

# O Movimento de Precessão na História e no Estudante\*

Sonia Krapas-Teixeira

*Departamento de Física, Universidade Federal Fluminense  
Av. Gal. Nilton Tavares de Souza s/n, CEP 24310-340, Niterói, RJ, Brasil*

Glória Pessoa Queiróz

*Espaço UFF de Ciências  
Av. Jansen de Mello 174, CEP 24030-221, Niterói, RJ, Brasil*

Trabalho recebido em 3 de agosto de 1995

Este trabalho procura responder à questão: que relação pode ser estabelecida entre as concepções de estudantes acerca do movimento de um giroscópio e a história do desenvolvimento científico que levou à criação do conceito de precessão? Para isto foram analisadas respostas gravadas em entrevistas individuais feitas com dezesseis alunos de Física básica do Curso de Física da UFF. Tais respostas foram categorizadas e classificadas. Pesquisou-se a origem do termo precessão na História da Ciência, encontrando-o na história dos calendários e dos movimentos da Terra que convergem para uma única história que inclui a do movimento giroscópico de um corpo rígido, a partir dos trabalhos de Newton, D'Alembert e Euler. Relata-se ainda uma pequena incursão feita a livros de Astronomia e Física básica, além de enciclopédias, onde puderam ser encontradas explicações que guardam semelhanças com as concepções alternativas dos estudantes.

## Abstract

This paper attempts to answer the question: what relationship can be established between students' ideas about the gyroscopic movement and the scientific historical development that led to the creation of the precession concept? Answers recorded in 16 individual interviews with university Physics students were analysed, categorized and classified. Analysis of the origin of the word precession showed that it is related to the history of calendars and of Earth movements, thus converging to a single historical development that includes the history of the gyroscopic movement of a rigid body, starting from the studies of Newton, D'Alembert and Euler. Exploratory analysis was also developed that focussed basic Astronomy and Physics books and encyclopaedias, where explanations with similarities with alternative conceptions of the students were found.

## Introdução

Nos trabalhos que inauguraram a pesquisa sobre as concepções alternativas de estudantes de física (Viennot 1977 e Saltiel 1978) já são feitas comparações entre o conteúdo das idéias destes e de cientistas de outras épocas.

Nas pesquisas que desenvolvemos temos nos beneficiado do estudo do desenvolvimento histórico de conceitos científicos para entendermos as concepções dos alunos (Queiroz e Krapas-Teixeira 1992 a). Do mesmo

modo o inverso tem ocorrido: num trabalho sobre a dinâmica do movimento circular uniforme partimos do levantamento das concepções dos estudantes (Queiroz e Krapas-Teixeira 1992 b). Ao nos reportarmos à História da Ciência constatamos um percurso que vai da tendência centrífuga à resultante centrípeta, percurso este que apresenta idéias de cientistas similares às encontradas entre os estudantes.

De modo análogo, no presente trabalho partimos da sala de aula em direção à História. Nosso objetivo é estudar o movimento de precessão na História da Ciência

\*Este trabalho foi realizado com apoio do CNPq. As duas autoras contribuíram para sua elaboração.

e nos estudantes, apontando similaridades e diferenças entre as idéias apresentadas nesses dois campos.

Fazemos ainda uma breve incursão em uma enciclopédia e em livros de Astronomia e Física para colher explicações acerca do movimento de precessão tanto de giroscópios usuais como do próprio planeta Terra.

### Concepções Alternativas Dos Estudantes

Na pesquisa realizada sobre o movimento circular (Queiroz e Krapas-Teixeira 1992 b) observamos que este é tratado pelos estudantes como uma situação de equilíbrio, isto é, a lei que rege esse movimento é a primeira lei de Newton - sem que haja entretanto uma referência à utilização de referenciais não inerciais.

Ao apresentarmos em sala de aula o movimento de precessão de um giroscópio, encontramos indícios de que os alunos o tratam também como uma situação de equilíbrio. Partimos então para uma coleta de dados de forma sistemática, com o intuito de levantar concepções alternativas acerca do comportamento do giroscópio.

A precessão do giroscópio (Fig. 1) cujo eixo se desloca em torno do ponto  $O$ , num plano horizontal, ocorre se há momento inicial não nulo; caso contrário ele cai. Como o torque exercido pela atração gravitacional da Terra é perpendicular ao momento angular, ele não provoca variação no módulo e sim na direção do momento angular de spin  $L$ , no sentido do torque  $\sigma$ . O giroscópio não cai, precessa, porque o momento angular está sempre no plano horizontal, uma vez que o torque se mantém neste plano, assim como a direção da variação do momento angular.

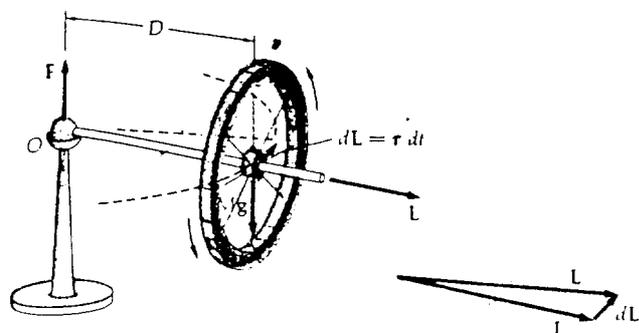


Figura 1. Giroscópio (Tipler, 1984).

O fato do giroscópio com rotação girar em torno de um outro eixo sem cair não se encontra dentro das expectativas do senso comum. Como Tipler (1984) aponta

“a observação de que o corpo se desloca num plano horizontal, em lugar de cair, é à primeira vista surpreendente. Temos muita familiaridade com situações, como a de uma barra caindo, em que não há momento angular”. Este momento angular é o adquirido pela barra através da aplicação do torque gravitacional. Isto porque no caso em que o momento angular inicial é zero o torque vai mudar o módulo do momento angular.

A queda da barra, livre para girar em torno de um ponto, e a precessão do giroscópio, que são casos de rotação do corpo rígido, têm análogos na translação da partícula. É interessante observar que esta analogia é evidenciada por Tipler quando ele comenta o movimento da Lua em torno da Terra: “Por que a Lua não cai para a Terra e a atinge? Caso a Lua não tivesse um momento inicial e fosse abandonada, a modificação do momento - a partir de zero - provocaria o movimento da Lua para a Terra. No entanto a Lua teve um movimento inicial, perpendicular ao raio vetor a partir da Terra [portanto perpendicular à força gravitacional], então, a modificação do momento resulta no desvio do movimento da Lua em relação a uma linha reta, movimento este circular. Portanto apesar de  $dp$  ser sempre dirigido para a Terra,  $p$  é tangencial à órbita”.

### Coleta de Dados

A coleta de dados se fez através de entrevistas individuais, gravadas em vídeo tape, com dezesseis alunos de Física básica do Curso de Física da Universidade Federal Fluminense. Estes alunos tinham acabado de passar por uma instrução teórico-experimental sobre a dinâmica do corpo rígido, em disciplina regular. A primeira parte da entrevista tinha como objetivo o levantamento de concepções dos alunos e a segunda, com fins didáticos, buscava estudar os mecanismos de mudança conceitual das concepções alternativas para a Dinâmica do Corpo Rígido, aplicada ao exemplo do giroscópio. Neste trabalho analisaremos a primeira parte das entrevistas.

As situações apresentadas durante a primeira parte da entrevista se referiam aos movimentos de uma pedra na vertical, da Lua em torno da Terra e de um giroscópio que precessa, como o da Fig. 1, sendo que este último movimento era mostrado para os alunos. As seguintes questões eram formuladas:

• Por que ao soltarmos uma pedra ela cai em direção à Terra?

- Por que a Lua não cai?
- Por que o giroscópio não cai?

A segunda pergunta só era formulada após a resposta à primeira e assim por diante.

## Resultados

A resposta dada à primeira pergunta é consensual: a pedra cai devido à atração gravitacional terrestre. Para classificarmos as respostas relativas às outras questões desenvolvemos categorias resultantes de uma ampliação daquelas utilizadas no estudo sobre o movimento circular (Queiroz e Krapas-Teixeira 1992 b). Para explicar o movimento da Lua alguns estudantes inventam uma força centrífuga para anular a atração da Terra sobre a Lua. O movimento da Lua é tratado por eles como uma situação que tem estabilidade, como uma situação de equilíbrio. Um segundo tipo de resposta coloca força na direção do movimento tangencial. Aqui podemos reconhecer a famosa concepção alternativa que coloca sempre uma força no sentido da velocidade. No presente trabalho a questão que trata do movimento da Lua propicia o aparecimento de respostas dos dois tipos acima:

Tipo I: *Existe uma atração e ao mesmo tempo uma repulsão que não permite que Lua saia de sua órbita* (aluno 9).

Tipo II: *Tem uma força que faz ela (a Lua) girar uma força tangente* (aluno 12).

Vale acrescentar que aparecem outros tipos de respostas que tratam o movimento da Lua como uma situação de equilíbrio: a atração gravitacional da Terra não é levada em conta seja porque a Lua está fora do seu alcance, seja porque a massa da Lua é muito grande comparada com a da pedra. Na tabela que apresentamos mais adiante essas respostas aparecem classificadas como de Tipo Zero.

Foi considerado correto o tipo de resposta que se refere à força gravitacional como a força centrípeta que age sobre a Lua, mantendo-a em órbita, como no exemplo:

Correta: *A Lua está sendo puxada da mesma forma (que a pedra). Só que ela tem uma velocidade tangente*

*a essa força, o que faz ela ter um movimento circular* (aluno 10).

Conhecendo essas concepções sobre o movimento circular encontramos acerca do giroscópio tipos de respostas análogos ao I e II. Do tipo I são aquelas que se referem a uma força que anula o peso ou a um torque que anula o torque da força peso. Alguns alunos não chegam a identificar a origem desta força que anula o peso, como por exemplo:

Tipo I: *Tem a força peso aqui (centro de massa). Nesse ponto aqui vai agir uma força emparelhada* (o estudante aponta com o dedo uma linha que sai do centro de massa e vai para cima) (aluno 2).

Outros atribuem a origem da força à “força” (ou seja ao torque) feita pelo entrevistador no momento em que colocou o disco do giroscópio para girar. O disco começa então a girar e tudo se explica por um equilíbrio entre a “força” aplicada e a força peso.

Tipo I: *Existe uma força peso que vai puxar esse corpo para baixo. Mas em compensação vai existir um torque de movimento que vai manter esse corpo em rotação fazendo uma força para cima. O que dá a estabilidade dele dele ficar sempre na horizontal é essa força que você deu que anula a força peso* (aluno 9).

Tipo I: *Quando você puxa, no momento que você puxa (o barbante) isso faz produzir uma força, uma certa velocidade. A partir do momento que houver uma velocidade vai haver sempre uma força contrária que vai impedir que ele caia.* (aluno 10).

É interessante observar que o aluno 9 fala em torque de movimento mas usa o conceito de força para estabelecer o equilíbrio com o peso.

Outra observação é que ao movimento de rotação se atribui um torque, ou seja tudo que gira tem um torque dado no início da rotação pela força aplicada e mantido no corpo. Isso significa que a inércia de rotação do corpo rígido não é admitida, da mesma forma que a compreensão da inércia translacional é difícil tanto para estudantes (Viennot, 1977), como foi para os cientistas de outras épocas (Évora, 1988). Como exemplo da invenção de um torque que anula o torque da força peso temos um aluno que, para explicar o movimento do giroscópio, inventa um torque de módulo igual e sentido contrário ao torque da força de apoio  $F$  da figura

1. Depois de localizar corretamente o torque da força F o aluno afirma:

Tipo I: *O momento angular é uma das invariantes do universo. Então, num sistema se eu tenho inicialmente um momento angular, ele tende a se tornar constante. Quando você produz um torque (da força F, apoiando o giroscópio no suporte) o que ele faz? O torque vai produzir uma variação do momento angular. Então, o que é que o sistema vai fazer? Ele vai produzir um torque contrário justamente para poder compensar. Para que o torque seja zero e o  $L_0$  continue sendo  $L_0$*  (aluno 8).

Vale comentar aqui que a atenção dos alunos que dão respostas do tipo I se concentra no fato do giroscópio não cair, não se referindo ao seu movimento de rotação em torno do eixo vertical. Para justificar a estabilidade no plano horizontal eles se referem apenas à rotação do giroscópio em torno do seu eixo de simetria.

No caso das respostas do tipo II ocorre o inverso: a atenção dos alunos se volta para o movimento do giroscópio no plano horizontal, em torno do eixo vertical. Para explicar esse movimento, os alunos inventam uma força tangente à trajetória. Mais uma vez aparece a necessidade de força no sentido do movimento. Essa força composta com o peso evita a queda do giroscópio. Como ocorreu no tipo I às vezes a origem desta força não é mencionada. Outras vezes ela é atribuída à “força” feita para colocar o disco para girar, tal como encontramos no tipo I. A diferença é que no tipo I esta “força” serve para anular o peso e no tipo II ela serve para compensar, ou para se combinar com o peso, uma vez que é perpendicular a ele:

Tipo II: *Tem uma força peso para baixo e tem uma outra* (o estudante aponta com o dedo uma direção tangente à trajetória do centro de massa). *Essa da inércia* (o estudante faz o gesto de dar corda no giroscópio) *é você* (o entrevistador) *que puxa* (aluno 1).

Vemos assim que os alunos atribuem um sentido a esta “força” inicial aplicada sobre o giroscópio (vertical ou tangencial à trajetória) de acordo com as razões alegadas para sua sustentação.

Há um outro tipo de resposta, que denotamos de tipo III, na qual o aluno mostra simultaneamente a preocupação com os dois aspectos acima. Naturalmente esse tipo de resposta não tem similar no caso da Lua.

Tipo III: *Tem o peso agindo... Tem torque que faz ele girar assim* (em torno do eixo de simetria do giroscópio) *e tem um torque que faz ele girar assim* (em torno do eixo vertical) (aluno 4).

Apesar de confundir as grandezas torque e momento angular esta resposta se destaca das demais por tentar dar conta do fenômeno de forma completa. Ela ocorreu em apenas um aluno.

Apenas em um aluno foi encontrada uma resposta que pode ser considerada correta, uma vez que atribuiu a mudança no momento angular do giroscópio à ação da força peso:

Correta: *Pra mudar o momento angular preciso de um torque, não precisa?  $dL = \tau dt$*  (faz em seguida um desenho no qual indica o torque da força peso) (aluno 8).

Os demais alunos que tentam usar a grandeza momento angular nas suas explicações procuram justificar a estabilidade do plano de precessão através de uma conservação do momento angular. Como se vê, mais uma vez o caráter vetorial da grandeza envolvida é desconsiderado.

Na tabela abaixo apresentamos o número de alunos por tipo de resposta para a questão da lua e do giroscópio. Houve alunos que deram, no decorrer da entrevista, mais de um tipo de explicação. Nesse caso, consideramos aquela que nos pareceu com maior estabilidade.

Tabela - Número de alunos por Tipo de resposta

Resposta	LUA	GIROSCOPIO
Tipo Zero	3	-
Tipo I	4	9
Tipo II	3	2
Tipo III	-	1
Correta	5	1
Outra ou Nenhuma	1	3

Esta pesquisa sobre as concepções alternativas de estudantes universitários acerca do movimento de precessão de um giroscópio abriu perspectivas para uma revisão dos resultados de nossa pesquisa acerca das concepções alternativas sobre o movimento circular, permitindo a ampliação das categoria de análise.

Em primeiro lugar destacamos o aparecimento de uma espécie de ímpeto rotacional, análogo ao ímpetu translacional, indicando uma necessidade de manter no corpo a força que deu origem ao movimento, negando a idéia de inércia. É interessante observar que mesmo alunos que já superaram este problema na translação, respondendo corretamente por que a Lua não cai, persistem em manter a visão não inercial na rotação. Persistência análoga foi constatada por Guimarães (1987): alunos que demonstraram conhecer a lei da inércia aplicada a casos horizontais, voltaram à necessidade de uma resultante não nula em casos de direções inclinadas. Villani e Pacca (1990) explicam tais persistências por uma regressão a modelos mais primitivos, quando as situações físicas em jogo aumentam o seu grau de complexidade.

Portanto cabe aqui a recomendação aos professores de que, ao se certificarem do aprendizado de seus alunos da primeira lei de Newton, não devem imaginar que tal aprendizado se estenda a todos os contextos possíveis de aplicação. A vivência cotidiana, que solicita forças para manter movimentos, é tão forte que constantemente impele o indivíduo a dar suas explicações de acordo com ela.

É bom lembrar que um dos marcos de transição da Física Aristotélica e Medieval para a Física Newtoniana é justamente a concepção de movimento como estado natural dos corpos, dispensando uma causa para a sua manutenção.

Em segundo lugar podemos entender respostas do tipo II como sendo uma situação de estabilidade, equilíbrio, tal como as do tipo I. No tipo I o equilíbrio é por Anulação de forças opostas - equilíbrio na direção radial - enquanto no tipo II o equilíbrio é por Combinação de duas forças perpendiculares entre si - equilíbrio não vetorial.

Vale acrescentar que não excluímos a possibilidade de que as concepções que invocam o equilíbrio, a estabilidade do giroscópio, possam ter sido induzidas pela grande ênfase dada às conservações durante o processo de escolarização. Alguns alunos chegam até a mencionar a conservação ou invariância do momento angular nas suas explicações, como por exemplo o aluno 8 citado anteriormente.

Por outro lado temos que fazer uma observação a respeito da maneira como foram feitas as perguntas aos

alunos. A primeira vista parece que com as questões - Por que a Lua não cai? - e - Por que o giroscópio não cai? - estamos reforçando a estabilidade destas situações. No entanto o que estamos avaliando é a capacidade do sujeito se livrar de tais apelos compreendendo que de fato a Lua "cai".

### **Precissão na história**

Assim como pesquisamos a dinâmica do movimento circular tanto na história como no indivíduo fizemos o mesmo no estudo da precessão do giroscópio. Os resultados da pesquisa histórica são apresentados a seguir.

Segundo Radix (1978), parece que as propriedades dos piões eram conhecidas na China e no Egito desde a Antiguidade. No entanto foi preciso aguardar o ano de 1852 para que Foucault realizasse experiências colocando em evidência a influência da rotação terrestre sobre o comportamento de giroscópios. O sentido etimológico desta palavra, criada nesta ocasião por Foucault, é: aparelho que permite a visualização de rotações.

A história do giroscópio tem sua origem em fenômenos astronômicos. Os equinócios, de primavera e de outono são identificados desde a antiguidade pela igualdade da duração do dia e da noite, inaugurando mudanças climáticas marcantes e por isso sendo comemorados com festividades em diversas civilizações. Desde 325 D.C. até hoje a Semana Santa, uma festa móvel do calendário cristão, é marcada pela primeira Lua cheia após o equinócio (de primavera para o hemisfério norte e de outono para o hemisfério sul), que ocorre no dia 21 de março. As demais festas (Carnaval, Corpus Christi etc) têm a Páscoa como referência.

Conhecida também há muitos séculos é a decalagem anual dos equinócios: a igualdade da duração do dia e da noite não acontece de ano para ano no mesmo instante de tempo em relação por exemplo ao primeiro instante do ano. Hiparco (sec.II A.C.) calculou como de 36" a diferença angular anual, sendo de 50" e 26" o valor atualmente conhecido. O equinócio de primavera, que ocorria na constelação de Touro no tempo do antigo império babilônico havia se deslocado para a de Áries na época de Hiparco. Mais tarde retroagiu mais ainda, indo para a constelação de Peixes.

De acordo com Taton (1966), "foi provavelmente estudando o movimento anual do Sol que Hiparco perce-

beu que o Sol levava um pouco mais de tempo a aparecer num mesmo ponto do Zodíaco (ano sideral: 365d, 6h e 10 min, valor exato: 365d, 6h, 9min e 10 s) do que a reencontrar o equador de uma primavera para a outra (ano solar: 365d, 5h,55min e 12s; valor exato: 365d, 5h, 48 min e 46s). Ele explicou corretamente este fenômeno por um deslocamento anual dos pontos equinociais (na Fig. 2 os pontos E e W de interseção da eclíptica com o equador celeste). No entanto, de um ponto de vista geocêntrico, onde o plano da eclíptica era suposto imutável, o deslocamento foi atribuído a um lento movimento de rotação da esfera das estrelas fixas em torno do eixo da eclíptica, em sentido contrário ao sentido do seu movimento diário. Pelo efeito desta rotação, o ponto equinocial de primavera avança sobre o zodíaco no sentido do movimento diário, donde o nome de precessão dos equinócios dado a este fenômeno.”

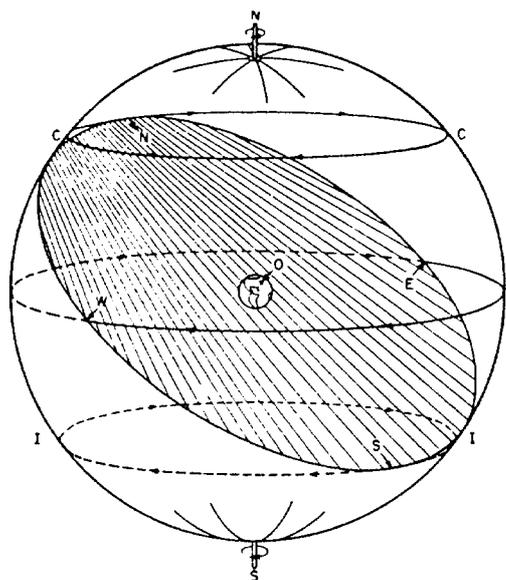


Figura 2. Universo de duas Esferas (Kuhn, 1985).

O termo ‘precessão’ tem assim o seu sentido original no fato de um equinócio ‘preceder’ o outro de um ano para o outro. Em contraposição, seu uso atual é ‘movimento de rotação do eixo principal de um corpo rígido’.

Ptolomeu e seus sucessores islâmicos continuaram explicando a precessão dos equinócios através de um movimento extra das esferas celestes (além dos que davam conta dos dias e das noites e das estações do ano: rotação e translação).

Na mudança de visão cosmológica introduzida pelo heliocentrismo de Copérnico, o fenômeno da precessão dos equinócios se destaca ganhando uma nova interpretação. Ainda atribuindo a órbitas materiais o transporte dos planetas, Copérnico admitiu um terceiro movimento para a Terra. A este movimento ele chamou de declinação, dizendo que “é também uma revolução anual mas em direção aos signos que precedem (de Áries para Peixes), ou em direção ao oeste, voltando para trás em sentido contrário ao movimento do centro” (Copérnico, 1543).

Aparentemente Copérnico com sua nova visão de mundo não introduz nenhuma grande mudança na explicação dos equinócios em relação a Ptolomeu. No entanto ele coloca em evidência o problema da explicação dos equinócios, provavelmente pressionado por reformas astronômicas que se faziam necessárias na época. Kuhn afirma: “Nos dias de Copérnico uma adequada medida da precessão era o principal pré-requisito para o mais premente problema de astronomia prática, a reforma do calendário Juliano” (Kuhn, 1985).

Realizada finalmente pelo Papa Gregório XIII em 1582, a instalação do novo calendário (gregoriano) recolocou o equinócio de primavera no dia 21 de março, uma vez que no final do século XVI ele havia se atrasado para o dia 11 de março. Para tal acerto foram suprimidos 10 dias do ano em que estava ocorrendo a reforma: o dia 4 de outubro transformou-se no dia 15 de outubro (Fredrick e Baker, 1976).

Foi Newton que fez o primeiro cálculo explicando a precessão dos equinócios, fato que juntamente com a explicação do movimento da Lua e suas irregularidades e com a teoria das marés - entre outras explicações - formou um corpo de conhecimentos que fortaleceram a instalação do paradigma Newtoniano. No seu famoso livro, o Principia, Newton afirma que a rotação da Terra em torno de seu eixo é responsável pelo seu abaulamento na região do equador e pelo simultâneo achatamento nos polos, citando as medidas feitas por Jean Richer em 1672. Richer mediu o período de um pêndulo na França e no equador (Caiena, Venezuela). Para Newton a diferença encontrada se devia a maior distância da superfície da Terra ao seu centro no equador do que na França, explicando assim uma menor força de atração gravitacional no equador e em consequência um período maior para o pêndulo (Newton,

1683).

Vale lembrar que, em oposição à forma da Terra proposta por Newton, havia na época a forma alongada nos polos e achatada no equador - como um limão e não como uma cebola - proposta por Descartes. A controvérsia gerada pelas duas teorias se estendeu até o Iluminismo (Hankins, 1985), quando foram enviadas expedições incumbidas de realizar medidas que viessem a por um fim na discussão. Em 1747, dez anos após, a comparação entre os resultados da equipe que se dirigiu aos polos e da equipe enviada ao equador mostrou concordância com a teoria de Newton.

É impressionante a confiança de Newton que, mesmo participando dos primórdios desta discussão, usa a forma achatada da Terra, por ele defendida, para calcular a precessão dos equinócios (Fig. 3). Para o cálculo da precessão Newton decompõe a Terra APEp em duas partes, a esfera Pape e a saliência PapAPepE, tratando-as como corpos sujeitos independentemente às forças de atração gravitacional do Sol e da Lua. Além disso, ele subdivide a Terra em partículas pequenas e iguais (tal como as partículas F e A na Fig. 3). Dá então uma definição para torque, relacionando esta grandeza com o fenômeno da precessão: “Então a força pela qual a partícula F se afasta do plano QR (plano perpendicular à linha reta que une o Sol ao centro da Terra) estará na mesma direção que a perpendicular FG; e esta força multiplicada pela distância CG representará o poder da partícula F para girar a Terra em torno do seu centro” (Newton, Lema 1, Proposição 38, Book III, Principia, 1643).

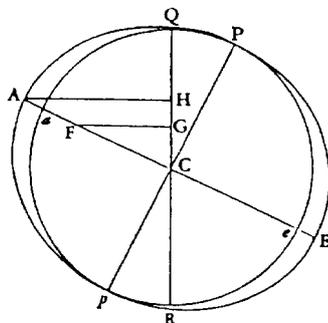


Figura 3. Forma Achatada da Terra (Newton,1683).

Na proposição 39 Newton apresenta os cálculos que o levam ao resultado final do ângulo de precessão anual,  $9^{\circ}7''20^{iv}$  devido à força do Sol e de  $40^{\circ}52''52^{iv}$  devido à força da Lua, dando a precessão anual total de

$50^{\circ}00''12^{iv}$  afirmando em seguida que este valor “concorda com o fenômeno, pois a precessão dos equinócios, por observações astronômicas é cerca de  $50''$  anualmente.”

Apesar do êxito de Newton nos cálculos da precessão dos equinócios Truesdell (1968) afirma que na obra de Newton não há uma teoria dinâmica geral dos corpos rígidos de onde se possa tirar a relação entre os torques das forças gravitacionais do Sol e da Lua e a variação do momento angular da Terra, tal como o problema é tratado por exemplo nos livros didáticos atuais de Mecânica Clássica (Nussenzweig, 1989).

D’Alembert em 1749 é quem traz uma explicação que relaciona momentos angulares a torques, no seu livro “Les Recherches sur la précession et sur la nutation de l’axe de la terre”. Segundo Hankins (1985), Euler foi ainda mais claro e direto nesta formalização, quando em 1760 publica o livro “Theory of the motion of solid and rigid bodies”. Somente a partir daí é que se pode considerar a existência de equações gerais para resolver tanto problemas de corpos celestes quanto terrestres: a precessão da Terra assim como a de um pião podia ser calculada através de uma só Física:

$$\tau = dL/dt$$

A palavra precessão, que desde a antiguidade era usada para denotar a antecipação anual de um equinócio em relação a outro, a partir de então tem o seu sentido ampliado para o movimento cônico do eixo de corpos rígidos em rotação, de uma maneira geral, deixando de ter seu sentido relacionado apenas à Terra e seus equinócios, que precedem um ao outro.

De Euler a Foucault quase cem anos se passam até que o giroscópio começasse a ser usado para experiências inerciais, após a famosa experiência de 1852 com o pêndulo que leva o nome de Foucault.

Ao estudarmos as origens das equações que regem a precessão de um corpo rígido fomos remetidos a esta curiosa história, que tem início na antiguidade com a Astronomia de Hiparco e suas preocupações com um terceiro movimento para a Terra. Vimos como as histórias dos movimentos da Terra, dos calendários e dos giroscópios convergem para uma história única a partir dos trabalhos de Newton, D’Alembert e Euler.

Num próximo trabalho detalharemos as etapas na História da Ciência que fazem parte da construção da dinâmica da precessão.

### Precessão nos Livros Textos

Este estudo nos levou também a uma pequena incursão em livros textos de Física e de Astronomia básicas, além de enciclopédias modernas.

Ao explicarem a precessão dos equinócios da Terra - que como um giroscópio gira em torno do seu eixo de simetria e precessa em torno de outro eixo, inclinado em relação ao primeiro - encontramos em algumas destas obras explicações que, para nossa estranheza, guardam semelhanças com as dos alunos:

Tipo I: *“A origem dos deslocamentos sofridos pelos planos fundamentais (equador e eclíptica) está na força de atração exercida pela Lua e pelo Sol sobre o excesso da zona equatorial terrestre. Tendo em vista que o equador terrestre está inclinado aproximadamente 23,5° (obliquidade da eclíptica) em relação ao plano da órbita da Terra aqueles corpos celestes que se encontram nas vizinhanças da eclíptica, tendem a eliminar a inclinação do eixo de rotação da Terra. A tal tendência opõe-se por outro lado a rápida rotação terrestre que confere uma grande estabilidade ao seu eixo de rotação. Da composição destas duas forças antagônicas resulta um deslocamento progressivo do eixo terrestre, denominado precessão”* (Enciclopédia Mirador Internacional, 1981) (grifo nosso).

Tipo II: *“Se ela (a Terra) roda rapidamente com o seu eixo inclinado em relação à vertical, então a Combinação da rápida rotação e da força de gravidade para baixo gera uma precessão do eixo, cuja extremidade descreve um círculo horizontal enquanto o ângulo vertical permanece constante”* (Wyatt, 1977) (grifo nosso).

Em contraste às explicações acima encontramos com notável clareza a solução dada ao cálculo da precessão dos equinócios por Nussenzveig (1992).

### Considerações Finais

No estudo da dinâmica do movimento circular encontramos uma grande similaridade entre as idéias dos alunos e conceitos e teorias do passado. No caso do movimento do giroscópio não encontramos similaridades

entre idéias de estudantes e cientistas antigos. O que pudemos detectar foram ainda semelhanças no caráter das explicações dos alunos acerca da precessão do giroscópio e das idéias de antigos cientistas sobre o movimento circular.

Nos primeiros trabalhos (Viennot, 1977; Saltiel, 1978; Watts, 1982, McCloskey, 1983; Whitaker, 1983; Champagne, 1980 e Clement, 1982) as comparações entre as concepções dos indivíduos e de cientistas do passado eram tratadas como “analogias”, “similaridades”, “paralelismos”, “recapitulações”, “semelhanças” e “contrapartes”, sem que fossem dadas explicações acerca dessas similaridades, consideradas surpreendentes por alguns autores. McCloskey, por exemplo, considera a teoria do ímpeto como um resultado natural da experiência com movimentos terrenos; isto é, da experiência com o mundo físico só podem surgir idéias deste tipo.

Nos trabalhos mais recentes têm aparecido a preocupação de tratar esse paralelismo levando também em consideração a forte relação entre os padrões de pensamento e o contexto em que eles surgiram. Saltiel e Viennot (1985) apontam para os limites de validade dessas similaridades: “os contextos culturais são diferentes e todas as características observadas no raciocínio espontâneo de hoje não aconteceram simultaneamente em qualquer estágio definido no desenvolvimento histórico da teoria”. Daí as autoras sugerirem um tratamento cauteloso em rotulações tais como “aristotélico” ou “pré-galileano”, que são comumente atribuídas às concepções alternativas em mecânica.

Franco (1983) discute essa questão de forma muito interessante. Como nós, ele encontra num determinado tópico várias similaridades de conteúdo na história e no indivíduo, mas em outro tópico elas são mínimas. Esses resultados revelam que o grau de generalidade das similaridades depende do assunto em consideração.

Piaget e Garcia em *Psicogênese e História de la Ciência* (1982), obra cujo objetivo é investigar paralelismos entre instrumentos, mecanismos e processos na construção do conhecimento no indivíduo e na história, consideram “compreensível posto que se trata de conceitos que são de certa forma pré-científicos” o paralelismo encontrado por eles em conteúdos pré-newtonianos. Mas dizem que seria “absurdo buscar

uma generalização do dito paralelismo de conteúdo no caso de teorias propriamente científicas”.

Ao abordarmos nesta pesquisa a dinâmica do corpo rígido usamos a precessão do giroscópio. O indivíduo não recapitula a história porque os contextos são muito diferentes a questão original para o cientista de ontem era a precessão dos equinócios e suas consequentes mudanças no calendário. Para os estudantes, assim como para a maioria das pessoas essa questão é desprovida de qualquer significado, não fazendo parte do seu universo de preocupações ou de interesses. É raro alguém se recordar em que fase se encontrava a Lua na última Semana Santa e é comum ouvir-se que esta semana é marcada quarenta dias após o Carnaval, sem a preocupação em saber como este último é marcado. Tais dúvidas, se ocorrem aos indivíduos, não parece motivá-los a tentar solucioná-las.

O fato que mobiliza o aluno é a surpreendente sustentação de um corpo no ar. Ele é então remetido a situações de equilíbrio, tal como um corpo sobre uma mesa, pendurado num fio ou a situações de pseudo-equilíbrio, tal como a Lua orbitando ao redor da Terra. Surgem daí respostas que apresentam vestígios daquelas dadas por antigos cientistas ao estudarem o movimento circular.

A similaridade entre as explicações dos estudantes acerca do movimento circular e do movimento do giroscópio trás em si uma potencialidade didática muito interessante. Do ponto de vista da mecânica newtoniana, esses dois movimentos são de fato muito semelhantes: o primeiro é tratado na dinâmica da translação e o segundo na dinâmica da rotação. Estabelecido que o movimento da Lua, por exemplo, é um caso de desequilíbrio de forças (a direção do vetor momento linear varia pela atuação de apenas uma força:  $p = dF/dt$ ), pode-se argumentar que o movimento de precessão do giroscópio é um caso de desequilíbrio de torques (a direção do vetor momento angular varia pela ação de um único torque:  $\tau = dL/dt$ ). Num próximo trabalho será feito o relato de uma intervenção didática que procurou seguir estas diretrizes.

## Referências

ANDERSSON, B & CHRISTINA, K. 'How swedish pupils, aged 12-15 years understand light

and its properties', *European Journal of Science Education* vol 5 n 4, 387 (1983).

COPÉRNICO, N. (1543), *De Revolutionibus orbium caelestium*, Edição utilizada: Great Books of the Western World, Encyclopaedia Britannica Inc., Chicago 1978.

CHAMPAGNE, A.B., KLOPFER, L.E. and ANDERSON, J.H. (1980) 'Factors influencing the Learning of classical Mechanics', *American Journal of Physics* 48, 1074-1079.

CLEMENT, J. (1982), 'Students' Preconceptions in Introductory Mechanics', *American Journal of Physics* 50, 66-71.

ENCICLOPÉDIA MIRADOR INTERNACIONAL (1981), Vol 3, p 929 Encyclopaedia Britannica Inc., S. Paulo, Rio de Janeiro.

ÉVORA, F.R.R. (1988) *A Revolução Copernicana-Galileana. Astronomia e cosmologia pré-galileana* CLE, Campinas.

FREDRICK & BAKER (1976), *Astronomy*, D. Van Nostrand Company, N.York.

GUIMARÃES, L.A.M. (1987), "Concepções prévias x concepções oficiais na Física do 2º Grau", Dissertação de mestrado pela Faculdade de Educação da UFF.

HANKINS, T.L. (1985), *Science and the Enlightenment*, Cambridge University Press, Cambridge.

KUHN, T.S. (1985), *The Copernican Revolution*, Harvard University Press, Cambridge.

McCLOSKEY, M. (1983), 'Naive Theories of Motion', in D. Genner and A.L. Stevens eds. *Mental Models* Lawrence Erlbaum, Hillsdale.

NEWTON, I., (1683) *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, Edição utilizada: Great Books of the Western World, Encyclopaedia Britannica Inc, Chicago 1978.

NUSSENZVEIG, H.M. (1992), *Curso de Física Básica I - Mecânica*, Edgard Blucher Ltda, S. Paulo.

QUEIROZ, G. & KRAPAS TEIXEIRA, S. (1992a), 'As revoluções que não convencem: um desafio para o ensino de física', *Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência*, SBHC, n. 8.

QUEIROZ, G. & KRAPAS TEIXEIRA, S. (1992b), 'Da tendência centrífuga à força trípeta',

- Perspicillum, MAST, V.6, n 1.
- RADIX, J.C.(1978), *Gyrosopeses et gyrometres*, Cepadues Editions, Paris.
- SALTIEL, E. (1978), 'Concepts cinématiques et raisonnements naturels: étude de la compréhension des changements de referentiels galiléens par étudiants en sciences', Tese de doutoramento, Universidade Paris VII, Paris.
- TATON, R. (1966), *La science antique et médiévale*, Presses Universitaire de France, Paris.
- TIPLER, P.A. (1984), *Física vol 1a*, Guanabara Dois S.A., Rio de Janeiro.
- TRUESDELL, C. (1968), *Essays in the History of Mechanics*, Springer-Verlag, N. York
- VIENNOT, L. (1977), 'Le raisonnement spontané en dynamic élémentaire', Tese de doutoramento, Universidade Paris VII, Paris.
- VILLANI, A. & PACCA, J. (1990), 'Spontaneous Reasoning of graduate students', International Journal of Science Education, vol **12**, n 5, 589-600.
- WATTS, M. (1982), 'Gravity: Don't Take it for Granted', Physics Education **17**, 116-121.
- WHITAKER, R. J.: 1983, 'Aristotle is not dead: student understanding of trajectory motion' American Journal of Physics, **51**(4), 352-357.
- WYATT, S.P. (1977) *Principles of Astronomy*, 3rd Edition, Allyn and Bacon, Inc., Boston.