

UM ESTUDO DE MODELOS MENTAIS **(A study of mental models)**

A. Tarciso Borges [tarciso@coltec.ufmg.br]
Universidade federal de Minas Gerais, Colégio Técnico

Resumo

O conceito de modelo mental vem sendo usado em várias áreas do conhecimento para se estudar as representações de usuários sobre sistemas e eventos físicos, e também o conteúdo dessas representações. Ele não pode, no entanto, ser considerado um conceito unitário. Este trabalho discute os pressupostos envolvidos em diferentes áreas do conhecimento e relata um estudo dos modelos mentais de magnetismo de estudantes e profissionais tais como eletricitas, professores de Física e engenheiros. Os modelos identificados destacam dois aspectos: qual é a origem do magnetismo em ímãs permanentes e qual é o mecanismo da interação magnética. **Palavras-chave:** modelos mentais, magnetismo, representações.

Abstract

The concept of mental models is being used in several areas of knowledge in order to study the representations users have about physical systems and events, as well as the content of such representations. However, it cannot be considered a unitary concept. This paper discusses the assumptions involved in different areas of knowledge and describes a study of the mental model of magnetism held by students and professionals such as electricians physics teachers, and engineers. The identified model stress two aspects: what is the origin of permanent magnets and what is the mechanism of the magnetic interaction.

Key-words: mental models, magnetism, representations.

Caracterização de modelos

Os processos pelos quais nós compreendemos uma situação nova tem sido objeto de intermináveis discussões entre filósofos, e mais recentemente, psicólogos e estudiosos da cognição. Não há respostas simples para tal questão, embora seja aceito que nossa habilidade em falar sobre um fenômeno ou sobre um objeto está intimamente relacionada com a nossa compreensão dele. O interesse em analogias, modelos e modelos mentais se deve à aceitação da idéia de que nós só podemos apreender o novo em termos daquilo que já conhecemos. Deste ponto de vista, explicações são tentativas de compreender um evento ou uma situação não-familiar em termos de coisas com as quais estamos habituados, ou em termos de sistemas familiares de relações por meio de analogias.

Quando uma coisa é dita ser análoga a outra, implica que uma comparação entre suas estruturas é feita e a analogia é o veículo que expressa os resultados de tal comparação. Analogias são, portanto, ferramentas para o raciocínio e para a explicação. Um modelo pode ser definido como uma representação de um objeto ou uma idéia, de um evento ou de um processo, envolvendo analogias. Portanto, da mesma forma que uma analogia, um modelo implica na existência de uma correspondência estrutural entre sistemas distintos. Se isso não fosse assim, os modelos teriam pouca utilidade.

Na linguagem de modelos, o primeiro sistema que é conhecido é a fonte da analogia. O sistema desconhecido que alguém tenta compreender por meio da analogia é o alvo. O sistema fonte pode ser caracterizado como sendo formado de um número de entidades, concretas ou simplesmente imaginadas, que têm propriedades conhecidas, e por relações entre entidades e suas propriedades. Analogias são usualmente classificadas em analogias materiais e analogias formais (Black, 1962). Numa analogia material é o conjunto de entidades e propriedades que descrevem o sistema fonte que serve de base para a compreensão do sistema alvo. Numa analogia formal é uma estrutura abstrata de relações que serve de modelo para entender o domínio não familiar. A figura 1 exibe as relação entre o modelos e os sistemas alvo e fonte.

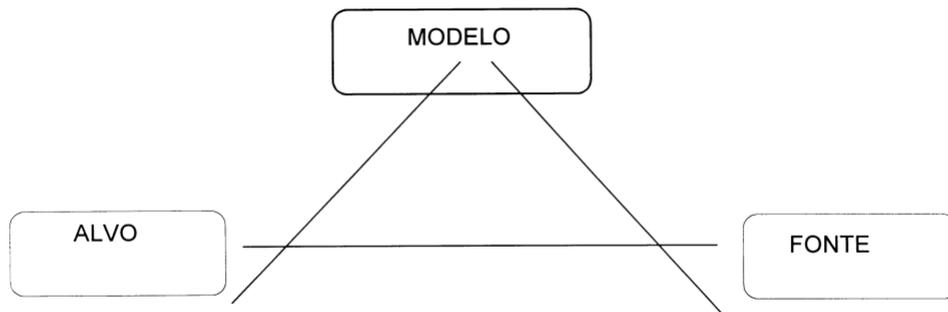


Figura 1 - Relação esquemática entre modelo, sistema fonte e sistema alvo

Modelos e modelos mentais

Modelos e modelos mentais são correntemente empregados em diversas áreas do conhecimento, tais como:

- Filosofia,
- Psicologia,
- Estudo de Sistemas Homem-Máquina,
- Estudo da Interação Humano-Computador,
- Compreensão da Linguagem e
- Educação.

Apesar de ser utilizado há pelo menos 30 anos, não existe uma definição explícita do que seja um modelo mental. O conceito de modelo mental se disseminou a partir da publicação de dois livros, ambos com o título "Mental Models", publicados em 1983. O primeiro deles, editado por Gentner e Stevens (1983) é uma coleção de contribuições a um seminário sobre o assunto. Nele várias visões do conceito são apresentadas de maneira mais ou menos implícita. O segundo livro (Johnson-Laird, 1983) é um trabalho em que o autor procura explicar o raciocínio dedutivo e a compreensão de texto. A partir daí, o conceito de modelo mental começou a ser usado ao lado de outros como "frame", "schema" e "script" e como resultado, a terminologia empregada nas diferentes áreas não é uniforme. Uma discussão mais detalhada acerca do uso de tais construções pode ser encontrada em Brewer (1987).

Uma caracterização simples de um modelo mental é que ele é um modelo que existe na mente de alguém. Dessa forma, só podemos falar a respeito de nossa própria concepção do modelo mental de uma outra pessoa, o usuário do modelo. Intuitivamente a idéia é simples: pensar envolve a criação e a internalização de modelos simplificados da realidade. Entretanto, o conceito não pode ser considerado como unitário. Ao contrário, diferentes limitações e pressupostos são impostos no

significado do termo pelas diversas comunidades que o empregam. Na Ciência Cognitiva, os modelos mentais são usados para caracterizar as formas pelas quais as pessoas compreendem os sistemas físicos com os quais interagem. Eles servem para explicar o comportamento do sistema, fazer previsões, localizar falhas e atribuir causalidade aos eventos e fenômenos observados (Norman, 1983). Na área de Supervisão e Controle de Sistemas, aceita-se que um modelo mental inclui conhecimento sobre o sistema a ser controlado, conhecimento sobre as perturbações prováveis de afetar o seu funcionamento e estratégias associadas com a tarefa de controle (Rouse e Morris, 1986). O conceito tem sido também usado para caracterizar alguns padrões recorrentes de pensamento criativo de cientistas no curso de suas pesquisas. Nessas situações, embora lidando com situações inteiramente novas, um núcleo central de idéias e representações pode ser identificado e seguido ao longo de extensos períodos de tempo. Tweney (1992) ao analisar o surgimento do conceito de campo conseguiu identificar algumas idéias e imagens que reapareceram de tempo em tempo nas anotações de Faraday, durante os anos e que ele tentava criar representações mais claras de suas idéias sobre as linhas de força.

A diversidade de usos e de pressupostos envolvidos no conceito de modelo mental pode ser entendido com o uso de um modelo analógico, adaptado de Payne (1991) que consiste de uma série de camadas, em que as camadas exteriores contêm completamente as camadas internas. É como um ovo de páscoa que contém outro ovo, que por sua vez contém outros ovos menores. No núcleo de tal família está a concepção de modelo mental que adota o menor dos pressupostos teóricos: a de que o comportamento de uma pessoa é melhor explicado em termos do conteúdo de sua mente. Isto é, em termos dos conhecimentos e crenças de tal pessoa, independente de quaisquer mecanismos mentais.

Esta posição é aceita de maneira geral e deu origem a todo um campo de estudo das origens e da natureza das crenças sobre o mundo físico, em lugar de centrar exclusivamente nas micro-estruturas cognitivas. Vários dos capítulos do livro de Gentner e Stevens (1983) e vários trabalhos sobre concepções alternativas de estudantes conduzidos durante as duas últimas décadas compartilham tais pressupostos. Em todos eles, as analogias têm um papel importante, visto que eles supõem que os modelos mentais são construídos por analogia com sistemas mais familiares. As camadas mais externas do modelo que estou descrevendo compartilham os mesmos pressupostos das camadas interiores e acrescentam outros. Nesse modelo, as camadas mais externas trabalham com um conceito mais restrito de modelo mental.

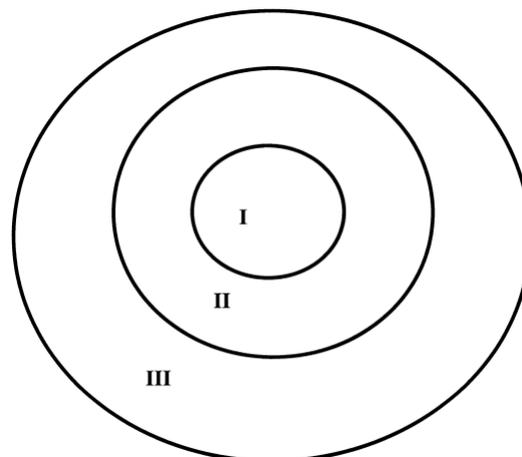


Figura 2 - Um modelo das concepções de modelo mental

I - O comportamento de uma pessoa é melhor explicado em termos do conteúdo de sua mente, dos conhecimentos e das crenças de tal pessoa, independente de quaisquer mecanismos mentais. (Gentner e Stevens, 1983; Shipstone, 1985; Osborne, 1983)

II - Acrescenta-se o pressuposto de que uma pessoa faz inferências e previsões manipulando seus modelos mentais, numa forma de simulação mental. (de Kleer e Brown, 1981; Williams, Hollan & Stevens; 1983)

III - Supõe que os modelos mentais são estruturalmente análogos aos sistemas que eles representam e que os mesmos tipos de modelos podem ser construídos através da percepção, da imaginação ou de leitura. (Johnson-Laird, 1983)

Num outro nível acrescenta-se o pressuposto de que uma pessoa faz inferências e previsões manipulando seus modelos mentais, numa forma de simulação mental. Por exemplo, segundo de Kleer e Brown (1981) ao fazer previsões ou explicar o funcionamento de um sistema a pessoa simula mentalmente uma estrutura simbólica de componentes interligados. Os tipos de componentes que formam o modelo e a maneira como eles estão conectados contribuem para o resultado. Tal processo de simulação mental é como imaginar um programa simples de computador sendo rodado. Ao rodar tal simulação o usuário leva em conta o seu conhecimento específico da situação tratada e seu conhecimento geral sobre o mundo físico e como ele funciona. Portanto, nessa visão o que distingue um modelo mental de conhecimento em geral, é que o modelo pode ser rodado na imaginação para produzir descrições do estado de um sistema, explicações para o seu comportamento e produzir previsões de eventos e estados futuros.

Num nível mais externo, supõe-se que os modelos mentais são estruturalmente análogos aos sistemas que eles representam e que os mesmos tipos de modelos podem ser construídos através da percepção, da imaginação ou de leitura. A teoria de Johnson-Laird e compreensão de texto e raciocínio ocupa este lugar. De acordo com a teoria de modelos mentais de Johnson-Laird, nós construímos modelos mentais de eventos e estados de coisas no mundo empregando processos mentais tácitos. Nossa habilidade em dar explicações está intimamente relacionada com nossa compreensão daquilo que é explicado, e para compreender qualquer fenômeno ou estado de coisas, precisamos ter um modelo funcional dele.

Tais modelos são estruturalmente análogos aos processos que acontecem no mundo exterior, embora sejam incompletos e não representem diretamente a realidade. Entretanto eles capacitam cada sujeito a fazer predições e inferências, a compreender fenômenos e eventos, a atribuir causalidade aos eventos observados, a tomar decisões e controlar a execução delas. Alguns desses modelos são adquiridos apenas através de transmissão cultural ou ensino, enquanto que outros são adquiridos da interação cotidiana com outras pessoas e com o mundo. Segundo Brewer (1987), modelos mentais na concepção de Johnson-Laird são estruturas de conhecimento específicas que são construídas e usadas no momento que o usuário lida com uma nova situação. Ao contrário, os modelos mentais a la Gentner e Stevens seriam estruturas de conhecimento genéricas, principalmente relacionadas com a causalidade em domínios físicos. Essa distinção não parece essencial, uma vez que não há na teoria de Johnson-Laird nada que impeça a existência de modelos mais duradouros. Essa interpretação de Brewer parece originar do fato de muito do trabalho de Johnson-Laird diz respeito à compreensão de texto, no sentido amplo do termo, onde modelos genéricos não fazem sentido.

O que parece fundamental nas várias concepções do conceito de modelo mental é a ênfase na idéia de 'rodar' o modelo na imaginação. Isso permite ao usuário falar sobre situações passadas e futuras, permitindo que ele tome decisões, faça previsões e faça inferências sobre o comportamento futuro do sistema representado. Em seu trabalho sobre modelos mentais da Terra, Vosniadou e

Brewer (1992) comentam que "algumas das crianças pareciam tão seguras de suas visões e as expressavam prontamente e com tal clareza que é improvável que elas as tivessem construídos no momento" (p. 575-6). Os autores argumentam também terem encontrados indícios de atividade construtiva durante a entrevista, que pode ser devida à própria natureza da entrevista. A caracterização de modelos mentais como fenômenos transitórios parece ser pouco interessante para áreas mais dirigidas para aplicações, como em educação. Por exemplo, o que esse tipo de modelo poderia nos informar acerca de conhecimento prévio dos sujeitos sobre uma determinada situação ou sobre mudança conceitual?

Rouse e Morris (1986) classificam modelos mentais em categorias, refletindo a diversidade de uso do conceito nas várias áreas. Estas categorias referem-se a aspectos diferentes do sistema sob estudo e respondem a cinco questões que descrevem e explicam o sistema e seu comportamento:

Como é o sistema? (Descrever o sistema)

De que o sistema é feito? (Descrever a estrutura do sistema)

Como ele funciona? (Explicar como funciona)

O que ele está fazendo? (Prever ou Explicar o estado do sistema)

Para que ele serve? (Descrever o propósito do sistema)

Levando-se em conta tais questões, pode-se dizer que "Modelos mentais são os mecanismos através dos quais os humanos são capazes de gerar descrições do propósito e forma de um sistema, explicar o funcionamento de um sistema e os seus estados observados e prever os estados futuros" (Rouse e Morris, 1986).

Uma outra definição, devida a Carrol e Olson (1988) é a de que um modelo mental é "uma estrutura rica e elaborada que reflete a compreensão do usuário do que o sistema contém, de como ele funciona e de por que ele funciona daquela forma. Ele pode ser imaginado como conhecimento suficiente sobre um sistema que permite ao usuário experimentar ações mentalmente antes de executá-las". Tais definições sugerem que:

- A. Um modelo mental é diferente de uma representação de informações isoladas sobre o sistema. ela é uma estrutura rica e elaborada.
- B. Um modelo mental representa diferentes tipos de informação: de que o sistema é formado, qual é a estrutura dele, como ele funciona e por que se comporta de uma determinada maneira.
- C. Um modelo mental, para algumas pessoas pelo menos, é diferente de outras formas de conhecimento pois ele pode ser 'rodado' com entradas exploratórias, de forma a imaginar o resultado.
- D. Um modelo mental envolve um certo grau de sistematicidade e coerência.

Este último ponto tem que ser tratado com cuidado pois o que parece sistemático e coerente para um especialista, pode não parecê-lo para um leigo ou criança, e vice-versa. Nas várias áreas mencionadas a pesquisa sobre modelos mentais suporta tanto essa idéia de um modelo como um todo coerente e sistemático, bem como a idéia de que o usuário pode manter múltiplas representações de um mesmo sistema, e usá-las de maneira aparentemente incoerente (Borges, 1996). O debate sobre esta questão parece longe de ser conclusivo, visto que a pesquisa em diferentes áreas produziu evidências suportando ambas as posições.

Numa série de trabalhos, de Kleer e Brown (1981 e 1983) desenvolveram um modelo de como alguém compreende máquinas e dispositivos eletrônicos. Eles partem da noção intuitiva de simular o comportamento do sistema na imaginação. O resultado desse processo manifesta as relações de causa e efeito envolvidas no funcionamento do sistema. Cada sistema é suposto mudar seus estados ao longo do tempo em saltos discretos. Ele é formado de um conjunto de partes, cujo comportamento pode ser modelado. O comportamento do sistema deriva do funcionamento de suas partes e de suas interações. Este é um processo recursivo, pois cada parte de um sistema pode ser modelada como um subsistema, que pode ser imaginada da mesma forma. Isto é, cada subsistema pode ser visto como um sistema num nível mais detalhado. Tal visão sistêmica é muito adequada para determinadas situações, mas parece inadequada em outras, por exemplo, que envolvem transformações.

Dispositivos e processos

A Física qualitativa é uma área das Ciências Cognitivas que estuda como as pessoas representam e raciocinam sobre o mundo físico, utilizando-se de técnicas oriundas da pesquisa em Inteligência Artificial. Seu objetivo é capturar o raciocínio de senso comum de pessoas comuns e também o conhecimento tácito de especialistas e cientistas ao lidar com sistemas físicos. Pesquisas sobre especialistas e leigos mostraram que ambos usam explicações qualitativas para falar de suas experiências, embora a natureza de suas representações mentais seja significativamente diferente (Chi et al., 1981). Uma razão para isso é que o conhecimento formal de Física não se aplica diretamente às situações com que lidamos no dia a dia. Por outro lado, não há dúvidas de que a nossa habilidade em prever os novos estados que resultam dos eventos à nossa volta e tomar decisões baseados nessas previsões é vital para a nossa sobrevivência.

Duas abordagens distintas para o problema de modelar o raciocínio qualitativo emergiram: uma baseada em dispositivos (de Kleer e Brown, 1983) e uma baseada em processos (Forbus, 1984). Elas compreendem ontologias distintas e tem sido usadas com algum sucesso em algumas situações. Elas são escolhas que o pesquisador tem que fazer ao modelar o pensamento humano.

A ontologia de dispositivos baseia-se na dinâmica de sistemas usada na descrição de sistemas elétricos, mecânicos e térmicos. A idéia básica é imaginar o sistema modelado como constituído de uma coleção de componentes, tais como baterias, chaves, resistores e lâmpadas. Cada componente tem um número limitado de portas através das quais eles comunicam com os outros. O comportamento de cada componente individual é suposto ser conhecido e especificado por leis internas. Os dispositivos têm estados, que descrevem os seus distintos modos de operação. Um interruptor, por exemplo, pode estar aberto ou fechado. É explicitamente suposto que o fluxo de informações no modelo espelha as relações causais no mundo. Uma vez que o modelo do sistema é criado, a maioria das inferências para determinar o comportamento dele é direto, visto que todas as interações são locais. O funcionamento do modelo envolve uma seqüência temporal discreta de eventos através dos quais os componentes mudam seus estados a medida que a informação propaga por eles. Isso requer a introdução de um agente transportador de ação entre os componentes, como na "experiential gestalt" (Andersson, 1986). Cada dispositivo pode ser pensado como um novo sistema, num nível mais detalhado de descrição.

Essa técnica de modelagem requer uma ampla base de conhecimento sobre componentes básicos, e portanto não é usada por novatos. Estes podem apenas descrever o funcionamento de um sistema em termos de aspectos salientes (White e Frederiksen, 1987; Selman et al., 1982). Além disso, esta técnica parece não-natural em situações que envolvem transformações - transformações de energia, reações químicas, mudanças de fase - ou quando não podemos distinguir facilmente quais são os componentes envolvidos. Nós intuitivamente tendemos a pensar em tais situações em termos de processos.

A ontologia de processos baseia na idéia de que as pessoas intuitivamente pensam sobre transformações como processos. Processos não são propriedades dos componentes de um sistema, eles representam novas entidades com suas próprias propriedades. A ontologia de processos incorpora a causalidade explicitamente e necessita de entidades extras para tal. Por exemplo, ao falar de um circuito elétrico introduzimos a idéia de alguma coisa movendo através dele descrita por uma taxa de fluxo, bem como uma causa para tal fluxo.

A pesquisa em modelos mentais

Muito do nosso raciocínio sobre sistemas físicos consiste em imaginar como um dado estado de coisas desdobra-se em uma série de outros eventos, o que pode ser entendido em termos de nossos modelos mentais. Um modelo mental é conhecimento sobre uma determinada questão ou domínio que usamos para pensar sobre eles por meio de simulação mental. Tais modelos têm a característica de capacitar-nos a realizar ações inteiramente na imaginação. Isso permite-nos internalizar as representações que criamos para as coisas e estados de coisas no mundo e processá-los como se fossem externos. Várias pesquisas têm mostrado que as inferências que alguém faz sobre uma determinada questão depende dos modelos adotados.

Gentner e Gentner (1983) identificaram dois modelos de eletricidade usados por uma população de estudantes americanos: a analogia com um circuito hidráulico e a analogia com objetos em movimento:

- O primeiro trata baterias como reservatórios de água e pode explicar satisfatoriamente a associação de baterias em série ou em paralelo. Os resistores elétricos são imaginados como constrições nos canos. Tal idéia implica em uma redução na taxa de fluxo em toda combinação de resistores, independentemente de como eles são ligados.
- O segundo modelo, objetos em movimento, é mais adequado para explicar a associação de resistores em circuitos elétricos. De fato, indivíduos que adotam tal modelo tiveram desempenho superior em tais problemas. Nesse modelo, a bateria funciona como uma bomba, forçando os objetos a movimentarem-se pelo circuito, enquanto que os resistores são imaginados como obstáculos dificultando a passagem dos objetos pelo circuito. As explicações desse segundo modelo para a associação de resistores conforma com o conhecimento científico.

O estudo de Gentner e Gentner (1983) suporta a idéia de que os modelos mentais dos estudantes sobre um certo domínio influenciam a maneira como eles tratam os problemas propostos naquela área. Num outro estudo, Kieras e Bovair (1984) investigaram o papel de um modelo mental ao lidar com um sistema simples. Para eles, o termo modelo mental refere-se à compreensão de como um dispositivo funciona em termos de sua estrutura e processos internos. Existem duas posições conflitantes sobre o papel de um modelo mental:

- A visão predominante em Psicologia é que ter um modelo ajuda uma pessoa a entender como uma máquina ou sistema funciona. Entretanto, como Duit (1991) aponta, a maioria dos estudos até aquela data falharam em produzir evidências positivas acerca disso.
- A visão oposta, de que ter um modelo é desnecessário, é predominante na área ligada à produção de equipamentos, como pode ser visto dos manuais técnicos. Estes, em geral, apresentam ao usuário informações sobre 'como fazer', ou seja como proceder para que o equipamento funcione, sem se preocupar com os princípios básicos de funcionamento.

No experimento de Kieras e Bovair (1984), dois grupos tinham que operar comutadores e interruptores para fazer funcionar um equipamento, cujo circuito não era visível. Um grupo recebeu instrução adicional sobre o funcionamento do sistema baseado num modelo dele. Ambos os grupos aprenderam os procedimentos para operar o sistema. Alguns desses procedimentos foram projetados para serem ineficientes, de modo que os participantes no estudo pudessem pensar em modos alternativos de realizá-los. O desempenho do primeiro grupo foi melhor em todas as situações, gastando menos tempo para realizar as tarefas e inventando procedimentos mais eficientes em alguns casos.

Tal estudo sugere que o modelo mental permitiu aos indivíduos do primeiro grupo inferir como operá-lo corretamente. Ao explicar como o sistema funciona, os membros do primeiro grupo fizeram-no em termos do modelo do sistema, enquanto que os membros do segundo grupo fizeram-no em termos de aspectos superficiais. Dois pontos a respeito do estudo de Kieras e Bovair são interessantes para a educação. Em primeiro lugar, pessoas instruídas com a ajuda de um modelo do sistema mostraram sensível ganho em desempenho, inclusive ao imaginar alternativas e procedimentos mais eficientes. Em segundo lugar, ter um modelo do sistema ajuda os indivíduos a inferir o funcionamento do sistema e a explicar o seu funcionamento em termos do modelo.

Explorando tais conseqüências, Mayer (1989, 1992) verificou que estudantes que aprenderam com um modelo, na forma de diagrama e texto, enfatizando as principais partes e ações num sistema, bem como as relações causais entre elas, conseguiram reter mais informação conceitual e gerar mais soluções criativas para novos problemas quando comparados com estudantes que aprenderam sem o modelo. Segundo Mayer, a apresentação de um modelo conceitual ajuda os estudantes a construir melhores modelos mentais do domínio, organizando e integrando o novo conhecimento. Para cumprir tal papel, um modelo icônico deve ter algumas características: ser completo, isto é, representar todos os elementos estruturais e exibir todas as relações entre eles para que possa ser usado produtivamente pelo estudante. Além disso, o nível de detalhe e as relações, estruturas e ações das partes do modelo devem ser adequados ao nível de compreensão do estudante. O modelo deve ser claro a respeito do seu escopo e limitações para representar o sistema alvo e usar um vocabulário adequado aos estudantes. Termos novos devem ser cuidadosamente explicados.

Um aspecto importante é que a habilidade de um indivíduo em explicar e prever eventos e fenômenos que acontecem à sua volta evolui à medida que ele adquire modelos mentais mais sofisticados dos domínios envolvidos. Tais modelos evoluem com o desenvolvimento psicológico e com a instrução, num processo conhecido como mudança conceitual (Borges, 1996). Uma análise recente de estudos das concepções de estudantes acerca de diversos tópicos de Ciências aponta a existência de tendências similares na evolução de tais concepções (Driver et al., 1994). Em particular, eles apontam que as concepções dos estudantes tendem a evoluir através da construção de novas entidades para a descrição de eventos e fenômenos, e através de desenvolvimento de estratégias de raciocínio. O estudo que relatamos aqui sobre modelos mentais de eletromagnetismo, envolvendo professores de física, engenheiros, estudantes e trabalhadores suporta a mesma idéia de progressão.

Modelos mentais de magnetismo

O estudo que relatamos tinha como objetivo identificar os modelos mentais de eletricidade, magnetismo e eletromagnetismo entre pessoas com diferentes níveis de escolaridade e experiência com eletricidade, e descrever as mudanças em tais modelos à medida que os usuários adquirem conhecimento e experiência com a área. Indivíduos de seis grupos trabalharam com várias situações experimentais simples envolvendo eletricidade, magnetismo e eletroímãs. Cada um fazia previsões

sobre o resultados de cada atividade e explicava as razões que o levavam a esperar por tal resultado, depois realizava o experimento e por fim explicava o acordo ou desacordo entre predição e resultado (Borges, 1996).

Esta seqüência de Previsão, Observação e Explicação é amplamente reconhecida como uma forma eficaz de produzir informações sobre os modelos mentais usados pelos indivíduos (White e Gustone, 1992). A seqüência de questões em cada atividade começa com questões gerais que procuram determinar se os sujeitos reconhecem os objetos que compõem a atividade, para que servem ou para que são usados, e por que são usados da forma como o são. A seguir são apresentadas questões que exigem maior reflexão. Esta estruturação da entrevista espelha os aspectos considerados relevantes num modelo mental, conforme as definições de Rouse & Morris e de Carrol & Olson, discutidas anteriormente. O apêndice apresenta as questões usadas a respeito de magnetismo. A construção do instrumento de pesquisa foi orientada pelas questões que um modelo mental pode responder:

Como é o sistema?
De que ele é feito?
Como ele funciona?
O que ele faz?
Para que ele serve?

Tal como no trabalho de Vosniadou e Brewer (1992), parte dessas questões são factuais e servem para estabelecer o contexto da entrevista, enquanto que outras exigem mais reflexão dos sujeitos. Apenas estas últimas são usadas para efeito de análise dos modelos mentais. Os grupos de indivíduos que participaram do estudo foram:

- ? PAL - 09 estudantes da 1ª série do segundo grau de uma escola da rede privada de Belo Horizonte.
- ? TAL - 09 estudantes da 3ª série do segundo grau da mesma escola. Eles tinham estudado eletricidade e eletromagnetismo no ano anterior.
- ? TAC - 10 alunos da 3ª série de cursos técnicos relacionados com eletricidade.
- ? TEC - 10 trabalhadores que trabalham em áreas relacionadas com eletricidade, sem instrução formal no assunto. Entre eles estão auxiliares de laboratório e eletricitas práticos.
- ? A maior parte deles não completou a educação primária.
- ? PRO - 11 professores de física e eletricidade.
- ? ENG - 07 engenheiros eletricitas com mais de dois anos de graduação.
- ? Tais grupos diferem em termos do nível de instrução formal em eletricidade ou eletromagnetismo, e em termos de experiência com eletricidade.
- ? Grupos PAL e TEC sem instrução formal em eletromagnetismo.
- ? Grupos TAL e TAC estudaram eletromagnetismo na escola de segundo grau.
- ? Grupos PRO e ENG estudaram eletromagnetismo na universidade.

No estudo foram identificados 4 modelos de eletricidade, 5 modelos de magnetismo e 3 modelos para explicar o surgimento de magnetismo num eletroímã. Em vista do espaço disponível apenas os modelos de magnetismo serão apresentados aqui. As respostas dos entrevistados a um grupo de questões foram categorizadas, gerando um conjunto de concepções específicas de cada situação. Os modelos foram identificados a partir de tal conjunto de concepções, de forma que eles explicam porque os sujeitos respondem a certas questões de uma forma e não de outra. É importante deixar claro que tais modelos tratam de aspectos particulares relacionados com eletricidade e magnetismo envolvidos nas atividades propostas aos entrevistados. Eles não pretendem ser modelos compreensivos que podem ser usados para explicar as respostas dadas pelos sujeitos em outras

situações. Isso entretanto, não é uma limitação desse estudo, mas uma questão geral a respeito da possibilidade de conhecimento dos modelos mentais de outros.

Resultados

Dois aspectos são considerados importantes para a identificação dos modelos de magnetismo: o que é que produz magnetismo num ímã, isto é qual é a natureza do magnetismo, e o como se dá a interação magnética entre ímãs e outros objetos. Junto com cada um dos modelos apresentamos trechos das entrevistas de alguns dos sujeitos, para caracterizar melhor cada um dos modelos.

a) Magnetismo como atração

Tal modelo consiste de conhecimento prático ou fenomenal de que ímãs atraem objetos próximos e que isso é uma propriedade intrínseca deles. As pessoas que usam tal modelo não mencionam entidades ou mecanismos para explicar os fenômenos magnéticos. Elas apelam para atributos internos dos ímãs ou dos objetos que são atraídos, por exemplo, a "energia" ou a "força" do ímã. tais pessoas não distinguem atração magnética de repulsão, nem reconhecem a existência de pólos nos ímãs.

José - eletricista

José afirma não saber nada sobre magnetismo e justifica isso pelo fato de não trabalhar com isso diretamente. Ele reconhece um ímã depois que o usa para apanhar um clipe de papel. Ele dá uma boa descrição da estrutura de um microfone, e atribui a produção de som ao fato de colocá-lo num campo magnético.

E: Você sabe que equipamentos usam ímãs?

S: Guitarra elétrica, aparelho de rádio, alto-falante e microfone... O microfone tem um imãzinho dentro dele, parecido com um botão. Ele tem um furo com um pino de ferrite e fio enrolado em volta dela ... Tudo isso forma o fone. (Como é que ele produz som?) Bom, se eu colocar ele no campo magnético criado por este ímã, ele produz som.

E: Por quê é que o ímã se comporta desse jeito?

S: Ele tem um campo de energia ... (Existe alguma coisa dentro de um ímã ...) Não tem nada (O que aconteceria se você partisse um ímã em dois?) Ia dar dois ímãs, como estes (Por quê você acha isso?) Eu não sei porque ... Eu sei que um ímã atrai ferro.

José explicou antes que sabe como fazer um ímã, pois ele costuma magnetizar suas chaves de fenda para segurar os parafusos e facilitar seu trabalho. Ele usa a chave de fenda como núcleo de um eletroímã, e explica que é o choque elétrico que magnetiza a chave. Na visão dele, um ímã colocado sob o tampo de uma mesa consegue agir sobre um clipe sobre ela porque um 'campo' vai do ímã para o clipe através da madeira.

S: Eu sei [fazer um ímã]. Eu faço isso com choque elétrico. (Como é que é isso?) Eu uso isso para colocar magnetismo nas chaves de fenda. Eu enrolo um fio em volta de uma chave e ligo as pontas na tomada. Instantaneamente eu ponho um ímã nela por muitos dias ... isso funciona melhor do que colocar um ímã encostado na chave.

E: Quais desses materiais você acha que o ímã vai atrair?

S: Esse clipe e essa peça de latão. Ele não atrai alumínio nem cobre. (Experimente) ... Ele só atraiu o clipe (Porque você pensou que ele iria atrair esses materiais?) Eu não tinha experimentado com o cobre ainda.

E: E se você colocar o ímã sob a mesa, o que acontecerá?

S: Ele vai mover o clipe. (Por quê isso?) Porque ele está passando um campo através da madeira... Ele passa através do nosso corpo também.

No seu modelo, há a necessidade de algo que estabeleça uma conexão entre a fonte das ações e o objeto sobre o qual ela atua. Ao explicar porque um ímã consegue atrair alguns objetos, ele não menciona quaisquer entidades ou mecanismos internos. Este comportamento é intrínseco ao ímã. Isso caracteriza o seu modelo como magnetismo como atração.

b) Magnetismo como área de influência

Tal modelo acrescenta que a ação dos ímãs se manifesta dentro de uma região limitada de influência. Objetos dentro daquela região são atraídos, enquanto que objetos que não são atraídos estão fora do alcance do ímã, isto é do "campo magnético". Tais pessoas referem-se ao padrão de limalha de ferro espalhada em torno de um ímã como o campo magnético dele. O magnetismo é causado pela organização interna dos átomos e moléculas segundo arranjos especiais - um objeto está magnetizado quando seus átomos estão ordenados. O campo magnético é descrito como uma nuvem ou como uma atmosfera envolvendo os corpos magnetizados. Embora as pessoas falem em pólos magnéticos, eles não entram nas suas explicações.

Guilherme - Estudante

Para Guilherme um campo magnético é uma região em torno de uma fonte de magnetismo. Ele tem a propriedade de atrair tudo que entra nesse campo, tal como um planeta que atrai os objetos que se movem nas suas vizinhanças. Ele explica que um meteoro é atraído por um planeta porque é atraído pelo campo magnético dele.

S: Magnetismo? É atração ... isto é, eu penso num ímã que atrai objetos ... como o ferro (O que vem à sua mente quando você pensa em campo magnético?) Campo magnético é um espaço, um certo espaço e tudo que penetra nesse espaço é atraído.. por alguma força ou matéria que cria esse campo magnético. (Como é esse campo magnético?) É como um planeta; Um planeta tem um campo magnético e consegue atrair os objetos que estão dentro desse campo. Um meteoro que passa por perto é atraído.

Ao explicar o comportamento do ímã, de atrair ferro, Guilherme se refere a existência de uma parte positiva e de outra negativa. Isso entretanto, não parece ligado a um modelo de magnetismo baseado em eletricidade.

S: É um ímã porque ele atrai o clipe (Para que ele é usado?) Para pegar objetos metálicos (O que mais?) Bom, ele tem muitas utilidades. Por exemplo, uma usina de reciclagem de lixo usa ímã para separar ferro do resto do lixo, porque ele tem a propriedade de atrair alguns objetos.

E: Por quê é que o ímã tem esse comportamento?

S: Ele tem um lado positivo e outro negativo ... Isso dá a ele a propriedade de atrair algumas substâncias.

Isso parece ser apenas uma maneira de se referir aos polos magnéticos. Ele está mais comprometido com a idéia de magnetismo como alguma 'força' agindo em uma região limitada em volta do ímã. Um objeto que se encontra dentro dessa região é necessariamente atraído. Outras forças não são levadas em consideração, de forma que atração existe apenas se o objeto se move.

E: Por quê é que o ímã atrai o clipe mesmo de longe?

S: Se o clipe está perto do ímã ele está dentro do campo magnético e isso é suficiente para provocar a atração. Eles não precisam estar em contato... a única condição é que ele esteja dentro

do campo magnético. (Vamos supor que você tivesse dois ímãs, como estes. Como você poderia decidir qual deles é o mais forte?) O maior é o mais forte (Por quê você acha isso?) Porque o campo magnético dele é maior.

O modelo "magnetismo como área de influência" parece melhor se ajustar às idéias de Guilherme sobre o assunto. Nesse modelo não há mecanismos propostos para explicar a atração. O magnetismo é uma propriedade intrínseca de ímãs e age numa área limitada do espaço em volta dele. Tal idéia lembra as concepções de alguns estudantes sobre a gravidade terrestre que se manifesta apenas na região da atmosfera. A simples presença de um objeto dentro de tal região é suficiente para provocar seu movimento em direção ao ímã. Aparentemente ele reconhece a existência de pólos, mas eles não entram em suas explicações para os efeitos do ímã. Da mesma forma, repulsão entre ímãs ou polos não é mencionada.

c) Magnetismo como Eletricidade

Inclui mecanismos para explicar a atração magnética, baseado em cargas elétricas. O magnetismo é devido à atração entre cargas opostas. Os pólos são regiões que contém cargas opostas - positiva ou prótons em um deles e negativa ou elétrons no outro. A fonte desse modelo é a noção de um corpo eletrificado, e o modelo tem o propósito de explicar a existência de pólos distintos nos objetos magnetizados e a indução de magnetismo em certos objetos. Leva à predição de que todos os condutores elétricos são atraídos por um ímã, embora alguns saibam "por experiência" que certos metais, tal como cobre e alumínio, não são atraídos.

Paulo - eletricista

Paulo é um eletricista experiente que trabalhou na companhia local de eletricidade e em grandes companhias em vários pontos do país. Ele completou a antiga escola primária e teve treinamento específico em manutenção elétrica e circuitos elétricos. Paulo associa magnetismo com corrente elétrica. Ele reconhece o eletroímã de imediato e menciona os usos dele em guindastes e pontes rolantes usados para transportar cargas pesadas de ferro e aço em canteiros de grandes obras e indústrias. Ele cita que já trabalhou na montagem e manutenção de tais dispositivos. Ele ainda menciona o uso de ímãs em altofalantes e instrumentos de medição elétricos, o que usualmente não constitui parte da experiência de eletricistas. Ao explicar a ação do ímã à distância ele propõe que uma corrente magnética flui do ímã para o clipe: a corrente serve como instrumento para transportar a ação do ímã até o objeto.

S: campo magnético é produzido por uma corrente elétrica também. Isso é muito usado em instrumentos de medida...como galvanômetros e também usado como ímã. É um ímã artificial... O campo magnético move o ponteiro de um galvanômetro. (Para que isso é usado?) É um ímã... O ímã tem muitas funções - é usado em altofalantes e em instrumentos de teste e de medida.

E: Por quê é que um ímã se comporta desse jeito?

S: Uma ponta atrai a outra, não é? Eles são campos opostos ... O ímã atrai porque ele é magnético. Ele atrai objetos desmagnetizados. (Por quê o ímã consegue atrair este clipe mesmo à distância?) É a força magnética. Eu não sei de que material é feito esse ímã, mas ele atrai através da força magnética ... é uma espécie de corrente magnética (Como é isso?) Um tipo de corrente magnética que passa do ímã para clipe.

Para explorar sua concepção de corrente magnética algumas questões adicionais são apresentadas. Ele acredita que tal corrente pode passar através de uma folha de papel e isso explica porque o clipe ainda é atraído quando uma folha é colocada entre os dois. Entretanto, não haveria atração se eles estivessem no vácuo. A razão para isso é que não existe magnetismo no vácuo

porque os corpos envolvidos seriam neutros. Esta idéia é provavelmente originária da crença de que nada, incluindo forças, existe no vácuo.

E: O que aconteceria se eu colocasse uma folha de papel entre o imã e o clipe?

S: Ele move do mesmo jeito ... Ele continua a mover do mesmo jeito. (E se eles estivessem no vácuo?) Eu acho que não teria nada ... O imã não atrairia o clipe (Por quê você pensa assim?) Se há um vácuo então eles são neutros... Sim, neutros. Não teria magnetismo.

d) Magnetismo como Polarização elétrica

Trata-se de um refinamento do modelo anterior. Os fenômenos magnéticos são explicados supondo-se que ocorre uma separação de cargas elétricas nos objetos envolvidos, dando origem aos pólos. Nos imãs isso é permanente, enquanto que em objetos metálicos tal "imantação" é temporária. Em geral, supõe-se que o campo magnético atua sobre os átomos ou moléculas girando-os de modo que se alinhem com o campo. Com isso formam-se camadas alternadas de carga positiva e negativa. Isso é difícil de ser feito em determinados materiais, mas campos magnéticos intensos poderiam atrair metais como cobre e alumínio, tal como acontece no caso elétrico, em que materiais não condutores podem tornar-se condutores na presença de um campo suficientemente intenso.

Pedro - estudante de eletrônica

Pedro compreende magnetismo como atração entre corpos eletrizados. Sua idéia de magnetismo depende muito de sua compreensão de interação elétrica. Ele não menciona repulsão nessa explicação e parece difícil explicá-la sem a adoção de modificações no modelo. Pedro parece sentir dificuldades com sua explicação ao falar de campo magnético e passa a usar um modelo mais simples baseado na regra de atração entre cargas contrárias e repulsão entre cargas iguais, mas ainda cargas elétricas.

S: Magnetismo é atração entre dois corpos (Como é isso?) Considere dois corpos, ou apenas dois átomos se você quiser. Tire um elétron de um átomo e passe-o para o outro. O segundo átomo ficará com um excesso de carga negativa e o primeiro terá um excesso de carga positiva. Se eu aproximo um do outro, eles irão se atrair, porque um perdeu elétron e o que de volta para ficar numa situação de estabilidade elétrica. (Isso é devido ao magnetismo?) É isso aí ... isso é o que é chamado de magnetismo: um corpo atrai o outro para ficar eletricamente neutro.

E: O que vem à sua mente quando você pensa em campo magnético?

S: No caso desses corpos atraindo há alguma coisa entre eles, que faz um atrair o outro e ficar eletricamente neutro ... Eu poderia usar uma outra linha de raciocínio (Qual?) Cargas iguais se repelem e cargas contrárias se atraem. Então o que acontece é que um lado é positivo e o outro é negativo, e no espaço entre eles há um meio.

Mais tarde, Pedro explica como um imã consegue atrair um pedaço de ferro. Ele lança mão da idéia de organização dos átomos de ferro: sob a ação de imã, eles alinham-se paralelamente transformando o pedaço de ferro em um imã temporário. Ele enfatiza que o campo do imã provoca a formação de camadas de cargas positiva e negativa, em sucessão, dando origem a algo como a polarização em um dielétrico na peça. Ele também explica que não é todo tipo de material que se comporta dessa forma, porque eles apresentam uma resistência à formação de tais arranjos de átomo que é diferente de um material para outro.

E: Você falou em materiais ferromagnéticos. O que é isso?

S: Existe uma orientação dos átomos deles; eles estão todos praticamente na mesma direção. Eles têm uma organização espacial ... Ela transforma esta barra de ferro em um imã ... O campo do imã

alinha camadas sucessivas de cargas: positiva e negativa, depois positiva e negativa de novo, lado a lado ... Com este alinhamento que o campo produz, ele transforma a barra num bloco com uma certa orientação atômica.

E: Todos os materiais se comportam desse jeito?

S: Não (Por que não?) Devido à própria tendência dos átomos em formar grupos. Isso é fácil de se conseguir no ferro, mas em outros materiais há uma certa resistência mecânica que dificulta o acontecimento de tal processo.

Pedro usa um modelo mais sofisticado de magnetismo baseado na orientação de dipolos, que estão inicialmente desalinhados dentro dos materiais, com um campo externo. De certa forma, isso é similar ao modelo de magnetismo proposto por Coulomb. O que distingue seu modelo é que esses dipolos são de natureza elétrica, e não magnética. Isso pode ser devido ao fato de que em seu curso de eletricidade ele estudou com um certo detalhe o comportamento de materiais dielétricos, e também pelo fato de que dipolos elétricos são mais comuns nos textos de Física e Química para o ensino médio. Por exemplo, os estudantes aprendem sobre moléculas polares e apolares em Química, e sobre dipolos elétricos em eletrostática.

e) Científico

A interação direta entre pólos é substituída pela ação do campo. O magnetismo existe a nível microscópico como resultado do movimento de cargas elétricas ou devido à existência de ímãs elementares. Muitas vezes o modelo não é completamente estruturado, porque não é claro como ocorre interação entre o campo e os átomos de um material. A idéia de micro-correntes circulando dentro dos ímãs e materiais ferromagnéticos é a causa mais frequentemente citada para a existência de magnetismo.

Nelson - professor

Nelson associa de imediato magnetismo com cargas elétricas em movimento. Um campo magnético lembra-o da região em volta de um ímã ou em volta de uma corrente elétrica.

S: Eu penso em ímãs e cargas em movimento, porque uma carga móvel cria um campo magnético. (e quando você pensa em campo magnético?) Vem a região em torno de um ímã. Poderia ser em torno de cargas móveis também. A região vizinha sofre uma transformação e esse novo estado é devido ao campo magnético.

Ele explica o comportamento de um ímã supondo que há espiras microscópicas de corrente circulando em cada átomo. Isso é o que 'cria' o magnetismo. Ele, entretanto, muda sua explicação para dar conta do comportamento de uma barra de ferro, isto é, de como ela se torna magnetizada na presença de um campo magnético externo. A barra de ferro tem um conjunto de tais ímãs elementares alinhados aleatoriamente, e que se alinham paralelamente ao campo aplicado.

S: Para que o ímã é usado? Para brincar, para fazer um motor ou um gerador elétrico. Os ímãs também são usados em alto-falantes ... Pode acelerar uma partícula.

E: Por que o ímã se comporta dessa forma?

S: Ele tem átomos com correntes circulando neles. Numa barra de ferro normal há tais correntes, mas os eixos delas apontam cada um numa direção. Então a barra não tem comportamento magnético. Entretanto, se ela for submetida a um outro campo, o eixo de tais micro correntes se alinham todos. E esses pequenos ímãs somam seus efeitos para produzir um campo macroscópico. (Então a origem do magnetismo é...) É como se houvesse espiras atômicas ... Esta é a hipótese de Ampère: os elétrons movendo-se em torno do núcleo em cada átomo forma tais espiras atômicas.

Nelson seleciona corretamente os materiais que o ímã atrai explica que apenas ferro e materiais ferromagnéticos são atraídos. Na mesma atividade ele explica como um ímã pode agir à distância sobre tais materiais, usando a idéia de micro correntes cujos campos estão orientados ao acaso. O campo externo faz com eles se alinhem, e o material se magnetiza. A maior parte de suas explicações são relacionadas com as estruturas e entidades que dão origem ao comportamento magnético de tais materiais.

E: Como é que este ímã consegue agir sobre tais objetos à distancia?

S: Eu ainda estou usando aquele modelo de átomos com correntes atômicas ... Imaginando cada átomo como uma espira de corrente, e supondo que elas estão inicialmente desordenadas ... quer dizer, cada uma apontando em uma direção. Então o material não tem comportamento magnético macroscópico. Entretanto, quando eu os coloco num campo magnético, estas espiras são influenciadas pelo campo e se alinham com ele. Elas se alinham todas paralelamente ao campo e isso dá características magnéticas ao objeto. (E se você virar o ímã ao contrário?) Ele reorienta as espiras ... Elas estão sob a influência do campo magnético do ímã. Se você muda o campo, você muda os efeitos também. (E essa idéia de ação sem contato?) Essa idéia de campo é tão ... Há uma modificação no espaço em volta. Quando você aproxima o objeto do ímã, ele está sob a influência do campo.

E: Por que é que tais espiras tendem a se alinhar com o campo?

S: Tem uma interpretação de que eles tendem para a posição de equilíbrio em que a sua energia potencial é mínima. Todas as coisas têm tal tendência para a menor energia.

A tabela 1 mostra a distribuição de tais modelos entre a população do estudo. Há uma clara tendência das pessoas com nível de instrução mais alto em usar modelos mais sofisticados, embora poucas das pessoas usem o modelo científico. Os dois modelos iniciais, magnetismo como atração e magnetismo como área de influência, exibem uma ontologia simples e provavelmente foram adquiridos bem antes das aulas de ciências. O modelo magnetismo como atração consiste puramente de conhecimento fenomenológico de que ímãs atraem certos objetos. O modelo seguinte, magnetismo como área de influência, leva em conta o espaço em volta do ímã. Em nenhum deles há referências a entidades invisíveis ou abstratas para explicar fenômenos magnéticos. Tampouco há referências à existência de pólos magnéticos e à possibilidade de repulsão entre ímãs. A maioria dos técnicos e dos estudantes do primeiro ano, usam um desses dois modelos.

Nos dois modelos baseados em eletricidade, há a menção explícita de entidades invisíveis, seja eletricidade positiva e negativa, ou elétrons e prótons. A interação magnética se dá à distância, embora alguns sujeitos falem frequentemente em ação do campo. Em ambos já existe uma considerável influência de idéias aprendidas nas aulas de ciências. Estes modelos predominam entre os estudantes da terceira série do ensino médio, mas são minoritários nos demais grupos. Finalmente, o modelo científico contém basicamente o conhecimento expresso por livros de Física para cursos iniciais na universidade.

Deve-se notar que em alguns casos não foi possível identificar o modelo usado por alguns dos sujeitos devido a respostas inconsistentes a diferentes questões que tratavam de um mesmo fenômeno, como se eles usassem modelos distintos para diferentes situações, ou por limitações do instrumento de pesquisa. Tais casos estão agrupados na categoria "modelos mistos". No caso particular que estou relatando, cada modelo de magnetismo deveria conter informações sobre o que causa o aparecimento de magnetismo nos ímãs e como se dá a interação magnética. Na maioria dos casos de modelos mistos, modelos distintos eram usados para explicar os dois aspectos.

Magnetismo como	Atração	Área de Influência	Eletricidade	Polarização Elétrica	Científico (Campo)	Misto
Estudantes 1º Ano	03	02	02	-	-	02
Técnicos	05	03	01	-	-	01
Estudantes 3º Ano	-	01	03	02	02	01
Est. Curso Técnico	-	01	01	03	03	02
Engenheiros	-	01	-	01	04	01
Professores	-	-	01	01	07	02
Total	08	08	08	07	16	09

Tabela 1 - Distribuição dos modelos de magnetismo

Do ponto de vista de uma teoria de modelos mentais, quando um estudante passa a usar um modelo mais elaborado para pensar e falar sobre um fenômeno significa que ele aprendeu a ver aquele fenômeno ou estado de coisas desde uma outra perspectiva, que inclui novos elementos, ausentes no modelo anterior. Isso não significa que o modelo anterior seja completamente abandonado. Nesse estudo, em várias ocasiões os usuários de modelos mais sofisticados, voltaram a usar modelos mais simples quando tinham dificuldades em explicar ou fazer previsões relacionadas com as situações a eles apresentadas. Como foi discutido acima, alguns dos sujeitos usavam modelos distintos para explicar a origem do magnetismo em ímãs e para explicar a interação magnética. A tabela 1 sugere que a mudança quanto aos modelos preferidos ocorre muito lentamente, diferentemente da expectativa dos estudos de mudança conceitual.

Conclusões

As pessoas constroem modelos mentais simples de estados de coisas que elas percebem ou imaginam existir no mundo. À medida que seu conhecimento sobre uma área de conhecimento expande, elas assimilam o novo conhecimento aos seus modelos, resultando em modelos mais sofisticados que os seus modelos iniciais. No caso de magnetismo, as pessoas começam com um modelo simples de magnetismo como atração, baseado na observação cotidiana de que ímãs atuam sobre alguns objetos, atraindo-os. Os modelos de magnetismo relatados aqui diferem na extensão em que eles podem produzir explicações para a natureza do magnetismo e para os mecanismos de interação magnética. Nesse sentido, eles fornecem informações sobre como evolui a ontologia dos sujeitos acerca de fenômenos magnéticos. Os modelos iniciais fornecem explicações muito limitadas para tais questões, enquanto que o modelo magnetismo como campo, fornece explicações em consonância com os modelos conceituais usados em nível de graduação. Os resultados encontrados fornecem suporte para a idéia de que aprender ciências consiste em adquirir modelos mentais mais elaborados e consistentes acerca de certos aspectos do mundo.

Referências

Andersson, B. (1986). The experiential gestalt of causation: A common core to pupils' preconceptions in science. *European Journal of Science Education*, Vol. 8 (3), pp. 155-171.

Black, M. (1962). *Models and Metaphors*. Ithaca, NY: Cornell University Press.

- Borges, A. T. (1996). *Mental Models of Electromagnetism*. Tese de doutoramento, Department of Science and Technology Education, Reading University, UK.
- Brewer, W.F. (1987). Schemas versus mental models in human memory. In P. Morris (Ed.)(1987). *Modelling Cognition*. Chichester: John Wiley (pp. 187-197).
- Carrol, J.M. & Olson, J.R. (1988). Mental models in human-computer interaction. In M. Helander (Ed.) *Handbook of Human-Computer Interaction*. Amsterdam: Elsevier.
- Chi, M.T.H., Feltovich, P.J. and Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*, Vol. 5, pp. 121-152.
- de Kleer, J. and Brown, J.S. (1981). Mental model of physical mechanisms and their acquisition. In J.R. Anderson (Ed.). *Cognitive Skills and Their Acquisition*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum (pp. 258-310).
- de Kleer, J. and Brown, J.S. (1983). Assumptions and ambiguities in mechanistic mental models. In D. Gentner and A.L. Stevens (Eds.) *Mental Models*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum (pp. 155-190).
- Driver, R., Leach, J., Scott, P. and Wood-Robinson, V. (1994). Young people's understanding of science concepts: Implications of cross-age studies for curriculum planning. *Studies in Science Education*, Vol. 24, pp. 75-100.
- Duit, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, Vol. 75 (6), pp. 649-672.
- Forbus, K.D. (1984). Qualitative process theory. In D. G. Bobrow (Ed.) *Qualitative Reasoning About Physical Systems*. Cambridge, MA: MIT Press (pp. 85-168).
- Gentner, D. and Gentner, D. R. (1983). Flowing waters or moving crowd: Mental models of electricity. In D. Gentner and A. L. Stevens (Eds.), *Mental Models*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum (pp. 99-130).
- Gentner, D. and Stevens, A.L. (1983). *Mental Models*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Johnson-Laird, P. (1983). *Mental Models*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Kieras, D.E. and Bovair, S. (1984). The role of a mental model in learning to operate a device. *Cognitive Science*, Vol. 8, 255-273.
- Mayer, R.E. (1989). Models for understanding. *Review of Educational Research*, Vol. 59 (1), pp. 43-64.
- Mayer, R.E. (1992). Knowledge and thought: Mental models that support scientific reasoning. In R.A. Duschl and R.J. Hamilton (eds.) *Philosophy of Science, Cognitive Psychology and Educational Theory and Practice*. Albany, NY: SUNY Press (pp. 226-243).
- Norman, D.A. (1983). Some observations on mental models. In D. Gentner & A.L. Stevens (Eds.) *Mental Models*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum (pp. 07-15).

Osborne, R. (1983). Towards modifying children's ideas about electric current. *Research in Science and Technology Education*, Vol. 1 (1), pp. 73-82.

Payne, S.J. (1991). On mental models and cognitive artefacts. In Y. Rogers, A. Rutherford & P.A. Bibby (Eds.) *Models in the Mind*. London: Academic Press (pp. 103-118).

Rouse, W.B. and Morris, N.M. (1986). On looking into the black box: Prospects and limits in the search for mental models. *Psychological Bulletin*, Vol. 100 (3), pp. 349-363. Selman, R.L., Krupa, M.P., Stone, C.R. and Jaquette, D.S. (1982). Concrete operational thought and the emergence of the concept of unseen force in children's theories of electromagnetism and gravity. *Science Education*, Vol. 66 (2), pp. 181-194.

Shipstone, D. M. (1985). Electricity in simple DC circuits. In R. Driver, E. Guesne and A. Tiberghien (Eds.), *Children's Ideas in Science*. Milton Keynes, England: Open University Press (pp. 33-51).

Tweney, R. (1992). Inventing the field: Michael Faraday and the creative "engineering" of electromagnetic field theory. In R.J. Weber and D.N. Perkins (Eds.) *Inventive Minds: Creativity in Technology*. New York: Oxford University Press (pp. 31- 47).

Vosniadou, S. and Brewer, W.F. (1992). Mental models of the earth. *Cognitive Psychology*, Vol. 24, pp. 535-585.

White, B.Y. and Frederiksen, J.R. (1987). Qualitative models and intelligent learning environments. In R.W. Lawler and M. Yasdani (Eds.) *Artificial Intelligence and Education*. Vol.1, Norwood, NJ: Ablex (pp. 281-305).

White, R. & Gunstone, R. (1992). *Probing Understanding*. London: Falmer Press.

Williams, M.D., Hollan, J.D. & Stevens, A.L. (1983). Human reasoning about a simple physical system. In D. Gentner & A.L. Stevens (Eds.) *Mental Models*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

APÊNDICE - QUESTÕES SOBRE MAGNETISMO

- 1) O que vem à sua mente quando você pensa (ou quando você ouve falar) em:
 - a) Magnetismo?
 - b) Campo Magnético?

- 2) Mostrar um imã em barra ao entrevistado.
 - a) O que é isso?
 - b) Para que ele serve?
 - c) (Depois de reconhecer o imã) Por que ele é usado dessa forma ou se comporta dessa forma?

- 3) Um conjunto de pequenos objetos (pedaços de alumínio, madeira, clipe de aço, isopor, latão, cobre e borracha) é colocado sobre a mesa.
 - a) Separe os materiais que você acha que o imã vai puxar.
 - b) Por que você acha que tais materiais são atraídos pelo imã? Experimente
 - c) Os resultados obtidos estão de acordo com a sua previsão? Como você explica tais resultados?
 - d) Por que o imã consegue atrair alguns objetos mesmo sem encostar neles?
 - e) (Mostra um segundo imã). Suponha que você tenha dois imãs, como estes. Descreva uma maneira de decidir qual deles é o mais forte.

- 4) Colocar um pedaço de cartolina sobre o imã.
 - a) O que você espera que aconteça se jogarmos limalha de ferro sobre a folha?
 - b) Por que você pensa assim? Espalhar limalha de ferro sobre o papel.
 - c) O resultado está de acordo com sua previsão? Como você pode explicá-lo?
 - d) O que mais chama a sua atenção nesse caso?

- 5) Mostrar uma bússola ao entrevistado.
 - a) O que é isso?
 - b) Para que isso é usado?
 - c) Por que isso é usado da forma como você disse?
 - d) Por que isso se comporta desse jeito?
 - e) O que você espera que aconteça se você colocá-la próximo de um imã.
 - f) Por que você acha isso? Experimente.
 - g) O resultado está de acordo com a sua previsão? Explique-o.

- 6) O que vem à sua mente quando você pensa em:
 - a) Magnetismo?
 - b) Campo Magnético?

Recebido em 01.09.97

Aceito em 05.12.97