

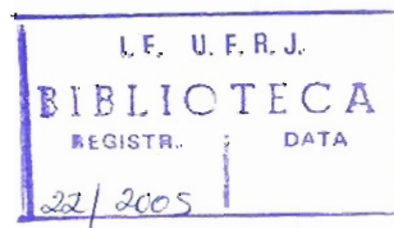
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FÍSICA

O USO DA AVALIAÇÃO FORMATIVA E DOS MODELOS MENTAIS EM BUSCA DE UMA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Ricardo de Oliveira Freitas

Monografia realizada sob orientação do Professor Dr.
Francisco Arthur Braun Chaves
Apresentada ao Instituto de Física da UFRJ em
preenchimento dos requisitos para obtenção do título de
Licenciatura em Física

Rio de Janeiro, 2005



Resumo

Neste trabalho apresento a possibilidade de se utilizar as representações mentais formadas pelos estudantes ao longo do período letivo, em suas tarefas pedagógicas, como um recurso adicional que os professores possam usar para avaliar se seus alunos estão tendo uma aprendizagem significativa. O trabalho é baseado nas teorias de Aprendizagem Significativa de David Ausubel e dos Modelos Mentais de Johnson-Laird.

Nosso estudo baseou-se numa pesquisa bibliográfica em artigos, revistas e teses, onde se buscou uma forma de interligar as duas teorias através da avaliação formativa. Ao final do trabalho são apresentados alguns exemplos de representações mentais de estudantes de tese de mestrado, tipos de representações mentais, utilizadas por estudantes de física geral, na área de mecânica clássica e possíveis modelos mentais, nessa área, de Maria do Carmo Baptista Lagreca.

Índice

1. INTRODUÇÃO	3
2. O PAPEL DA AVALIAÇÃO NO ENSINO.....	5
2.1 Avaliação diagnóstica.....	5
2.2 Avaliação somativa.....	6
2.3 Avaliação formativa.....	6
3. APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA VS APRENDIZAGEM MECÂNICA.....	7
3.1 Aprendizagem por descoberta e aprendizagem por recepção.....	8
3.2 Assimilação.....	9
3.3 Aprendizagem subordinada.....	10
3.4 Aprendizagem superordenada.....	11
3.5 Avaliação da aprendizagem significativa.....	11
4. MODELOS MENTAIS.....	14
4.1 Teorias cognitivas e a analogia computacional	15
4.2 Os modelos mentais.....	16
4.2.1 A natureza dos modelos mentais.....	17
4.2.2 A tipologia dos modelos mentais.....	18
5. O USO DOS MODELOS MENTAIS PARA A AVALIAÇÃO DE APRENDIZAGENS SIGNIFICATIVAS.....	22
5.1 Metodologia da Pesquisa.....	24
5.2 Registros, Dados, Análise, Resultados.....	26
5.2.1 Caso 1 - Representante dos proposicionalistas.....	28
5.2.2 Caso 2 - Representante dos modelizadores basicamente proposicionais.....	31
5.2.3 Caso 3 - Representante dos modelizadores basicamente imagísticos.....	34
5.3 Conclusão da Autora.....	41
5.4 Conclusão	42
6. BIBLIOGRAFIA.....	43

Índice de figuras

<i>Figura 1: o continuum aprendizagem mecânica – aprendizagem significativa</i>	8
<i>Figura 2: esquema de assimilação</i>	9
<i>Figura 3: esquema da assimilação obliteradora</i>	10
<i>Figura 4: exemplo de um mapa conceitual</i>	12
<i>Figura 5: exemplo de um Vê Epistemológico</i>	13
<i>Figura 6: mapa conceitual feito por Emerson</i>	30
<i>Figura 7: resposta de José Paulo sobre momento de inércia</i>	36
<i>Figura 8: exercício resolvido por José Paulo envolvendo conservação de energia</i>	37
<i>Figura 9: mapa conceitual feito por José Paulo</i>	38

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

Frequentemente, no diário de um professor de física, as notas de maior parte de seus alunos são baixas, isso geralmente acarreta frustrações, tanto no professor quanto nos alunos. O professor se sente desprestigiado pelo fato de seus alunos não estarem se esforçando o suficiente para conseguirem melhores rendimentos e os alunos se sentem desorientados, pois por mais que estudem e se esforcem não conseguem notas boas nos testes e provas. É papel tanto do professor quanto dos alunos procurarem meios para mudar esta realidade. Mas tanto esforço, de ambas as partes, na tentativa de mudar isso pode fazer com que se passe despercebido por ambos um outro problema tão grave quanto o anterior. Quando os alunos estão tendo notas boas mas suas aprendizagens estejam deixando a desejar.

A principal meta da maioria dos estudantes em frente a uma avaliação é obter uma boa nota, a forma como cada estudante busca isso é que varia conforme cada um. O problema que pode ocorrer é do aluno não estar estudando da forma mais adequada, se preocupando apenas em memorizar as principais fórmulas e como usá-las, fazer exercícios semelhantes, não se preocupar em entender os conceitos apresentados... Estudando desta forma o aluno pode até conseguir uma nota boa na avaliação, caso ela não seja bem preparada, mas tudo que o aluno “aprendeu” nos últimos dias não teve um real significado para ele, não fazendo nenhuma relação com qualquer outro conhecimento prévio que ele pudesse ter. O aluno está “aprendendo” mecanicamente o que estuda e esse aprendizado terá uma serventia muito curta para ele. Com o prosseguimento da matéria, novas frustrações vão surgindo nos alunos e eles começam a declarar abertamente estas frustrações: “eu não consigo aprender isto...”; “professor, eu não sei nem começar este exercício...”; “para que isto vai servir na minha vida?” Este tipo de comportamento é previsível, normalmente os conceitos apresentados se baseiam em conhecimentos prévios que os alunos deveriam estar familiarizados mas como eles não aprenderam estes conhecimentos o entendimento dos novos conceitos fica muito prejudicado e estudar física passa a se tornar uma tarefa aborrecida.

Diagnosticar este problema é uma tarefa difícil, verificar se o aluno está tendo uma aprendizagem significativa é uma preocupação que sempre deve estar presente na conduta do professor e para isso ele deve atuar diariamente com o intuito de verificar isto. A avaliação somativa é um recurso muito escasso para conseguir este objetivo, provas, testes e trabalhos não fornecem um material muito amplo para o professor analisar, ele deve estender essa avaliação para conseguir identificar possíveis dificuldades de aprendizagem que os alunos possam estar tendo e então trabalhar para mudar isto. Quando o resultado da avaliação deixa de ser apenas uma nota no diário e passa a se tornar um instrumento para auxiliar as aprendizagens dos alunos, a avaliação se torna formativa.

A uma avaliação formativa precede sempre uma intervenção, geralmente individualizada, onde o intuito é diagnosticar as dificuldades dos alunos e tentar perceber suas técnicas de estudo, seu estilo de aprendizagem e sua forma de raciocínio. A partir destas informações, além de servirem ao professor como base para auxiliar os alunos, podem ser utilizadas, também, para avaliar as próprias aulas e adequar o conteúdo à turma.

Entretanto, o uso da avaliação formativa nem sempre pode trazer os resultados desejados, como afirmado anteriormente, e após uma avaliação formativa sempre deverá vir uma intervenção cujo propósito é regular a aprendizagem do aluno, mas que garantias tem o educador que sua intervenção está ajudando o aluno? Como o professor saberá que está contribuindo para que o aluno tenha uma aprendizagem significativa?

“Para a maioria dos professores a mente do aluno permanece uma caixa preta, na medida em que o aí se passa não é diretamente observável. É difícil reconstituir todos os processos de raciocínio, de compreensão, de memorização, de aprendizagem a partir daquilo que se diz ou faz o aluno, porque nem todo o funcionamento se traduz em condutas observáveis e porque a interpretação destas últimas mobiliza uma teoria inacabada da mente e do pensamento, das representações, dos processos de assimilação e de acomodação, de diferenciação, de construção, de equilíbrio das estruturas cognitivas.” [PERRENPOUD,1999]

Uma das muitas teorias que tentam explicar como o ser humano raciocina, utiliza seus conhecimentos perante problemas e desafios é a teoria dos modelos mentais. De acordo com Johson-Laird os modelos mentais são aspectos cognitivos temporários que as pessoas constroem quando se envolvem com um desafio ou um problema. Quanto mais elaborado for seu modelo mental mais capacitada está esta pessoa para tentar resolver o problema ou desafio que surgiu na sua frente.

No aspecto educacional podemos dizer que um estudante que use modelos mentais para resolver suas atividades teria alguma compreensão dos conceitos envolvidos, não se utilizando apenas de fórmulas ou definições de conceitos retirados do livro, caracterizando assim o que seria uma aprendizagem significativa. Nem todo modelo mental é cientificamente aceito mas ele é funcional para o estudante que o cria, através dele o estudante pode tentar explicar as situações presentes nas atividades escolares. O aluno que não consegue elaborar um modelo mental se baseia fortemente em fórmulas, suas definições para alguns conceitos físicos são idênticas às definições dadas pelo livro didático, este aluno tem dificuldades em resolver exercícios semelhantes e quando é questionado sobre um determinado fenômeno físico, limita-se a fazer observações visuais do fenômeno ou então utiliza as concepções alternativas que possui, estas, geralmente, em desacordo com a ciência. Pode-se afirmar que este aluno tem tido uma aprendizagem mecânica. Desta forma os modelos mentais podem se tornar um útil recurso na avaliação das aprendizagens.

Capítulo 2

O PAPEL DA AVALIAÇÃO NO ENSINO

A avaliação é um julgamento de mérito do(s) avaliador(s) em relação a uma entidade, no caso educacional, o avaliador é o professor ou uma banca formada por professores e a entidade a ser avaliada é o aluno. Basicamente, a avaliação do professor determina se o aluno adquiriu conhecimentos adequados ou suficientes em um período letivo, o professor julga se o aluno tem condições de ser aprovado ou conseguir um certificado de conclusão. Já que a avaliação, além de ser um instrumento fundamental do processo educativo, possui esse “poder” de determinar o futuro dos estudantes, nada é mais óbvio de que estudos, teses, pesquisas fossem feitos acerca das avaliações.

Para Nevo (1990), quase tudo pode ser objeto de avaliação, sendo que a avaliação das aprendizagens constitui apenas uma parte da avaliação do sistema educativo, mas como o estudo da avaliação do sistema educativo foge ao escopo desse trabalho, basicamente, apenas a avaliação das aprendizagens será tratada.

A avaliação aplicada à educação começa a ser discutida com Tyler, sendo considerado o pai da avaliação educacional. Ele considera-a como sendo uma comparação constante entre os resultados dos alunos, ou o seu desempenho e objetivos, previamente definidos. Os mais diversos autores possuem definições e considerações próprias a respeito das avaliações. Dependendo dos autores consultados pode haver diferenças nas finalidades que uma avaliação possui.

Para Perrenoud (1999), se a avaliação é aplicada apenas com a finalidade de certificar os alunos, a escola acabará reproduzindo as desigualdades sociais, já que nas classes os melhores alunos serão os de classes sociais mais elevadas e no futuro terão melhores condições de disputar melhores empregos, perpetuando desta forma a desigualdade. Entretanto, a avaliação possui outras finalidades além da certificativa, para Bloom, por exemplo, a avaliação pode ter uma função diagnóstica, formativa ou somativa.

2.1 Avaliação diagnóstica

A avaliação diagnóstica tem a finalidade de verificar se os estudantes possuem determinados conhecimentos necessários para conseguirem aprender o que será exposto pelo professor. Serve também para identificar problemas, no início de novas aprendizagens, servindo de base para decisões posteriores, através de uma adequação do ensino às características dos alunos.

A avaliação diagnóstica tem maior aproveitamento quando é aplicada no início do período letivo ou de uma nova unidade de ensino. Quando usada conjuntamente com a teoria de David Ausubel pode ser utilizada para identificar os subsunçores possuídos, ou não, pelos alunos.

2.2. Avaliação somativa

A avaliação somativa caracteriza-se por estabelecer se o aluno adquiriu as competências necessárias para prosseguir na sua vida acadêmica ou conseguir a certificação de conclusão do curso, para que isso seja feito de uma forma justa é necessária uma escolha criteriosa de objetivos relevantes, seguindo critérios de representatividade e de importância relativa, de modo que seja possível realizar um julgamento global e de síntese, sendo que uma ênfase particular deva ser dada aos objetivos curriculares mínimos, sejam estes definidos nos Planos Curriculares Nacionais e também nos programas das escolas.

O principal instrumento deste tipo de avaliação são testes e provas mas também são muito comuns trabalhos e seminários. A avaliação somativa é aplicada em intervalos de tempos regulares, a cada uma dessas avaliações é atribuída uma nota que serviria como uma medida dos conhecimentos que o aluno reteve e sua capacidade de transferir estes conhecimentos para uma situação nova.

A avaliação somativa presta-se à classificação, mas não se esgota nela, nem se deve confundir com esta, podendo, evidentemente, existir avaliação somativa sem classificação. A avaliação somativa (como as restantes formas de avaliação) pode assumir uma expressão qualitativa ou quantitativa.

2.3 Avaliação Formativa

A avaliação formativa não tem como objetivo classificar ou selecionar, fundamenta-se nos processos de aprendizagem, em seus aspectos cognitivos, afetivos e relacionais; baseia-se em aprendizagens significativas e funcionais que se aplicam em diversos contextos e se atualizam quando for necessário a continuidade do aprendizado.

Uma avaliação normativa geralmente é aplicada em momentos específicos ou quando uma condição é satisfeita, ao final de cada bimestre ou ao final de uma sequência de capítulos por exemplo. Para a avaliação formativa não existe este momento adequado, já que ela é praticada durante todo o período letivo. O auxílio que o professor dá ao aluno em dificuldade, em textos de apoio, em alguns instantes entre as aulas, etc.

Uma diferença fundamental entre a avaliação normativa e a formativa é que na avaliação normativa toda a classe é avaliada conjuntamente, enquanto que a avaliação formativa é individual. Embora uma avaliação individualizada seja muito mais trabalhosa que uma avaliação conjunta, ela é muito mais coerente pois os alunos têm métodos de aprendizagem diferentes, dificuldades diferentes, motivações diferentes, enfim eles são pessoas diferentes. Pensar em provas diferenciadas para os alunos provavelmente encontraria uma forte resistência, mas métodos diferentes de recuperação talvez sejam melhor aceitos. Alguns professores e instituições usam algumas formas de melhorar a nota do aluno durante o período letivo, algumas escolas adotam uma recuperação bimestral outras intercalam um trabalho para a classe em determinados bimestres, alguns professores aplicam exercícios que somarão pontos na prova ou na média. Mas estas intervenções não são individualizadas, o trabalho é o mesmo para toda a classe, os exercícios são os mesmos, por que não fazer um trabalho um pouco mais diferenciado? Por que dois alunos que erraram tópicos diferentes na prova têm que fazer a mesma recuperação?

Capítulo 3

APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA VS APRENDIZAGEM MECÂNICA

Aprendizagem significativa é um conceito enfatizado por David Ausubel desde a década de 1960 em que o significado lógico do material de aprendizagem se transforma em significado lógico para o aprendiz, que o ensino e a aprendizagem não poderiam ser apenas examinados como estímulos, respostas e reforços.

“Para Ausubel, aprendizagem significativa é um processo por meio do qual uma nova informação se relaciona, de maneira substantiva (não literal) e não arbitrária, a um aspecto relevante da estrutura cognitiva do indivíduo. Isto é, nesse processo a nova informação interage com uma estrutura de conhecimento específica a qual Ausubel chama de “conceito subsunçor” ou, simplesmente, “subsunçor”, existente na estrutura cognitiva de quem aprende.

O “subsunçor” é, portanto um conceito, uma idéia, uma proposição, já existente na estrutura cognitiva, capaz de servir de “ancoradouro” a uma nova informação de modo que este adquira, assim, significado para o sujeito (i.e., que ele tenha condições de atribuir significados a essa informação.” [MOREIRA, 1999]

Pode-se, então afirmar que ocorrerá aprendizagem significativa quando um novo conhecimento encontra informações, idéias, conceitos, proposições relevantes, claras e inclusivas (subsunçores) na estrutura cognitiva do indivíduo e utiliza este conhecimento preexistente como ponto de apoio para o novo conhecimento.

Entretanto, a aprendizagem significativa não se limita em apenas encontrar subsunçores adequados ao novo conhecimento, mas também em modificações significativas em atributos relevantes destes subsunçores. Em física, por exemplo, se os conceitos de força e campo já existem na estrutura cognitiva do aluno, eles poderão ser usados como subsunçores para novos conhecimentos referentes a campo e força como, por exemplo, a força e o campo eletromagnético. Todavia, esse processo de ancoragem da nova informação resulta em crescimento e modificação dos conceitos subsunçores (força e campo). Isso significa que os subsunçores existentes na estrutura cognitiva podem ser abrangentes, bem elaborados, claros, estáveis ou limitados, pouco desenvolvidos, instáveis, dependendo da frequência e da maneira como serviram de ancoragem para as novas informações e com elas interagiram.

Atuando de forma oposta à aprendizagem significativa, Ausubel propôs a aprendizagem mecânica onde o conteúdo que é apresentado ao aluno não tem significado, importância para ele, desta forma os novos conhecimentos não interagem com os conhecimentos já adquiridos pelo indivíduo, consequentemente a nova informação é armazenada de uma maneira arbitrária e literal.

A simples memorização de fórmulas, leis, datas, definições pode ser compreendida como uma aprendizagem mecânica, assim como a maioria das “aprendizagens” de véspera de prova que tem relevância apenas para aquele momento específico e depois é esquecida. [MOREIRA, 1999]

Embora a aprendizagem significativa seja preferida à aprendizagem mecânica, isto não significa que esta não tenha seu valor, mesmo na aprendizagem mecânica pode existir algum tipo de associação, ela apenas não interage com os outros conhecimentos do estudante. Em alguns momentos a aprendizagem mecânica pode ser útil ou até mesmo necessária, como no início de um novo campo de estudo.

Ausubel tenta estabelecer a aprendizagem como uma atividade progressiva e não como uma dicotomia entre a aprendizagem significativa e mecânica, na realidade elas seriam os extremos de um “continuum” de aprendizagem, onde a simples memorização das fórmulas situar-se-ia em desses extremos (o da aprendizagem mecânica) enquanto que a aprendizagem das relações entre os conceitos estaria no outro extremo (o da aprendizagem significativa).

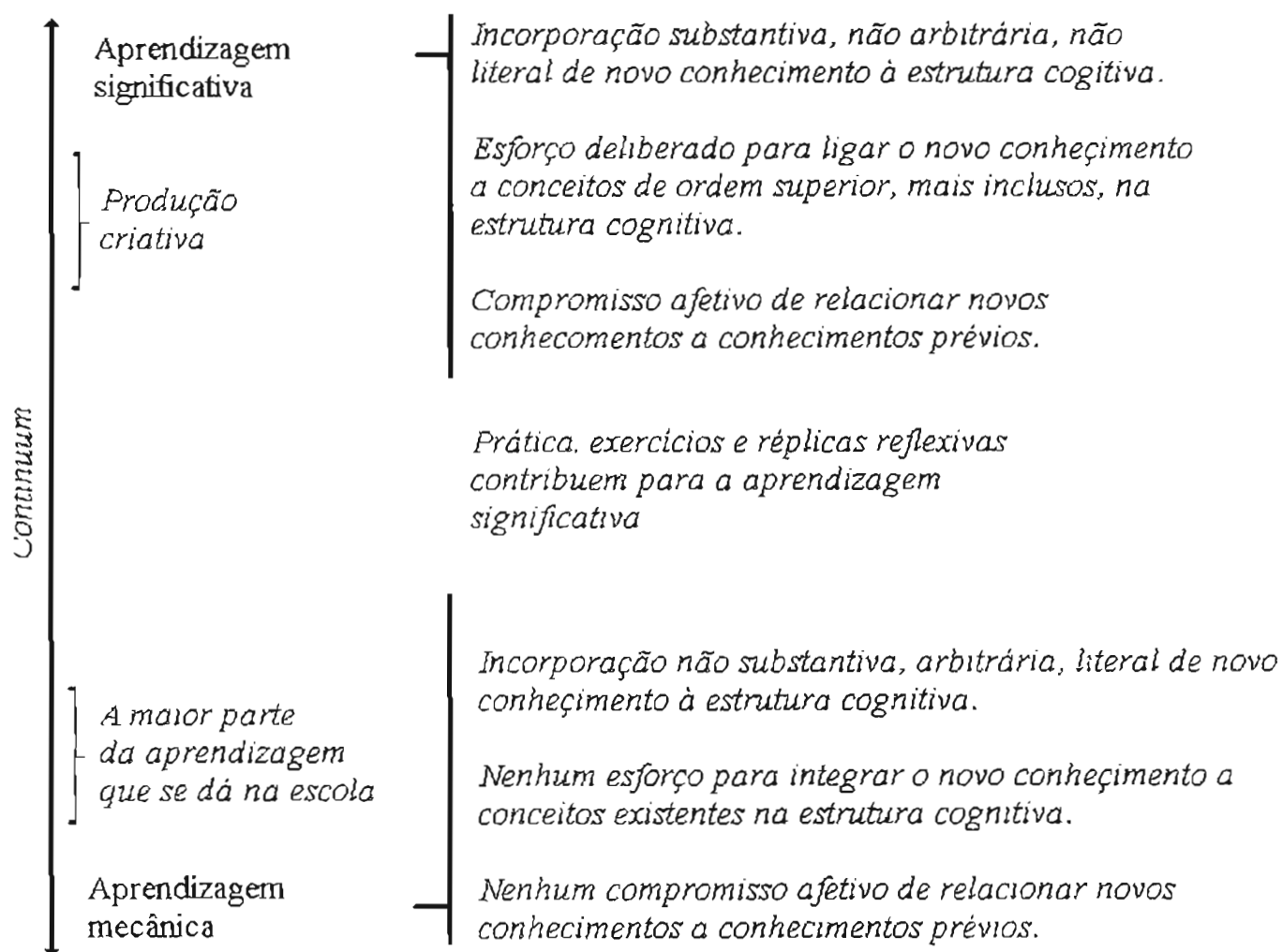


FIGURA1 - O continuum aprendizagem mecânica-aprendizagem significativa
Moreira (1999)

3.1 Aprendizagem por descoberta e aprendizagem por recepção

Dependendo da forma em que os novos conteúdos são apresentados ao aluno ele poderá aprender de duas formas distintas, aprendizagem por recepção ou aprendizagem por descoberta. Na aprendizagem

por recepção o que deve ser aprendido é apresentado ao estudante em sua forma final, enquanto que na aprendizagem por descoberta o conteúdo principal deve ser descoberto pelo aluno.

Para Ausubel ambas as formas de aprendizagem podem ser potencialmente significativas já que o que for ensinado apenas será aprendido se o conteúdo estabelecer uma relação com conceitos subsunçores relevantes já existentes na estrutura cognitiva. Isto significa que a aprendizagem por descoberta não é necessariamente significativa, nem a aprendizagem por recepção obrigatoriamente mecânica.

Na escola a principal forma de aprendizagem se dá por recepção já que na maioria das vezes os professores apresentam para o aluno o conteúdo em sua forma final, em física e química por exemplo o conteúdo é apresentado através de um modelo conceitual enquanto que os fenômenos físicos ou químicos geralmente sequer são demonstrados. Esse tipo de abordagem de ensino é frequentemente critica pelos defensores da aprendizagem por descoberta, entretanto, do ponto de vista de Ausubel é infundada pois em nenhum momento o aluno obrigatoriamente deve descobrir os conteúdos para que possa usá-los de forma significativa.

3.2 Assimilação

Quando ocorre a aprendizagem significativa ocorre na estrutura cognitiva do estudante um processo que Ausubel definiu como assimilação. Neste processo a informação potencialmente significativa é incorporada pelo conceito subsunçor no qual ela está se "ancorando". O processo de assimilação pode ser representado pelo seguinte esquema:

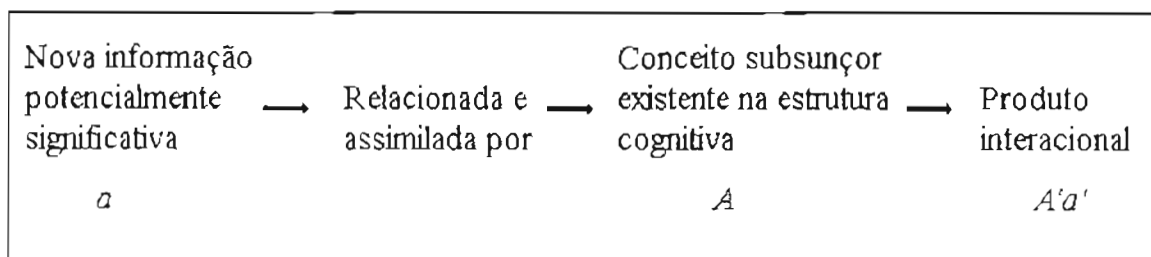


FIGURA 2 – Esquema de assimilação [Moreira, 1999]

Pelo esquema pode-se perceber que não é apenas a nova informação a , mas também o subsunçor A que são modificados pela interação.

Por exemplo, se o conceito de força gravitacional (Peso) deve ser aprendido por um aluno que possui o conceito de força bem estabelecido, o novo conhecimento (força gravitacional) será assimilado pelo conceito mais inclusivo (força) que o aluno já possuía. Considerando que a força peso é interação à distância o próprio conceito de força de força será alterado, irá se tornar mais inclusivo. (isto é, o seu conceito de força compreenderá também interações à distância).

Certamente o produto interacional ainda pode sofrer modificações com o passar do tempo. Portanto o processo de assimilação não é algo que termina, que tenha um fim, e sim que continua e pode envolver novas aprendizagens.

Por um período de tempo variável o produto interacional $A'a'$ pode ser reproduzido como entidades individuais:

$$A'a' \leftrightarrow A' + a'$$

Mas logo após a aprendizagem significativa começa o segundo estágio da assimilação: a *assimilação obliteradora*. As novas informações tornam-se, espontânea e progressivamente menos dissociáveis de suas idéias-âncoras (subsunçores) até que não estejam mais disponíveis, isto é, não mais reproduzíveis como entidades individuais, sendo assim, o produto interacional $A'a'$ reduz-se a A' . Isto ocorre porque o conhecimento adquirido está sujeito à influência erosiva de uma tendência reducionista da organização cognitiva; é mais, é econômico reter apenas idéias, conceitos e proposições mais gerais e estáveis do que as novas idéias assimiladas.

O esquecimento é, portanto, uma continuação temporal do mesmo processo que facilita a aprendizagem e retenção de novas informações. Observa-se, contudo, que a ocorrência da assimilação obliteradora – como uma continuação natural da assimilação – não significa que o subsunçor volte a sua forma original. O resíduo da assimilação obliteradora é A' , o membro mais estável do produto $A'a'$, isto é, o subsunçor modificado.

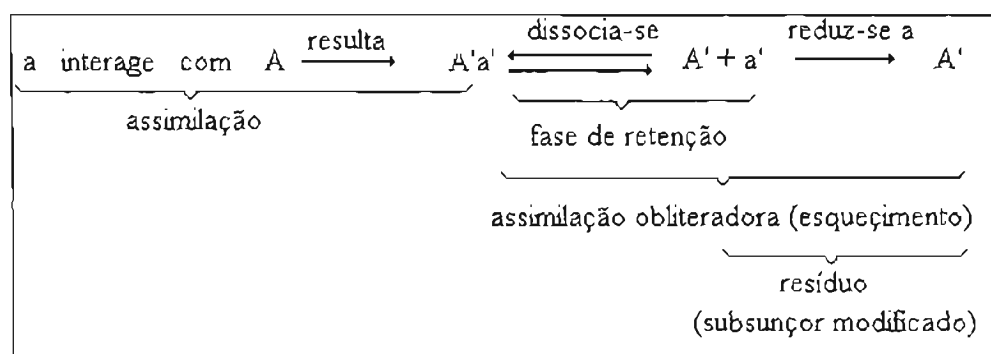


FIGURA 3 – Esquema da assimilação obliteradora (Moreira, 1999)

3.3 Aprendizagem subordinada

O processo em que o novo conhecimento interage com os subsunçores reflete uma relação de subordinação, onde o novo conteúdo fica subordinado à estrutura cognitiva pré-existente. Pode-se distinguir dois tipos de aprendizagem subordinada: a derivativa e a correlativa. (MOREIRA, 1999)

Em uma aprendizagem subordinada derivativa o material aprendido é entendido como um caso específico de um subsunçor. Por exemplo, compreender que o movimento de queda livre simplesmente é um MRUV na vertical, ou então confirmar ou ilustrar uma proposição geral, aprendida previamente. Em ambos os casos o significado do novo material emerge rápida e relativamente sem esforço, pois é derivável de, ou está implícito em, um conceito ou proposição mais inclusivo já existente na estrutura cognitiva. (MOREIRA, 1999)

Já na aprendizagem subordinada correlativa o novo conhecimento a ser aprendido é uma extensão, elaboração, modificação ou qualificação de conceitos ou proposições previamente aprendidos. Ele é incorporado por interação com subsunçores, mais inclusivos, entretanto, seu significado não está implícito e deve ser adequadamente representado por esses subsunçores. Geralmente é através deste processo que um novo conteúdo é aprendido. [MOREIRA, 1999]

Pode-se dar como exemplo a identificação do campo produzido por um fluxo magnético variável como um campo elétrico induzido. Este novo conceito adquirirá significado por meio da interação com o conceito de campo elétrico (supostamente já adquirido), todavia, não como um mero exemplo, uma vez que ele apresenta características próprias (Não é conservativo, suas linhas de força são fechadas), e ao mesmo tempo modificará o conceito preexistente.

Na aprendizagem subordinada derivativa, os atributos "criteriais" do conceito subsunção A não mudam, porém novos exemplos podem ser reconhecidos como relevantes, enquanto na correlativa seus atributos podem ser estendidos ou modificados no processo de subsunção."
[MOREIRA, 1999]

3.4 Aprendizagem superordenada

É a aprendizagem que ocorre quando o novo conteúdo a ser aprendido é mais geral e inclusivo do que os subsunções presentes na estrutura cognitiva do aluno. A aprendizagem superordenada ocorre no curso do raciocínio, pensamento indutivo ou síntese de idéias. Por exemplo, na aprendizagem do princípio de conservação de energia, à medida em que fosse introduzido, por meios de exemplos específicos: a quantidade total de energia de um sistema, antes e depois de uma transformação é a mesma. Após sucessivos encontros com exemplos desta natureza, envolvendo diferentes tipos de energia, até mesmo, o da transformação de um tipo em outro, o aluno poderá chegar ao conceito de conservação de energia como um todo, e encarar cada exemplo aprendido como um caso particular de algo mais geral.
[MOREIRA, 1999]

3.5 Avaliação da aprendizagem significativa

Avaliar se os alunos estão tendo uma aprendizagem significativa não é uma tarefa fácil, os instrumentos de avaliação mais usados pelos professores (testes e provas) são de uma época em que o ensino e a aprendizagem eram enfocados quase que exclusivamente sob a ótica comportamentalista, quando, avaliação e medição eram praticamente sinônimos.

Hoje, a ótica é cognitivista/construtivista, e esperava-se que os instrumentos de avaliação mudassem para se adaptar à nova prática, mas isso infelizmente não aconteceu, tenta-se monitorar uma aprendizagem construtivista por meio das mesmas práticas de avaliação da época behaviorista. Obviamente, existe aí um grande problema. A diferença entre as duas práticas de ensino é enorme, é filosófica. (MOREIRA, 1999)

Claro que, de imediato aflora o argumento dos alunos serem muitos e de que a única maneira de "avaliar" seria por intermédio de provas e testes que possam ser aplicados em larga escala e rapidamente corrigidos. Do ponto de vista prático, o argumento é legítimo; do teórico é inaceitável.

Para uma avaliação de uma aprendizagem construtivista, Novak e Gowin (Moreira 1999) propõem os mapas conceituais, o Vê Epistemológico e a entrevista.

Mapas Conceituais são representações gráficas semelhantes a diagramas, que indicam relações entre conceitos ligados por palavras. Representam uma estrutura que vai desde os conceitos mais abrangentes até os menos inclusivos.

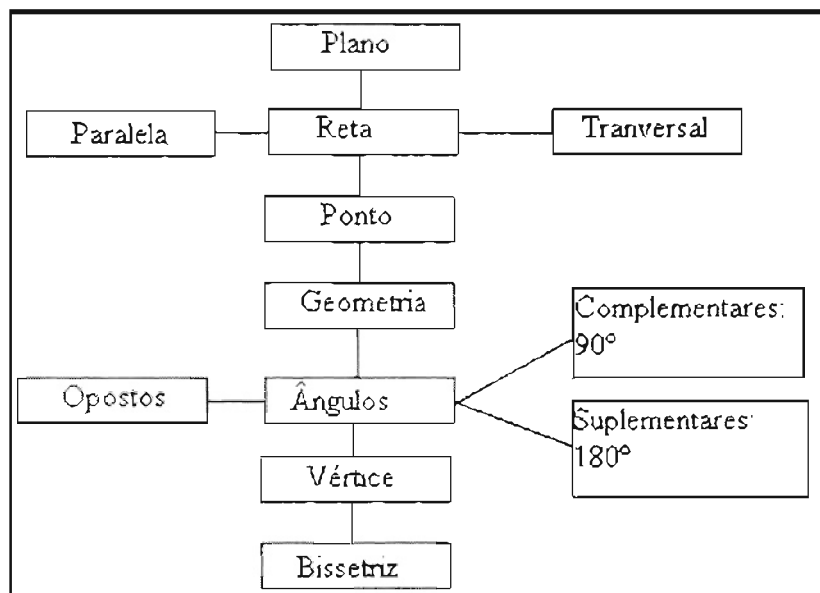


FIGURA 4 – Exemplo de um mapa conceitual (Moreira, 1999)

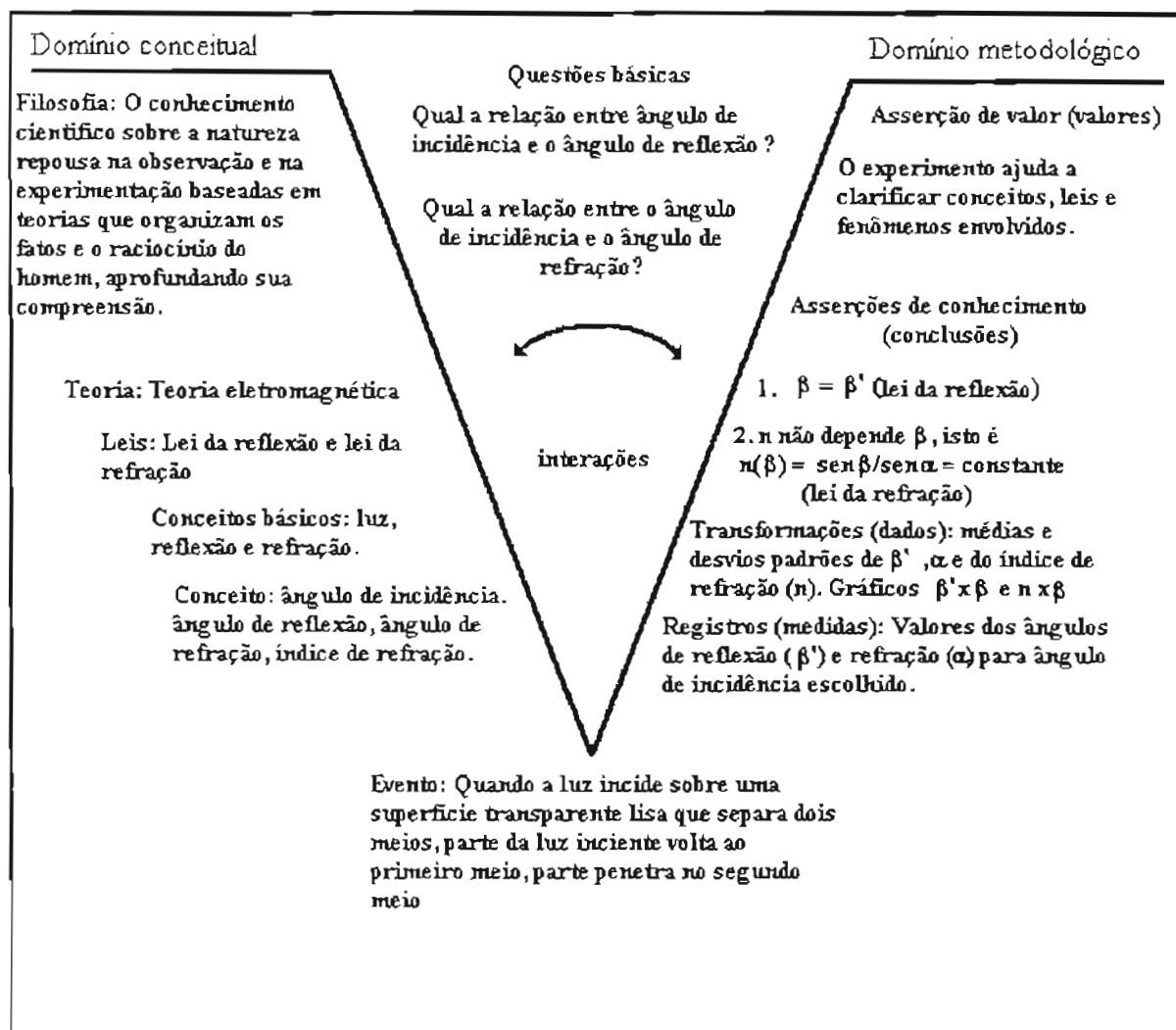


FIGURA 5 – Exemplo de um Vê Epistemológico (Moreira, 1999)

Capítulo 4

MODELOS MENTAIS

A ciência cognitiva é o estudo interdisciplinar da mente (intelecto, pensamento), da inteligência (a faculdade de aprender ou compreender, percepção, apreensão, intelecto) e o estudo científico dos processos mentais. Dos diversos aspectos estudados na ciência cognitiva o mais central seria a respeito da racionalidade humana. Os filósofos iluministas e os gregos davam grande importância a princípios matemáticos e lógicos, como características de uma razão bem formada. Ser racional implicava em ter uma habilidade para seguir regras lógicas e precisas, de forma consistente e coerente. As dificuldades apresentadas pelos “ignorantes” quando se confrontavam com exigências formais era atribuída ao não conhecimento dos princípios matemáticos e lógicos, e para eles a melhor solução se encontrava no ensino e exercício constante da disciplina lógica. Entretanto, muitos dos problemas cotidianos são resolvidos por grande parte da população sem o recurso de uma formulação rígida, por vezes incompreensível, da lógica. Por mais paradoxal que sejam as escolhas humanas, elas procedem de uma cadeia de pensamentos que não é necessariamente aquela imaginada pelos especialistas em regras.

Nas últimas décadas, muitos psicólogos decidiram examinar empiricamente aquilo que os filósofos cognitivistas não tinham coragem de investigar. Diversos testes foram criados para avaliar a perspicácia dos indivíduos em tarefas inferências e assim provar as dificuldades de proceder à formalização lógica. Um dos testes mais qualificados para este objetivo é a “seleção de Wason”, elaborado por Peter Cathcart Wason. Neste teste é avaliada a capacidade de um indivíduo em verificar a veracidade de uma implicação do tipo: “se A , então B ”. De acordo com a tabela verdade, uma implicação é falsificável sempre que seu conseqüente for falso e o antecedente for verdadeiro. Desta forma o seguinte teste foi proposto pelos psicólogos britânicos Peter Wason e Philip Nicholas Johnson-Laird

Quatro cartas eram mostradas aos entrevistados, em suas faces expostas havia as letras A e K e os números 4 e 7. Então era feita a seguinte afirmativa: Se uma carta possui um A em uma de suas faces, então ela tem um número primo na outra face. Apenas duas cartas são relevantes para avaliar se a afirmativa era verdadeira ou não, então se pedia ao entrevistado que ele virasse as cartas que julgasse mais importante.

As pessoas que usassem princípios matemáticos e lógicos deveriam virar as cartas A e 4, pois se o A tiver um número primo em suas costas, o antecedente será verdadeiro, mas se o número 4 tiver um A em seu verso o conseqüente será falso, permitindo assim afirmar que a afirmativa não era verdadeira. Virar as cartas K e 7 não ajudaria a solucionar o problema, pois nada é dito a respeito de K , enquanto que o número 7 não pode falsificar o enunciado, pois não é dito que todo número primo deva ter um A em seu verso. Por mais correto e evidente que estivesse o raciocínio, a maioria das pessoas – mais de 90% - entrevistadas erraram esse teste. Contudo, quando as letras e números são substituídos por objetos dos cotidianos das pessoas, a média de acertos das pessoas subia para 80%, como no caso de: “se a diretora vai ao instituto de Filosofia e Ciências Sociais (IFCS), então ela usa o carro”. Ao serem confrontados com as cartas *IFCS*, *CFCH*, *ônibus* e *carro*, as pessoas tendem a escolher corretamente as cartas *IFCS* e *ônibus*. Isto significa que o envolvimento com as circunstâncias do problema proporciona a escolha correta. Caso não soubessem o que é IFCS, ou que a diretora não vai de carro à cidade, a resposta fica tão difícil quanto na experiência com variáveis alfanuméricas. As pessoas normalmente não constroem tabelas de verdade na mente e sequer usam regras formais de inferência. Sua lógica vai além da formalização lingüística e do silogismo clássico. Eventualmente cada um utiliza esquemas de raciocínio

pragmáticos e não o cálculo proposicional. Foi com base nestes e em outros experimentos que Johnson-Laird propôs a teoria dos modelos mentais.

4.1 Teorias cognitivas e a analogia computacional

Algumas das teorias cognitivas, inclusive a Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird, fazem uma analogia com um computador, um de seus fundamentos é que a mente atua como um processador de informação, análogo ao processador computacional. Para os psicólogos cognitivos a mente é um sistema simbólico, a realização de funções cognitivas completas (percepção, memória, linguagem, pensamento) exige que o sistema cognitivo seja capaz de representar e utilizar de maneira adequada a informação estruturada. Representará a informação de maneira simbólica, assim como o processador traduz (ou simboliza), por exemplo, as palavras que digitamos em seqüências de zeros e uns. A mente pode então construir símbolos e manipulá-los em distintos processos cognitivos. Dado que o número de símbolos distintos correspondentes a imagens, recordações, crenças, é potencialmente finito, já que o cérebro, não podendo conter um número infinito de símbolos preexistentes, deve gerar essa variedade de símbolos de um conjunto finito. De forma análoga ao processador, este sistema incluirá uma série de símbolos primitivos e um conjunto de regras para sua utilização, que também serão símbolos, definindo assim uma linguagem da mente.

Na maioria das teorias cognitivas esses símbolos primitivos e conjunto de regras serão as representações proposicionais, enquanto que num nível mais elaborado, mais qualitativo, do que num sistema computacional, análogo às linguagens de alto nível, haveria as imagens. Por exemplo, para o caso de um triângulo. As formas e tamanhos que um triângulo pode ter são infinitas, ele pode ser equilátero, retângulo, isósceles ou escaleno. Desta forma fica impossível se representar um grande número de triângulos em nível proposicional, entretanto, todos os triângulos obedecem certas regras: a soma dos ângulos internos é 180°; todo triângulo possui três lados e três ângulos; todo triângulo isósceles possui dois lados de mesmo tamanho, etc. Essas regras podem ser representadas proposicionalmente, então quando uma afirmação é feita sobre um triângulo o cérebro poderia consultá-las para confirmar ou não a afirmação. Já quando uma pessoa imagina um triângulo, ela não pensa nas regras que regem os triângulos, ela simplesmente imagina um, formando assim uma imagem.

Pelo exemplo citado acima parece que a distinção entre uma representação proposicional e uma imagem é bastante clara, sendo aceita por todos os psicólogos, entretanto, isso não é verdade, há uma grande discussão entre dois grupos, onde cada um defende seu ponto de vista sobre proposições ou imagens.

“Os críticos das imagens argumentam que é possível construir uma imagem a partir de sua descrição proposicional, mas tal imagem não introduz nenhuma informação nova, simplesmente faz com que a descrição armazenada seja mais acessível e mais fácil de manipular. Em particular, Anderson (1978) argumenta que “qualquer afirmação sobre uma representação particular é impossível de avaliar, exceto se especificarmos os processos que operam sobre esta representação” O autor mostra também que uma teoria baseada em imagens pode ser imitada por outra baseada em proposições sempre e quando sejam satisfeitas certas condições.” [LAGRECA, 1997]

Johnson-Laird aceita a existência de representações proposicionais e de imagens, mas ele também propõem uma terceira forma de representação mental, os modelos mentais. Estes seriam representações mentais elaboradas quando um indivíduo estaria raciocinando, quando tenta encontrar a solução de um problema ou prever o resultado de um fenômeno. Segundo ele, o ponto central da compreensão estaria na existência destes “modelos de trabalho” que o indivíduo constroem quando está raciocinando. Quando uma pessoa explica, com êxito, algo à outra pessoa, dá uma espécie de “manual” ou “receita” para a construção de um “modelo de trabalho”. Naturalmente, este guia pode não ser útil para uma terceira pessoa, pois depende do conhecimento e da habilidade do sujeito para compreendê-lo. Desta forma, quando um professor está expondo à turma um fenômeno físico, ele o faz através de um modelo conceitual do fenômeno.

4.2 Os modelos mentais

Johnson-Laird apresenta sua teoria no livro “Mental Models” publicado em 1983, nele é atribuída às idéias de Kenneth Craick a formulação moderna de modelo mental. Craick afirmava que os seres humanos traduzem eventos externos em modelos internos e racionam através da manipulação destes eventos. Craick escreveu:

“Se o organismo tem na cabeça um ‘modelo em escala reduzida’ da realidade exterior e de suas possíveis ações, então é capaz de por à prova diferentes alternativas, concluir qual é a melhor delas, raciocinar perante situações futuras antes que estas aconteçam, utilizar o conhecimento de sucessos passados ao tratar com o presente e com o futuro, e, em qualquer ocasião, raciocinar de uma forma mais segura, completa e competente nas emergências que enfrentar”. [Lagreca, 1997]

Ele afirma que estas representações são distinguíveis entre si em de nível de análise e que há diferentes opções para codificar a informação, da mesma forma que os modelos, imagens e representações proposicionais são distinguíveis entre si.

Na teoria de Johnson-Laird um modelo mental pode ser definido como uma representação mental de um conhecimento, a longo ou a curto prazo, que satisfaz as seguintes condições:

1. É um análogo estrutural da situação que representa;
2. O modelo pode representar tanto entidades perceptíveis, reais ou imaginárias, como noções abstratas;
3. Não possuem variáveis.

Os modelos mentais e as representações proposicionais se distinguem em determinados critérios. Um deles seria sua função:

Uma representação proposicional é uma descrição do mundo, que quando solicitada pode confirmar ou não uma afirmação. Entretanto os seres humanos não apreendem diretamente o mundo, ao invés disso possuem uma representação interna dele, que é construída a partir de modelos mentais. Consequentemente uma representação proposicional será verdadeira ou falsa com relação a um modelo mental do mundo.

Outro critério seria a economia: Se uma série de afirmações está altamente indeterminada, exigindo um grande número de modelos para manipulá-la, seria mais econômico recordar as proposições feitas e não interpretá-las na forma de um modelo: Uma representação simples bastará, por outro lado seria necessário empregar vários modelos alternativos para representar exatamente as inúmeras possibilidades.

Uma representação proposicional pode ser obtida através do discurso, são grandes as possibilidades de se poder recordar as orações literais nas quais se baseou; ao contrário, um modelo mental, enquanto que é mais fácil de se recordar, não possui informações diretas das orações a partir do qual foi construído.

4.2.1 A natureza dos modelos mentais

Segundo Johnson-Laird os modelos mentais estão na cabeças das pessoas, e sua exata constituição seria uma questão de pesquisa, outra dificuldade que surge é diferenciar os modelos mentais de outras representações mentais como os esquemas de Piaget ou os construtos pessoais de Kelly. entretanto Johnson-Laird propôs a existência de nove princípios que vinculados a própria natureza dos modelos mentais, desta forma os modelos são limitando por estes vínculos.

1. *Princípio da computabilidade:* Os modelos mentais devem poder ser descritos na forma de procedimentos em que nenhuma decisão seja tomada na base da intuição. (Lagrecá, 1997)
2. *Princípio da finitude:* Os modelos mentais são limitados em tamanho pelo fato de que o cérebro é um organismo finito. (Lagrecá, 1997)
3. *Princípio do construtivismo:* Partindo da premissa que existe um número infinito de coisas que pode ser representado mas somente um conjunto finito de símbolos para representá-los decorre que os modelos mentais são construídos a partir dos elementos mais elementares. (Lagrecá, 1997)
4. *Princípio da economia:* A descrição de um único fenômeno ou entidade é representada por um único modelo mental, mesmo se a descrição é incompleta ou indeterminada. Mas este mesmo modelo mental pode representar um número infinito de possíveis mudanças que ocorram a este fenômeno ou entidade pois esse modelo pode ser revisado recursivamente. A cada nova mudança descritiva implicará revisão do modelo para acomodá-la. (Lagrecá, 1997)
5. *Princípio da não-indeterminação:* Modelos mentais podem representar indeterminações diretamente apenas se seu uso não for computacionalmente intratável, isto é. se não existir um crescimento exponencial em complexidade. (Lagrecá, 1997)
6. *Princípio da predicabilidade:* Um predicado pode ser aplicável a todos os termos aos quais um outro predicado é aplicável, mas eles não podem ter âmbitos de aplicação que não se intersectam. Por exemplo, os predicados “animado” e “humano” são aplicáveis a certas coisas em comum, “animado” aplica-se a algumas coisas as quais “humano” não se aplica, mas não existe nada a que “humano” se aplique e “animado” não. Para Johnson-Laird, a virtude desse vínculo é que ele permite identificar um conceito artificial ou não natural. Um conceito que fosse definido por predicados que não tivessem nada em comum violaria o princípio da

predicabilidade e não estaria, normalmente, representado em modelos mentais. (Lagreca, 1997)

7. *Princípio do inatismo*: Todos os primitivos conceituais são inatos. Primitivos conceituais subjazem nossas experiências perceptivas, habilidades motoras, estratégias, enfim, nossa capacidade de representar o mundo (ibid.). (Lagreca, 1997)
8. *Princípio do número finito de primitivos conceituais*: existe um conjunto finito de primitivos conceituais que origina um conjunto correspondente de campos semânticos e outro conjunto finito de conceitos, ou “operadores semânticos”, que ocorre em cada campo semântico e serve para construir conceitos mais complexos a partir dos primitivos subjacentes. Um campo semântico se reflete no léxico por um grande número de palavras que compartilham no núcleo dos seus significados um conceito comum. Por exemplo, verbos associados à percepção visual como avistar, olhar, escrutinar e observar compartilham um núcleo subjacente que corresponde ao conceito de ver. Operadores semânticos incluem os conceitos de tempo, espaço, possibilidade, permissibilidade, causa e intenção. Por exemplo, se as pessoas olham alguma coisa, elas focalizam seus olhos durante um certo intervalo de tempo com a intenção de ver o que acontece. Os campos semânticos nos provêm nossa concepção sobre o que existe no mundo, sobre o mobiliário do mundo, enquanto os operadores semânticos nos provêm nosso conceito sobre as várias relações que podem ser inerentes a esses objetos [Lagreca, 1997]
9. *Princípio da identidade estrutural*: as estruturas dos modelos mentais são idênticas às estruturas dos estados de coisas, percebidos ou concebidos, que os modelos representam. Este vínculo decorre, em parte, da idéia de que as representações mentais devem ser econômicas e, portanto, cada elemento de um modelo mental, incluindo suas relações estruturais, deve ter um papel simbólico. Não deve haver na estrutura do modelo nenhum aspecto sem função ou significado [Lagreca, 1997]

4.2.2 A tipologia dos modelos mentais

Os modelos mentais são usados tanto para representar entidades físicas do mundo, sejam elas reais ou imaginárias, assim como situações mais abstratas, onde não exista um referencial “físico” que possa ser percebido. Johnson-Laird estabelece uma distinção entre esses dois grupos de representações mentais. Modelos que representem o mundo físico percebido pela pessoa seriam modelos físicos, já modelos construídos a partir de um discurso seria um modelo conceitual.

Johnson-Laird considera seis tipos de modelos físicos:

- a) “*modelo relacional simples é um quadro estático consistindo de um conjunto finito de elementos básicos que representam um conjunto finito de entidades físicas, de um conjunto finito de propriedades dos elementos básicos que representam as propriedades físicas das entidades e de um conjunto finito de relações entre os elementos básicos que representam relações físicas entre as entidades.*” [Lagreca, 1997]

- b) *"modelo espacial consiste de um modelo relacional em que somente as relações existentes entre as entidades físicas representadas são espaciais e o modelo representa essas relações pela localização de elementos básicos dentro de um espaço dimensional (tipicamente de duas ou três dimensões). Este tipo de modelo pode satisfazer as propriedades do espaço métrico ordinário, em particular a continuidade psicológica de suas dimensões e a desigualdade triangular (a distância entre dois pontos nunca é maior que a soma das distâncias entre cada um deles e um terceiro ponto qualquer)" [Lagreca, 1997]*
- c) *"modelo temporal consiste de uma seqüência de quadros espaciais que ocorre em uma ordem temporal correspondendo à ordem temporal dos eventos (embora não necessariamente no tempo real)" [Lagreca, 1997]*
- d) *"modelo cinemático consiste de um modelo temporal que é psicologicamente contínuo. O modelo representa mudanças e movimentos das entidades representadas sem descontinuidades temporais. Tal modelo pode naturalmente ocorrer em tempo real, e ocorrerá certamente assim se o modelo derivar da percepção." [Lagreca, 1997]*
- e) *"modelo dinâmico é um modelo cinemático no qual existem também relações entre certos quadros, representando relações causais entre os eventos descritos." [Lagreca, 1997]*
- f) *"imagem é uma representação, centrada no observador, das características visíveis de um modelo espacial tridimensional ou cinemático subjacente. Corresponde a uma visão (projeção) do objeto ou evento representado no modelo subjacente." [Lagreca, 1997]*

E quatro tipos de modelos conceituais:

- a) *"modelo monádico: representa afirmações sobre individualidades, suas propriedades e identidades entre elas. Ele consiste de três componentes:*
 - i. *um número finito de elementos representando entidades individuais e propriedades;*
 - ii. *duas relações binárias, identidade(=) e não identidade(≠);*
 - iii. *uma notação especial para indicar que é incerto se existem determinadas identidades.*

Por exemplo, o modelo conceitual monádico da asserção "Rafael é Físico" pode ser o seguinte:

$$\begin{array}{l} \text{Rafael} = \text{Físico} \\ (\text{Físico}) \end{array}$$

onde o elemento *Rafael* é uma notação para indicar que o correspondente elemento mental representa um indivíduo que é *Rafael*. A notação de incluir um elemento entre parêntesis corresponde a essa notação especial dos modelos mentais conceituais que indica que é incerto se a individualidade correspondente existe ou não no domínio do modelo. Quer dizer, pode haver *Físico* que não seja *Rafael*.

Um modelo monádico pode acomodar só asserções simples de um único predicado indicando propriedades, identidades e não identidades. Para asserções mais gerais é necessário empregar um outro tipo de modelo, o relacional.” [Lagreca, 1997]

b) “modelo relacional: agrega um número finito de relações, possivelmente abstratas, entre as entidades individuais representadas em um modelo monádico. (ibid.). Este modelo é requerido para representar asserções do tipo “existem mais as do que bés”, que requer uma representação do seguinte tipo:

$$\begin{array}{c} a \\ a - b \\ a - b \\ a \end{array}$$

Para representar um discurso, é necessário a introdução de modelos mentais de relação entre símbolos e suas correspondentes entidades no mundo.” [Lagreca, 1997]

c) “modelo meta-lingüístico: contém elementos correspondentes a certas expressões lingüísticas e certas relações abstratas entre elas e elementos do modelo de qualquer tipo (incluindo o próprio modelo meta-lingüístico). (op.cit.p.426). Uma asserção tal como: Um dos operários é chamado ‘João’ requer o seguinte tipo de modelo meta - lingüístico:

$$\begin{array}{c} \text{operário} \\ \text{João} \rightarrow \text{operário} \\ \text{operário} \end{array}$$

onde as aspas simples são usadas para significar um elemento básico representando a expressão lingüística, e a flecha denota a relação de referência: a expressão lingüística “João” se refere (\rightarrow) a tal operário.” [Lagreca, 1997]

d) “modelo conjunto teórico: é aquele que contém um número finito de elementos básicos que representam diretamente conjuntos. Ele pode conter um grupo finito de elementos básicos associados designando as propriedades abstratas do conjunto e um grupo finito de relações (incluindo identidade e não identidade) entre elementos básicos representando conjuntos. (op.cit.p.428) Por exemplo, vamos considerar a seguinte asserção: Algumas bibliografias listam elas mesmas outras não.

Um modelo mental na forma:

$$b1 = \begin{cases} "b1" \\ "b2" \\ "b3" \end{cases}$$

representa o fato que a bibliografia, b1, consiste de três nomes de bibliografias incluindo o dela.

Analogamente um modelo da forma:

$$b6 = \begin{cases} "b3" \\ "b4" \\ "b5" \end{cases}$$

Representa uma bibliografia das bibliografias que não listam elas mesmas: Nestes modelos, os elementos b1, b2, ..., b6 representam conjuntos (bibliografias) e a chave representa a relação de inclusão." [Lagreca, 1997]

Capítulo 5

O USO DOS MODELOS MENTAIS PARA A AVALIAÇÃO DE APRENDIZAGENS SIGNIFICATIVAS

Seria possível usar a teoria de modelos mentais de Johson-Laird na busca de uma aprendizagem significativa? A pergunta é interessante, e também capaz de criar grandes expectativas. Como dito anteriormente, os modelos mentais são modelos de trabalho, criados pelas pessoas no momento em que elas estariam raciocinando na tentativa de solucionar um problema, responder a uma questão. Avaliar o raciocínio que um aluno teve para resolver uma questão pode levantar questões interessantes para o professor, é comum que a primeira tentativa dos alunos de tentar resolver um exercício resulte em um erro, e também é extremamente comum que o mesmo aluno possa chegar ao resultado correto depois da 2ª ou 3ª tentativa, o grande problema é que ao corrigir uma prova o professor jamais tem acesso ao raciocínio das primeiras tentativas, mas é justamente esse raciocínio o que está mais bem elaborado na estrutura cognitiva do aluno, isto não quer dizer que ele esteja correto, mas é o que o aluno primeiramente usa para explicar um fenômeno ou tentar resolver um exercício. Se o professor conseguisse acompanhar o raciocínio destas explicações ou resoluções ele teria mais recursos para auxiliar nas aprendizagens dos alunos, e é a isto que a investigação dos modelos mentais pode proporcionar.

A elaboração de um modelo mental por parte de um aluno dá indícios de que os conteúdos usados em sua construção possuem algum significado, que eles podem ser articulados entre si e que o modelo possa ser executado para resolver uma situação ou um problema, ou seja de que a aprendizagem obtida pelo aluno foi significativa e que os conhecimentos adquiridos podem ser usados como subsunçores para conhecimentos futuros. A qualidade desta aprendizagem é que pode variar e ser melhorada, um modelo mental pode ser baseado em proposições, imagens ou pode baseado parcialmente em proposições e imagens.

Um modelo baseado em proposições é fortemente baseado em fórmulas e definições articuladas entre si, o aluno até consegue interpretar estas fórmulas e resolver problemas diferentes mas tem dificuldades em encontrar aplicações dela no cotidiano. Sua compreensão muitas vezes é limitada ao modelo conceitual do fenômeno, ele tem dificuldades de partir de um modelo mental físico (percepção do fenômeno) para um modelo mental conceitual (compreensão do fenômeno).

Já um modelo baseado em imagens está muito mais bem articulado na estrutura cognitiva do aluno, a sua compreensão do conteúdo não se limita à fórmulas ou definições mas sim a um domínio mais qualificado conteúdo. Ele seria capaz de construir um modelo mental conceitual a partir de um modelo mental físico.

Entretanto, quando um aluno não consegue elaborar um modelo mental seria característica de uma aprendizagem mecânica, ao tentar achar a solução para um problema os recursos utilizados pela mente deste aluno se limitam as proposições mentais, mas diferente de um modelo mental baseado em proposições, aqui as proposições estão isoladas uma das outras, não havendo nenhum vínculo ou relação clara entre elas. Em um caso destes a memória do aluno passa a ter mais relevância que seu raciocínio pois ele tenta é encontrar um caso semelhante que ele já tenha resolvido e aplicá-lo no problema em si. visto que o aluno tem dificuldades muito grandes em interpretar as proposições e usá-las em situações novas. Quando este aluno elabora um modelo mental físico de um fenômeno que ele tenha percebido frequentemente ele é incapaz de elaborar um modelo mental conceitual do fenômeno percebido.

Caso um professor consiga perceber se seus alunos conseguem elaborar ou não um modelo mental pode ser um recurso valioso em suas avaliações. uma das principais dificuldades em se trabalhar com modelos mentais é conseguir montar e interpretar um esquema que represente o modelo mental elaborado por um indivíduo.

As metodologias de pesquisa estão baseadas na premissa de que a partir do comportamento das pessoas e do que elas expressam verbalmente seria possível modelar as representações mentais das pessoas, além disso supõem-se que esses modelos poderiam ser simulados em computadores. De qualquer forma, é bastante difícil a pesquisa nesta área, por duas razões principais.

Primeiramente não se pode simplesmente pedir a uma pessoa que represente esquematicamente um modelo mental que ela possua para um determinado assunto, pois poderia ocorrer dela não ter plena consciência deste modelo. Quando alguém questiona os motivos ou razões de porque um indivíduo fez algo, ele pode se sentir compelido a dar uma razão mesmo que não a tivesse antes da pergunta ter sido feita, ou então tentar ter uma justificativa que correspondesse ao que o entrevistador gostaria de ouvir (usando um modelo mental das expectativas de quem fez a pergunta). Por estes motivos, protocolos verbais descrevendo o que a pessoa faz enquanto aborda um problema são mais confiáveis do que explicações.

Em segundo lugar, é inútil procurar esquemas claros, nítidos e elegantes, pois os modelos que as pessoas têm são estruturas confusas, mal feitas, incompletas, difusas. (Norman 1983, p. 14). São com estas estruturas que o entrevistador terá que lidar e interpretar.

“Apesar das dificuldades, a análise de protocolos, o uso de informações verbais do sujeito como fonte de dados tem sido, provavelmente, a técnica mais usada para investigar a cognição humana. Não se trata, no entanto, de introspecção, pois nesta as verbalizações do sujeito já se constituem em teoria acerca de seus próprios processos de pensamento enquanto na análise de protocolos as verbalizações são consideradas como dados a serem explicados por teorias geradas pelo pesquisador, talvez na forma de simulação computacional

Há várias maneiras de fazer com que as pessoas gerem protocolos verbais, incluindo entrevistá-las, pedir-lhes que falem livremente, pensem em voz alta, descrevam o que estão fazendo enquanto executam uma tarefa. Protocolos que são gerados quando a pessoa pensa em voz alta enquanto se desempenha em uma tarefa como, por exemplo, a solução de um problema, são chamados protocolos concorrentes. Quando se pede ao sujeito que diga tudo o que consegue lembrar sobre a solução de um problema imediatamente após tê-la obtido, o protocolo é dito retrospectivo (ibid.). (Neste caso, é preciso precaução, pois o sujeito pode ser capaz de reconstituir eventos que não ocorreram).

Tipicamente, as verbalizações que geram os protocolos são gravadas, transcritas e analisadas à luz de alguma teoria.” [Moreira, 1996]

Em sua tese de mestrado, a pesquisadora Maria do Carmo Baptista Lagreca estudou e elaborou o que seriam os modelos mentais de 13 alunos de Física Geral I do Departamento de Física da UFRGS, destinada a estudantes de engenharia. Embora o trabalho da pesquisadora se limite apenas a elaborar os modelos mentais dos estudantes, a partir deles pode-se tentar estabelecer que tipo de aprendizagem cada tipo de aluno está adquirindo, outra questão importante em seu trabalho é que na sua metodologia para conseguir indícios de quais seriam os modelos mentais dos referidos alunos ela usa métodos que são semelhantes àqueles usados nas avaliações formativas (entrevista, mapa conceitual, interação individualizada com o aluno) mesmo que ela não tenha consciência disto.

5.1 Metodologia da Pesquisa

Com o intuito de tentar inferir modelos mentais utilizados pelos alunos, a pesquisadora trabalhou 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. Ela admitia que a estrutura das representações internas dos indivíduos é refletida nas suas representações externas, considerando assim que tudo o que os alunos fizessem (escrevessem, desenhassem, perguntassem e dissessem) lhe daria indícios da forma como operavam mentalmente.

Em um primeiro momento, no 1º semestre de 1996, ela trabalhou com um grupo de 18 estudantes de engenharia cursando a disciplina de Física Geral I sob a modalidade de “Método Keller”. Nesta modalidade, os alunos estudam sozinhos, não há aulas teóricas, e avançam na disciplina conforme são aprovados nas avaliações (testes) de cada unidade que são baseadas no livro Fundamentos de Física, de Halliday e Resnick

Em uma segunda oportunidade, no 2º semestre de 1996, ela trabalhou com um grupo de 30 estudantes de engenharia e matemática cursando a mesma disciplina de Física Geral I, também sob a modalidade de “Método Keller”.

Em ambos os casos, o conteúdo da disciplina esteve dividido em 21 unidades. Os testes das unidades continham problemas tradicionais (do tipo proposto no livro de Halliday e Resnick) e problemas e/ou questões conceituais. As questões eram formuladas de modo a evitar respostas padronizadas (e memorizadas), por exemplo, “Explique, com palavras, equações e/ou desenhos e/ou leis o que você entende por ...”

Em três unidades, antes de começar os capítulos relativos às leis de conservação, após o término delas e ao final do curso, os testes de avaliação incluíam um item que consistia na confecção de um mapa conceitual. Os alunos escolhiam, dentre os conceitos estudados até essa parte da disciplina, de 6 a 10 conceitos que julgavam mais importantes e construíam um mapa conceitual. Em um estudo anterior, Greca e Moreira obtiveram evidências de que os mapas conceituais poderiam ser usados como indicadores do grau de modelização mental dos alunos em tarefas de Física.

No “Método Keller”, o estudante pode repetir o teste de avaliação de uma certa unidade tantas vezes quantas forem necessárias para demonstrar domínio do conteúdo da unidade. A cada nova tentativa, ele recebe uma nova versão do teste da unidade. A correção é feita imediatamente, na frente do aluno, dialogando com ele. Normalmente, a correção é feita pelos monitores sob supervisão do professor.

Os monitores eram estudantes que já passaram pela disciplina com bom desempenho, mas no caso em pauta os monitores foram bolsistas de pós-graduação, aperfeiçoamento ou de iniciação científica que atuaram, então, como ajudantes de pesquisa. Os autores deste trabalho foram professores e pesquisadores, nos dois semestres. Nesse método, o professor organiza e supervisiona tudo, porém, nesta pesquisa, eles atuaram também como monitores para terem mais interação com os alunos.

Segundo a pesquisadora, houve muita oportunidade de interação pessoal direta entre alunos, monitores e professores. Esta possibilidade seria um aspecto altamente vantajoso desse método para conduzir a pesquisa. De certa forma, os alunos estão sendo permanentemente entrevistados. Apesar disso, após o teste de avaliação da última unidade, os alunos foram entrevistados individualmente durante 25 a 30 minutos.

Na entrevista final, os pesquisadores propunham ao aluno uma série de problemas, alguns muito similares aos resolvidos nas unidades de estudo e outros aparentemente distintos mas que exigiam a aplicação dos mesmos conceitos. Uma vez colocada a situação, pedia-se-lhe que explicasse o que acontecia deixando-o livre para fazer qualquer tipo de suposição, desenhar ou escrever fórmulas. O entrevistador (professor ou monitor) evitava fazer qualquer intervenção que pudesse induzir determinado raciocínio. Em alguns casos, o entrevistador solicitava ao aluno que raciocinasse em voz alta. Quando o aluno dava por terminada sua explicação, independentemente desta estar correta ou não, passava-se ao problema seguinte.

A análise do material colhido, respostas escritas aos testes de avaliação, mapas conceituais, transcrições das entrevistas e notas de campo feitas ao longo do desenvolvimento da disciplina teve por objetivos:

1. tentar identificar o tipo de representação mental (representações proposicionais, imagens ou modelos mentais) utilizado predominantemente pelo aluno;
2. tentar detectar núcleos conceituais, i.e., conceitos ou grupos de conceitos que aparecessem com regularidade nas respostas dos alunos ao longo do curso e que se destacassem também nos mapas conceituais e na entrevista final;
3. tentar distinguir características ou atributos dos núcleos conceituais que integrassem conjuntos explicativos e/ou preditivos a fim de obter indícios de possíveis modelos mentais dos alunos.

A metodologia de análise usada pela pesquisadora e pelos monitores foi do tipo qualitativa, similar à utilizada em um estudo anterior sobre eletromagnetismo (Greca e Moreira, 1997, 1998). Os registros foram feitos a partir da interação com os alunos, tanto nos momentos em que faziam consultas aos monitores ou ao professor como durante as avaliações dialogadas que realizavam. As respostas que davam e as perguntas e comentários que faziam durante e depois das provas, corrigidas individualmente, de forma oral, bem como algumas observações pertinentes -- como por exemplo, se as suas respostas coincidiam com aquelas que apareciam no livro texto, se utilizavam desenhos quando explicavam, etc., -- eram registradas evitando que o aluno percebesse. Este tipo de técnica, entrevistas não clínicas e observações de campo, permitiu-lhe coletar uma boa quantidade de material para poderem atingir o primeiro objetivo que tinham proposto.

Esses dados permitiram-lhe também procurar, para cada aluno, os conceitos ou conjuntos de conceitos que aparecessem com frequência ao longo do curso e que se destacassem especialmente durante as entrevistas, assim como verificar se estes conceitos apareciam nos mapas e o lugar que ocupavam, além de suas relações com os outros conceitos escolhidos. A finalidade era mapear a existência de algum modelo referente a núcleos conceituais mais específicos, que era seu segundo objetivo.

Como a identificação dos modelos mentais não é uma tarefa "a priori", a partir destes conceitos e/ou núcleos conceituais, ela tentou identificar os atributos ou características dadas pelos alunos a estes conceitos, a fim de reconstruir o modelo que o aluno teria utilizado. O processo de identificação dos conceitos e atributos conceituais teve que ser repetido várias vezes para cada aluno. Juntamente, se determinava, a partir da análise dos testes e da entrevista, como os fenômenos eram descritos e/ou explicados e, neste último caso, o tipo de explicação. Ou seja, se a explicação era baseada em fórmulas, se copiava o formato do livro, se eram explicações "superficiais" (Foram consideradas superficiais aquelas que só enunciavam o princípio envolvido) ou se incluíam algum senso de mecanismo. Conjuntamente com isto, se determinava também se a linguagem utilizada na entrevista era científica ou não (entendemos por linguagem científica o fato de o aluno usar repetidamente termos científicos, independentemente da correção da sua utilização), se os alunos explicavam "o mundo real", ou se reduziam situações reais a

modelos onde podiam ser aplicados os princípios físicos, se eram capazes de detectar distintas variáveis envolvidas nos problemas e como as manipulavam.

5.2 Registros, Dúvidas, Análise, Resultados

A pesquisadora parte 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, e 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 certo fenômeno físico é porque tem um modelo mental dele, embora não necessariamente correto do ponto de vista da Física.

Estendendo este raciocínio para o caso de alunos de Física Geral, ela argumenta que se eles conseguem construir modelos mentais sobre os conteúdos que lhes são ensinados, eles poderão compreender melhor os conceitos e leis físicas e explicar fenômenos físicos usando símbolos e equações que representam tais conceitos. Poderão também transferir a aplicação de tais modelos a outras situações. Quer dizer, eles poderão “testar” seus modelos perante novas situações, prevendo e explicando tais situações. O resultado destes testes poderá confirmar a aplicabilidade cognitiva do modelo ou implicar na sua revisão.

Por outro lado, ela acredita que os estudantes que não construírem modelos mentais poderão até lembrar e usar símbolos e fórmulas matemáticas que representam os conceitos e leis físicas, mas não conseguiriam explicar, prever e transferir seu conhecimento. Quer dizer, não dariam evidências de uma aprendizagem significativa. (Moreira, 1997).

Ela acredita também que, como já foi dito, “os modelos mentais estão na cabeça das pessoas (os alunos, no caso)” e a única maneira de investigá-los é, indiretamente, através daquilo que elas internalizam verbalmente, simbolicamente ou pictoricamente. Daí, a importância de analisar as respostas dos alunos nas avaliações e mapas conceituais que traçaram, de examinar os registros que os monitores fizeram sobre o que os alunos disseram ou perguntaram durante o desenvolvimento da disciplina e na correção (dialogada) dos testes, bem como a entrevista final.

Especificamente, ela procurou verificar:

- como os alunos respondiam as questões dos testes, se suas respostas eram elaboradas ou memorizadas mecanicamente, se copiavam do livro, se faziam desenhos, se esses desenhos eram explicativos;
- como os estudantes atacavam os problemas nos testes, se partiam direto para o uso de fórmulas, se listavam os dados do problema antes de partirem para a solução, se usavam leis mais gerais ou se utilizavam diretamente casos particulares;
- como eram as respostas aos problemas propostos na entrevista final, se apenas descreviam o que iria acontecer, se explicavam o que iria ocorrer e porque; se usavam explicitamente conceitos físicos durante a entrevista, se esses conceitos eram bem empregados ou se tinham algum outro significado que não o cientificamente aceito e qual seria ele; se desenhavam ao responder as questões, e como eram esses desenhos;

- como eram qualitativamente seus mapas conceituais, se elegiam conceitos ou se eram colocados arbitrariamente, se havia alguma hierarquização conceitual; como eram as ligações (conectivos) entre os conceitos (palavras, frases, fórmulas);
- quais os comentários dos monitores sobre cada aluno em particular, durante o semestre, se os alunos tinham dúvidas específicas sobre algum conceito, se tinham alguma idéia diferente sobre determinado conceito, se trabalhavam de alguma forma que chamasse atenção.

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

Os construtos que a ajudaram no exame de cada caso foram os seguintes:

NÚCLEOS CONCEITUAIS: Foi definido como núcleos conceituais, os conceitos ou grupo de conceitos que apareceram com frequência ao longo do curso, nas respostas que os alunos davam nos testes de avaliação, e que se destacaram durante a entrevista final e em seus mapas conceituais. A partir desses núcleos, eles tentaram identificar os atributos ou características dadas pelos estudantes a esses conceitos, a fim de tentar construir um modelo do modelo mental que os alunos teriam utilizado em relação a esses conceitos. Isto é, eles procuraram inferir a forma como eles representariam esses conceitos nas suas cabeças.

TIPO DE REPRESENTAÇÃO MENTAL: Tentou-se identificar o tipo de representação mental utilizado predominantemente pelos alunos. Se eles usavam basicamente representações proposicionais desarticuladas, ou seja, faziam uso acentuado de regras isoladas; se eles trabalhavam com modelos mentais, ou seja, se utilizavam modelos principalmente imagísticos (fazendo uso acentuado de desenhos, por exemplo), se utilizavam modelos principalmente proposicionais (faziam uso de regras interligando conceitos e/ou aspectos da matéria) ou se trabalhavam com modelos parcialmente imagísticos e parcialmente proposicionais.

Outro fator importante a ser salientado é que quando os autores procuravam identificar o tipo de representação mental que os estudantes operavam, buscavam os principais indicadores nos testes de avaliação, nas conversas dos alunos com os monitores e na entrevista. Quando tentavam identificar os núcleos conceituais e as características desses núcleos, a maior parte das evidências teriam sido encontradas na entrevista realizada ao final do curso e nos mapas conceituais confeccionados pelos alunos durante o semestre letivo.

Da análise do material dos alunos, testes de avaliação, conversas com os monitores, mapas conceituais e entrevista final, detectou-se que, ao que parece, o tipo de representação mental utilizado pelos alunos nas tarefas instrucionais, principalmente nos testes de avaliação das unidades de estudo era, em alguns casos, diferentes de aqueles sugeridos durante a entrevista. Assim, eles fizeram duas tentativas de categorização: a primeira, foi a de classificar os alunos em grupos que tinham como característica principal a forma de trabalhar cognitivamente durante o curso. Ou seja, se trabalhavam basicamente com proposições isoladas, desvinculadas de modelos; se utilizavam modelos basicamente proposicionais ou basicamente imagísticos ou se faziam uso de modelos parcialmente proposicionais e/ou parcialmente imagísticos. A segunda tentativa, foi a de classificá-los em grupos que tinham como característica principal o tipo de modelo mental formado em relação a um conceito físico, modelos inferido, na maioria dos casos, na entrevista e nas interações entre alunos e monitores.

5.2.1 Caso 1 - Representante dos proposicionalistas

Trata-se de alunos que trabalhavam a maioria dos conceitos estudados usando proposições isoladas, não relacionadas a modelos, não interligando conceitos e/ou aspectos da matéria. Eram estudantes que até sabiam as fórmulas a serem usadas, mas não conseguiam articulá-las, não conseguiam compreender, explicar a estrutura conceitual da teoria e os fenômenos ligados a ela. A maioria de suas respostas às questões dos testes de avaliação apresentadas eram, basicamente, cópias do livro de texto.

Os autores afirmam também que estes 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 destes alunos eram meras associações entre os conceitos estudados, sem uma relação física entre esses conceitos. Quando existia alguma relação, era puramente matemática.

Emerson (um nome fictício) seria um representante típico desta categoria.

Emerson

TIPO DE REPRESENTAÇÃO MENTAL UTILIZADO DURANTE O CURSO: nos testes de avaliação propostos, a pesquisadora argumenta que o aluno resolvia problemas e questões principalmente a partir de fórmulas e definições, com isso ela julga que este aluno estaria trabalhando basicamente com proposições não vinculadas a modelos, já que suas respostas resultavam em uma explicitação da fórmula utilizada, sem nenhuma intenção de explicação além disso.

A seguir a pesquisadora apresentou em sua dissertação algumas respostas (em itálico), dadas pelo estudante, a perguntas ou afirmações contidas nos testes de avaliação realizados no decorrer do curso.

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."

Quando não existem forças atuando sobre um corpo, o corpo não está acelerado.

"Sim, porque como diz a 1ª lei de Newton, "quando a resultante das forças que atua num corpo é zero, então o corpo que estiver em repouso tende a ficar em repouso, e o corpo que se movimenta com velocidade constante ($a=0$) tende a continuar em seu movimento uniforme."

Não é possível realizar trabalho sobre uma partícula que permanece em repouso.

"Verdadeiro. Porque como $W = F \cdot d$, se o corpo estiver em repouso não haverá deslocamento, e de acordo com a lei citada anteriormente o trabalho (W) será igual a zero."

As características apontadas, utilização de fórmulas ou algoritmos isolados, sem vinculação com modelos, ficaram evidenciadas através de uma pergunta feita a um dos monitores, ao longo do curso:

"Não tem uma regra para fazer tudo de uma só vez?"

Segundo a autora, nas aulas este aluno não demonstrava interesse em compreender os fenômenos, lhe interessava saber a fórmula que deveria aplicar em situações específicas.

NÚCLEO(S) CONCEITUAL(IS): durante a entrevista suas explicações eram centradas predominantemente no conceito de força, sendo que este conceito também ocupou lugar de destaque nos seus três mapas conceituais.

Nos seus mapas as relações entre os conceitos foram feitas através de fórmulas, confirmando a característica do aluno de utilizar fórmulas desvinculadas de modelos. Na figura 6 apresenta-se um mapa conceitual deste aluno.

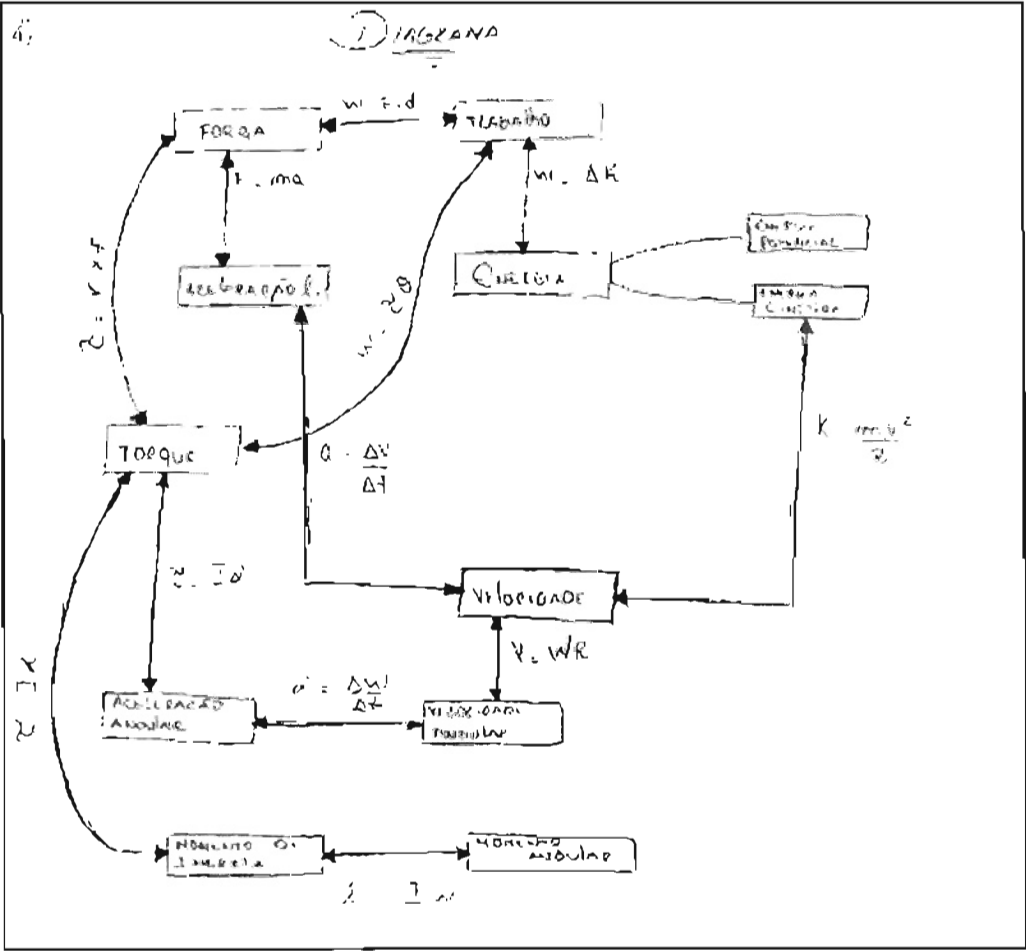


Figura 6 – Mapa conceitual feito por Emerson (Lagteca, 1997)

CARACTERÍSTICAS DO NÚCLEO CONCEITUAL E DAS EXPLICAÇÕES: mesmo que nos testes de avaliação o aluno usasse um vocabulário científico, durante a entrevista, que fora realizada no último dia de aula de cada aluno, não usava esse vocabulário; conceitos como gravidade, força resultante, energia, momento não apareceram. No decorrer da entrevista, suas explicações pareciam baseadas em descrições de fenômenos cotidianos, e estas descrições pareciam estar associadas a “objetos”, ou melhor, à “geometria dos objetos”. Vejamos algumas situações:

"Vai cair...vai descer, é uma rampa..."
"...isso aqui é uma superfície lisa?"
"...tem que firmar o pé no chão."

Ainda durante a entrevista, aparentemente o aluno só relacionava o conceito de força a movimento, utilizando indiscriminadamente as palavras velocidade, movimento e aceleração.

"...lá, elas vão fazer este movimento até parar, até esta força aqui que foi aplicada nesta bola se igualar a zero."
"...o que tem menor massa vai se movimentar mais porque tem maior aceleração...e a que tem a maior vai se movimentar menos porque tem a menor aceleração do que a que tem menor massa."
"Se ele tiver parado não tem aceleração..."
"...até parar, até esta força se igualar a zero."

A autora argumenta que provavelmente esta relação que ele utilizava para explicar diferentes situações, fizesse parte de um modelo mental sobre o conceito de força que incluísse a idéia de força como agente que causa o movimento, assim como, que todo o movimento exige a presença de uma força.

"Um macaco e uma caixa estão unidos por uma corda que está ao redor de uma roldana, ambos a mesma altura do solo. O que acontece com a caixa quando o macaco começa a subir pela corda?" ele apenas descreveu o que iria acontecer, sem justificar. Em outras situações, como por exemplo na resposta dada na entrevista referente à questão. Possivelmente isto se deva ao fato de que o seu provável modelo mental sobre o conceito de força, que ele parece ter utilizado no decorrer da entrevista, não conseguiu explicar tal situação.

"...subir, por causa da roldana, né? Como eu vou te explicar...mas, quando sobe a caixa, desce o macaco"
O macaco não está descendo, está subindo.
"...Se ele está subindo, ele tá botando a corda para baixo dele, então vai subir o bloco até o bloco encostar aqui na roldana, daí não tem como subir mais..."
Como soubeste disto?
"...Sei lá, né...eu já vi uma roldana fazer isto."

O aluno não teria explicado, apenas descreveu o que iria ocorrer e relacionou, novamente, as suas respostas aos objetos presentes no problema. Parece que, quando ele não conseguia utilizar o modelo anteriormente citado, voltava a descrever intuitivamente o que iria ocorrer. Ao ser pressionado para explicar, utilizava como responsáveis pelos fatos descritos, os objetos ou a sua geometria, como o caso do plano inclinado e, agora, com a roldana. Ou seja quando percebia um acontecimento ou fenômeno físico sua mente construía um modelo mental físico que correspondia a um evento do mundo real, entretanto quando questionado sobre aquele evento ele se mostrava incapaz de construir um modelo conceitual, suas respostas evidenciam que seu modelo apenas conseguia prever futuros acontecimentos mas eram incapazes de explicá-los.

5.2.2 Caso 2 - Representante dos modelizadores basicamente proposicionais

Vamos agora analisar um caso que representa o grupo dos alunos 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 seu modelo permitia, os fenômenos que lhes eram apresentados. Esses modelos não necessariamente eram os cientificamente aceitos, no entanto, eles conseguiam resolver e interpretar situações diferentes das quais tinham que simplesmente manipular fórmulas. Aliás, a funcionalidade para o sujeito, é um compromisso básico dos modelos mentais e esses alunos pareciam ter modelos que satisfaziam tal compromisso. A estes tipos de alunos já se poderia afirmar de que eles estavam tendo uma aprendizagem significativa, poderia ser uma aprendizagem de mais qualidade, como apresentada pelos alunos que usavam modelos baseados em imagens mas mesmo assim possuem indícios de que estejam tendo uma aprendizagem significativa e esta aprendizagem poderia servir como subsunçores para aprendizagens seguintes, o que dificilmente ocorre com os alunos proposicionalistas.

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

Essa aluno tinha um modelo ligado à triade: velocidade constante \Leftrightarrow aceleração nula \Leftrightarrow força nula. Este modelo parecia poder ser aplicado a situações que envolviam a 1ª e 2ª Leis de Newton e permitiam resolver bem questões relacionadas com essas leis e fazer previsões.

Sandra (nome fictício) é uma típica representante desta categoria.

Sandra

TIPO DE REPRESENTAÇÃO MENTAL UTILIZADO DURANTE O CURSO: Segundo a autora, nos testes de avaliação esta aluna também fez bastante uso de fórmulas e definições para responder as questões e os problemas apresentados, mas não parecia ser uma mera manipulação de fórmulas, aparentemente ela conseguia “dar significado” a estas. É possível que ela tenha trabalhado com modelos proposicionais, ou seja, um conjunto de regras articuladas, integrando corretamente diferentes conceitos e/ou aspectos da disciplina.

Ao ser perguntada como resolvia os problemas, respondeu (itálico):

“...eu olho o problema e imagino uma coisa, uma resposta...vem na cabeça, parece que aquilo é certo, aí 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, aí tu começa a calcular...aí muitas vezes, pelo menos prá mim, o que eu imaginava tava errado.”

Novamente a autora apresenta alguns indícios de que a aluna parecia entender a aplicação das fórmulas e/ou leis que utilizava nas suas respostas, ao longo do curso.

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.

“ $FR = m \times a$ ”

$$a = \mu \times N / m$$

$$a = \mu \times m \times g / m$$

$$a = \mu g$$

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".

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

"Momento de inércia é aquilo que define a maior ou menor facilidade de um corpo em entrar em movimento de rotação de acordo com a distribuição da massa em relação ao eixo.

$$I = \sum m_i r_i^2 \quad I = \text{integral } r^2 dm.$$

Em que ponto do movimento de um pêndulo simples a tensão na corda é máxima? E mínima? Justifique sua resposta.

$$F_r = m \cdot a$$

$$T - mg = m \cdot a_m$$

$$T - mg = m \cdot \omega^2 x_m$$

$$T = m \omega^2 x_m + m g.$$

A tensão será mínima nos extremos, onde a amplitude de oscilação é máxima, isto é, nos pontos de maior afastamento do ponto de equilíbrio, e será máxima exatamente no ponto de equilíbrio, pela fórmula acima."

NÚCLEO(S) CONCEITUAL(IS): durante a entrevista parecia delegar especial atenção ao conceito de energia e à tríade velocidade constante \Leftrightarrow aceleração nula \Leftrightarrow força nula.

CARACTERÍSTICAS DO NÚCLEO CONCEITUAL E DAS EXPLICAÇÕES: na entrevista, ao contrário do primeiro caso, não respondia simplesmente descrevendo a situação, sempre buscava uma explicação. Aparentemente explicava utilizando conceitos científicos e, em princípio, possuía um modelo que relacionava velocidade constante com aceleração nula e força nula que "disparava" encadeado e de uma só vez, como mostram as suas respostas.

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".

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 Px pra 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..."

Possivelmente, este modelo, onde relacionava velocidade constante com aceleração nula e força nula, permitia a aluna entender o conceito de inércia e resolver bem problemas de corpos isolados. Vejamos uma de suas respostas a um dos testes de avaliação.

Suponha que um carro sob a ação de duas forças esteja acelerado. Podemos concluir daí que:

- a) O carro não pode se movimentar-se com velocidade constante.
- b) A velocidade jamais pode ser nula.
- c) Que a soma das duas forças não pode ser nula.
- d) Que as duas forças devem estar agindo na mesma direção ? Em cada um dos casos, dê um exemplo no caso afirmativo ou explique no caso negativo.

" a) Certo, pois se existe uma aceleração, ela modifica a velocidade no decorrer do tempo. B) A velocidade poderá ser nula momentaneamente, como por exemplo, se o carro estiver mudando de movimento (mudando de sentido).

c) Certo, pois se $\Sigma F = 0$, implica $m_{\text{carro}} \times a = 0$ (2ª lei) e isto implica aceleração igual a zero. E isto não é possível uma vez que o carro está acelerado.

d) As forças não precisam estar na mesma direção, pois sendo uma das forças maior que a outra, então poderá continuar havendo aceleração e o movimento continuaria sendo acelerado."

Esse 'modelo' era basicamente proposicional. Ao que parece não estava vinculado a imagens. A autora afirma que esta triade era um modelo e não uma representação proposicional aprendida de memória, pois era transferido e aplicado corretamente em diferentes situações. Porém, em sistemas em interação (situações onde há corpos em contato, como por exemplo pêndulos que se chocam) não era utilizado, aparentemente recorrendo para outro modelo que estava associado à palavra energia. No entanto, ela conseguiu, através de suas respostas, identificar o possível modelo mental que a aluna teria utilizado sobre o conceito de energia (parecia estar relacionado com força). Vejamos alguns trechos da entrevista onde ela utilizou este conceito.

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

"...esta aqui vai bater nesta, a energia mecânica vai ter que se conservar. então a energia cinética desta aqui que é massa vezes a velocidade desta aqui ao quadrado sobre dois, vai ser igual a energia mecânica do sistema aqui, ou melhor, se esta em repouso tenho mgh..."

Porque a bola que bateu fez com que a que estava parada se movimentasse?

"...Porque ela bate e a outra tem que se mexer...porque...transferência de energia..."

Esta aluna, no decorrer do curso, aparentemente, utilizava modelos proposicionais, ou melhor, um conjunto de regras articuladas, integrando corretamente diferentes conceitos e/ou aspectos da disciplina, pois parecia compreender como e porque estava utilizando esta ou aquela fórmula e/ou lei. Durante a entrevista, a pesquisadora entendeu que aluna utilizava um modelo mental proposicional que ficou evidenciado pela relação velocidade constante = aceleração nula = força nula. Esse modelo permitia que ela explicasse situações onde não existia contato entre os corpos. A aluna parecia recorrer a um outro modelo que envolvia o conceito de energia, para explicar os casos em que havia contato entre os corpos, talvez por não ter entendido o conceito de força como interação.

5.2.3 Caso 3 - Representante dos modelizadores basicamente imagísticos

Para finalizar será apresentado agora um caso que representa o grupo dos alunos que possivelmente trabalhavam com modelos basicamente imagísticos, pois, ao que parece, faziam bastante uso de imagens. Estes alunos 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 casos anteriores e continham relações não meramente formulísticas entre os conceitos.

José Paulo (nome fictício) é um representante desta categoria.

José Paulo

TIPO DE REPRESENTAÇÃO MENTAL UTILIZADO DURANTE O CURSO: este aluno na maioria das questões dos testes de avaliação, respondia de maneira singular, usando suas palavras, sem fazer cópia do livro de texto. Fazia uso de conceitos físicos nas respostas e, sempre que podia, citava exemplos e fazia desenhos para explicar. Por isto parecia que utilizava modelos basicamente imagísticos, que faziam com que ele sempre analisasse as fórmulas que estava usando, além de realizar certos comentários, durante a resolução dos problemas. O que levou a autora a pensar que o aluno interpretava essas fórmulas e entendia as leis que usava.

Quando perguntado como estudava, respondeu:

"Eu voltava sempre nas unidades anteriores, e tentava sempre desenhar alguma coisa que pudesse esclarecer."

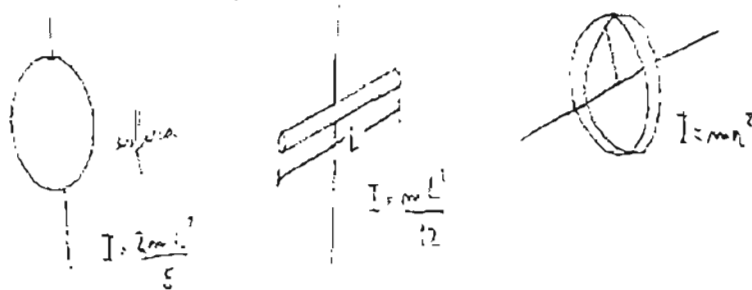
Algumas respostas deste aluno (em itálico) aos testes de avaliação da disciplina.

Para que um corpo esteja se movendo é necessário que atue sobre ele uma força.
"Falso. Para um corpo começar a se mover, é necessário que uma força atue sobre ele. Porém, ele permanecerá em movimento uniforme até que uma força seja aplicada sobre ele."

Se sobre um corpo temos força resultante nula, ele está em repouso.
"Falso. A força resultante nula quer dizer aceleração nula. Porém, aceleração nula, não quer dizer que o corpo esteja em repouso. Ele pode estar em movimento retilíneo uniforme."

Qual a relação entre distribuição de massa e momento de inércia?

O momento de inércia de um corpo pode ser calculado de diversas maneiras. Por exemplo:

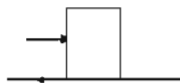


Primeiro, em todas elas, sempre é importante a distância da distribuição da massa em relação ao eixo. Nos três exemplos, quanto mais "longo" e mais a distribuição em relação ao eixo de rotação, maior será o momento de inércia. Também, pode-se concluir que quanto mais "espalhada" é a massa do corpo, quanto mais distante esta fica do eixo de rotação, maior é o momento de inércia.

Figura 7: resposta de José Paulo sobre momento de inércia

Caracterize a força de atrito. Utilize exemplos se julgar necessário.

"a força de atrito é uma força de resistência a um movimento. Por exemplo, se uma pessoa empurra um bloco horizontalmente, ela sentirá dificuldades por causa da força de atrito que está agindo em sentido contrário.



Ela varia de acordo com a superfície que está resistindo. Por exemplo, é mais difícil empurrar uma pedra sobre um piso de areia do que sobre o gelo, pois a força de atrito no gelo é menor. É mais fácil mover-se no ar do que na água, pois o atrito na água é maior."

Mesmo ao fazer uso de fórmulas para responder algumas questões, o aluno não se restringia a simplesmente enunciar essas fórmulas, ele parecia interpretar o que elas significavam.

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.

$$P_f = M \cdot V + m \cdot v \quad p_f = p_i \quad M \cdot v = - m \cdot V$$

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 compensa a sua velocidade adquirida, que é infinitamente pequena para ser considerada."

A autora salienta que ao resolver os problemas, além de usar as fórmulas de uma maneira mais abrangente possível, o aluno fazia comentários sobre os resultados, dando a entender que percebia o que estava acontecendo nos problemas. Além disso, qualquer informação que ele usava para resolver os problemas, ele justificava e explicava por que estava usando. Veja por exemplo:

Um bloco de 3,5kg solta-se de uma mola comprimida cuja constante elástica é igual a 640 N/m. Após abandonar a mola, o bloco desloca-se por uma superfície horizontal, por uma distância de 7,8 m, antes de parar. O coeficiente de atrito entre o bloco e a superfície é 0,25.

- Qual o trabalho realizado pela mola?
- Qual a energia cinética máxima do bloco?
- De quanto a mola foi comprimida antes de ser liberada?

2) $m = 3,5\text{Kg}$	a) $W_f = ?$	$W_f = F \cdot d \cdot \cos 180^\circ$	$F = \mu \times N$	$N = P$
$K = 640\text{N/m}$		$W_f = 8,6 \times 7,8 \times (-1)$	$F = 0,25 \times 34,3$	$N = 3,5 \times 9,8$
$d = 7,8\text{m}$		$W_f = -67,08\text{J}$	$F = 8,6\text{N}$	$N = 34,3\text{N}$
$\mu = 0,25$				

b) A energia cinética atinge valor máximo no instante em que o bloco se solta da mola, onde a velocidade é máxima (V_0)

$F = \mu \cdot N = m \cdot a$	$V^2 = V_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta x$	como o corpo está freando, a é negativa	$K = (mV^2)/2$
$8,6 = 3,5 \cdot a$	$V^2 = V_0^2 - 2 \cdot a \cdot \Delta x$	$V = 0$	$K = (3,5 \times 36,376)/2$
$a = 2,46\text{m/s}^2$	$0 = V_0^2 - (2 \times 2,46 \times 7,8)$		$K = 67,16\text{J}$
	$V_0^2 = 38,376$		
	$V_0 = 6,2\text{ m/s}$		

c) A energia mecânica é constante e quando o corpo deixou a mola era igual a K , logo:

$$E = K + U = K + 0 = 67,16\text{J}$$

Quando a mola está comprimida $K = 0$ e $E = U$

$$\begin{aligned}
 E &= 67,16 = U \\
 U &= (Kx^2)/2 = 67,16 \\
 67,16 &= (640 \cdot x^2)/2 \\
 640x^2 &= 134,32 \\
 x^2 &= 0,21 \\
 x &= 0,46\text{m} = 46\text{ cm}
 \end{aligned}$$

Figura 8: exercício resolvido por José Paulo envolvendo conservação de energia [Lagrecca, 1997]

Em seus mapas conceituais, ele classificava os conceitos como gerais e específicos. Entre os conceitos gerais estão: força, energia e aceleração. Entre os conceitos específicos se encontram os tipos de

energia, trabalho, tipos de força, tipos de aceleração, entre outros. As relações que ele usava entre os conceitos eram do tipo proporcionalidade e classificação. Não havia entre os conceitos relações matemáticas.

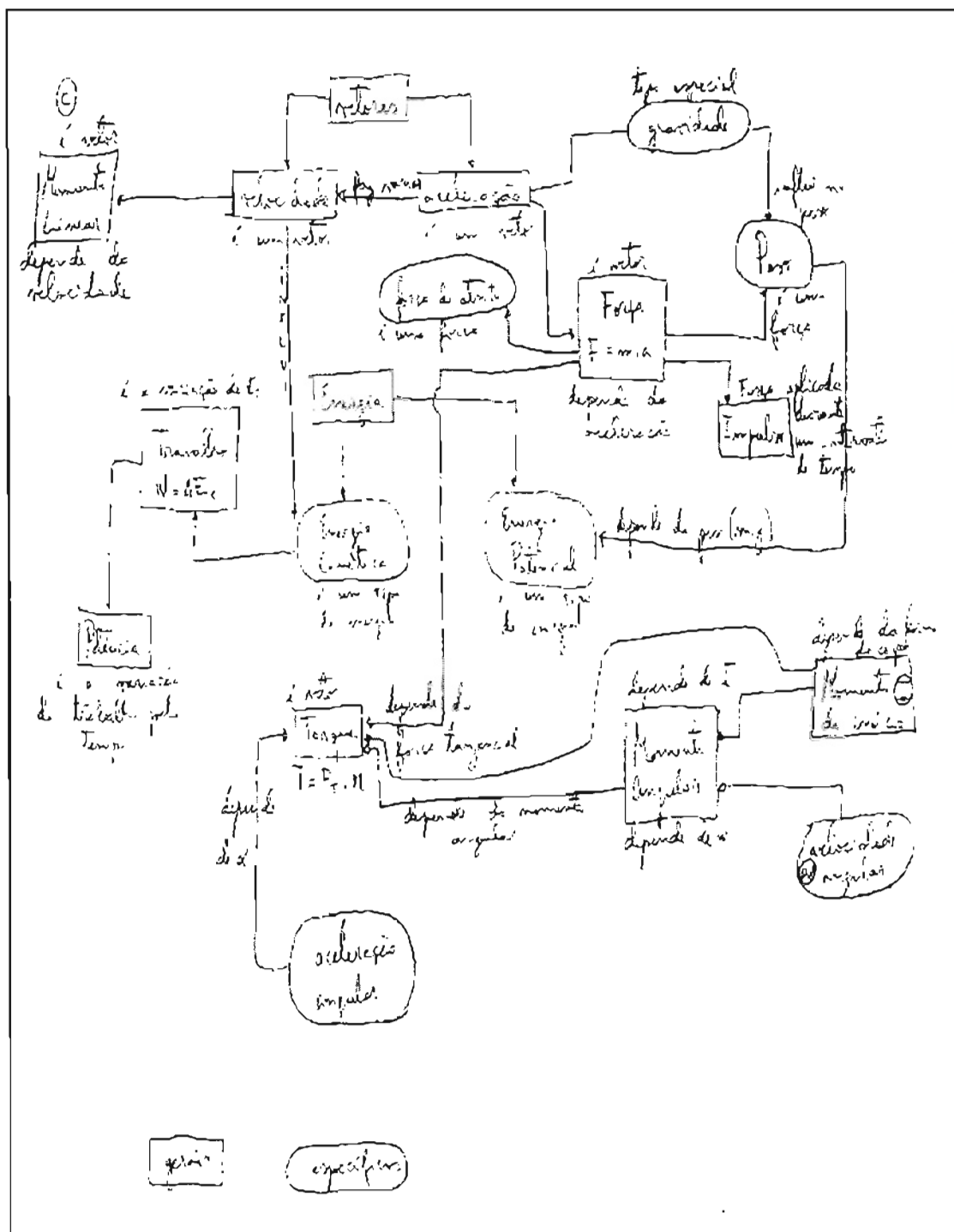


Figura 9: mapa conceitual feito por José Paulo [Lagrec, 1997]

NÚCLEO(S) CONCEITUAL(IS): Na entrevista suas explicações estavam sempre centradas no conceito de força.

CARACTERÍSTICAS DO NÚCLEO CONCEITUAL E DAS EXPLICAÇÕES: Para a autora teria ficado evidente o uso do conceito de força para explicar as diversas situações que foram apresentadas durante a entrevista. Parece que o aluno entendia o conceito de força como interação e, além disso, deu indícios de que teria mudado o seu modelo primitivo (o que ele teria antes do curso) que seria um modelo de força como agente causador do movimento, por seus comentários na entrevista:

"...eu sempre pensava que uma nave, quando estava em órbita, ela ficava sempre com um foguete ... com os motores ligados, prá ficar girando. E aí eu vi que não, que ela na verdade está sempre em queda livre, ao redor da terra."

No caso de dois blocos presos por uma corda e colocados num plano inclinado ele fez a previsão correta do que iria acontecer, se fossem massa iguais e se o sistema tivesse ou não atrito. Fazendo a decomposição da força que atua nos blocos (o peso de cada bloco).

A idéia de força como interação parecia estar por trás das respostas das questões dos dois blocos colocados num plano inclinado, dos blocos unidos por uma mola, e do caso canhão mais bala. Por exemplo, no caso em que os pesquisadores perguntaram o que aconteceria quando um canhão disparasse uma bala e não tivesse atrito entre o solo e o canhão, o aluno respondeu:

"Se não tiver atrito na superfície que o canhão tá apoiado, a bala vai sair com uma velocidade prá cá e o canhão vai ser empurrado também prá cá."
Por que isso acontece?
"Porque...porque... 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."

É possível que, talvez por ter entendido o conceito de força como interação, ele tenha compreendido a terceira lei de Newton, assim como o conceito de inércia, e por isso tivesse conseguido explicar todas as situações em torno do conceito de força, fazendo uso das leis de Newton.

No caso de dois blocos comprimidos por uma mola que são liberados e se chocam em anteparos, sem atrito na superfície e nos anteparos, o aluno respondeu :

"A mola vai fazer... como ela não tem atrito, ela vai fazer os dois blocos irem até a parede. ... os dois blocos vão se chocar com a parede, a parede vai fazer uma força de igual intensidade, eles vão voltar, vão comprimir a mola e assim sucessivamente."
"Por que ela tem uma ... quando ela é comprimida, ela armazena uma energia... e transforma isso em uma força... em sentido contrário à compressão."
"É ... a compressão ... há ... proporciona uma ... quanto mais eu comprimir a mola, mais vai surgir uma força cada vez maior, em oposição à compressão."
"Essa mola tem uma constante... que... que dependendo da ... da compressão ... do deslocamento que eu der nela ... ela vai gerar uma força. Então dependendo dessa força, eu vou ter aceleração no bloco."

Esse possível modelo mental utilizado pelo aluno, envolvendo o conceito de força como interação, permitiu que ele fizesse predições e respondesse bem as questões apresentadas, demonstrando ser um modelo eficiente, além de ter permitido que ele deixasse de pensar em força como causadora do movimento, como mostramos anteriormente.

Na entrevista, diferentemente do tipo de respostas dadas nos testes da disciplina, durante o semestre letivo, o aluno não se deteve em uma análise mais profunda das questões propostas,

respondendo as mesmas de um modo muito simplista, sem dar oportunidade ao entrevistador de prolongar o diálogo. Talvez isso tenha acontecido porque esse aluno só aparecia na aula para fazer os testes. Nunca foi em uma aula para tirar dúvidas e não manteve um relacionamento mais profundo com os colegas e monitores. Era um aluno muito tímido e isso talvez tenha atrapalhado sua entrevista. Contudo, o seu desempenho no curso foi excelente.

5.3 Conclusão da autora

Ao final ela chama a atenção para a possível existência de uma dicotomia na forma de trabalhar dos alunos. Ao longo do curso, nos testes de avaliação, eles estavam submetidos ao fato de que tinham que ser aprovados nos testes para concluir o curso de Física Geral I, por isso era essencial que eles demonstrassem que haviam “aprendido” os conceitos apresentados. Já durante as interações com os monitores e na realização da entrevista, possivelmente por esta não ter caráter avaliativo, os conceitos “aprendidos proposicionalmente” (através de regras desvinculadas de um modelo) já não são tão importantes, por isso em alguns casos foram esquecidos, bem como tais regras deixaram de ser necessárias.

Segundo Jonhson-Laird os modelos mentais são mais difíceis de serem esquecidos pois envolvem mais trabalho na sua construção. Parecia serem os casos em que não foi possível identificar, durante a entrevista, modelos mentais sobre os conceitos de momentum, impulso, ação e reação, entre outros.

A autora julga importante salientar que quando ela afirma que os alunos têm modelos mentais sobre o conceito de força, a palavra força não deve ser identificada necessariamente com o conceito cientificamente aceito. Possivelmente essa seja a forma com que eles aprenderam a indicar a ideia de esforço. Geralmente, quando falamos de força, eles não estão falando da mesma força que nós. Isto pode ser um grande indicador da dificuldade sobre a compreensão das Leis de Newton.

Conforme o tipo de representação mental que os alunos utilizaram, tanto durante o curso como na entrevista final, a autora pode verificar o seguinte:

Alguns, embora trabalhassem durante o curso, nos testes de avaliação, utilizando proposições desvinculadas de modelos, como Emerson na entrevista e na interação com monitores, pareciam ter utilizado um modelo mental sobre o conceito de força que incluía força como agente responsável pelo movimento.

Outros, como Sandra, que trabalhavam durante o curso, nos testes de avaliação, com modelos basicamente proposicionais, ou seja, regras acopladas interligando diferentes conceitos e/ou aspectos da matéria (regras inseridas em um modelo, embora não necessariamente aceito cientificamente), teriam também o conceito de força ligado ao movimento dos corpos, mas nesse caso a relação entre força e movimento incluía a triade velocidade constante = aceleração nula = força nula.

Isto pode ser um indicativo de que, quanto mais “elaborado” o modelo mental, mais facilmente o aluno poderia compreender situações e contextos diferentes daqueles trabalhados em aula, ou daqueles onde só tivessem que aplicar fórmulas.

5.4 Conclusão

Neste trabalho tentamos apresentar as principais idéias e conceitos da Teoria de Aprendizagem Significativa de David Ausubel e da Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird, e construir, através da idéia de avaliação formativa, uma “ponte” que possa unir as duas teorias.

Através da aferição de como é o modelo mental, que seria o resultado do raciocínio que este aluno teve, para resolver um exercício, problema ou tarefa, o professor poderia tentar avaliar que tipo de aprendizagem o aluno está tendo e a partir destes resultados tentar corrigir qualquer distúrbio que ele esteja tendo, com o intuito de buscar uma aprendizagem significativa. Embora seja bastante difícil identificar modelos mentais, pois são representações internas do indivíduo, identificar “se o aluno usa de modelos mentais ou não” já não é tão difícil, e como já citado anteriormente o uso dos modelos mentais seria indício de aprendizagem significativa, e mesmo que ela seja baseado em proposições ele poderia servir como subsunçores para novos conhecimentos. Outra dificuldade que se apresenta seria o trabalho de se obter os modelos mentais, como a autora mesmo observa, foi durante as entrevistas que surgiram os maiores indícios do uso ou não de modelos mentais, e realizar entrevistas em uma classe de aula é algo que demanda tempo e esforço e isto poderia ser visto como um impedimento sério ao uso desta teoria na sala de aula, mas quero chamar a atenção para um fator de extrema importância. A avaliação formativa, cuja finalidade é regular a aprendizagem dos alunos, deve ser **individual**. E sendo assim, ela acabará se tornando uma atividade que demandará tempo e esforço do professor. Desta forma, um dos grandes obstáculos para o uso da teoria dos modelos mentais deixa de ser relevante por ser um requisito fundamental da avaliação formativa.

BIBLIOGRAFIA

- Ballester, M. (2003) *Avaliação como apoio à aprendizagem*; trad. Valério Campos. – Porto Alegre: Artmed.
- Barbeta, B. V.; Yamamoto J. (2002) Dificuldades Conceituais em Física Apresentadas por Alunos Ingressantes em um Curso de Engenharia. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.24, n.3, p. 324-341, set. 2002
- Cabral da Costa, S. S.; Moreira, M. A. (1996) O Papel da Modelagem Mental dos Enunciados na Resolução de Problemas em Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.24, n.1, p. 61-74, mar. 2002
- Cabral da Costa, S. S.; Moreira, M. A. (1996) Resolução de problemas I: Diferenças entre novatos e especialistas. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v.1, n.2, ago. 1996
- Cabral da Costa, S. S.; Moreira, M. A. (1997) Resolução de problemas II: Propostas de metodologias didáticas. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v.2, n.1, mar. 1997
- Cabral da Costa, S. S.; Moreira, M. A. (1997) Resolução de problemas III: Fatores que influenciam na resolução de problemas em sala de aula. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v.2, n.2, ago. 1997
- Cabral da Costa, S. S.; Moreira, M. A. (1997) Resolução de problemas IV: Estratégias para resoluções de problemas. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v.1, n.2, dez. 1997
- Chioro, R. *Ciência Cognitiva*. BT *Ciência Cognitiva*. Disponível em
< http://an.locaweb.com.br/Webindependente/CienciaCognitiva/ciencia_cognitiva.htm > Acesso em: Jan 2005
- Lagreca, M. C. B. (1997) Tipos de representações mentais utilizadas por estudantes de física geral na área de mecânica clássica e possíveis modelos mentais nesta área. Porto Alegre: Curso de pós-graduação em Física - UFRGS, 1997. Dissertação de mestrado em Física.
- Moreira, M. A. (1999) *Aprendizagem Significativa*. Brasília: Editora Universidade de Brasília.
- Moreira, M. A. (1996) Modelos Mentais. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v.1, n.3, dez. 1996
- Moreira, M. A.; Lagreca, M. C. B. (1998) Representações Mentais dos Alunos em Mecânica Clássica: Três Casos. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v.3, n.2, ago. 1998
- Moreira, M. A.; Pinto, A. O. (2003) Dificuldades dos Alunos na Aprendizagem da Lei de Ampère, à Luz da Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, Porto Alegre, v.25, n.3, p. 317-325, set. 2003
- Perrenoud, P. (1999) *Avaliação: Da excelência à regulação das aprendizagens – entre duas lógicas*; trad. Patrícia Chittoni Ramos – Porto Alegre: Artes Médicas Sul.
- Silva, A. R. *Racionalidade humana*. BT *Ciência Cognitiva*. Disponível em
< http://an.locaweb.com.br/Webindependente/CienciaCognitiva/racionalidade_humana.htm > Acesso em: Jan 2005
- Krapas, S.; Alves, F.; Raimundo de Carvalho, L. (2000) Modelos Mentais e a Lei de Gauss. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v.5, n.1, mar. 2000
- Villani, A.; Baptista Cabral, T. T. (1997) Mudança conceitual, subjetividade e psicanálise. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v.2, n.1, mar. 1997