

Tipos de Representações Mentais Utilizadas por Estudantes de Física Geral na Área de Mecânica Clássica e Possíveis Modelos Mentais nessa Área*

(The kinds of mental representations used by college physics students in the area of classical mechanics and possible mental models in this area.)

Maria do Carmo Baptista Lagreca, Marco Antonio Moreira

Instituto de Física, UFRGS

Caixa Postal 15051, 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil

E-mail: lagreca@if.ufrgs.br ou moreira@if.ufrgs.br

Recebido em 14 de Agosto, 1998

Neste trabalho, além de investigarmos o tipo de representação mental (proposições, imagens ou modelos mentais) utilizado por estudantes de Física Geral na área de Mecânica Newtoniana, tentamos identificar possíveis modelos mentais que estes estudantes teriam em relação a alguns conceitos físicos. Baseamos nosso estudo na Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird. Estudantes de nível universitário foram observados, em sala de aula, durante dois semestres com o objetivo de determinar o tipo de representação mental que eles teriam utilizado durante o curso, quando resolviam os problemas e as questões propostas nas tarefas instrucionais. Foi realizada uma entrevista no final do curso com o objetivo de encontrar elementos adicionais que permitissem inferir modelos mentais sobre conceitos físicos usados pelos estudantes na elaboração de suas respostas. Os resultados desta pesquisa sugerem a importância dos modelos mentais na compreensão e uso dos conceitos físicos. Parece que quanto mais "elaborados" os modelos mentais, mais facilmente os alunos poderiam compreender situações e contextos distintos daqueles trabalhados em aula. Palavras-chave: modelos mentais, representações mentais, mecânica newtoniana.

In this work, in addition of investigating the type of mental representation (propositions, images or mental models) used by introductory college physics students in the area of Newtonian mechanics, we tried to identify possible mental models that these students would have regarding some physical concepts. We based our study on the Mental Models Theory proposed by Johnson-Laird. College students were observed, in classroom situations, during two semesters with the objective of identifying the type of mental representation that they would have used during the course, when they solved problems and conceptual questions included in the instructional tasks. An interview was carried out at the end of the course with the purpose of finding additional elements that would allow us to infer mental models about concepts used by the students in the elaboration of their answers. The results of this research suggest the importance of the mental models in the understanding of the physical concepts. It seems that the more "elaborated" the mental models are the more easily the students could understand situations and contexts different from those worked in the classroom.

Key-words: mental models, mental representations, Newtoniana mechanics

I Introdução

O estudo dos modelos mentais na aprendizagem de Física pode significar um novo e interessante enfoque

na pesquisa das idéias científicas dos alunos e talvez traga importantes conseqüências para o processo en-

* Trabalho parcialmente financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

sino/aprendizagem nessa área. Resnick (1989), por exemplo, diz que, na linguagem da ciência cognitiva, aprender sobre algo, chegar a compreendê-lo, é construir um modelo mental dele. Isso, obviamente, tem muito a ver com aprender Física.

Johnson-Laird (1983) e Gentner e Stevens (1983) entendem por modelo mental o construto psicológico que os indivíduos formam ao interagir com outras pessoas, com o meio ou com algum artefato tecnológico, o qual lhes permite dar conta de tal interação e prever o comportamento dos sistemas em futuras relações.

De acordo com vários autores (e.g., Pintó et al., 1996; Norman, 1987), construir um modelo mental requer:

1. fazer uma representação interna do sistema, ou seja, traduzir os elementos da realidade em um código próprio em função de nossos interesses;
2. utilizar um processo de inferência (não necessariamente um processo da lógica formal);
3. executar o modelo, quer dizer, por em funcionamento na mente um processo de simulação qualitativa do funcionamento do sistema exterior que está sendo modelado.

Isto permite ao sujeito avaliar seu modelo mental e, se necessário, corrigi-lo.

Nos parece, por exemplo, que o estudo dos modelos mentais é promissor para dar respostas a algumas das interrogações colocadas sobre a persistência das concepções alternativas.

Pode ser que estudando as representações mentais que os alunos têm, tanto as que correspondem às concepções alternativas quanto as construídas a partir dos conhecimentos científicos ensinados, possamos aprender sobre o processo de construção e a possível mudança dessas representações, bem como verificar qual o seu papel na aprendizagem.

Uma de nossas hipóteses era a de que os alunos que conseguissem formar modelos mentais onde os princípios da teoria estudada fizessem sentido, poderiam dar indícios da utilização desses modelos, por exemplo, através do uso acentuado de imagens ou fazendo predições que não estivessem explicitamente evidentes; eles conseguiriam ter uma boa compreensão das teorias apresentadas, ou seja, seriam capazes de explicar a estrutura conceitual de uma teoria e os fenômenos

ligados a ela e não se deteriam simplesmente na manipulação de fórmulas. Esses modelos poderiam ser do tipo imagístico, proposicional ou, ainda, parcialmente imagístico e parcialmente proposicional. Quanto mais "elaborado" o modelo mental, mais facilmente o aluno poderia compreender situações e contextos diferentes daqueles trabalhados em aula, ou daqueles onde só tivesse que aplicar fórmulas.

Reciprocamente, outra hipótese foi a de que os alunos que não formassem modelos mentais, onde os princípios da teoria fizessem sentido, tenderiam a trabalhar somente com representações proposicionais isoladas, desvinculadas de modelos, não conseguiriam compreender, ou melhor, explicar a estrutura conceitual de uma teoria e os fenômenos ligados a ela, voltando para seus modelos primitivos (aqueles que eles teriam antes de iniciarem o curso) em situações ou contextos diferentes daqueles onde tivessem simplesmente que fazer uso de fórmulas.

II A teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird

As representações mentais, ou representações internas, são maneiras de "re-presentar" o mundo externo. "As pessoas não captam o mundo exterior diretamente, elas constroem representações mentais internas dele" (Eisenck e Keane, 1990, p.202).

Nosso estudo esteve baseado na teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird, segundo a qual as representações mentais podem existir na forma de representações proposicionais, modelos mentais e imagens. Representações proposicionais são cadeias de símbolos que correspondem à linguagem natural, modelos mentais são análogos estruturais do mundo e imagens são correlatos perceptivos dos modelos sob um particular ponto de vista. (Johnson-Laird, 1983, p.165).

Por exemplo, a situação "O professor está na sala de aula" poderia ser representada mentalmente como uma proposição, já que é verbalmente expressável; como um modelo mental, de qualquer professor em qualquer sala de aula ou como uma imagem, de um professor em particular em uma certa sala de aula.

Não existe um único modelo mental para um determinado estado de coisas. O modelo mental de uma

escola, por exemplo, possui diferentes versões conforme os diferentes usos que se possa fazer de uma escola: reconhecê-la, projetá-la, construí-la, entrar nela, falar sobre ela. Porém, cada versão deve incluir o núcleo central que identifica o modelo como sendo de escola.

Os modelos mentais são, portanto, uma forma de representação analógica do conhecimento; existe uma correspondência direta entre entidades e relações presentes no modelo e as entidades e relações que se buscam representar (Moreira,1997, p.3).

As representações proposicionais são geralmente interpretadas como representações mentais que consistem em cadeias de símbolos, em uma linguagem própria da mente. No entanto, na visão de Johnson-Laird, "uma representação proposicional é uma representação mental de uma proposição verbalmente expressável" (Johnson-Laird,1983, p.155). Estas representações são interpretadas à luz dos modelos mentais, de modo que entendê-las é saber como seria o mundo caso elas fossem verdadeiras e para isso são necessários modelos mentais.

Ou seja, os modelos mentais e as representações proposicionais se diferenciam baseados em distintos critérios. Um deles é a sua função: uma representação proposicional é uma descrição que, em última análise, é verdadeira ou falsa em relação ao mundo. Mas os seres humanos não apreendem diretamente do mundo, mas sim, possuem uma representação interna dele. Por conseguinte, uma representação proposicional é verdadeira ou falsa com relação a um modelo mental do mundo.

É importante salientar que o modelo proposicional é diferente da representação proposicional. Quem faz uso de uma representação meramente proposicional utiliza regras soltas, sem significados e não consegue, com o uso destas regras, avaliar situações diferentes, isto é, não consegue compreender, o que implica explicar a estrutura conceitual de uma teoria ou de um princípio e os fenômenos vinculados. A pessoa que usa uma representação do tipo modelo proposicional, também utiliza regras, mas articuladas, interrelacionadas e através delas consegue prever e explicar fenômenos físicos e extrapolar seu conhecimento a situações diferentes.

As imagens são vistas dos modelos. Por exemplo, podemos construir um modelo mental de triângulo, mas não podemos formar uma imagem de um triângulo geral, sempre nos vem uma imagem particular que se refere a um triângulo específico. Por conseguinte, se

raciocinarmos em base a uma imagem devemos tomar precauções para assegurar-nos que nossa conclusão vai mais além de um caso específico que temos considerado.

Os modelos mentais têm algumas características importantes (Johnson-Laird, 1987, p. 422-423):

- como o cérebro é um organismo finito, um modelo mental deve ser finito em tamanho e não pode representar diretamente um domínio infinito;
- já que existe um número infinito de estados de coisas que poderiam ser representados, mas somente um mecanismo finito para construí-los, segue-se que modelos devem ser construídos a partir de elementos básicos arranjados em uma estrutura particular para representar um certo estado de coisas;
- a descrição de um único estado de coisas é representada por um só modelo mental mesmo se a descrição é incompleta ou indeterminada. Um único modelo mental pode representar um número infinito de possíveis estados de coisas, porque o modelo pode ser revisado recursivamente;
- modelos mentais podem representar indeterminações diretamente se e somente se seu uso não for computacionalmente intratável, i.e., se não existir um crescimento exponencial em complexidade;
- os conceitos primitivos a partir dos quais todos os modelos mentais são construídos são inatos. Primitivos conceituais subjazem nossas experiências perceptivas, habilidades motoras, estratégias, enfim, nossa capacidade de representar o mundo;
- as estruturas dos modelos mentais são idênticas às estruturas dos estados de coisas, percebidos ou concebidos, que os modelos representam.

III A metodologia empregada no nosso trabalho

Greca e Moreira (1996,1997) conduziram uma pesquisa com 50 estudantes de engenharia em uma disciplina de Física Geral, na qual se propuseram a investigar o tipo de representação mental usado pelos alunos quando trabalhavam com o conceito de campo, particularmente no domínio do eletromagnetismo, ao resolver problemas e questões conceituais. O estudo foi conduzido em dois

semestres consecutivos e também teve como base conceitual a teoria de Johnson-Laird.

Especificamente, sua pesquisa objetivou identificar se os alunos, ao resolver problemas e questões da Física, operavam mentalmente com modelos, proposições ou imagens, ou alguma combinação destes tipos de representações mentais propostos por Johnson-Laird.

Todo o estudo foi conduzido em condições normais de sala de aula. No primeiro semestre, a metodologia de ensino foi totalmente individualizada; o aluno trabalhava em ritmo próprio e contava com assistência de monitores e do professor.

Nesta primeira investigação, os autores apenas tentaram, e conseguiram, distinguir entre alunos que trabalhavam e não trabalhavam com modelos mentais, segundo a teoria de Johnson-Laird, enquanto desempenhavam tarefas instrucionais de Física.

Os resultados obtidos por eles sugerem que nos cursos introdutórios universitários de Física a maioria dos alunos trabalha com proposições não integradas ou não interpretadas em um modelo mental. As proposições que eles usam são definições e fórmulas manipuladas mecanicamente para resolver problemas e questões. Alguns, no entanto, dão evidências de construção de modelos e isso parece caracterizar uma aprendizagem mais significativa.

Nossa pesquisa, de certa forma, dá continuidade a de Greca e Moreira, pois também nos propusemos tentar identificar o tipo de representação mental (modelos, proposições e imagens) predominantemente usado, bem como possíveis modelos mentais referentes a alguns conceitos físicos (na área de mecânica) utilizados por estudantes universitários em um curso introdutório de Física, porém trabalhamos na área da mecânica newtoniana.

Partimos do pressuposto de que as pessoas raciocinam com modelos mentais, operam cognitivamente com modelos mentais, representam internamente o mundo com modelos mentais. Decorre daí que a pessoa que constrói um modelo mental de algum estado de coisas do mundo, algum fenômeno físico, por exemplo, chega a compreendê-lo, à sua maneira, é capaz de explicá-lo e fazer previsões sobre ele. Reciprocamente, se a pessoa é capaz de explicar e fazer previsões sobre um certo fenômeno físico é porque tem um modelo mental dele, embora não necessariamente correto do ponto de vista

da Física.

Com a finalidade de tentar inferir modelos mentais utilizados pelos alunos, trabalhamos em situação real de sala de aula desenvolvendo além das atividades usuais de avaliação da disciplina, diversas outras, tais como elaboração de mapas conceituais, práticas experimentais orientadas, monitoria e entrevistas. Admitimos que a estrutura das representações internas dos indivíduos é refletida nas suas representações externas. Consideramos que tudo o que os alunos fizessem (escrevessem, desenhassem, perguntassem e dissessem) nos daria indícios sobre a forma como operavam mentalmente.

Em um primeiro momento, no 1º semestre de 1996, trabalhamos com um grupo de 18 estudantes de engenharia cursando a disciplina de Física Geral I e no 2º semestre de 1996 trabalhamos com um grupo de 30 estudantes também de engenharia cursando a mesma disciplina. Ambos grupos sob a modalidade de “Método Keller” (Moreira, 1983). Nesta modalidade, os alunos estudam sozinhos, não há aulas teóricas, e avançam na disciplina conforme são aprovados nas avaliações (testes) de cada unidade que no nosso caso estiveram baseadas no livro Fundamentos de Física, de Halliday e Resnick (1994).

Em três momentos do curso, antes de começar os capítulos correspondentes às leis de conservação, após estas e ao final do semestre os testes incluíam um item que consistia na confecção de um mapa conceitual (Moreira e Buchweitz, 1987).

Após o teste de avaliação da última unidade, os alunos foram entrevistados individualmente durante 25-30 minutos.

A análise do material obtido, respostas escritas dos testes, mapas conceituais e entrevistas, além das notas de campo tomadas pelo pesquisadores ao longo do semestre teve por objetivo geral a identificação de modelos mentais; para isso tentou-se:

- a) identificar o tipo de representação mental – representações proposicionais, imagens ou modelos mentais – predominantemente utilizado pelo alunos;
- b) detectar núcleos conceituais que aparecessem em suas respostas mais de uma vez ao longo do curso;
- c) identificar características ou atributos dos núcleos conceituais que integrassem conjuntos explicativos e/ou

preditivos, a fim de obter indícios de modelos mentais utilizados pelos alunos tanto aqueles que trazem antes da instrução como aqueles desenvolvidos ao longo do curso.

A metodologia de análise foi do tipo qualitativa, similar a utilizada no estudo anterior sobre eletromagnetismo (Greca e Moreira, 1997).

Em resumo, o que fizemos foi investigar processos mentais indiretamente através daquilo que as pessoas externalizam verbalmente, simbolicamente ou pictoricamente. Aliás, até agora todas as pesquisas sobre modelos mentais na área de ensino de Ciências têm feito uso de análise qualitativa de protocolos verbais e documentos (desenhos, esquemas, soluções de problemas, mapas conceituais) produzidos pelos sujeitos pesquisados em entrevistas ou tarefas instrucionais.

Através da análise qualitativa das externalizações verbais, simbólicas, pictóricas ou procedimentais, tentamos inferir o tipo de representação mental usado predominantemente pelos alunos e, se possível, algum modelo mental.

Neste trabalho relatamos os resultados desta análise para 13 casos, por considerarmos estes serem os casos que mais nos deram indícios sobre a forma que trabalhavam, pois seus materiais de análise (registros) eram mais completos.

IV Tentativas de categorização:

Começaremos apresentando a *categorização referente à forma de trabalhar durante o curso*, principalmente nos testes de avaliação dos alunos.

GRUPO 1: Os alunos pertencentes a esse grupo eram aqueles que trabalhavam a maioria dos tópicos estudados usando proposições isoladas, não relacionadas a modelos, não interligando conceitos e/ou aspectos da matéria. Os alunos sabiam as fórmulas a serem usadas, mas não logravam articulá-las, não conseguiam compreender, explicar a estrutura conceitual da teoria e os fenômenos ligados a ela. A maioria das respostas às questões dos testes de avaliação apresentadas eram, basicamente, cópias do livro - texto.

Dizemos também que esses alunos trabalhavam basicamente com proposições isoladas porque não conseguiam transferir os seus conhecimentos a situações similares as que estudaram durante o curso.

Os mapas conceituais dos alunos pertencentes a esse grupo eram meras associações entre os conceitos estudados, sem uma relação física entre tais conceitos. Quando existia alguma relação, era uma fórmula matemática.

Os alunos que fazem parte deste grupo são (nomes fictícios): caso 1 (Emerson), caso 2 (Patrícia), caso 4 (Carol), caso 7 (Roger) e caso 13 (Júlia). Seria o grupo dos proposicionalistas. A seguir, apresentamos exemplos de suas respostas (em itálico).

Qualquer corpo apoiado no chão de um carro escorregará se a aceleração for suficientemente grande. Qual aceleração é maior: a que provoca o deslizamento de pequenos blocos ou a que provoca deslizamento de blocos mais pesados? Justifique.

“ $F=ma$. A aceleração é maior nos blocos mais pesados, porque para movimentar estes blocos é preciso uma força maior do que para movimentar um bloco de menos peso. Então, como a força e a aceleração são grandezas diretamente proporcionais, quando aumenta a força, a aceleração também aumenta.” (Emerson)

“Não tem uma regra para fazer tudo de uma só vez?” (Emerson)

“Eu me baseio muito por fórmulas. Dedução assim de fórmulas eu até não consigo deduzir, mas se eu pego uma fórmula, eu vejo primeiro os dados que eu tenho no problema, daí eu vejo as fórmulas que tenho e tento aplicar.”

Sem interpretar ?

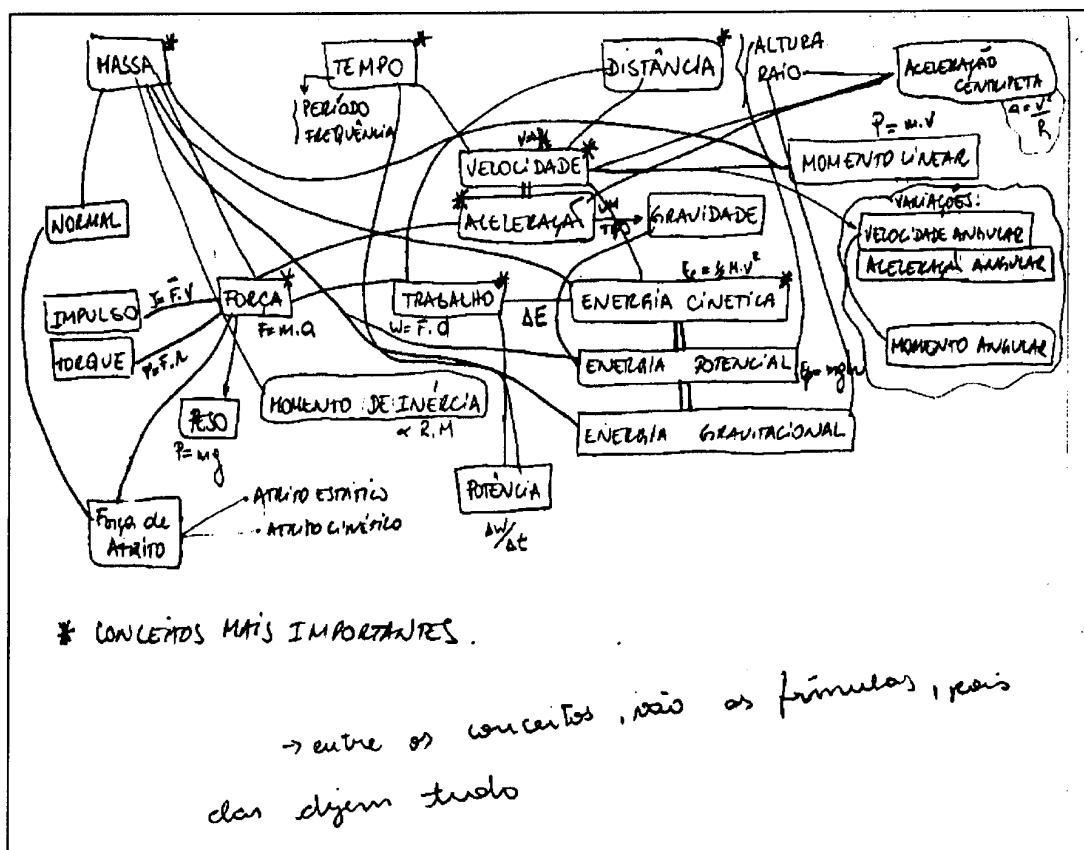
“É, seria, eu acho, o mais importante ...”

“É, eu sei que é isso aí. Mas eu não consigo pensar, não é ... que nem $2+2=4$. Eu só consigo pensar se eu boto uma fórmula e penso.” Comentário sobre as aceleração de dois blocos colocados e soltos num plano inclinado, amarrados por uma corda.

“Eu entendo as fórmulas, elas são fáceis, mas o problema é que nunca sei quando usar a da energia potencial ou a da energia cinética”. (Roger)

“Usou as equações do MRU porque as equações do MRUV davam dois resultados (dois instantes em que a bola estava a 15m do solo).” (21/3 monitor 3 sobre Júlia)

Vejam a seguir o mapa conceitual feito pela aluna Carol que trabalhava basicamente usando proposições:



GRUPO 2: Os alunos enquadrados neste grupo são os que pareciam trabalhar com modelos mentais basicamente proposicionais, ou seja, regras articuladas em modelos mentais, interligando diferentes conceitos e aspectos da disciplina. Conseguiram fazer articulações com as fórmulas e interpretavam fisicamente, à medida que seus modelos permitiam, os fenômenos que lhes eram apresentados. Esses modelos não necessariamente eram os cientificamente aceitos, no entanto, eles logravam resolver e interpretar situações diferentes das quais tinham que simplesmente manipular fórmulas.

Embora maioria das relações existentes entre os conceitos fossem também fórmulas matemáticas, os alunos deste grupo já conseguiam ensaiar algumas ligações físicas entre os conceitos quando confeccionavam seus mapas conceituais.

Incluimos neste grupo os alunos (nomes fictícios) caso 3 (Sandra), caso 5 (Ângelo), caso 6 (Augusto), e caso 9 (Antenor). Seria o grupo dos modelizadores proposicionistas. Seguem-se exemplos de suas externalizações.

"...eu olho o problema e imagino uma coisa, uma resposta...vem na cabeça, parece que aquilo é certo,

ai tu começa a calcular, daí tu vai ver se é certo ou não...quando tu começa calcular, começa a lembrar coisas que tu não imaginou, tu imagina coisas assim, mais simples de resolver, ai tu começa a calcular...ai muitas vezes, pelo menos prá mim, o que eu imaginava tava errado." (Sandra)

Um canhão dispara uma bala. O que acontece com o canhão e a bala? Por que?

" O momento linear é conservado $P_i = P_f$, $0 = mv + MV$, $m =$ massa da bala; $v =$ velocidade da bala; $M =$ massa do canhão; $V =$ velocidade do canhão. Devido a grande massa do canhão em relação à bala o canhão adquire uma velocidade pequena e para trás. $V = - mv/M$. Já a bala, por possuir uma pequena massa adquire uma grande velocidade $v = MV/m$ " .(Antenor)

Qualquer corpo apoiado no chão de um carro escorregará se a aceleração do carro for suficientemente grande. Que aceleração é maior: a que provoca o deslizamento de pequenos blocos ou a que provoca o deslizamento de blocos mais pesados? Justifique sua resposta.

" $F_R = m \times a$ $a = \mu x N/m$ $a = \mu x m x g/m$ $a = mg$ Aplicando-se a 2a Lei de Newton, sabe-se que a aceleração é diretamente proporcional à força resultante e inversamente proporcional à massa do corpo. Num corpo em repouso dentro de um carro que 'arranca abruptamente' surgirá uma força resultante que é a força de atrito. Como a força resultante é o produto

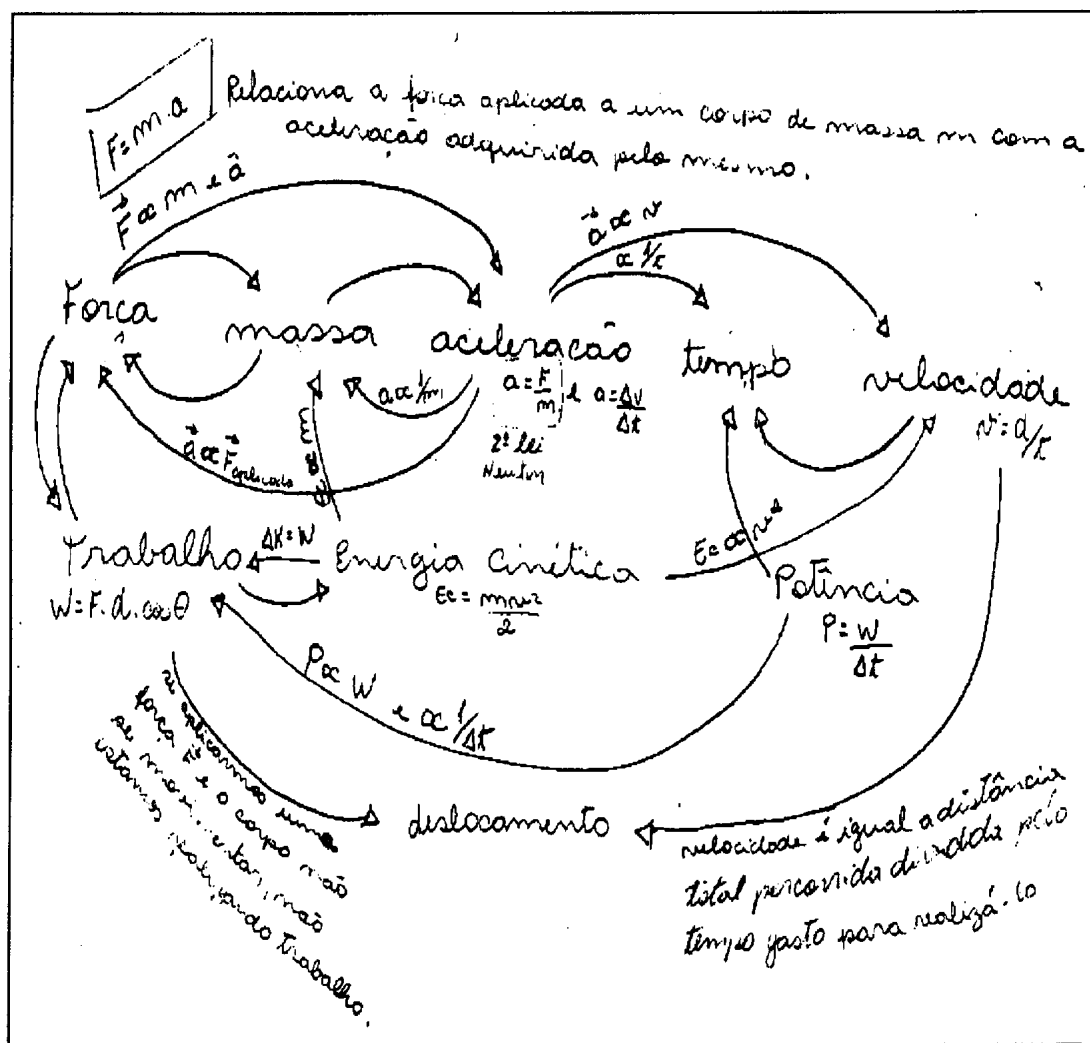
do coeficiente de atrito do corpo pela normal, observa-se que há uma simplificação nas massas, provando, assim, que a aceleração não depende da massa do corpo. Assim sendo a aceleração é igual para um pequeno bloco e um grande bloco no interior de um carro". (Sandra)

Faça uso de explicações e/ou desenhos e/ou equações para descrever com suas próprias palavras ou esquemas, como você entende momento de inércia.

"Podemos fazer uma comparação com o movimento translacional. $F = m \cdot a$ $T = I \cdot \alpha$ o momento de inércia pode ser comparado com a massa. Também podemos dizer que o I é a dificuldade que os corpos têm de se

movimentarem. Isto é, quanto maior o I , maior deverá ser o torque (isto também acontece com o movimento de translação) e também devemos desconsiderar o atrito para esta informação. O momento de inércia está associado ao movimento de rotação. (Ángelo)

A seguir apresentamos o mapa conceitual elaborado por Augusto, aluno pertencente ao grupo dos modelizadores proposicionalistas. Como foi dito, os alunos deste grupo tentavam usar relações não só matemáticas nos seus mapas conceituais.



GRUPO 3: Neste grupo, os estudantes possivelmente trabalhavam com modelos basicamente imagísticos, pois, ao que parece, faziam bastante uso de imagens. Cabe lembrar que imagens, na teoria de Johnson-Laird, são vistas de modelos. Chamamos de modelos basicamente imagísticos aqueles em que o sujeito parece construí-los muito mais a partir de imagens do que de

proposições.

Eles resolviam bem os problemas, pareciam ter uma compreensão prévia dos mesmos antes de resolvê-los e analisavam os resultados obtidos. Conseguiram explicar e prever corretamente as situações físicas apresentadas. Seus mapas conceituais eram mais elaborados que

os dos casos anteriores e continham relações não meramente formulísticas entre os conceitos.

Este grupo é formado pelos alunos (nomes fictícios) dos casos: 8 (Lauro), 10 (Guilherme), 11 (Lígia) e 12 (José Paulo). Seria o grupo dos modelizadores imagísticos. Apresentamos a seguir alguns exemplos de suas respostas (em itálico).

Faça uso de equações e/ou leis e/ou desenhos para dizer o que você por sistema e força interna a um sistema.

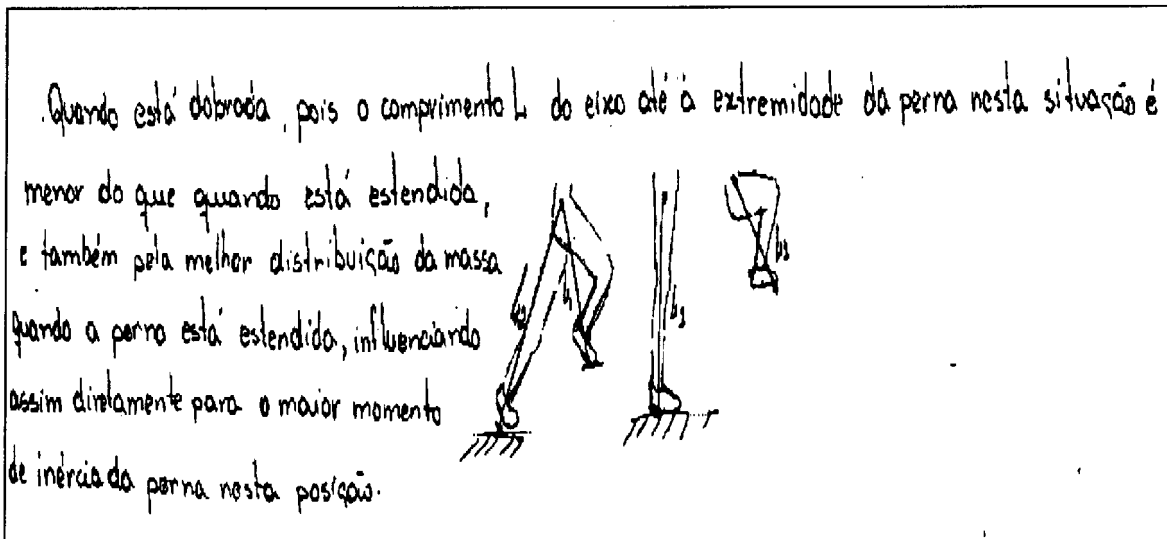
" Por exemplo, se olharmos o sistema formado por dois blocos A e B, uma força externa que age no sistema

é a força que A exerce em B, assim uma força interna é uma força exercida por uma parte do sistema sobre outra parte do sistema. O sistema pode ser escolhido como quisermos". (Lígia)

Quando uma partícula efetua uma trajetória fechada, o trabalho total efetuado por uma força conservativa qualquer é igual a zero.

" Sim pois eles se anulam. Ex: uma bola jogada para cima, a gravidade atua contrária e a favor do movimento". (Lauro)

Observe-se a resposta de Guilherme a uma questão relacionada ao momento de inércia:



Quando uma pessoa inicia uma caminhada num certo sentido, podemos também afirmar que a terra se movimenta no sentido oposto?

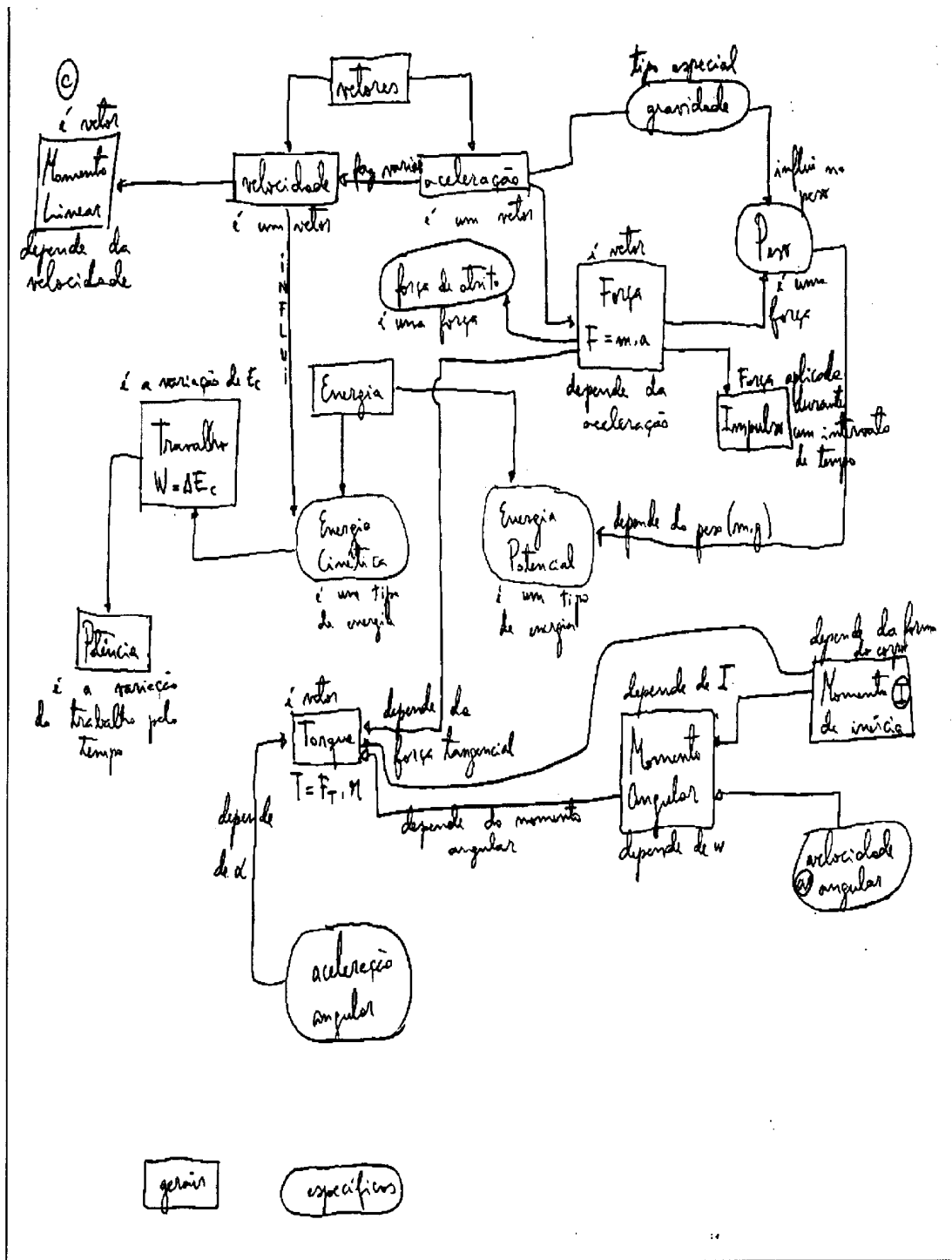
"Se considerarmos o sistema pessoa - terra como um sistema isolado, em que não atue força resultante, $p_i = p_f$.

$P_i = 0$, pois a pessoa está em repouso e a terra também.

$P_f = M.V + m.v p_i = p_f M.v = -m.V$ logo, teoricamente, se uma pessoa caminha em um sentido, a terra se movimenta em sentido oposto. Porém, como a massa da terra é muito maior que a da pessoa, ela com-

pensa a sua velocidade adquirida, que é infinitamente pequena para ser considerada." (José Paulo)

A seguir mostramos o mapa conceitual confeccionado por José Paulo. Este aluno parecia trabalhar basicamente fazendo uso de imagens. Naturalmente isso não aparece no seu mapa conceitual devido à natureza deste instrumento, um diagrama hierárquico de conceitos e relações entre conceitos, mas trata-se de um mapa que sugere uma aprendizagem mais significativa do que nos casos anteriores.



A classificação seguinte foi feita a partir dos núcleos conceituais detectados durante a entrevista e nas interações com os alunos, os quais nos permitiram inferir alguns *modelos mentais estáveis referentes aos conceitos que se destacaram*. Chamamos de núcleos conceituais os conceitos ou grupos de conceitos que apareceram com frequência ao longo do curso, nas respostas dos alunos, e que se destacaram durante a entrevista e

nos mapas conceituais.

GRUPO A: Alunos que tinham o conceito de força relacionado diretamente com o movimento. Esta relação era do tipo: força como agente que causava o movimento; ou seja, todo o movimento necessitava a presença de uma força, assim como a presença de forças envolvia a existência de movimento.

Neste grupo colocamos os alunos (nomes fictícios): caso 1 (Emerson), caso 2 (Patrícia) e caso 4 (Carol). Exemplos de suas externalizações são dados a seguir.

No caso dos pêndulos:

"...tá, elas vão fazer este movimento até parar, até esta força aqui que foi aplicada nesta bola se igualar a zero."

"Se o corpo estiver parado não tem aceleração..."

"...até parar, até esta força se igualar a zero." (Emerson)

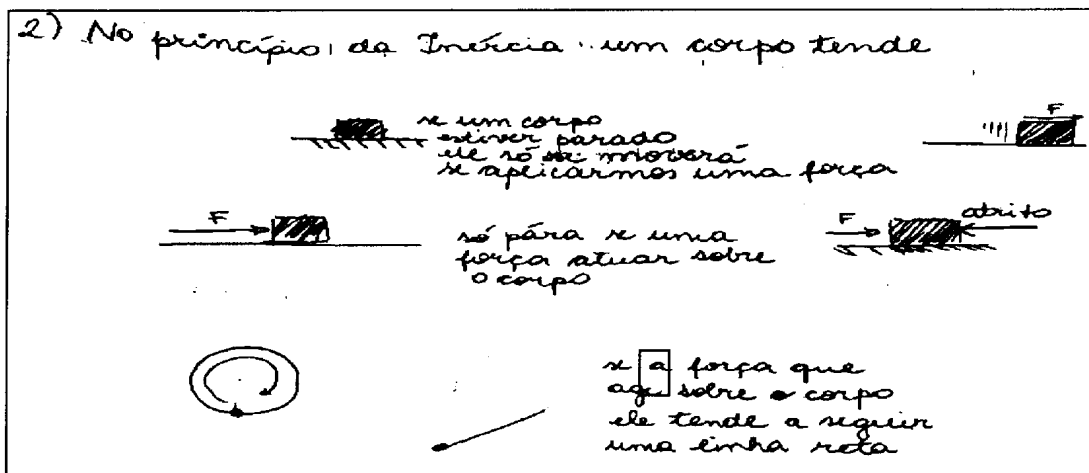
Que forças atuam sobre uma bala que é lançada por um canhão?

"...é sempre um problema, eu nunca sei se a força do canhão entra nessa história, mas eu acho que é só a força peso."

"... eu poderia pensar que existe força do canhão que vem aqui, mas eu sei que não..."

"Eu sempre pensei que tem essa força. Eu aprendi na marra que não, mas..." (Carol)

Vejamos a seguir a resposta de Patrícia a uma questão sobre o conceito de inércia.



GRUPO B: Alunos que pareciam ter um modelo mental ligado à triade *velocidade constante* \Rightarrow *aceleração nula* \Rightarrow *força nula*. Este modelo parecia poder ser aplicado a situações que envolviam a 1ª e 2ª Leis de Newton e permitia resolver bem questões relacionadas com essas leis e fazer previsões. Segundo Johnson-Laird, as pessoas usam modelos mentais para fazer inferências.

Neste grupo encontram-se os alunos (nomes fictícios): caso 3 (Sandra), caso 5 (Ângelo). Seguem-se exemplos.

O que acontece com dois blocos ligados por uma corda, colocados num plano inclinado?

"Para a velocidade ser constante, a aceleração tem que ser zero, né? Então a força tem que ser zero também, não pode ter forças externas ao sistema, a força mg teria que ser contrabalançada com a força de atrito e o somatório das duas dá zero, daí tenho velocidade constante." (Ângelo)

O que acontece com dois blocos ligados por uma corda, colocados num plano inclinado?

"Bom aqui tem um peso... Aqui tem atrito no plano...os blocos vão se decompor, o peso dele em x e num peso aqui que seria...aqui seria a normal que

se anula...Então teria um P_x prá cá, tensão também, então os blocos tenderiam a descer...tô supondo que eles estão descendo com velocidade constante...aceleração nula, força resultante tem que ser igual a zero..." (Sandra)

Eu tenho uma bola e aplico uma força nela com meu dedo. Logo que a bola saiu do contato com meu dedo ela segue carregando a força que eu fiz?

"Tu bateu com uma força, surgiu uma velocidade nela, se não tiver atrito, ... se tu bateu na bola, aí a bola vai com uma velocidade, se não tem atrito essa velocidade dela vai ser constante, com aceleração zero, a força resultante é zero,... a força ... tá, se é certo o que eu disse ela não manteria, porque a força resultante do movimento seria zero, porque a aceleração é zero e a velocidade é constante, a força que tu aplicou foi só pra botar o corpo em movimento". (Sandra)

Dois blocos colocados sobre uma mesa sem atrito, eles estão amarrados por uma corda e a gente está puxando eles. O que vai acontecer?

"... depende, tem vários casos, se ..., se eu usar a minha força aqui...prá velocidade ser constante, a aceleração vai ter que ser zero e a força zero. Sim, no momento em que eles já estão se movendo, né?... a velocidade vai ser constante se nenhuma força externa atuar no sistema. Agora, se eles estão parados e eu

aplicar uma força a velocidade não vai ser constante, porque vai ter aceleração também. (Ángelo)

GRUPO C: Alunos que pareciam ter um modelo mental de *força mais próximo do cientificamente aceito*. Esse modelo aparentava incluir força como interação, pelo menos quando se tratava de corpos em contato. Com esse modelo sobre o conceito de força, eles trabalhavam satisfatoriamente situações que envolviam as leis de Newton e conseguiam fazer previsões.

Neste grupo estão os alunos (nomes fictícios): caso 10 (Guilherme), caso 11 (Lígia) e caso 12 (José Paulo). Vejamos alguns exemplos de suas externalizações.

No caso dos blocos colocados em um plano inclinado e amarrados por uma corda:

"Vai ter uma força F para baixo, que vai ser a soma dos dois ' $m.g.\sin Q$ ', sendo Q o ângulo de inclinação, vai ter as normais, uma força contrária a essa ' $m.g.\sin Q$ ' que vai ser a normal, que é ' $m.g.\cos Q$ ' vezes o coeficiente de atrito cinético, que é a força de atrito e a tensão na corda."

"Se as forças forem iguais o sistema fica parado, ou melhor, se as forças se anulam."

"Se uma das forças for maior, bom, a de atrito pode ser maior e o sistema fica parado, mas se a força que está no sentido descendo o plano for maior, ele vai descer em movimento acelerado. Os dois blocos com a mesma aceleração."

"Sendo a força constante, se a massa variar, a aceleração varia mas, se a força for constante e a massa não variar, a aceleração não varia."

"A velocidade dos blocos vai ser igual mas não vai ser constante por causa que eles estão expostos a gravidade." (Guilherme)

O que acontece quando um canhão dispara uma bala e não tem atrito entre o solo e o canhão

"Se não tiver atrito na superfície que o canhão tá apoiado, a bola vai sair com uma velocidade prá cá e o canhão vai ser empurrado também prá cá."

Por que isso acontece?

"Por que...por que... eu acho que é por causa da força de contato que havia entre os dois. Quando o canhão explodiu a bala, ela também provocou uma força nele que fez ele se movimentar." (José Paulo)

No caso do canhão que lança uma bala.

"A bala vai adquirir uma velocidade e vai para cá, e o canhão vai recuar.... Porque quando ele atira a bala, a bala vai para frente, esta bala vai exercer uma força que é contrária ao canhão, e vai empurrar ele para trás ..."

Qual vai ser a aceleração da bala?

"É... a aceleração da gravidade. Aqui assim, isso é lançamento de projéteis, né? Aqui é MRU.... aqui vai

ser um MRUV..."

Quem provocou este movimento nesta bala?

"Foi a força com que a bala saiu daqui." (Lígia)

Depois que a bala saiu do canhão, tu podes dizer quais são as forças que atuam sobre ela?

"Atua o peso, que é a força da gravidade. Hã, daí...a viscosidade, que se chama, do ar... e só, eu acho." (Lígia)

GRUPO D: Os alunos desse grupo pareciam ter um modelo mental que incluía o conceito de *energia* como alguma coisa que podia ser transferida (quando existe contato entre corpos) *ou transformada* (quando o corpo está em determinadas situações).

Neste grupo estão os alunos (nomes fictícios): caso 5 (Ángelo), caso 9 (Antenor) e caso 10 (Guilherme).

Eu tenho uma bolinha de massa m , de aço, e aqui também, eu jogo uma contra a outra... Caso 1 as massas são iguais e caso 2 a massa que está parada é maior que a outra. O que acontece?

"Colisão elástica. Elas são feitas do mesmo material e têm a mesma massa, a energia dessa bolinha que tá descendo vai ser transferida toda para esta aqui, então no caso a que desce bate e fica parada e essa aqui sobe na mesma amplitude. E nesse caso aqui, sendo a massa maior no caso, ela vai descer, também essa energia vai ser transferida para essa, mas não totalmente, ela vai ter um recuo e essa aqui vai subir..."

"A potencial vai diminuindo e a cinética vai aumentando, aqui é o ponto de energia cinética máxima, onde ocorre a colisão, então a energia cinética máxima vai ser transferida para essa, que vai subir até atingir o mesmo nível de energia potencial inicial da outra bolinha." (Guilherme)

Dois blocos colocados em um trilho sem atrito com dois anteparos nas extremidades, e comprimidos por uma mola. Um dispositivo libera esses blocos. O que vai acontecer? Por que?

"Os dois blocos vão ser lançados nas direções dos anteparos, no sentido para fora da mola, ... vão se chocar no anteparo e voltar...Porque inicialmente o sistema tinha uma energia potencial aqui, no momento em que a mola saiu, transformou isso em energia cinética, que foi repassada aos dois blocos." (Ángelo)

O que acontece quando pêndulos de mesma massa e de massas diferentes se chocam?

"No caso de massa iguais, quando a bola é lançada prá cá, a velocidade que tinha essa bola é transferida para essa aqui, porque tem a mesma massa e essa aqui pára no instante que se chocar com essa...No segundo caso, como a massa dela é menor, ela vai voltar prá cá e não vai mexer com esta bola grande."

" Por que isto ocorre?...Bom...aqui ocorre uma transferência de energia, né? Quer dizer, a energia cinética do sistema tem que ser igual, então a energia cinética que tem esta aqui vai se transformar, vai passar pra esta aqui...e a energia potencial que tinha essa aqui, vai ficar com esta aqui, então esta aqui fica parada e esta continua aqui....E no segundo caso, aqui tem... é que aqui a energia cinética é pequena... não é grande o suficiente para modificar a energia potencial aqui, nesse estado...essa energia cinética aqui passa prá essa bola aqui, só que como a massa dela é muito grande ele transforma de novo prá energia cinética dessa aqui, aí ela volta prá cá." (Ángelo)

Eu tenho dois pêndulos de massas iguais, e eu largo um contra o outro, o que acontece?

" Tenho a impressão que essa aqui vai passar toda a energia dela para esta aqui que vai subir com a mesma velocidade que essa aqui tinha... e a outra vai parar."

E se uma das bolinhas tem massa maior?

" A com massa maior talvez saia... não sei se sai com a velocidade da menor... não tenho muita certeza... Aí ela batera, voltaria ... e a com massa maior sairia. Acredito que com a velocidade que estava a com massa menor, ou... menos..." (Antenor)

Dois blocos colocados em um trilho sem atrito com dois anteparos nas extremidades, e comprimidos por uma mola. Um dispositivo libera esses blocos. O que vai acontecer? Por que?

"Quando eu largar os blocos, eles vão, um para cada lado, batem na parede, voltam... vão bater na parede e voltar... e aí a mola vai dar energia para eles..." (Antenor)

GRUPO E: Aqui estão os alunos que não conseguimos, através do material pesquisado, identificar possíveis modelos mentais que esses alunos teriam, se é que teriam modelos elaborados, sobre os conceitos abordados por eles na entrevista.

Neste grupo se enquadram os alunos (nomes fictícios): caso 6 (Augusto), caso 7 (Roger), caso 8 (Lauro) e caso 13 (Júlia).

V Conclusão

É possível que a dificuldade que os alunos têm para formar modelos mentais sobre os conceitos físicos que lhes são apresentados se deva ao fato de que eles, de um modo geral, são ensinados proposicionalmente, ou seja, devem aprender regras isoladas, sem relacionar conceitos e/ou aspectos da matéria à construção de modelos mentais.

No nosso caso, os alunos se preparavam para os testes com roteiros de estudo baseados no livro adotado pela disciplina de Física Geral I da UFRGS, o Halliday & Resnick, onde encontramos um conjunto de regras que, supostamente, fazem parte de um modelo e ajudariam a construir modelos mentais que englobassem os conteúdos de mecânica newtoniana. Mas, a maioria dos alunos não conseguiu formar modelos mentais consistentes com os modelos conceituais cientificamente compartilhados após terem estudado basicamente através do livro.

Uma apresentação basicamente proposicional do conteúdo é característica dos livros de texto utilizados nas disciplinas de Física Geral, nos quais as teorias científicas aparecem como estruturas acabadas, regidas principalmente por considerações de consistência formal. Fenômenos, leis e suas expressões matemáticas são apresentados de acordo com o livro de texto e a avaliação da aprendizagem do aluno é realizada através de problemas que não requerem uma tomada conceitual. Esse tipo de abordagem não favorece a construção de modelos mentais adequados à interpretação científica. Este tipo de ensino somente reforça as crenças dos alunos de que aprender Física é saber as leis, princípios e equações que aparecem nos manuais, ou seja, aprender proposições não integradas a modelos, sem questionar a coerência ou a necessidade de uma compreensão conceitual que modifique seu próprio conhecimento.

Provavelmente, insistindo mais sobre a parte conceitual, ou encarando o ensino a partir de considerações ou discussões qualitativas das teorias, seja possível facilitar a formação de modelos mentais e inclusive facilitar a resolução de problemas.

Sobre a metodologia de pesquisa empregada, cremos que para a nossa investigação ela parece ter sido válida. O uso do Sistema de Instrução Personalizado (método Keller) permitiu uma forte interação professores e alunos e entre monitores e alunos, possibilitando aos monitores e aos professores/pesquisadores terem uma boa visão de cada aluno, conhecê-los, saber como eram, como trabalhavam, quais suas características de raciocínio, suas dificuldades, suas limitações.

Queremos ainda salientar que a nossa pesquisa foi feita em condições normais de sala de aula, motivo pelo qual acreditamos que seus resultados possam estar mais próximos aos vivenciados pelos professores. Além disso,

é importante lembrar que esta foi uma pesquisa "a longo prazo", onde se seguiu o desenvolvimento dos alunos; não foram simplesmente aplicados testes de questões pontuais.

Em alguns casos, foi difícil a identificação dos modelos mentais pois, de fato, inferir o que é que as pessoas têm nas suas cabeças, ainda que de uma forma mais simplificada possível, é uma tarefa sumamente difícil. Não estávamos buscando as concepções alternativas dos alunos, estávamos tentando identificar os modelos mentais em que essas concepções possivelmente estariam baseadas. Procurávamos o que estaria por trás dessas concepções, mas tivemos mais êxito na caracterização "proposicionalistas", "modelizadores proposicionalistas" e "modelizadores imagísticos".

Achamos relevante ressaltar neste espaço a importância deste trabalho para os professores, visto que os modelos mentais não seriam concepções alternativas isoladas que pudessem ser substituídas simplesmente e sim construções mentais mais elaboradas e complexas. Eles envolvem uma outra forma de representar os fenômenos e com essa outra forma interpretam aquilo que é dado na sala de aula.

O que ensinamos são modelos conceituais, i.e., modelos projetados para facilitar a compreensão e o ensino, mas os alunos operam mentalmente com modelos mentais para fazerem suas inferências. (Aliás, os professores e os que inventam os modelos conceituais também operam mentalmente com tais modelos). Mas os modelos mentais têm apenas o compromisso da funcionalidade: se funcionam bem para o indivíduo ele os mantém assim, se não funcionam são modificados recursivamente para acomodar novas condições.

Para terminar, queremos dizer que este trabalho é mais um estudo, com um marco referencial novo, dentro da pesquisa na área de ensino de Física e que para nós o valor deste estudo é que seus resultados nos deram pistas sobre a importância dos modelos mentais na compreensão dos conceitos físicos e de continuar pesquisando nessa linha.

Referências

- GENTNER, D., STEVENS, A. L. (Eds.) *Mental models*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum, 1983.
 GRECA, I. *Tipos de representações mentais - modelos, proposições e imagens - utilizadas por estudantes de física geral sobre o conceito de campo*

eletromagnético. Porto Alegre: Curso de pós-graduação em Física - UFRGS, 1995. Dissertação de mestrado em Física.

GRECA, I., MOREIRA, M. A. Un estudio piloto sobre representaciones mentales, imagenes, proposiciones y modelos mentales respecto al concepto de campo electromagnético en alumnos de física general, estudiantes de postgrado y físicos profesionales. *Investigaciones em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v.1, n. 1, p. 95-108, abr. 1996.

GRECA, I., MOREIRA, M. A. The kinds of mental representations - models, propositions and images - used by college physics students regarding the concept of field. *International Journal of Science Education*, London, v. 19, n. 6, p. 711-724, 1997.

HALLIDAY, D., RESNICK, R. *Fundamentos de Física*. 3. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1994. v. 1.

JOHNSON-LAIRD, P. N. *Mental models*. Cambridge: Cambridge University Press, 1983.

JOHNSON-LAIRD, P. N. Modelos mentales en ciencia cognitiva. NORMAN, D. A. *Perspectivas de la ciencia cognitiva*. Barcelona: Ediciones Paidós, 1987. p. 179 - 231.

JOHNSON-LAIRD, P. N. Mental models. In: POSNER, M. (Ed.) *Foundations of cognitive science*. Cambridge: MIT, 1990. p. 469-499.

MOREIRA, M. A. Cambio conceptual: crítica a modelos actuales y una propuesta a la luz de la teoría del aprendizaje significativo. In: INTERNATIONAL CONFERENCE SCIENCE AND MATHEMATICS EDUCATION FOR THE 21st. CENTURY: Towards innovatory approaches, 1994. Concepción, Chile. Concepción: Universidad de Concepción, 1994. p. 81-92.

MOREIRA, M. A. O Sistema de Instrução Personalizada. In: *Ação Docente na Universidade*. Porto Alegre: Editora da Universidade, 1983.

MOREIRA, M. A., BUCHWEITZ, B. *Novas estratégias de ensino e aprendizagem*. Lisboa. Plátano Edições Técnicas, 1993.

MOREIRA, M. A., GRECA, I. *Concept mapping and mental models*. Meaningful Learning Forum, U.S.A, 1996.

MOREIRA, M. A. Modelos Mentais. Em: ENCONTRO SOBRE TEORIA E PESQUISA EM ENSINO DE CIÊNCIAS - LINGUAGEM, CULTURA E COGNIÇÃO, 1997, Minas Gerais. *Anais*. Belo Horizonte: Faculdade de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais, 1997. p. 163-186.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa: um conceito subjacente. In: ENCUESTRO INTERNACIONAL SOBRE EL APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO, 1997, Burgos. MOREIRA,

M.A. et al. (Orgs.) *Actas*. Burgos: Universidade de Burgos, 1997. p. 19-44.

NORMAN, D. A. *Perspectivas de la ciencia cognitiva*, Barcelona, Ediciones Paidós, 1987. p. 179 - 231.

PINTÓ, R. ALIBERAS, J., GÓMEZ, R. Tres enfoques de la investigación sobre concepciones al-

ternativas. Departament de Didáctica de la Matemàtica i de les Ciències Experimentals. Universitat Autònoma de Barcelona. Enseñanza de las Ciencias. Barcelona, v. 14, n. 2, p. 219-225, jun. 1996.

RESNICK, L. B. *Knowing learning and instruction*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum, 1989.