

A Causalidade Piagetiana e os Modelos Mentais: Explicações Sobre o Funcionamento do Giroscópio*

Célia Maria Soares Gomes de Sousa

Instituto de Física, UnB

Caixa Postal 04455

70919-970 Brasília, DF

Marco Antonio Moreira

Instituto de Física, UFRGS

Caixa Postal 15051, Campus

91550-970 Porto Alegre, RS

Recebido em 11 de junho, 1999

Neste trabalho sugerimos que os modelos mentais causais podem servir de interface entre a teoria de Piaget e a teoria dos modelos mentais, reforçando o argumento de outros pesquisadores de que há uma certa complementaridade entre as duas teorias ou, pelo menos, que não são incompatíveis. Utilizamos resultados de entrevistas sobre o funcionamento do giroscópio para ilustrar nosso ponto.

In this paper we suggest that causal mental models may serve as interface between Piaget's theory and mental models theory, reinforcing other researchers' argument that there is a certain complementarity between these theories or, at least, that they are not incompatible. Results from interviews regarding how the gyroscope works were used to make our point.

I Introdução

Desde que o comportamentalismo começou a perder espaço para o cognitivismo, digamos na década de setenta, como referencial teórico para o ensino e para a pesquisa em ensino, a teoria de Piaget, embora seja uma teoria de desenvolvimento cognitivo, tem fundamentado muitas propostas e pesquisas em ensino e aprendizagem. Na pesquisa em ensino de Física não tem sido diferente: a teoria de Piaget é um importante marco teórico dessa pesquisa. A título de exemplo, pode-se citar que o primeiro modelo de mudança conceitual, surgido logo após o advento da pesquisa em concepções alternativas (típica dos anos setenta), foi o do conflito cognitivo (Nussbaum, 1989) que supostamente levaria a uma equilibração majorante que, por sua vez, resultaria na mudança conceitual. A pesquisa nessa área mostrou que não é bem assim (Pfundt e Duit, 1994). A mudança conceitual é um problema complexo ainda não resolvido pelos pesquisadores em ensino de ciências,

mas os conceitos piagetianos, principalmente os de acomodação e equilibração, continuam sendo muito úteis na busca de soluções para esse problema.

Contudo, mais recentemente, nos anos noventa, cada vez mais se ouve falar de outro referencial teórico para a pesquisa em ensino de ciências (ou de Física em particular), o das representações mentais e, dentro deste referencial, em especial os modelos mentais (Johnson-Laird, 1983; Gentner e Stevens, 1983; Moreira, 1996; Markman, 1998). Ao mesmo tempo, alguns autores tentam mostrar que a adoção deste novo marco teórico não implica rejeitar o referente piagetiano e que a teoria dos modelos mentais e a teoria de Piaget se não são complementares pelo menos não são incompatíveis: é o caso dos trabalhos de Franco et al. (1997) e de Monserrat Moreno et al. (1998). No primeiro deles, argumenta-se que a perspectiva dos modelos mentais de Johnson-Laird pode ser enriquecida por meio da abordagem genética que caracteriza a teoria de Piaget (op. cit., p. 188). No segundo, o argumento é

*Versões preliminares deste trabalho foram apresentadas no I Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências, Águas de Lindóia, 26 a 29 de novembro de 1997 e no VI Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física, Florianópolis, 26 a 30 de setembro de 1998.

que o sujeito da psicologia genética pretende compreender a realidade enquanto que o sujeito da psicologia cognitiva deseja controlar a realidade e alcançar objetivos pragmáticos. Assim sendo, ambas finalidades não são necessariamente incompatíveis e podem ser complementares, razão pela qual há cada vez mais trabalhos de pesquisa que levam em conta e se inspiram nas contribuições de ambas teorias (op. cit., p. 31).

Neste trabalho também argumentaremos em favor de uma certa complementaridade, ou compatibilidade, entre a teoria de Piaget e a dos modelos mentais, pelo menos no que se refere à causalidade piagetiana e os modelos mentais causais. Ao final, usaremos resultados de entrevistas com egressos da Licenciatura em Física, sobre o funcionamento do giroscópio, para reforçar nosso argumento.

II A teoria de Piaget e a causalidade

Segundo Silvie Parrat-Dayana (apud. Monserrat Moreno et al., 1998, p. 21), o tema da causalidade foi o que permitiu a Piaget explicar com maior clareza sua concepção interacionista (entre sujeito e objeto) e construtivista do conhecimento.

Para essa autora, a noção de causa utilizada por Piaget é a de “uma relação que a razão estabelece entre as coisas ou entre as coisas e o sujeito e resulta de nossa capacidade de dedução” (ibid.). Considerando-se que a pergunta básica, epistemológica, de Piaget sempre se referiu à relação entre o pensamento e as coisas, ou entre o organismo e o meio, entende-se porque esta noção de causa e o tema da causalidade lhe tenham sido tão úteis.

Por exemplo (op. cit., p. 22 e 25):

“A evolução da causalidade tem lugar em três níveis distintos. Em um primeiro momento, as explicações causais tendem a ser fenomenistas, finalistas e mágicas. Em um segundo momento, são artificialistas, animistas e dinâmicas. Somente no terceiro período, depois dos 7 ou 8 anos, as explicações causais se tornam mais racionais. Piaget descreve esta evolução através de três processos: desubjetivação da causalidade, formação de séries seqüenciais no tempo e reversibilidade progressiva de sistemas de causa e efeito... As operações formais abrirão ao sujeito novas possibilidades de apreender a causalidade. Porém os conhecimentos construídos sobre os objetos permitem ao sujeito contextualizar tais conhecimentos para chegar a um jogo formal entre as operações e a causalidade.”

Estas considerações refletem o que Parrat-Dayana chama de a primeira teoria de Piaget sobre a causalidade e aparece em seus livros da década de vinte. A segunda, de fins dos anos sessenta, é a teoria da atribuição (op. cit. p. 25-27):

“Qualquer explicação causal, da mais simples a mais complexa, consiste em atribuir ao universo o nível de operatividade cognitiva do sujeito. A interpretação proposta por Piaget é que a explicação causal consiste na utilização de operações pelo sujeito, permitindo-lhe a criação de modelos que poderá atribuir às relações observadas entre os sujeitos... O específico da causalidade é que a operação não só se aplica aos objetos mas também que é atribuída a eles. Isso quer dizer que se considera que os objetos atuam por si mesmos, uns sobre os outros, de uma maneira análoga às operações... Dizer que a causalidade é um processo de atribuição das operações do sujeito ao objeto significa que a explicação de um fenômeno consiste em transportar o sistema de operações que supõem a ação do sujeito sobre o objeto ao nível das interações entre os objetos.”

Portanto, o sujeito atribui às relações entre os objetos ligações causais segundo o modelo de suas próprias operações. Por exemplo, se o sujeito domina a transitividade lógica ($A = C$ se $A = B$ e $B = C$) ele deve ser capaz de explicar a transmissão do movimento entre objetos.

Parrat-Dayana (op. cit. p. 26) chama atenção que para Piaget a causalidade é explicativa, não legal, isto é, para ele a causalidade é a explicação causal não a lei. Uma lei expressa uma regularidade enquanto a causalidade pressupõe um modelo explicativo. A inferência de relações causais supõe a atribuição à realidade de operações do sujeito e isso é possível graças à construção de um sistema explicativo.

Essa pesquisadora também esclarece que, para Piaget, em toda explicação causal se utiliza uma certa estrutura lógico-matemática, sem que isso signifique que a causalidade se reduza ao conjunto de operações lógico-matemáticas, pois não se trata apenas de aplicar tais operações ao objeto mas também de atribuí-las ao objeto. Isso significa que o sujeito supõe que o objeto é ativo e implica que a causalidade supõe um sistema de inferências e de construções lógico-matemáticas que vai além do observável (ibid.):

“À medida que se formam as coordenações operatórias (transitividade, reversibilidade, distributividade, etc.) elas são atribuídas aos objetos segundo a ordem de constituição. No entanto, entre

operações e realidade há uma ação recíproca porque a explicação causal obriga o sujeito a construir novos instrumentos lógico-matemáticos. Por exemplo, no domínio espacial, são os problemas dinâmicos e físicos que obrigam o sujeito a criar novas construções geométricas, porém estas não provêm unicamente da realidade; necessita-se, além disso, um sujeito com suas operações para poder efetuá-las e poder construir as estruturas correspondentes.”

Portanto, existe uma estreita relação entre o sujeito e o objeto. No processo de atribuição das operações lógicas à realidade intervêm as propriedades dessa própria realidade. Ao descobrir certas características dos objetos, o sujeito modifica seus modelos interpretativos e em virtude dessa modificação pode explicar a realidade física de maneira mais rica (op. cit. p. 28):

“Por conseguinte, o desenvolvimento não pode, então, ser compreendido como o que se dará mais cedo ou mais tarde, como às vezes escreve o próprio Piaget. É a concepção piagetiana a que nos permite afirmar que o desenvolvimento não se produz no vazio, mas sim que se dá a partir de situações problemáticas complexas. Os processos do pensamento necessitam conteúdos onde possam desenvolver-se, aplicar-se, generalizar-se e também modificar-se. Porém, é evidente que sem processos de pensamento adequados as situações não poderiam ser assimiladas. São os estudos piagetianos da causalidade os que permitem perceber claramente que entre as operações do sujeito e a realidade (situações, objetos, conteúdos) atuam os modelos interpretativos do sujeito através dos quais se relacionam os aspectos internos e externos do conhecimento.”

Esta última frase de Parrat-Dayana sugere que é possível compatibilizar, sem qualquer reducionismo, a teoria de Piaget que está conosco desde os anos vinte e a recente teoria dos modelos mentais (Johnson-Laird, 1983; Gentner e Stevens, 1983; Moreira, 1996; Borges, 1997; Markman, 1998). Em outras palavras, ela reforça esta hipótese (ibid.):

“Desta maneira, dentro da perspectiva construtivista, o conhecimento implica uma inter-relação ativa e produtiva entre os significados que o sujeito tem e os aspectos da realidade externa que vão permitir a construção de novos significados. Estes significados não constituem a lógica do sujeito e sim modelos interpretativos que o

sujeito constrói e que lhe permitem apreender a realidade. As características do modelo interpretativo devem ser buscadas na inter-relação de objetos e ações do sujeito... Observe-se, que é graças à idéia de atribuição que o objeto se converte em operador, o que significa que tem um papel ativo. Os objetos podem ou não resistir ao tratamento operatório do sujeito. Estas resistências do objeto desempenham um papel importante no processo equilibrador...”

Ora, a equibração é, por excelência, o mecanismo piagetiano para descrever a melhora ou o aumento de conhecimento ou, em última análise, o próprio desenvolvimento cognitivo do sujeito. Mas a causalidade tem um papel importante na equibração pois é próprio da causalidade provocar desequilíbrio. Ou seja, ao resistirem ao tratamento operatório do sujeito, às inferências do sujeito, os objetos produzem perturbações nos esquemas de assimilação do sujeito que podem levar à construção de novos esquemas de assimilação, resultando em equibração majorante e, por conseguinte, em desenvolvimento cognitivo. Por sua vez, a causalidade é explicativa, não legal, pressupondo modelos explicativos que o sujeito constrói.

O que seriam, ou como seriam, esses modelos explicativos? Talvez possamos interpretá-los como os modelos mentais dos quais, como já dissemos, se fala cada vez mais nos dias de hoje (Colinvaux, 1998), em particular os modelos mentais causais (de Kleer e Brown, 1983; Johnson-Laird, 1983). Se assim for, tem sentido falar em compatibilidade entre a teoria de Piaget e a teoria dos modelos mentais.

III Os modelos mentais causais

Desde a perspectiva da psicologia cognitiva contemporânea, a *compreensão representacional-computacional* da mente parece ser o mais exitoso enfoque desenvolvido até hoje (Thagard, 1996, p. 10). Quer dizer, a hipótese central não só da psicologia cognitiva, mas da própria ciência cognitiva, é a de que o funcionamento da mente é melhor compreendido em termos de *representações mentais* e de *procedimentos computacionais* que operam sobre tais representações. Conseqüentemente, se o conhecimento na mente consiste de representações mentais é de se esperar que os cientistas cognitivos tenham proposto diferentes tipos de representações mentais ou candidatos a esta categoria. De fato, assim tem sido. Entre outros, já foram propostos os “scripts”, as regras de produção, as redes semânticas e as imagens. As representações mentais são maneiras de “re-presentar” internamente o mundo externo. A idéia é a de que as pessoas não captam o mundo exterior diretamente, elas constroem

representações mentais (i.e., internas) dele. De um modo geral, as representações mentais se dividem em analógicas e proposicionais. A imagem visual é o exemplo típico de representação analógica, mas há outras como as auditivas, as tácteis, as olfativas. As representações proposicionais são “tipo-linguagem”, mas trata-se de uma linguagem própria da mente, não consciente, que não tem a ver com a língua que se fala nem com a modalidade de percepção. É o “código de máquina” da mente. Há psicólogos cognitivos que defendem a posição de que inclusive as imagens são processadas proposicionalmente através dessa linguagem de máquina mental.

Dentro dessa ótica de tipos, ou aspirantes a tipos de representações mentais, poder-se-ia dizer que os modelos mentais são os mais recentes, e talvez mais fortes, pretendentes. Trata-se do mais novo construto representacional, com a vantagem de não ter que entrar na questão de se as imagens são ou não são processadas proposicionalmente. Tal como propostos por Johnson-Laird (1983), *modelos mentais são análogos estruturais de estados de coisas do mundo*. São representações internas de informações que correspondem analogamente (em termos estruturais) ao que está sendo representado. A analogia pode ser total ou parcial, ou seja, um modelo mental é uma representação que pode ser totalmente analógica ou parcialmente analógica e parcialmente proposicional. Um modelo mental pode conter proposições. Por outro lado, as proposições são interpretadas em relação a modelos mentais: uma proposição é verdadeira ou falsa em relação a um modelo mental de um estado de coisas do mundo. As imagens, por sua vez, correspondem a vistas do modelo.

Para Johnson-Laird, os modelos mentais e as imagens são representações de alto nível, essenciais para o entendimento da cognição humana. Mesmo que em seu nível básico a mente humana possa computar as imagens e os modelos mentais em algum código proposicional, o uso de modelos mentais e imagens (perspectivas dos modelos) libera a cognição da obrigação de operar proposicionalmente nesse código. Assim como o computador opera com um código binário, mas os programadores trabalham com linguagens de alto nível, a mente humana, em última instância, operaria com algum código próprio, mas seu funcionamento poderia ser descrito em termos de modelos mentais, imagens e proposições sem ter acesso (e, de fato, não se tem, pois é não-consciente) a esse código.

Para Johnson-Laird, a compreensão implica a construção de modelos mentais. Quando compreendemos algo – no sentido de ser capaz de descrevê-lo, de explicar como funciona, de fazer inferências – é porque temos um modelo mental desse algo. Quando interpretamos um texto é porque construímos um modelo mental desse texto. Para ele, ao invés de uma lógica mental, as pessoas usam modelos mentais para raciocinar. Os modelos mentais são como blocos de construção

cognitivos que podem ser combinados e recombinados conforme for necessário. Como quaisquer outros modelos, eles representam o objeto ou situação em si; sua característica mais importante é que sua estrutura capta a essência (se parece analogicamente) dessa situação ou objeto (Hampson e Morris, 1996, p. 243). O aspecto essencial do raciocínio através de modelos mentais não está só na construção de modelos adequados para captar distintos estados de coisas, mas também na habilidade de verificar quaisquer conclusões a que se chegue usando tais modelos. A lógica, se é que aparece em algum lugar, não está na construção de modelos mas na verificação de suas conclusões pois esta implica que o sujeito saiba apreciar a importância lógica de falsear uma conclusão e não só buscar evidência positiva que a apóie.

Como dissemos no final da seção anterior, atualmente se fala cada vez mais em modelos mentais e é natural que distintos significados para este construto apareçam na literatura. Neste trabalho, no entanto, ficaremos com a proposta de Johnson-Laird por nos parecer, pelo menos até o momento, a mais completa. Ele propõe uma teoria (Johnson-Laird, 1993) enquanto que outros autores não vão além da conceituação, como se pode perceber em Gentner e Stevens (1983).

Johnson-Laird distingue entre modelos mentais físicos que são os que representam o mundo físico e os modelos mentais conceituais que são os que representam coisas mais abstratas. Dentre os modelos mentais físicos, ele identifica seis tipos principais (op. cit., p. 422 e 423): 1. *relacional* é um quadro estático; 2. *espacial* é um modelo relacional no qual as únicas relações que existem são espaciais; 3. *temporal* é o que consiste em uma seqüência de quadros espaciais que ocorre em uma ordem temporal que corresponde à ordem dos eventos; 4. *cinemático* é um modelo temporal psicologicamente contínuo, i.e., que representa mudanças e movimentos das entidades representadas sem discontinuidades temporais; 5. *dinâmico* é um modelo cinemático no qual existem também relações entre certos quadros representando relações causais entre os eventos representados; 6. *imagem* é uma vista, ou projeção, do objeto ou evento representado no modelo subjacente.

Estes seis modelos são por ele classificados como modelos mentais físicos no sentido de que, com exceção da causalidade, correspondem diretamente ao mundo físico. O quinto tipo, aquele que envolve relações causais, poderia ser chamado de *modelo mental causal* ao invés de dinâmico. Este tipo de modelo não corresponde diretamente ao mundo físico exatamente porque implica causalidade e esta é, segundo Piaget, *atribuída* aos objetos pelo sujeito nos moldes de suas próprias operações.

De Kleer e Brown (1983) também se referem a modelos causais. Eles realizaram pesquisas com o objetivo de desenvolver modelos sobre como o sujeito compreende o funcionamento de dispositivos como máquinas,

aparelhos eletrônicos, hidráulicos, térmicos. A esses modelos deram o nome de *modelos mentais mecânicos*.

A construção dos modelos mecânicos envolve quatro aspectos relacionados:

1. *topologia do dispositivo* (é o mais básico; implica representar sua estrutura, sua organização física);

2. *visionamento* (envisioning, é um processo de inferência que a partir da topologia determina a função do dispositivo, o que ele faz, para que serve);

3. *modelo causal* (descreve o funcionamento do dispositivo em decorrência de interações causais entre seus componentes);

4. *execução* (“rodagem” do modelo, produção de um comportamento específico do dispositivo).

5. *episódio* (intervalo de tempo durante o qual a explicação parece a mesma).

Este modelo é aparentemente simples, porém as pesquisas de de Kleer e Brown indicam que é surpreendentemente difícil construir modelos mentais desse tipo se eles devem ser capazes de prever conseqüências de eventos não considerados na construção do modelo. Para esses autores, o processo de construção de um modelo mental causal mecânico implica dois problemas distintos: um é o da elaboração de uma simulação qualitativa mental do dispositivo e o outro é o da simulação mental do resultado do funcionamento dessa construção.

Para Gutierrez e Ogborn (1992), o modelo mecânico de de Kleer e Brown procura responder a seguinte pergunta: o que necessita um sistema cognitivo que se depara com um sistema físico (como um dispositivo hidráulico, elétrico ou térmico) para ir desde como ele é feito até uma ou mais possibilidades de como ele funciona, suficientemente boas para explicar o que ele faz.

Este processo pode ser analisado em quatro etapas, equivalentes as de de Kleer e Brown:

1. representar o sistema (topologia);

2. “bolar” um modelo de como ele poderia funcionar (visionamento);

3. imaginar o modelo causal funcionando (simulação mental);

4. comparar com a realidade os resultados imaginados do modelo (execução).

Estas etapas são repetidas se a última não for satisfatória. A topologia, o visionamento, o modelo causal e a execução podem ser discriminados da seguinte maneira (ibid.):

Topologia - materiais: partes cujos atributos podem ver-se afetados por uma ação causal; *componentes*: partes que podem efetuar uma mudança causal; *condutos*: partes que podem conduzir materiais ou ações causais.

Visionamento - causas cujos efeitos estão ausentes, ou são muito pequenos, são ignoradas; até prova em contrário, atributos desconhecidos têm valores negligíveis.

Modelo causal - princípio da localidade: a causa está estruturalmente perto de seu efeito;

se é a estrutura, como um todo, que determina a causa, então, ela é não-local.

princípio da assimetria: causas precedem seus efeitos; episódios são construídos em uma seqüência determinada por relações causais.

Estes dois princípios do modelo causal são de de Kleer e Brown, porém Gutierrez e Ogborn julgam necessário agregar três outros (op. cit., p. 203):

princípio da produtividade: se existe um efeito, ele terá sido sempre produzido por uma causa.

princípio da unicidade: a mesma causa sempre produzirá o mesmo efeito.

Execução - um modelo aceitável, quando imaginado em funcionamento dever ter *consistência, correspondência e robustez*; consistência significa que o modelo não deve ter contradições internas; correspondência requer que ele prediga o que de fato acontece; robustez implica que o modelo continue fazendo previsões corretas quando o contexto muda para outro similar, por exemplo, que continue prevendo o comportamento de um dispositivo mesmo quando sua estrutura for perturbada (por exemplo, uma de suas partes com defeito).

Se estes vínculos não forem satisfeitos, o modelo mental causal deve ser reconstruído (reformulado): uma nova causa pode ser introduzida, ou um novo efeito, ou a topologia deve ser modificada. Essa reconstrução é chamada de “aprendizagem” por de Kleer e Brown (apud Gutierrez e Ogborn, ibid.), porém não implica “ensino”, apenas observação e reflexão.

O modelo de de Kleer e Brown atribui ao sistema cognitivo um compromisso ontológico básico: tudo tem uma causa; o raciocínio com este tipo de modelo é causal, não legal; as explicações são em termos de ações e efeitos, não de leis e regularidades. (O sistema cognitivo pode, inclusive, inventar causas apenas porque são necessárias causas.) Trata-se de um modelo basicamente qualitativo. Nele não existem leis e relações quantitativas, somente relações causais do tipo “se isso acontecer então tal coisa ocorrerá”, usando propriedades do tipo “grande”, “pequeno”, “maior”, “menor”, “negligível”, “igual”, “mesmo”.

Ora, a causalidade piagetiana é também explicativa, não legal, pressupondo modelos explicativos construídos pelo sujeito. Nos parece, então, que os modelos mentais causais podem muito bem fazer uma interface entre a psicologia cognitiva do processamento da informação e a psicologia do desenvolvimento cognitivo de Piaget, na medida em que possam funcionar como modelos explicativos necessários à causalidade piagetiana.

A seguir, passamos a descrever um pequeno estudo que fizemos, cujos resultados podem ser interpretados no marco teórico dos modelos causais.

IV Descrição do estudo

Entrevistamos seis egressos da Licenciatura em Física da UnB a respeito do funcionamento do giroscópio. As entrevistas duraram aproximadamente 30 minutos cada uma, foram conduzidas em um laboratório didático de Física e gravadas em fita magnética.

Escolhemos o giroscópio por ser um dispositivo cujo funcionamento abrange a maioria dos conceitos envolvidos no movimento de rotação e porque acreditávamos que seria um dispositivo cujo entendimento implicaria a construção de um modelo mental causal do tipo investigado por de Kleer e Brown (1983).

Krapas e Queiróz (1996) também realizaram um estudo com estudantes universitários de Física sobre o funcionamento do giroscópio, porém o fizeram desde a perspectiva das concepções alternativas e com estudantes de Física Básica.

Em cada entrevista, solicitamos, inicialmente, ao entrevistado que lesse um texto sobre o movimento de precessão, retirado do livro-texto utilizado nas disciplinas de Física Geral da graduação em Física da UnB (Halliday e Resnick).

Logo após, pedimos que descrevesse o funcionamento do giroscópio, identificando as grandezas físicas de interesse e explicitando a função de cada uma dessas grandezas no funcionamento do dispositivo. Nessa oportunidade, o entrevistado tinha à sua frente um giroscópio, tal como mostrado na figura 1, funcionando. Sua tarefa era explicar como ele funcionava.

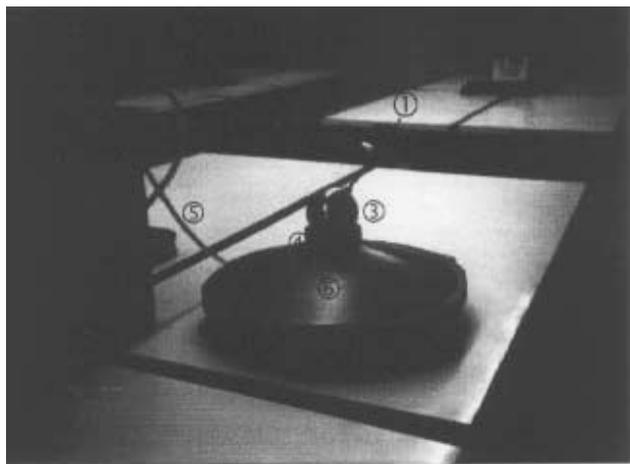


Figura 1. Uma visão esquemática do giroscópio utilizado. (1) Haste de alumínio (removível); (2) peso que encaixa na haste; (3) esfera de aço; (4) superfície de contato com a esfera, sem atrito devido à saída de ar comprimido; (5) entrada de ar comprimido; (6) base de sustentação.

V Resultados

Todas as entrevistas foram conduzidas pela primeira autora deste trabalho. As conclusões apresentadas a

seguir foram tiradas a partir do exame qualitativo das transcrições das entrevistas.

Dos seis licenciados entrevistados, quatro descreveram o funcionamento do giroscópio sem dificuldades, usando adequadamente os conceitos físicos envolvidos (momento angular, torque, precessão).

Os outros dois não conseguiram explicar satisfatoriamente, do ponto de vista da Física, o funcionamento do dispositivo. Um deles tentou explicar o movimento do giroscópio usando conceitos do movimento de translação e grandezas físicas não significativas para o funcionamento do giroscópio em questão. O outro procurou explicá-lo em termos de energia, não de grandezas importantes da dinâmica de rotações.

Independente de se explicaram, ou não, corretamente o funcionamento do giroscópio, do ponto de vista científico, a análise das transcrições das entrevistas sugere que os entrevistados pareceram construir modelos mentais causais, do tipo proposto por de Kleer e Brown (1983), que dão conta de explicar, na ótica do sujeito, o funcionamento do dispositivo.

Note-se que os modelos mentais têm, para quem os constrói, compromisso apenas com a funcionalidade, não com a correção científica. Modelos mentais não precisam ser corretos, mas sim, funcionais para o sujeito construtor.

Inferimos que os entrevistados aparentaram ter construído modelos mentais causais, pela presença, freqüente, de afirmações causais em suas explicações. A seguir apresentamos excertos das entrevistas daqueles alunos cujas explicações sobre o funcionamento do giroscópio foram consideradas satisfatórias.

Entrevistado n^o 2

... O que causa o movimento de precessão é a força da gravidade... que provoca um torque... fazendo este sistema girar aqui em torno do eixo dele.

O que mantém a haste sem cair é o movimento de rotação... porque ele produz um momento angular, que de alguma forma "segura" a haste sem cair.

Acho que o responsável pelo movimento de precessão é o torque que ocorre devido à força peso. ... Bom, o fato dele permanecer fazendo o movimento de precessão é ... à medida que a velocidade de rotação da esfera vai diminuindo, a haste tende a cair e a gente sabe que quanto maior a velocidade, maior o momento angular, então o momento angular é o responsável pela manutenção do movimento.

Entrevistado n^o 3

A esfera não está girando. Quando começa a girar a esfera, o momento angular vai se apresentando e na medida que você aumenta a rotação Se tirar a gravidade ele fica vertical.

Bom, você tirou o centro de gravidade do centro da esfera e ao fazer isto, o próprio peso da haste gera o

torque. Este vetor e o vetor momento angular somados vão dar uma variação na direção do momento angular.

É como se o momento angular fosse uma resistência à mudança provocada pelo torque... O que mantém a haste sem cair é a velocidade de rotação da esfera... variando a velocidade da esfera eu vario o momento angular.

O que explica a mudança no sentido do movimento de precessão é a mudança de direção do torque, que ocorre em função da variação do centro de gravidade.

Entrevistado nº 4

Além do giro em torno do próprio eixo, temos um giro em torno do eixo vertical. É o movimento de precessão do giroscópio. Ele acontece por causa da força peso. Nós temos o centro de massa deslocado do eixo vertical, então o peso do giroscópio é que faz com que exista um torque. Então vai haver um movimento de precessão. Em torno do eixo vertical, o eixo do giroscópio vai descrever um círculo. Então o torque é tangente a este círculo, é perpendicular ao eixo do giroscópio. ... É importante a direção do torque porque é ele que vai dar a variação direcional do momento angular... esta variação do momento angular produz o movimento de precessão.

Entrevistado nº 5

O que provoca este movimento de precessão é exatamente a variação de direção ocasionada pela presença do torque... O que ocasiona esse torque é a força peso atuando no centro de massa do sistema... No caso, se altera a posição do centro de massa do sistema, este movimento de precessão deve ser também sensivelmente alterado.

A mudança nesse sentido de precessão, quando eu tiro a haste e o peso é devido ao deslocamento do centro de massa do sistema, ou seja, ao torque do sistema que agora está no outro sentido. O que causa o movimento de precessão, que seria essa variação no sentido do vetor de variação do momento angular, acompanha o sentido do vetor de torque, que é tangente também ao movimento circular que aparece.

Estes trechos de quatro das seis entrevistas realizadas, nos parecem sugerir claramente que as explicações dos entrevistados são causais. O entrevistado nº 2, por exemplo, explica que “a causa do movimento de precessão é a força da gravidade, que por sua vez provoca um torque, o que faz com que o sistema (giroscópio) gire em torno do seu eixo”. Ou ainda, “o movimento de rotação mantém a haste sem cair porque ele produz um momento angular, que de alguma forma segura a haste”. Esta explicação é semelhante à utilizada pelo entrevistado nº 3 (no 3º parágrafo do excerto correspondente). Este mesmo entrevistado, também justifica uma mudança de sentido no movimento de precessão do dispositivo, devido à alteração da posição do seu

centro de massa, utilizando uma explicação unicamente causal: “a mudança no sentido do movimento de precessão é devido à mudança de direção do torque, que ocorre em função da variação do centro de gravidade” (4º parágrafo). O entrevistado nº 4 apresenta os mesmos argumentos causais dos entrevistados nº 2 e nº 3 para o aparecimento do movimento de precessão e para a mudança no sentido desse movimento ao se variar a posição do centro de massa e acrescenta: “é importante a direção do torque porque é ele que provoca a variação direcional do momento angular, o que produz o movimento de precessão”. O entrevistado nº 5 apresenta explicações semelhantes, como: “a mudança no sentido da precessão, quando a haste e o peso são retirados, é devido ao deslocamento do centro de massa do sistema, ou seja, ao torque do sistema que agora está no outro sentido”.

Creemos que estes excertos das entrevistas indicam, de maneira clara, que as explicações dos entrevistados são causais e não legais. Eles não se referem à qualquer lei ou princípio que pudesse estar envolvido direta ou indiretamente em suas justificativas para o movimento do giroscópio. Utilizam explicações basicamente qualitativas onde predominam relações causais do tipo “se isso acontecer, então tal coisa ocorrerá” ou “isso gera aquilo, que por sua vez vai gerar...”.

Uma das entrevistas nos chamou a atenção pelo fato de, mesmo partindo de uma idéia completamente equivocada para justificar o funcionamento do giroscópio, nas condições apresentadas, o entrevistado estabeleceu seqüências de explicações do tipo causais, que acabam conduzindo à uma explicação satisfatória (na ótica do entrevistado) sobre o funcionamento do dispositivo. Apresentamos abaixo, dois trechos que nos parecem relevantes nessa entrevista.

Entrevistado nº 1

... mesmo você tendo ar aqui dentro, você tem uma certa condição de atrito aqui dentro ... essas forças de atrito provocam a variação do momento angular. Você tem uma variação de velocidade porque senão esse movimento fica indefinido ... Aí você tem a variação do momento angular, que justamente induz esse delta L aqui...

Você tem aqui o movimento de rotação. A partir do momento que você tem o movimento de rotação devido à falta de atrito aqui, você tem o aparecimento da velocidade angular. Essa velocidade angular induz o aparecimento do momento angular, tá certo? Esse momento angular induz o aparecimento do torque, tá? Que é devido à presença da gravidade atuando sobre o centro de massa numa determinada distância em relação ao eixo, aí você tem o movimento de precessão.

No primeiro trecho o entrevistado introduz uma grandeza não existente, atuando no dispositivo em questão (o atrito), que, em suas palavras, “provoca a

variação do momento angular” e possibilita então o desenvolvimento da argumentação sobre o que provoca a variação do vetor momento angular. Entretanto, no segundo trecho apresentado da entrevista, ao propor uma explicação mais condensada para o aparecimento do movimento de precessão, ele passa a assumir a ausência de atrito, o que desencadeia uma série concatenada (isso causa aquilo, que causa...) de justificativas para o movimento de precessão.

Ou seja, aparentemente, este entrevistado apresenta explicações causais, até contraditórias, mas que surgem quando é necessário ter uma justificativa causal para a explicação de determinado comportamento do dispositivo.

Estaria aí causalidade piagetiana: explicativa, não legal.

Por outro lado, no exame das entrevistas, observamos também que os entrevistados sempre utilizavam expressões do tipo “vai aumentar”, “vai diminuir”, “maior”, “menor”, evitando qualquer quantificação definida. Isso também é típico dos modelos mentais causais.

Quer dizer, provavelmente, haveria um modelo mental causal subjacente às explicações causais. Esse modelo poderia ser do tipo modelo mental mecanístico proposto por de Kleer e Brown (1983), embora eles o tivessem proposto em relação a máquinas, aparelhos eletrônicos, hidráulicos, térmicos. Poderia também ser do tipo sugerido por Johnson-Laird (1983) como modelo mental físico dinâmico.

Não tentamos identificar qual o modelo mental utilizado por cada entrevistado. Isso requereria dados melhores do que os que coletamos e certamente seria difícil. Mas nos arriscamos a dizer que os dados que obtivemos são suficientes para inferirmos que a compreensão do funcionamento do giroscópio implica a construção de um modelo mental causal, i.e., um modelo mental causal que descreve como funciona o dispositivo em função de interações causais entre seus componentes.

Não apresentamos aqui excertos da entrevista nº 6 por que não foi possível identificar em tal entrevista, evidências que sugerissem explicações causais para o funcionamento do dispositivo. Este entrevistado tentou sempre justificar o funcionamento do dispositivo em termos de “energia”.

VI Conclusões

Procuramos, como Franco et al. (1997) e Monserrat Moreno et al. (1998), argumentar em favor de uma certa compatibilidade entre a teoria de Piaget e a teoria dos modelos mentais e usamos os resultados de algumas entrevistas, sobre o funcionamento do giroscópio, para sugerir que a interface entre essas duas teorias poderia ser feita através dos modelos mentais causais.

O giroscópio em si acabou sendo instrumental. Ao

longo da análise das entrevistas e à medida que nos aprofundávamos na parte teórica de nosso estudo, nos foi ficando claro que os modelos mentais causais poderiam fazer a ponte entre a causalidade piagetiana e esse novo construto da psicologia cognitiva contemporânea que é o modelo mental.

É preciso, no entanto, não cair em reducionismos. O fato de que os modelos mentais causais possam ser pensados como modelos explicativos aos quais se refere Piaget na teoria da atribuição não significa que uma teoria possa ser reduzida a outra ou que haja grande compatibilidade entre elas. Quer dizer, a ponte que se pode estabelecer entre a teoria dos modelos mentais e a causalidade piagetiana através dos modelos mentais causais não implica que a teoria de Piaget englobe a dos modelos mentais ou vice-versa. Por exemplo, apesar dessa possível ponte chama logo atenção que a teoria de Johnson-Laird é considerada não racionalista porque nela estão ausentes as regras de inferência da lógica formal. A resolução de tarefas de silogismo, por exemplo, para Johnson-Laird, está baseada na manipulação de modelos mentais, não na lógica formal. Na teoria de Piaget, no entanto, a capacidade de raciocinar formalmente, utilizando as operações lógico-matemáticas, representaria a última etapa do desenvolvimento cognitivo.

Repetindo, cremos que há uma certa complementaridade entre a teoria de Piaget e a dos modelos mentais, a qual pode ser ilustrada através dos modelos mentais causais, como aqueles que devem ter utilizado nossos entrevistados ao descrever o funcionamento do giroscópio, mas isso não significa que sejam plenamente compatíveis ou que uma abranja a outra.

No decorrer de nosso trabalho foi também ficando claro que a idéia de modelo mental causal seria bastante útil para o ensino/aprendizagem da Física, particularmente na Mecânica que é a área mais abordada pelos professores. Apesar de que o ensino da Mecânica enfatiza as leis de Newton, a lei da gravitação e as leis de conservação, as explicações dos alunos seriam causais, não legais; eles usariam modelos mentais, possivelmente predominantemente causais, ao invés das leis da Mecânica, para dar significado a situações físicas modeladas pela Mecânica de Newton.

Neste caso, se quiséssemos entender como os alunos entendem a Mecânica, ou se quiséssemos ajudá-los a entendê-la como queremos que a entendam, i.e., como uma teoria física com seus conceitos, leis e procedimentos cientificamente aceitos, teríamos que investigar seus modelos mentais causais. E teríamos que ajudá-los na reformulação de seus modelos mentais (a recursividade é uma propriedade essencial dos modelos mentais) a fim de que fossem mais do que um simples agregado de proposições refletindo relações causais elementares e nem sempre corretas do ponto de vista científico.

Bem, mas com isto já estamos nos afastando do objetivo deste trabalho, que era o de reforçar o argumento

de outros pesquisadores quanto à compatibilidade entre a teoria de Piaget e a dos modelos mentais, o qual cremos ter atingido.

References

- [1] Borges, A.T. (1997). Um estudo sobre modelos mentais. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, **2**(3), 207-226.
- [2] Colinvaux, D. (Org.). (1998). *Modelos e educação em ciências*. Rio de Janeiro: Ravil.
- [3] De Kleer, J. and Brown, J.S. (1983). Assumptions and ambiguities in mechanistic mental models. In Gentner, D. and Stevens, A.L. (Eds.). *Mental models*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- [4] Franco, C., Colinvaux, D., Krapas, S. e Queiróz, G. (1997). A teoria piagetiana e os modelos mentais. In Banks-Leite, L. (Org.) *Percursos piagetianos*. São Paulo, Cortez.
- [5] Gentner, D. and Stevens, A.L. (Eds.). (1983). *Mental models*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- [6] Gutierrez, R. and Ogborn, J. (1992). A causal framework for analysing alternative conceptions. *International Journal of Science Education*, London, **14**(2): 201-220.
- [7] Hampson, P.J. e Morris, P.E. (1996). *Understanding cognition*. Cambridge, MA. Blackwell Publishers Inc.
- [8] Johnson-Laird, P.N. (1983). *Mental models*. Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- [9] Krapas, S. e Queiróz, G. (1996). O movimento de precessão na história e no estudante. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, **18**(3): 171-180.
- [10] Markman, A.B. (1998). *Knowledge representation*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- [11] Moreira, M.A. (1996). Modelos mentais. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, **1**(3): 193-232.
- [12] Moreno Marimón, M. (1998). La psicología cognitiva y los modelos mentales. In Moreno Marimón, M. et al. *Conocimiento y cambio*. Barcelona, Paidós. p. 31-46.
- [13] Nussbaum, J. (1989). Classroom conceptual change: philosophical perspectives. *International Journal of Science Education*, London, **11** (Special issue): 530-540.
- [14] Parrat-Dayán, S. (1998). La teoría de Piaget sobre la causalidad. In Moreno Marimón, M. et al. *Conocimiento y cambio*. Barcelona, Paidós. p. 21-30.
- [15] Pfundt, H. and Duit, R. (1994). Bibliography. Students alternative frameworks and science education. Kiel: Institute for Science Education. Universität Kiel.
- [16] Sousa, C.M.S.G. e Moreira, M.A. (1997). Modelos mentais mecânicos sobre o giroscópio: um estudo preliminar. Pôster apresentado no *I Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências*, Águas de Lindóia, SP, 26 a 29 de novembro.
- [17] Sousa, C.M.S.G. e Moreira, M.A. (1998). Explicações dos alunos sobre o giroscópio, à luz da teoria dos modelos mentais. Pôster apresentado no *IV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*. Florianópolis, 26 a 30 de setembro.
- [18] Thagard, P. (1996). *Mind: introduction to cognitive science*. Cambridge, MA: A Bradford Book. The MIT Press.