sabemos que ela é válida apenas em referenciais não-inerciais e no limite não-relativístico.

#### *Causa da aceleração*

De uma perspectiva mais ampla, Coelho (2010) afirma que a força é, de uma forma geral, definida como causa da aceleração, nos livros didáticos dos séculos XX e XXI. Essa visão sobre o conceito de força pode ser descrita conforme as palavras de Stiner:

"Na teoria de Newton, o símbolo  $F$  em  $F = ma$  refere-se à causa da aceleração do corpo. A força, portanto, é um agente externo que atua sobre a matéria com uma massa inercial  $m$ , fazendo-a acelerar-se com aceleração  $a$ ". (Stiner, 1996 apud Jammer, 2011, p.10).

Essa definição foi encontrada em grande parte dos manuais didáticos analisados, desde os projetos como PSSC, no qual foi observado "Enquanto o empurramos [um objeto] ele é acelerado. Se deixamos de empurrar, cessa a aceleração; o corpo se move com velocidade constante. Se recomeçamos a empurrar, de novo provocamos aceleração" (p. 20). Quanto aos livros didáticos, podemos citar alguns exemplos como em Tipler (2000, p. 77) em que o autor define que "Uma força é uma influência externa que provoca a aceleração de um corpo num referencial inercial" e Young e Freedman (2008, p. 116) em que "Afirmamos cuidadosamente que a força resultante que atua sobre um corpo é responsável pela aceleração do corpo".

Com relação aos compêndios, semelhante conceituação também é encontrada no "Cours de Physique" de Gabriel Lamé, ministrado na Escola Politécnica de Paris: "Dá-se o nome de força a toda causa que pode fazer passar um corpo do estado de repouso ao de movimento, ou produzir o efeito inverso" (Lamé, 1840, p. 16, tradução nossa). Também no "Traité de Physique" de Adolphe Ganot, obra cânone na Europa durante o século XIX e

que foi traduzida para muitos idiomas, pode-se ler:

“Chama-se de força a toda causa capaz de produzir o movimento ou modificá-lo. A ação dos músculos nos animais, a gravidade, as atrações e repulsões magnéticas e elétricas são forças. Ignoramos em que consistem as forças, mas a noção nos é dada claramente pela sensação de esforço”. (Ganot, 1894, p. 2, tradução nossa).

O extrato de Ganot permite antever alguns questionamentos gerados por essa noção de força. O próprio Ganot parece insatisfeito com essa definição, pois ao admitir a ausência de uma compreensão do que é, em si, a força, o autor acaba retornando à ideia de uma aproximação com a sensação de realizar um esforço.

Desde a publicação da obra "Princípios Matemáticos da Filosofia Natural" de Newton em 1687, na qual a força aparece como o conceito para as mudanças na quantidade de movimento, um esforço considerável foi empreendido na busca por compreender a relação entre força e movimento, incluindo-se aí o surgimento de críticas a essa noção predominante de força. Um dos problemas que suscitou questionamentos nesse período pode ser assim exposto: sendo a força um construto não-observável, qual seria sua relação com o fenômeno observável de aceleração? Para Helmholtz (1911), não se pode conhecer mais a respeito da natureza das forças além daquilo que podemos acessar pela observação dos fenômenos. D'Alembert (1758) considerava que a noção de força como causa da aceleração era problemática, pois estava baseada em um pressuposto "vago e obscuro" de que o efeito é proporcional à causa; já Carnot (1803) evitou essa noção em sua teorização da mecânica, enquanto Poincaré (1897) chegou mesmo a afirmar a impossibilidade de caracterizar a força satisfatoriamente dentro da mecânica clássica. Não nos estenderemos mais adiante na evolução história dessa noção, sendo suficiente destacar a complexidade que ela carrega, do ponto de vista do saber sábio, em contraste com sua apresentação aparentemente livre de problemas nos manuais do saber a ensinar.

### *Interação entre os corpos*

Aqui, o termo "interações" é usado em um sentido lato, apenas para expressar o fato de que os corpos que constituem o sistema interagem uns com os outros, e não no sentido das chamadas interações fundamentais. Essa definição conceitual de força é inexistente nos Projetos analisados, no entanto, foi encontrada explicitamente em alguns dos livros do Ensino Superior como em Alonso e Finn (1972, p. 156): "Assim, na natureza, todas as forças correspondem a interações entre os corpos separados por uma certa distância" e em Tipler, (2000, p. 81) em que o autor define: "A palavra força descreve a interação entre dois corpos". Ainda, a definição pode ser encontrada - também em contextos relacionados à Terceira Lei de Newton como em Serway e Jewett Jr. (2007, p.118) em que os autores declaram que "A terceira Lei de Newton transmite a noção de que as forças são sempre interações entre dois corpos".

Essa forma de conceber força parece trazer, além da incorporação da Terceira Lei, uma certa preocupação em auxiliar os estudantes a se apropriarem dos métodos de resolução de problemas, já que as três

definições anteriores pouco contribuem para isso. Em geral, é apresentada aos estudantes uma certa configuração de corpos e é requerida uma solução em termos de uma expressão para a aceleração do sistema. No entanto, antes de aplicar diretamente a Segunda Lei na resolução, os estudantes precisam efetuar várias operações de pensamento, notadamente a identificação das forças existentes na situação proposta, os vínculos, a análise das forças que atuam sobre cada corpo isoladamente, e assim por diante. Nesse processo, frequentemente os estudantes tem dúvidas sobre haver ou não determinada força atuando sobre um certo corpo. Por exemplo, existe uma tendência persistente (representação intuitiva) em identificar a existência de uma força no sentido do movimento dos corpos. O conceito de força como interação entre corpos poderia auxiliar a evitar essa dificuldade, pois não haverá um segundo corpo que esteja exercendo essa suposta força.

Um indicativo de que essa conceituação esteja relacionada à busca por familiarizar o estudante com a resolução de problemas é a observação de que, em geral, ela aparece acompanhada de diagramas de corpo livre que a exemplificam, juntamente com as descrições de algumas das formas pelas quais os corpos interagem e que devem ser identificadas pelos estudantes, tais como a força de reação normal, força de atrito, força peso e a força de tensão numa corda.

Embora ela esteja, de certa forma, subjacente à compreensão científica, pelo menos desde que Newton formulou a teoria da gravitação universal, essa ideia em geral não é citada como uma conceituação de força nos textos científicos analisados por Coelho (2010), talvez por não estar relacionada diretamente com a Segunda Lei e não fazer menção ao movimento. Além de inexistir nos Projetos de ensino que fizeram parte da amostra, como foi mencionado, essa definição também não é explicitada em nenhum dos Compêndios que foram consultados. Assim, ao que parece, trata-se de um aspecto do conceito de força que teria adquirido um novo enfoque durante o processo de Transposição Didática, influenciado em parte pela necessidade de tornar compreensíveis os saberes veiculados.

É interessante refletir, nessa ótica, o caráter das forças inerciais, também chamadas de forças fictícias. São "forças" que aparecem em observações feitas em sistemas de referência não-inerciais, manifestando-se como uma aceleração percebida no ponto de vista desses sistemas. Em geral, os livros didáticos apresentam essas forças como não sendo reais, com a justificativa de que não é possível identificar qual o segundo corpo que estaria interagindo com o corpo acelerado no referencial não-inercial. A existência dessas forças denotaria assim uma limitação da Segunda Lei de Newton, que para ser aplicável a esse tipo de referencial necessitaria de termos adicionais na equação, que representassem o efeito daquelas forças. No entanto, se a definição de força fosse restrita somente à "causa da aceleração", e observando-se a existência de uma aceleração no referencial não-inercial, seria possível prever dificuldades para os estudantes compreenderem porque tais forças seriam menos reais do que as outras. As forças fictícias geralmente aparecem nos materiais didáticos como uma artificialidade que é preciso introduzir para modificar a Segunda Lei de modo a possibilitar a resolução do problema, sem maiores discussões sobre seu referente factual ou o aparente conflito com a ideia de força como

interação. Para uma análise da possibilidade de considerar as forças fictícias como forças reais, em termos de interação entre corpos e implementando o Princípio de Mach, ver Zylbersztajn e Assis (1999).

### *Grandeza Vetorial*

A formulação do teorema do paralelogramo de Newton, “Um corpo que sofre a ação de duas forças simultâneas descreve a diagonal de um paralelogramo no mesmo tempo em que descreveria os lados do paralelogramo por essas forças separadamente” (Newton, 1687 apud, Jammer, 2011, p.166) condicionou, segundo Jammer (2011, p. 166) “o entendimento da concepção de força [...] porque caracteriza força como uma quantidade vetorial”.

Essa categoria aparece aqui com um caráter diferenciado em relação às anteriores, pois nem sempre é presumida como uma definição. Ela é encontrada tanto em um sentido previsível de atributo da força (sem necessariamente configurar uma definição no sentido estrito), como também, em outras passagens, na forma de uma definição de caráter operacionalista, identificando força como um vetor.

O primeiro sentido, a atribuição do aspecto da força como sendo um vetor ou uma grandeza vetorial, está presente em grande parte dos manuais didáticos analisados, tanto nos projetos quanto nos livros do Ensino Superior. Essa caracterização foi encontrada em capítulos específicos sobre vetores como no PEF (p.6) “Para tornar o assunto mais concreto vamos tratar inicialmente da grandeza vetorial mais familiar, a força.” e no FAI, em que a força é descrita como uma grandeza que

“não será possível ser identificada através de um simples número e uma unidade. Ela requer, além disso, uma direção, bem como um sentido, pelo qual atua sobre outro objeto. Tais grandezas são denominadas vetoriais; são aquelas cujas operações entre as mesmas requer, além do uso das propriedades analíticas, as propriedades geométricas”. (GETEF, 1974, p.7, grifo dos autores).

No segundo sentido mencionado acima, é possível encontrar apresentações dentro do espaço de conceitualização de força, como no PSSC (1970, p. 22), em que se lê: “A própria força é um vetor”. Embora a intenção dos autores, nos dois casos, talvez seja semelhante, optamos por manter essa categoria por considerarmos possível argumentar que uma diferença significativa se constitui, no segundo caso, pela identificação de um construto que visa representar uma entidade física – a força – com um objeto matemático – o vetor. Não temos aqui condições de afirmar se tal definição é, de algum modo, influenciada pelas tentativas históricas de atribuir um caráter puramente teórico e operacional à noção de força, transformando-a em um artifício matemático. Em todo o caso, consideramos importante destacar que existe uma distinção ontológica, do ponto de vista do referente do conceito, entre afirmar que uma força é um vetor e afirmar que ela pode ser representada por um vetor.

### **Conclusões**

Foi possível mostrar, ao longo dessa investigação, que não é necessário ir muito longe para identificar a multiplicidade de concepções que tomam

parte na formação do conceito de força. A avaliação dos materiais didáticos, por si só, permite evidenciar a existência de diferentes formas que esse construto pode assumir no seu ensino, apresentando tanto aspectos complementares entre si quanto outros que podem ser considerados conflituosos. Neste sentido, uma primeira conclusão que pudemos desenvolver através deste estudo é o caráter eminentemente polissêmico do conceito de força nos manuais didáticos dirigidos ao Ensino Superior de Física.

Evidentemente, o objetivo de destacar essa constatação não é o de advogar pela busca de uma definição única para o conceito de força. O significado de um conceito nas ciências naturais é dinâmico e dificilmente se permite prender a uma definição fechada. Foi possível evidenciar ainda que, no que tange à conceituação de força, os Projetos de ensino da Era dos Projetos sofreram grande influência principalmente dos antigos manuais franceses como os de Lamé (1840) e Ganot (1894), a despeito de suas intenções inovadoras e revolucionárias sobre o ensino de Física. Com relação aos livros didáticos do Ensino Superior, os dados desse estudo permitem destacar uma virada para o conceito de interação entre corpos. Considerando-se o contexto de apresentação dessas ocorrências no conteúdo dos livros, uma interpretação possível para essa observação é a emergência de uma crescente preocupação com o desenvolvimento de habilidades de resolução de problemas.

### **Implicações**

A existência de diferentes conceituações para uma grandeza física no contexto do ensino não é, por si só, nenhum demérito. Dependendo de como essa pluralidade é compreendida no planejamento da prática educativa, pode se constituir como um elemento importante quer para o processo de aprendizagem conceitual, quer para as imagens sobre a natureza da ciência que estão presentes na sala de aula. No primeiro caso, é possível argumentar que a tomada de consciência sobre a existência de diferentes respostas a uma questão da Ciência pode contribuir para a evolução conceitual dos estudantes, como ocorre com a utilização das representações intuitivas nas propostas de mudança conceitual. No segundo caso, poder-se-ia utilizar essa pluralidade para evidenciar a não-neutralidade dos conhecimentos científicos, seu caráter de criação ao invés de descoberta e a relevância das controvérsias no desenvolvimento da Ciência, entre outros aspectos.

No entanto, os dados coletados nesse estudo parecem apontar que não é isto que vem ocorrendo com o conceito de força, ao menos no que tange sua apresentação nos manuais didáticos. Em praticamente nenhum desses textos a pluralidade do conceito é abordada, com exceção apenas de raras e breves observações sobre a diferença entre o conceito científico de força e a noção de esforço muscular. Sua forma monolítica de apresentação contrasta com a riqueza de significados que o conceito permite vislumbrar. O conflito entre a ideia de força como causa de aceleração e o papel das forças fictícias, por exemplo, que poderia constituir uma excelente oportunidade para uma reflexão mais crítica sobre o conceito, via de regra é "varrido para debaixo do tapete", permanecendo relegado à posição de uma simples

dificuldade operacional.

Nesse sentido, uma contribuição deste estudo é alertar para a necessidade de repensar a ênfase excessivamente instrumental nas formas de apresentação do conceito de força nos manuais didáticos. Tal atitude requereria uma reflexão mais aprofundada sobre os pressupostos epistemológicos que direcionam a elaboração de tais materiais que, por sua vez, precisam ser orientados no sentido de priorizar a construção de significados por parte dos estudantes.

Ao longo da história, não faltaram tentativas de suprimir o conceito de força da mecânica ou de considerá-lo uma artificialidade ou mera ficção matemática. É possível apontar alguns equívocos desse tipo de posicionamento à luz de um realismo crítico. Em primeiro lugar, reconhecemos que a força não é um objeto real, mas um objeto conceitual, e nesse sentido é uma criação da mente humana. Ela não é, porém, uma invenção arbitrária, mas criada com uma intenção realista, isto é, para representar um referente real. Somente por ser uma ideia teórica é que é possível inseri-la em um quadro teórico geral – no caso, as Leis de Newton –, porque as componentes de uma teoria são ideias, e não objetos concretos ou imagens. Dessa forma, a construção de conceitos mais ou menos sofisticados e abstraídos é uma condição fundamental para que a ciência possa servir para interpretar a realidade, ao invés de apenas colecionar dados. Em síntese, consideramos que o objetivo do empreendimento científico é justamente "... uma explicação do inobservável e uma interpretação do observável em termos do inobservável" (Bunge, 1974, p. 89).

Nessa direção, a inobservabilidade da força não implica em considerá-la fantasiosa ou um mero artifício, mas permitiria resgatar justamente o aspecto processual da construção do conhecimento, tradicionalmente excluído da educação escolar, pois, como apontaram Astolfi e Develay, "... os modelos científicos são em geral apresentados aos alunos como a realidade diretamente interpretada muito mais do que como representações construtivas, conscientemente reduzidas e calculáveis" (Astolfi e Develay, 1991, p. 105).

Essa forma tradicional do saber a ensinar pode ser pelo menos em parte relacionada com a herança dos *Traités* e dos *Cours* que, imersos na influência da filosofia positivista, carregavam uma concepção dogmático-instrumental da ciência e, portanto, excluíam as questões metafísicas da estrutura dos cursos (Braga; Guerra; Reis, 2008). Essa herança é persistente; ao longo do século XX, principalmente após a segunda metade, o ideal positivista deixou de ter centralidade pelo menos no meio acadêmico, e as epistemologias pós-positivistas tem concentrado maior relevância nas discussões educacionais. Ainda assim, mesmo em materiais didáticos recentes, é possível sentir a influência dos contextos epistemológicos quando da criação dos *Traités* e *Cours* e, mais adiante, dos *Projetos*. Nessa medida, consideramos que o reconhecimento da existência de uma reformulação dos saberes no sistema didático, que é evidenciada pela noção de *Transposição Didática*, é indispensável para o exercício de uma certa vigilância epistemológica (Chevallard, 1991).

## Referências bibliográficas

- Alonso, M. e Finn, E. J. (1972). *Física: um curso universitário*. São Paulo: Edgar Blücher.
- Astolfi, J. P. e Develay, M. (1991). *A Didática das Ciências*. Campinas: Papirus Editora.
- Braga, M. A. B., Guerra, A. e Reis, J. C. (2008). O papel dos livros didáticos franceses do século XIX na construção de uma concepção dogmática-instrumental do ensino de Física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 25(3), 507-522.
- Bunge, M. (1966). Mach's Critique of Newtonian Mechanics. *American Journal of Physics*, 34(7), 585-596.
- Bunge, M. (1974). *Teoria e realidade*. São Paulo: Perspectiva.
- Caniato, R. (1975). *Mecânica: Projeto Brasileiro para o Ensino de Física*. São Paulo: Fundação Tropical de Pesquisas e Tecnologia.
- Carnot, L. (1803). *Principes fondamentaux de l'équilibre et du mouvement*. Paris: De L'imprimerie de Crapele.
- Chevallard, Y. (1991). *La Transposición Didáctica: del saber sabio al saber enseñado*. Argentina: La Pensée Sauvage.
- Coelho, R. L. (2010). On the concept of force: How understanding its history can improve physics teaching. *Science & Education*, 19(1), 91-113.
- D'Alembert, J. L. R. (1758). *Traité de dynamique*. Paris: Johnson Reprint Corporation.
- Ganot, A. (1894). *Traité Élémentaire de Physique*. Paris: Librairie Hachette et Cia.
- GETEF. (1974). *Física auto-instrutiva*, FAI 2. São Paulo: Editora Saraiva.
- Hamburguer, A. I., Dantes, M. A. M., Paty, M., e Petitjean, P. (1996) (Orgs.). *A ciência nas relações Brasil-França (1850-1950)*. São Paulo: EDUSP, FAPESP.
- Helmholtz, H. (1911). *Vorlesungen über Theoretische Physik: Vorlesungen über die Dynamik Discreter Massenpunkte*. Leipzig: Johann Ambrosius Barth.
- Jammer, M. (2011). *Conceitos de força: Estudo sobre os fundamentos da dinâmica*. Rio de Janeiro: Contraponto.
- Lamé, G. (1840). *Cours de Physique de L'École Polytechnique*. Paris: Bachelier.
- Mach, E. (1907). *The science of mechanics: A critical and historical account of its development*. Chicago: Open court publishing Company.
- Thornton, S. T. e Marion, J. B. (2004). *Classical Dynamics of Particles and Systems*. Belmont: Thomson Brooks/Cole.
- Martinand, J. -L. (1986). *Connaître et transformer la matière: Des objectifs pour l'initiation aux sciences et techniques*. Bern: Editions Peter Lang SA.
- Nussenzveig, H. M. (2002). *Curso de Física Básica: Mecânica*. São Paulo:

Edgard Blücher LTDA.

PEF. (1980). *Guia do Professor*. Rio de Janeiro: Fename.

Pinho Alves, J. (2000). *Atividades Experimentais: do método construtivista à prática construtivista*. Florianópolis/SC. Tese Doutorado em Educação, Universidade Federal de Santa Catarina.

Poincaré, H. (1897). Les idées de Hertz sur la mécanique. *Revue générale des sciences*, 8, 734-743.

Projecto Física (1978). *Projeto HARVARD: Unidade I - Guia do Professor*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.

PSSC (1970). *Física – Parte I*. São Paulo: EDART.

Reech, F. (1852). *Cours de mécanique*. Paris: Carilian-Goeury et V<sup>or</sup> Dalmont.

Resnick, R., Halliday, D. e Krane, K. S. (2003). *Física I*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda.

Sears, F. W. e Zemansky, M. W. (1973). *Física: Mecânica- Hidrodinâmica*. Rio de Janeiro: Livro Técnico S.A.

Serway, R. A. e Jewett Jr, J. W. (2007). *Princípios de Física: Mecânica Clássica*. São Paulo: Thomson Learning.

Tipler, P. A. (2000). *Física: mecânica, oscilações e ondas, termodinâmica*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos S.A.

Tipler, P. A. (1982). *Física*. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois S.A.

Young, H. D. e Freedman, R. A. (2003). *Física I–Mecânica*. São Paulo: Addison Wesley.

Young, H. D. e Freedman, R. A. (2008). *Física I: Mecânica*. São Paulo: Addison Wesley.

Zylbersztajn, A. e Assis, A. K. T. (1999). Sobre a possível realidade das forças fictícias: uma visão relacional da mecânica. *Acta Scientiarum*, 21(n), 817-822.