

A Resolução de Situações Problemáticas Experimentais em Campos Conceituais da Física Geral

Célia Maria Soares Gomes de Sousa

celia@fis.unb.br

Instituto de Física - UnB

Marco Antonio Moreira

moreira@if.ufrgs.br

Instituto de Física – UFRGS

Thiago Alexandre Melo Matheus

thiagalex@hotmail.com

Instituto de Física - UnB

Resumo

Neste trabalho apresentamos resultados preliminares de uma pesquisa, na qual buscamos investigar se alunos de Física Geral dão evidências de aprendizagem significativa através da construção de modelos mentais, para dar conta de situações problemas no laboratório didático. Foram propostas questões adicionais ao relatório de laboratório cujas respostas pudessem fornecer evidências da construção de tais modelos e de possíveis invariantes operatórios neles contidos. Resultados preliminares sugerem que apenas cerca de 26% dos alunos parecem ter chegado a construir modelos mentais. A maioria dá evidências de uma aprendizagem mecânica respondendo as questões a partir apenas de fórmulas e regras. Esses resultados sugerem que as situações e os procedimentos de laboratório devem ser repensados

Introdução

Ao longo dos últimos anos as pesquisas na área de ensino de ciências têm se voltado para os referenciais construtivistas/cognitivistas e, dentro dessa tendência, o movimento da mudança conceitual foi um dos mais importantes. Nessa ótica, os estudos sugeriam que o processo de aprendizagem estava fundado no ato de mudar as concepções alternativas para concepções cientificamente aceitas. No entanto, percebeu-se que tal mudança não era facilmente atingida e que tais concepções estavam fortemente enraizadas na estrutura de conhecimento dos alunos; percebeu-se também, que os aprendizes voltavam a utilizar a antiga percepção mesmo após passar pelo processo de aprendizagem que se propunha a efetuar a mudança conceitual. Em artigo recente, Moreira e Greca (2003) fazem uma revisão desse tema, destacando que um grande erro da pesquisa sobre mudança conceitual foi o de considerá-la como substituição de uma concepção (alternativa) por outra (científica) na estrutura cognitiva do aluno e sugerindo que ela deveria ser pensada como evolução conceitual ou enriquecimento conceitual.

No desenvolvimento da pesquisa no ensino de Física, três questões têm sido recorrentes – a resolução de problemas, a aprendizagem de conceitos físicos e o ensino de

laboratório – consideradas essenciais para o ensino da Física. Dentre estas, a resolução de problemas sempre foi um tópico particular. Afinal, o desenvolvimento das ciências exatas foi visto, com frequência, como resposta a determinados problemas e, ao mesmo tempo, resolver problemas sempre foi visto como uma atividade inteligente por excelência.

Em razão disso, o interesse no estudo da resolução de problemas de Física: por um lado a questão diz respeito ao aspecto psicológico, não apenas no que se refere às elaborações e regulações cognitivas do indivíduo que soluciona, como também no que concerne ao próprio conceito de problema e como este se relaciona com um campo conceitual específico. Por outro lado, o tema responde a uma demanda dos próprios professores de Física e, portanto, trata-se de um tópico que tem um significado particular no que se refere à prática de sala de aula. Portanto, este é um tópico que interessa tanto os pesquisadores que estudam a Psicologia do Desenvolvimento Cognitivo como aqueles preocupados com o ensino de Física.

A resolução de problemas é uma das clássicas questões de estudo na Psicologia e, pode-se dizer, tão frutífera quanto controversa. Duas importantes vertentes estiveram presentes nas diferentes propostas teóricas e metodológicas: a relação entre resolução de problemas e a aprendizagem, o que em última análise relaciona-se à aquisição de conhecimento, e a relação entre resolução de problema, inteligência humana e inteligência artificial.

O estudo da resolução de problemas em Física reflete as tendências da Psicologia que, de um modo geral, mantém a concepção canônica deste processo cuja origem pode ser situada nos trabalhos de Newell e Simon (1972) de onde saíram alguns termos básicos utilizados na área. Dentre eles, o mais básico que diz respeito à caracterização da resolução de problemas é o conceito de estado da resolução de um problema, de onde então se define que a solução de um problema pode ser caracterizada pelo estado inicial do problema, pelos estados intermediários e pelo estado que satisfaz o objetivo final. O segundo termo-chave é o de operador, entendido como a ação que transforma um estado em outro; ele pode ser caracterizado pelo que é aplicado e pela mudança produzida no estado. Tomados juntos, o conceito de estado e o de operador definem o conceito de espaço do problema. A idéia é de que a cada estado um certo número de operadores deve ser aplicado, cada um dos quais produz um novo estado e assim por diante, a resolução do problema pode progredir se, ainda, o espaço do problema for substituído pela representação dos estados, ou dos operadores ou, ainda, pela adição de novos operadores, o que é considerado como soluções criativas (Anderson, 1993).

Uma das tendências na área atualmente é a defesa de que o progresso na compreensão da resolução de problemas está vinculado ao progresso na compreensão da aprendizagem das tarefas envolvidas nesse processo. Nesta mesma linha de raciocínio, há a defesa da necessidade de se distinguir o estado da resolução de problema, o conhecimento declarativo e o conhecimento procedural. Dentro destas tendências estão os aportes teóricos mais explícitos no que diz respeito à análise cognitiva do sujeito humano frente a uma situação-problema, como é o caso da teoria dos campos conceituais de Vergnaud (Sousa, 2001; Moreira 2002) e da teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird (1983; Moreira, 1996).

Na pesquisa aqui descrita, adotamos uma fundamentação teórica que articula os referenciais de Johnson-Laird (modelos mentais) e de Vergnaud (campos conceituais). Assim, pretendemos neste trabalho analisar as estratégias cognitivas que os alunos desenvolvem ao se deparar com uma situação-problema. Especificamente, pretendemos

inferir se o indivíduo cria um modelo de trabalho e como este modelo funciona. Pretendemos também identificar os invariantes operatórios que se evidenciem neste processo.

Este procedimento é importante porque estabelecendo um modelo de como se desenvolve o raciocínio do aprendiz pode-se formular propostas que otimizem a aprendizagem. Estamos, com isso, buscando uma maneira adequada de descrever o desenvolvimento das estratégias cognitivas ligadas ao conteúdo de Física na resolução de problemas, particularmente no laboratório didático.

Referencial Teórico

A hipótese central da 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 (Thagard, 1996). Assim, se o conhecimento consiste de representações mentais, é natural pensar que os pesquisadores da área tenham tentado definir, ou pelo menos delinear, alguns tipos de representações mentais. E, de fato, assim tem sido.

A teoria dos campos conceituais de Gérard Vergnaud é uma teoria psicológica de conceitos, uma teoria cognitivista do processo de conceitualização do real, como ele próprio diz. É uma teoria pragmática no sentido de que pressupõe que a aquisição do conhecimento é moldada por situações e problemas e ações do sujeito nessas situações. Quer dizer, é por meio de situações e problemas a resolver que um conceito adquire sentido para o aprendiz. A teoria dos campos conceituais é uma teoria psicológica de conceitos desenvolvida a partir da premissa de que não se pode evidenciar e analisar as dificuldades encontradas pelos alunos, ignorando as especificidades dos conteúdos envolvidos e não levando em consideração o processo de conceitualização do real no qual está engajado o aprendiz (Vergnaud, 1983). O conceito de campo conceitual é, então, introduzido como a unidade de estudo adequada para dar sentido às dificuldades observadas nesse processo de conceitualização do real. Assim, o professor sempre trabalhará baseado nas dificuldades do aprendiz.

Esse conceito é definido como um conjunto de situações cuja abordagem requer o domínio de vários conceitos de naturezas distintas (Vergnaud, 1988). As situações referidas neste caso não são de caráter didático; podem ser pensadas como um certo complexo de objetos, propriedades e relações em um espaço e tempo determinados, envolvendo o sujeito e suas ações. São as situações que dão sentido aos conceitos, ou seja, um conceito torna-se significativo para o sujeito por meio de uma variedade de situações e diferentes aspectos de um mesmo conceito estão envolvidos em distintas situações. Por outro lado, uma situação não pode ser analisada por intermédio de um só conceito. Por isso, deve-se falar em campos conceituais ao invés de situações isoladas ou conceitos isolados (Vergnaud, 1994).

Assim como as situações dão sentido aos conceitos, os esquemas dão sentido às situações. São os esquemas evocados no sujeito por uma situação que constituem o sentido dessa situação para esse sujeito. Esquema é uma organização invariante da conduta para uma determinada classe de situações (Vergnaud, 1990; 1994). Não é o comportamento que é invariante, mas sim a organização do comportamento. Isso significa que um esquema é um universal eficiente (não necessariamente eficaz) para todo um espectro de situações, podendo gerar diferentes seqüências de ações, dependendo das características de cada

situação em particular (Vergnaud, 1998).

Um esquema pode comportar objetivos e antecipações, regras de ação, invariantes operatórios e possibilidades de inferência (Vergnaud, 1990; 1994). Destas componentes, os mais importantes são os invariantes operatórios – cujas principais categorias são os teoremas-em-ato (ou em ação) e os conceitos-em-ato (ou ação) – pois eles é que fazem a articulação entre teoria e prática, constituindo a base conceitual, em grande parte implícita, que permite obter informação apropriada e, a partir dela e dos objetivos, inferir as regras de ação mais pertinentes para abordar as situações. Teorema-em-ação é uma proposição considerada como verdadeira sobre o real; conceito-em-ação é uma categoria de pensamento considerada como pertinente (Vergnaud, 1996). Se um esquema se aplica a uma classe de situações, ele deve conter invariantes operatórios relevantes a toda a classe. Conceitos-em-ação e teoremas-em-ação não são verdadeiros conceitos e teoremas científicos, mas são componentes essenciais dos esquemas e estes são a base do desenvolvimento cognitivo. Além disso, podem evoluir para verdadeiros conceitos e teoremas científicos.

Fizemos em nossa pesquisa uma ponte entre a teoria dos campos conceituais de Vergnaud e uma outra teoria que leva em conta o referencial construtivista/cognitivista contemporâneo, a teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird. Concordamos com Greca e Moreira (2002) que há uma grande compatibilidade entre esses dois referenciais teóricos.

Dentre as abordagens de representações mentais, a dos modelos mentais é das mais recentes e talvez a de maior potencial. Tal como proposto por Johnson-Laird (1983; Moreira, 1996) os 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. Os modelos mentais são compostos por elementos (*tokens*) e relações entre eles. Segundo Johnson-Laird (*ibid*), os modelos mentais são representações analógicas de conceitos, objetos ou eventos. A vista de um modelo mental por qualquer ângulo é chamada imagem. Eles são, ainda, como blocos de construção cognitivos que podem ser combinados conforme necessário. Um modelo mental também pode conter proposições. Por outro lado, as proposições são interpretadas em relação aos modelos mentais: uma proposição é verdadeira ou falsa em relação a um modelo mental de um estado de coisas do mundo.

Para Johnson-Laird, os modelos mentais seriam análogos a uma linguagem de alto nível, enquanto que o cérebro trabalharia com uma linguagem mais básica, não acessível por fazer parte de um processo não consciente. Segundo sua teoria, 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 inferência, é porque temos um modelo mental desse algo (Sousa e Moreira, 2000).

Ele 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 (1983, 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;
4. Cinemático: é um modelo temporal psicologicamente contínuo;
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 do objeto ou evento representado no modelo subjacente.

No que se refere ao pensamento e ao raciocínio, o foco de aplicação da teoria dos modelos mentais está não só nas representações subjacentes das várias atividades, mas também nos processos que operam sobre tais representações na memória de curto prazo. São os modelos mentais que mediam o processo de raciocínio entre premissas e conclusões. Cada premissa ou informação que contribui para uma linha de pensamento deve ser mentalmente modelada. Os modelos resultantes devem, então, ser integrados. O processo de integração que, provavelmente, é similar ao necessário à compreensão da linguagem (signos-significados), origina um modelo inicial das premissas. Processos adicionais são necessários para derivar uma conclusão final, mas dependem do tipo de raciocínio envolvido (Moreira et al., 2001).

Como os problemas de Física são quase que invariavelmente formulados através de enunciados lingüísticos que implicam não só compreensão mas também raciocínio, é óbvio que a teoria dos modelos mentais se aplica à resolução de problemas. A compreensão do enunciado implica, por sua vez, a construção de um modelo mental da situação problemática nele descrita. A construção deste modelo está baseada na informação que o sujeito tem armazenada na memória (no caso, o conhecimento prévio de Física) mais a informação que ele percebe como relevante na situação problemática.

Um pressuposto básico da teoria dos modelos mentais é o de que as representações mentais do conteúdo de textos têm forma similar às representações derivadas da percepção do mundo, bem como daquelas usadas para pensar sobre o mundo. Ou seja, representações mentais derivadas da linguagem e da percepção são da mesma espécie. Contudo, é mais fácil construir modelos mentais derivados da percepção do mundo do que do discurso. A percepção é fonte primária dos modelos mentais. Mas no caso dos enunciados dos problemas de Física a modelização mental tem que ser feita a partir da linguagem, o que é mais difícil. Às vezes, chega a ser extremamente difícil porque o discurso é cheio de lacunas e porque não é qualquer conjunto de sentenças que constitui um discurso coerente e facilmente modelizável quando combinado com o conhecimento que o sujeito possui. No caso da Física, este conhecimento inclui conceitos, modelos e procedimentos físicos (Moreira et al., 2001).

É preciso notar que a modelização da situação problemática não é sinônimo de resolução do problema do ponto de vista da Física. Os problemas de Física implicam também em solução formal, precisa, matemática, da situação física envolvida. Assim, os modelos mentais são úteis na medida em que são necessários para entender não só os conceitos de Física de uma forma geral, mas também a situação física problemática, isto é, o problema em si, e servir como base para buscar a solução formal. Provavelmente é por não serem capazes de construir um modelo mental da situação descrita no enunciado do problema que os alunos de Física saem mecanicamente atrás de fórmulas para resolvê-los. Mas a construção de um modelo mental adequado, que sirva de ponto de partida, parece não ser trivial (ibid).

A medida que os teoremas-em-ação e os conceitos-em-ação se tornam mais claros e próximos dos teoremas e conceitos científicos, eles fazem com que o esquema seja mais eficaz e mais útil. Além disso, possibilitam a criação, pelo indivíduo, de esquemas mais complexos, mais eficientes e mais úteis, o que proporciona avanço. Isso pode ser caracterizado como aprendizagem na ótica de Vergnaud.

Trabalhos de Moreira e Greca (Moreira, 2002; Greca e Moreira, 2002) partem da hipótese que um modelo mental seria uma primeira representação de uma situação problemática. Neste contexto, o modelo mental seria uma estrutura facilmente modificável, instável, descartável e faria parte apenas da memória de curto prazo. Já na memória de longo prazo estariam os esquemas de assimilação. Assim, o modelo mental seria apenas um modelo de trabalho, enquanto que os esquemas de assimilação abrigariam o conhecimento do indivíduo. Mudanças nos esquemas de assimilação seriam devidas aos resultados de operações realizadas com modelos mentais.

Segundo Moreira e Greca (op. cit.) enquanto os esquemas se mantêm como estruturas na memória de longo prazo, com teoremas e conceitos-em-ação (sendo que estes teoremas e conceitos-em-ação contêm informação tanto de propriedades do mundo físico como de relações matemáticas), no momento de enfrentarem-se com uma situação nova, os sujeitos geram representações na memória de curto prazo, os modelos mentais da situação em questão, modelos de trabalho para a resolução da tarefa.

De acordo com esta proposta, os invariantes operatórios guiam a construção do modelo mental. Comparando o modelo mental com a realidade ou simplesmente operando com ele, o sujeito é capaz de fazer certas inferências. Tais inferências provocarão a modificação ou a preservação dos invariantes operatórios.

Assim, como citado na introdução deste trabalho, escolhemos esta ponte entre as duas teorias como o nosso referencial teórico, à luz do qual todos os dados serão analisados.

Metodologia

Este estudo está sendo desenvolvido em duas etapas, as quais correspondem, em termos cronológicos, a dois semestres letivos consecutivos em nível universitário. Participam dessa pesquisa alunos do curso de Engenharia Elétrica da disciplina Física 2 Experimental, oferecida pelo Instituto de Física da Universidade de Brasília durante o segundo período letivo de 2003 e o primeiro semestre letivo de 2004. Esta disciplina é composta de 10 experimentos, versando sobre os conteúdos de Mecânica e Termodinâmica

Na primeira etapa, o desenvolvimento da situação problemática correspondente a cada experimento foi conduzido na forma usual da disciplina, deixando que os alunos seguissem os procedimentos propostos na apostila da disciplina, constituída basicamente de objetivo, texto de apoio (fundamentos teóricos), materiais e equipamentos a serem utilizados, e procedimentos experimentais. A cada experimento realizado, cada grupo de trabalho, com de três componentes (o mesmo grupo que realizava o experimento elaborava o respectivo relatório) **recebia um conjunto de questões para ser respondido como parte integrante do relatório.** Esse conjunto de questões consistia de situações problemáticas diferentes das propostas durante a realização dos experimentos, mas sem fugir do aporte teórico abordado em sala de aula, que foram elaboradas com a intenção de que provocassem a explicitação dos invariantes operatórios utilizados pelos alunos para resolver a situação problemática experimental proposta em cada experimento.

O material gerado por esses conjuntos de questões e as respostas dos alunos aos itens das duas avaliações (provas escritas) da disciplina foram submetidos a uma análise qualitativa com o objetivo de inferir a eventual construção de modelos mentais pelos estudantes e os invariantes operatórios que poderiam emergir nesse processo, evidenciando

possíveis dificuldades dos alunos em termos da aprendizagem significativa do tópico experimental em questão.

A partir dessa análise, foram selecionados cinco experimentos para serem abordados na segunda etapa do estudo, de acordo com os seguintes critérios: maiores dificuldades conceituais apresentadas pelos alunos e abrangência, em termos conceituais, do tema do experimento. Os experimentos selecionados foram:

- Pêndulo Simples
- Movimento Harmônico Amortecido
- Movimento do Giroscópio
- Princípio de Arquimedes
- Lei do Resfriamento de Newton

Para a segunda etapa do estudo foram elaborados novos procedimentos e abordagens aos experimentos selecionados, que estão sendo implementados neste primeiro semestre letivo de 2004, em uma turma com o mesmo perfil de alunos da primeira etapa.

Nesta segunda etapa, está sendo implementado um tratamento diferenciado para a realização de cada um dos experimentos selecionados: é feita uma exposição prévia sobre a fundamentação teórica (que o grupo já deve ter elaborado) referente àquele experimento e o procedimento experimental a ser desenvolvido é orientado em termos de questionamentos e direcionamento dos passos **com questões a serem respondidas ao longo do processo**. Essas questões têm como objetivo explorar o campo conceitual do tema em questão de forma a se promover uma situação problemática experimental, a ser solucionada durante a realização do experimento.

Adicionalmente, de forma semelhante à primeira etapa, a cada experimento selecionado realizado, cada grupo de trabalho, constituído de três componentes (o mesmo grupo que realiza o experimento e elabora o respectivo relatório) recebe um conjunto de questões para ser respondido como parte integrante do relatório. Esse conjunto de questões consiste de situações problemáticas diferentes das propostas durante a realização do experimento, mas sem fugir do aporte teórico abordado em sala de aula que foram também elaboradas com a intenção de que provoquem a explicitação dos invariantes operatórios utilizados pelos alunos para resolver a situação problemática experimental.

O material gerado por esses conjuntos de questões e as respostas dos alunos aos itens das duas avaliações (provas escritas) da disciplina, que corresponderem aos experimentos selecionados serão também submetidos a uma análise qualitativa com o objetivo de identificar a eventual construção de modelos mentais pelos estudantes e os invariantes operatórios que possam emergir nesse processo verificando em que medida tais modelos e invariantes aproximam-se daqueles cientificamente aceitos.

Nas sessões seguintes apresentaremos e discutiremos apenas os resultados preliminares da primeira etapa aqui descrita.

Resultados

Analisamos 76 respostas dadas pelos grupos às questões adicionais ao relatório antes referidas. Ao longo dessa análise chegamos às seguintes quatro categorias:

Categoria 1 – **Fórmulas:** respostas dadas basicamente a partir de fórmulas e de sua relação com o tratamento experimental (gráficos)

Categoria 2 – **Proposições:** respostas dadas basicamente a partir de proposições (princípios físicos)

Categoria 3 – **Modelos de Trabalho:** respostas indicadoras de construção de modelos mentais.

3.1 – respostas que parecem evidenciar compreensão cientificamente adequada da situação problemática.

3.2 – respostas que parecem evidenciar compreensão cientificamente inadequada da situação problemática.

Categoria 4 – **Fórmulas e Proposições não Articuladas:** respostas envolvendo fórmulas e proposições que, embora sem erros conceituais aparentes, não se articulam de modo a dar evidência de construção de modelos.

Na tabela 1 apresentamos o resultado da tabulação das respostas dos grupos por categorias

Tabela 1 – número de respostas por categoria

Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3	Categoria 4
34	17	20	5

A seguir apresentamos trechos transcritos das respostas dos alunos como exemplos ilustrativos de cada categoria.

Categoria 1

“Considerando desprezíveis as forças de resistência ao movimento, os mesmos objetivos poderiam ser atingidos pois a fórmula prevê que para acelerações da gravidade significativamente pequenas o período cresce substancialmente; da mesma forma, para acelerações da gravidade muito altas, o período diminui bastante. A fórmula a seguir mostra que a aceleração da gravidade é inversamente proporcional ao quadrado do período, o que prova que variações na aceleração da gravidade não altera a relação entre comprimento do pêndulo (L) e período (T) de oscilação deste:

$$g = \frac{(2\pi)^2}{T^2} L \dots”$$

Esta é uma resposta à seguinte questão: *Seria possível realizar esse experimento (pêndulo simples), para atingir o mesmo objetivo (verificar experimentalmente a relação funcional entre período e comprimento do pêndulo simples), em uma situação onde g tivesse sido significativamente alterada? Justifique com detalhes sua resposta.*

Vemos que, todas as explicações e justificativas apresentadas por esse grupo estão exclusivamente fundamentadas na fórmula para o período do pêndulo, bastante familiar aos alunos.

“Sabendo que $m_1 = \rho_1 v_1$ e $m_2 = \rho_2 v_2$, vamos provar algebricamente que o corpo está em equilíbrio:

$$\begin{aligned} \vec{F}_{E1} &= g\rho_1 v_1 & \vec{F}_{E1} + \vec{F}_{E2} &= g(\rho_1 v_1 + \rho_2 v_2) \\ \vec{F}_{E2} &= g\rho_2 v_2 & \vec{F}_{E1} + \vec{F}_{E2} &= g(m_1 + m_2) \end{aligned} \quad (1)$$

$$g\rho_1 v_1 + g\rho_2 v_2 = g(m_1 + m_2) \rightarrow m_1 + m_2 = m_1 + m_2$$

logo, (1) prova que $\vec{F}_{E1} + \vec{F}_{E2} = \vec{P}$ ”

Esta é uma resposta à seguinte questão: *Considere um corpo de volume $V = V_1 + V_2$ submerso em um recipiente contendo dois líquidos não miscíveis de densidades ρ_1 e ρ_2 onde $\rho_1 < \rho_2$, na condição de equilíbrio ilustrada abaixo (corpo submerso, com uma parte do seu volume dentro do líquido de densidade ρ_1 e a outra parte dentro do líquido de densidade ρ_2). Explique, em termos das informações relevantes, a situação em questão.*

Nesta resposta podemos observar que todo o seu desenvolvimento, envolvendo os conceitos e relações relativos ao Princípio de Arquimedes (tema do experimento), foi realizado em termos de fórmulas.

Categoria 2

“A presença de g na equação de período do pêndulo simples significa uma aceleração de restituição do movimento, e que tem uma relação inversa com o período. O sentido da restituição significa que g leva o pêndulo para a posição de equilíbrio porém, este nunca é alcançado, formando um MHS”

Esta é uma resposta à seguinte questão: *O que significa a presença de g (aceleração da gravidade) na equação de período do pêndulo simples? O pêndulo “cai” com g ? De que forma?*

Vemos que a resposta é apresentada em termos de proposições sem, no entanto, esclarecer o real significado da presença da aceleração da gravidade na relação funcional do pêndulo simples, traduzida pela presença da força restauradora, proporcional ao deslocamento (na condição de pequenos deslocamento, $\theta \approx 0$) e de sentido oposto à ele, característica fundamental do MHS

“A constante b mostra a velocidade de troca de calor permitida pelo meio. Depende do isolamento térmico, da condutividade térmica dos materiais envolvidos, etc...A variação dessa constante acelera ou retarda a perda de calor”

Esta é uma resposta à seguinte questão: *Como você verificou nesse experimento, a expressão para a variação da temperatura de um objeto em processo de resfriamento é dada por: $T(t) - T_{ambiente} = (T_o - T_{ambiente}) e^{-bt}$. Qual é o significado físico da constante b e como ela atua?*

A resposta é dada em termos de algumas proposições que não explicam como a constante b influencia no processo de resfriamento; como podemos notar, nem o comportamento exponencial da relação funcional característica do fenômeno estudado foi explicitado.

Categoria 3

3.1

“O que mantém o giroscópio no plano horizontal é o seu momento angular (\vec{L}). A aplicação de forças verticais para baixo nas posições (1) e (8) gera um torque que faz com que \vec{L} varie sua

direção. Caso o disco do giroscópio não estivesse girando, o eixo se deslocaria para baixo porque, nesse caso, $\vec{L} = 0$, o que faria com que surgisse um momento angular de mesma direção e sentido do torque. Como $\vec{L} \neq 0$ e $\vec{\Gamma} \perp \vec{L}$, o peso aplicado em qualquer das extremidades do giroscópio faz com que \vec{L} varie apenas na sua direção, caracterizando o movimento de precessão. Ou seja, como o torque sempre é perpendicular a \vec{L} , isso não permite que o eixo se incline para baixo porém, é o responsável pelo movimento de precessão.”

Esta é uma resposta à seguinte questão: *Considere o procedimento desenvolvido para a análise qualitativa do movimento do giroscópio. Na situação do item a.5), com o giroscópio equilibrado e o disco girando, foi colocado um peso na posição (8) e, posteriormente, na posição (1) (referência às figuras contidas no procedimento proposto na apostila). Observa-se, então, o movimento de precessão. Por que o eixo do giroscópio não é deslocado para baixo, se nas posições (8) e (1) existe um peso e, portanto, uma força na direção vertical, apontando para baixo? O que mantém o eixo do giroscópio no plano horizontal, embora desenvolvendo o movimento de precessão?*

A resposta transcrita acima sugere que, nesse caso, parece ter havido a construção de um modelo de trabalho para dar conta da situação problemática. Percebe-se toda uma relação de causa e efeito que nos leva a supor que este grupo provavelmente elaborou um modelo mental dinâmico, i.e., cinemático com relações causais e, portanto, parece possuir invariantes operatórios eficientes no campo conceitual relativo à Dinâmica de Rotação.

3.2

“Durante a oscilação do pêndulo podemos notar que existe uma força horizontal que faz com que a massa se mova de um lado para outro. Podemos explicar essa força através de uma análise detalhada das forças que atuam sobre o pêndulo, durante a oscilação. Pela figura 1 (*refere-se à figura de um pêndulo, com o diagrama das forças, que ele construiu*), podemos notar que a força peso (mg) pode ser decomposta em duas outras: uma vertical ($m g \cos\theta$), que se anula com a tração do fio (caso contrário o fio acabaria se rompendo) e uma horizontal ($m g \sin\theta$), que diminui gradativamente com a diminuição da altura h e aumenta com o aumento da altura. Durante a oscilação, notamos que essa componente horizontal faz o pêndulo ‘cair’.”

Esta é uma resposta à seguinte questão: *O que significa a presença de g (aceleração da gravidade) na equação de período do pêndulo simples? O pêndulo “cai” com g ? De que forma?*

Percebemos que na resposta apresentada para esta questão, o grupo parece ter construído um modelo de trabalho, embora embasado em concepções, no mínimo, cientificamente equivocadas. A idéia que uma força horizontal faz com que a massa (do pêndulo) se mova de um lado para o outro é completamente inadequada nessa situação mas pela explicação que se segue a essa afirmação, cremos que, apesar das concepções cientificamente equivocadas, ela está apoiada em um modelo.

Categoria 4

“Para esse experimento poder ser realizado com um ângulo igual a 35° seria necessário adotar uma equação diferente da equação do pêndulo simples. A nova equação seria essa:

$2\pi\sqrt{l/g} \left[1 + \frac{1}{4}\text{sen}^2\left(\frac{\mathbf{q}}{2}\right) + \frac{9}{64}\text{sen}^4\left(\frac{\mathbf{q}}{2}\right) + \dots \right]$. O que seria muito prático. Os resultados dos experimentos com θ igual a 15° e 35° poderão até ser parecidos mas a experiência executada com o ângulo de 35° terá um erro maior que a outra experiência.”

Esta é uma resposta à seguinte questão: *Este experimento (pêndulo simples) poderia ser realizado, para atingir o mesmo objetivo, em uma situação onde o ângulo de afastamento da posição de equilíbrio, \mathbf{q} , fosse mantido constante e com valor igual a 35° ? Por que?*

A resposta sugere que o grupo sabe da condição de pequenos deslocamentos que caracteriza o movimento do pêndulo simples, reconhece algumas relações matemáticas referentes ao estudo dessa situação problemática, mas não articula essas informações em uma explicação coerente e cientificamente satisfatória

Discussão dos resultados

Os dados da tabela 1 mostram uma grande predominância das respostas dadas a partir de fórmulas (categoria 1) e uma quantidade relativamente pequena de respostas da categoria modelo de trabalho (categoria 3). Supondo que a compreensão implica modelização mental, esses dados sugerem que a maioria dos alunos não dominou de maneira significativa as situações problemáticas apresentadas nas atividades laboratoriais. Aparentemente, houve um acentuado predomínio de aprendizagem mecânica caracterizada pelas explicações automatizadas, baseadas nas fórmulas.

A categoria 2 poderia, em princípio, ser tomada como evidência de alguma aprendizagem significativa desde que pudéssemos nos certificar de que as proposições utilizadas eram significativas para os alunos. Tais proposições poderiam ser o que Vergnaud chama de teoremas-em-ação. Contudo, nossa análise preliminar não permite inferências nessa direção.

A categoria 3 é aquela que consideramos desejável pois sugere a construção de modelos mentais que, por sua vez, implicam compreensão, ainda que não adequada cientificamente, como sugere a categoria 3.2.

A categoria 4 também não dá evidência de aprendizagem significativa pois proposições desarticuladas não constituem um modelo mental.

Portanto, apenas 26% das respostas sugerem a construção de modelos mentais que, por sua vez, indicam pelo menos um certo grau de domínio da situação problemática. Tais modelos devem conter os chamados invariantes operatórios de Vergnaud e podem evoluir para esquemas de assimilação. Mas queremos deixar claro que não pudemos, nessa etapa da pesquisa, identificar tais representações. Queremos também chamar atenção para o fato de que as respostas foram sempre dadas por um grupo de três alunos o que, de certa forma, inviabiliza a busca por invariantes operatórios. Mesmo quando falamos em modelos mentais, eles seriam modelos do grupo; rigorosamente falando, não sabemos se tais modelos foram “negociados” no grupo ou se representam modelos de um ou outro componente do grupo. Em uma futura pesquisa nessa linha, seria necessário trabalhar com respostas individuais.

Voltando à questão da predominância da aprendizagem mecânica nas respostas, teríamos que buscar as causas, pelo menos em parte, nas situações problemáticas propostas.

Quer dizer, talvez a forma de propô-las tenha favorecido uma aprendizagem mecânica. Talvez os roteiros dos experimentos estejam muito estruturados no sentido de levar os alunos a se apoiarem predominantemente em fórmulas e regras. Talvez as próprias situações problemáticas não tenham sido apresentadas de maneira que os alunos as percebessem como problemas. Segundo Vergnaud, as situações problemáticas é que dão sentido aos conceitos; mas para isso é preciso que o sujeito as perceba como problemáticas. Em uma futura pesquisa seria necessário reformular os roteiros e a maneira de apresentar as situações.

Conclusão

A pesquisa aqui descrita faz parte de um projeto mais amplo conduzido à luz das teorias de Vergnaud e de Johnson-Laird, envolvendo resolução de problemas, ou seja, situações problemáticas (Moreira et al., 2004). Dentro deste projeto estamos considerando que as experiências de laboratório também são, ou deveriam ser, situações problemáticas, se é que a sua realização por parte dos alunos deve contribuir para o domínio do campo conceitual correspondente. Os resultados preliminares aqui relatados parecem sugerir que os laboratórios bastante estruturados favorecem uma aprendizagem mecânica na qual as situações não dão sentido aos conceitos, como preconiza Vergnaud.

Bibliografia

- FÁVERO, M. H. e SOUSA, C. M. S. G. (2000). A Resolução de Problemas em Física: Revisão de Pesquisa, Análise e Proposta Metodológica. *Investigações em Ensino de Ciências*. Porto Alegre, RS, 1(3) <http://www.ufrgs.br/ienci>
- GRECA, I. M. e MOREIRA, M. A. (2002). Além da Detecção de Modelos Mentais dos Estudantes, uma Proposta Representacional Integradora. *Investigações em Ensino de Ciências*. Porto Alegre, RS, 7(1) <http://www.ufrgs.br/ienci>
- JOHNSON-LAIRD, P. N. (1983). *Mental Models*. Cambridge, M. A., Harvard University Press.
- MOREIRA, M. A. (1996). Modelos Mentais. *Investigações em Ensino de Ciências*. Porto Alegre, RS, 1(3) <http://www.ufrgs.br/ienci>
- MOREIRA, M. A. (1999). *Aprendizagem Significativa*. Brasília, DF. Editora Universidade de Brasília.
- MOREIRA, M. A. (1999). *Teorias de Aprendizagem*, São Paulo, SP. EPU.
- MOREIRA, M. A. (2002). A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área. *Investigações em Ensino de Ciências*. Porto Alegre, RS, 7 (1) <http://www.ufrgs.br/ienci>
- MOREIRA, M. A. e GRECA, I. M. (2003). Cambio conceptual: analysis crítico y propuestas a la luz de la teoría del aprendizaje significativo. *Ciência & Educação*, 9(2): 301-315.
- MOREIRA, M. A.; GRECA, I.; SOUSA; C. M. S. G.; COSTA, S. S. C. (2001). *Resolução de Problemas em Física e Modelos Mentais*. Projeto de Pesquisa desenvolvido com apoio do CNPq no período 2001-2003.
- MOREIRA, M. A.; CABALLERO, C.; ESCUDERO, C.; SOUSA, C. M. S. G.;

COSTA, S. S. C.; (2004). *Situações-Problema em Campos Conceituais da Física: identificação de conhecimento-em-ação e delineamento de estratégias instrucionais à luz da teoria de Vergnaud*. Projeto de Pesquisa em andamento com apoio do CNPq.

SOUSA, C. M. S. G. (2001). *A Resolução de Problemas e o Ensino de Física: uma análise psicológica*. Tese de Doutorado. Instituto de Psicologia, Universidade de Brasília.

SOUSA, C. M. S. G. e MOREIRA, M. A. (2000). A Causalidade Piagetiana e os Modelos Mentais: Explicações Sobre o Funcionamento do Giroscópio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, 22(2): 223-231.

THAGARD, P.(1996). *Introduction to cognitive science*. Cambridge, MA: MIT Press.

VERGNAUD, G. (1983). Multiplicative structures. In Resh, R. and Landau, M. (Eds.) *Aquisition of Mathematics Concepts and Processes*. New York: Academic Press Inc. pp.127-174.

VERGNAUD, G. (1988). Multiplicative structures. In Hilbert, J. and Behr, M. (Eds). *Research Agenda in Mathematics Education. Number, Concepts and Operations in the Middle Grades*. Hillsdale, N. J.: Lawrence Erlbaum. pp. 141-161.

VERGNAUD, G. (1990) La théorie des champs conceptuels. *Récherches en Didactique des Mathématiques*, 10 (23): 133-170.

VERGNAUD, G. (1994). Multiplicative conceptual field: what and why? In Guershon, H. and Confrey, J. (1994). (Eds) *The development of multiplicative reasoning in the leaning of mathematics*. Albany, N.Y.: State University of New York Press. pp. 41-59.

VERGNAUD, G. (1996). A trama dos campos conceituais na construção dos conhecimentos. *Revista do GEMPA*, Porto Alegre, nº4: 9-19.

VERGNAUD, G. (1998) A comprehensive theory of representation for mathematics education. *Journal of Mathematical Behavior*, 17(2): 167-181.