

ASPECTOS ESTRUTURAIS DOS MODELOS INICIAIS DE ENERGIA

STRUCTURAL ASPECTS OF INITIAL MODELS OF ENERGY

A Tarciso Borges¹

João Paulino Vale Barbosa²

¹Programa de PG em Educação e Colégio Técnico/UFMG, tarciso@coltec.ufmg.br

²Sistema de Ensino Arquidiocesano e Colégio Espanhol Santa Maria, jp.vale@uol.com.br

RESUMO

Neste trabalho apresentamos o referencial teórico para a análise dos aspectos estruturais dos modelos mentais de energia de estudantes do ensino médio. A análise se dá ao longo de dois eixos: por um lado examinamos como os estudantes utilizam o conceito de energia para formular explicações causais. O segundo eixo é o que denominamos aspecto ontológico: como os estudantes concebem energia, se como coisa ou processo, se material ou imaterial, se concreta ou abstrata. A literatura sobre os modelos e concepções de estudantes da educação básica sugere que os estudantes tendem atribuir diferentes estatutos causais e ontológicos a energia, concebendo como uma substância material ou um princípio causador de efeitos e transformações em outros corpos. A literatura destaca também a dificuldade dos estudantes apropriarem de modelos mais sofisticados de energia na educação média, o que exigiria mudança nos pressupostos ontológicos atribuídos à idéia de energia.

Palavras-chave: Modelos de Energia; Ensino de Ciências; Causalidade; Ontologia

ABSTRACT

In this paper we describe a proposal for modelling the concept of energy in a learner-centred learning environment. The purpose of the didactical actions is to create opportunities for the learners acquire scientific language relevant when talking about energy and to revise and enhance their understandings of situations involving that concept. We discuss the theoretical basis for the learning environment and a few examples chosen among the didactical actions proposed. We argue that knowledge construction takes place through reciprocal interactions among learners in a web of cognitions mediated by the teacher, the activities and tasks he/she proposes to the class and the resources he provided to support the students. The learning environment was designed using recursive cycles of interaction-debate among students and between learners and teacher. The teacher role was established on the grounds of what is known about students' ideas of energy.

Keywords: Models of Energy; Science Teaching; Causality; Ontology.

INTRODUÇÃO

Energia é um dos conceitos básicos da ciência para descrever e explicar fenômenos naturais, mas é um conceito difícil de ensinar e de aprender. Esta dificuldade está relacionada à natureza pouco compreendida do conceito de energia. Associamos as idéias novas que aprendemos às nossas percepções e crenças sobre o mundo. E energia é um conceito que não se ajusta bem ao nosso sistema de saberes e crenças. Os livros e nós, professores, insistimos em apresentar energia como algo abstrato e intangível, que existe numa variedade de formas, mas que pode ser armazenada, pode ser transferida, obedece a leis de conservação e pode ser transformada. E ainda continua sendo energia! Os estudantes aprendem a usar razoavelmente bem o vocabulário das 'formas de energia' e o princípio geral da conservação (a idéia de que energia não pode ser criada ou destruída). No entanto tal uso é essencialmente qualitativo e genérico, de pouco valor para a solução de problemas, a previsão e a explicação.

Tem existido um grande interesse em se estudar os processos de construção de modelos e modelos mentais, especialmente a partir da segunda metade dos anos 80 (veja Borges, 1998). Os estudos realizados desde então apontam a possibilidade de avançar além da descrição e categorização das concepções alternativas, jogando luz sobre as relações que o indivíduo constrói acerca do mundo, a partir de suas conceitualizações e percepções. Tais relações podem ser ditas intermediadas por modelos que ocupam um importante papel na compreensão da realidade. Nesse aspecto, um modelo mental constitui um elemento intermediário entre a realidade e a mente humana (Borges, 1999).

Nesse estudo, interessa-nos investigar possíveis estruturas ontológicas e causais dos modelos mentais, e como tais estruturas participam na construção e desenvolvimento dos modelos mentais. Alguns estudos mais recentes apontam nessa direção. Do ponto de vista cognitivo, esses trabalhos propõem uma forma de análise que permite olhar para a complexidade das estruturas ontológicas básicas que sustentam os modelos dos alunos (Mariani e Ogborn, 1990, 1991, 1995; Chi, 1994, 1997).

Um outro aspecto importante é a questão da causalidade no âmbito dos modelos mentais. Julga-se oportuno enfatizar esse aspecto devido a uma latente discussão se modelos mentais em Ciências são, ou não, causais. Segundo Kuhn (1977), a causalidade não está, necessariamente, relacionada a causa e efeito. Ele mostra que, no âmbito histórico-epistemológico, as explicações causais se apresentam sob pressupostos diversos, havendo momentos na história da Ciência em que as explicações causais apresentam sutis variações.

Além disso, citando Piaget, Kuhn utiliza o argumento de que a noção de causa pode ser entendida sob dois aspectos: o restrito e o amplo. O primeiro é entendido como aquele em que é possível identificar claramente um agente, que exerce uma ação sobre um segundo corpo com o qual interage, produzindo um efeito. Nesse sentido a noção de causalidade é muito próxima ao conceito de "causalidade eficiente" de Aristóteles. O segundo, conforme Piaget, concebe a própria explicação como a causa. Nesse sentido, explicar por que determinado fenômeno ocorreu é descrever sua causa, ainda que tal explicação não seja o último nível possível. Kuhn também argumenta que há explicações que não apontam qualquer agente causal como justificativa para o evento, mas que não podem ser consideradas como explicações não-causais. Ele defende que seria sempre possível reorientar a pergunta de forma que a explicação aponte uma causa ou um agente causal. As explicações que não apontam um agente causal se baseiam na matemática ou, no caso específico da energia, que interessa diretamente a esse estudo, nos princípios de

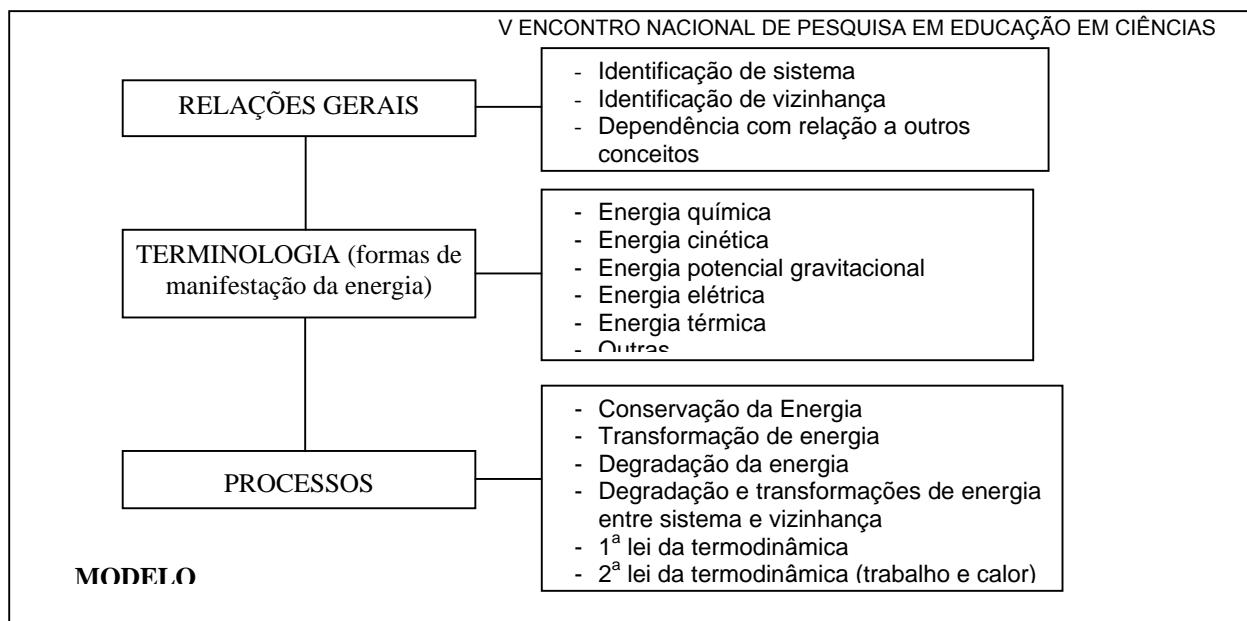


Figura 1 – Estrutura da seqüência didática para o modelamento de energia

conservação, transformação e degradação, previstos no estudo do próprio conceito, e entendidas como auto-suficientes dentro do contexto escolar.

A estratégia instrucional para facilitar o processo de modelamento do conceito de energia pelos estudantes foi baseada no modelo de Hestenes (Hestenes, 1987; Wells, Hestenes e Swackamer, 1995) Ela representa a estrutura orientadora do processo de modelamento e foi desenvolvida juntamente com os outros dois referenciais: as “analogias-ponte” de Clement (1998) e a cognição distribuída (Salomon, 1997; Pea, 1997). Esses referenciais foram utilizados como suporte ao desenvolvimento do ambiente de aprendizagem. O modelo de Hestenes foi originalmente desenvolvido para o ensino do tópico Leis de Newton a professores e, portanto, teve que ser adaptado para a situação da pesquisa. Trata-se de um modelo construído com a preocupação de dividir o foco da aprendizagem em sistemas. A figura 1 apresenta nosso uso da metodologia de modelamento para o conceito de energia.

CONCEPÇÕES PRÉVIAS DE ENERGIA

As concepções de estudantes sobre energia no contexto escolar foram muito estudadas nos últimos anos (por exemplo, Driver 1994; Duit e Hauesler, 1995; Trumper 1997; Ioannidis e Spiliotopoulou 1999; Watts e Gilbert, 1985). A maior parte dos estudiosos trabalharam com estudantes mais novos e poucos relatos existem sobre de estudantes do ensino médio e superior. Apresentamos a seguir uma breve revisão dessas pesquisas.

Os resultados indicam que os estudantes mostram uma tendência de dedicar mais atenção e dar maior importância às características observáveis dos fenômenos estudados, em detrimento de algumas idéias abstratas. É o caso do conceito de energia, que é muito utilizada no cotidiano científico e acadêmico, mas que no contexto escolar, é colocado de lado pelos estudantes, quando vão explicar os vários sistemas e fenômenos naturais que estudam. Assim, os estudantes lançam mão de concepções alternativas, estruturas conceituais e modelos mais próximos de sua experiência cotidiana do que aqueles encontrados nas lições escolares. Trumper (1997) apresenta dois resultados principais de seu estudo:

“1- Antes de estudar Física, as estruturas alternativas mais persistentes, utilizadas por quase todas as crianças, eram: (a) antropocêntrica, (b) causa – energia provoca os acontecimentos (faz as coisas acontecerem), (c) produto – a energia é um subproduto de certos processos”.

“2- Mesmo após estudarem Física, em geral os estudantes continuam a apresentar as mesmas estruturas alternativas que possuíam antes do estudo formal”. (pág 159).

Watts (1983) lembra que os estudantes têm dificuldades para imaginar qualquer objeto inanimado como possuindo certa quantidade de energia. A exceção são os sistemas utilizados com frequência na vida cotidiana, tais como baterias, pilhas, usinas elétricas, combustíveis em geral. Nestes casos, acredita-se que a energia possa estar armazenada e é responsável por produzir outros efeitos observáveis, como a produção de luz numa lâmpada, produzir movimento em veículos e máquinas, produzir sons, ruídos e aquecimento.

Driver e colaboradores (1994) sintetizaram os resultados de pesquisa até aquela época em cinco categorias. Elas englobam o sistema de categorias proposto por Watts e Gilbert (1985).

I. Concepção antropocêntrica, em que a energia aparece associada somente com objetos vivos. Esta concepção aponta para duas formas típicas de pensar sobre energia:

Vitalismo – energia imaginada como essencial para a manutenção da vida, como em *“quando temos uma perda de energia, nós precisamos de medicamentos e vitaminas”*, ou *“exercício é bom para você, ele aumenta sua energia”*.

Atividade – a energia é necessária para o movimento, como em *“quando nós perdemos energia, nós precisamos de alimento e repouso”*, ou *“exercícios consomem energia, por isso você se sente cansado”*. (pág. 143-144).

II. Energia Armazenada ou vista como sendo um agente causal armazenado em certos objetos (reservatório);

Um modelo de depósito para energia que pressupõe a existência de objetos capazes de armazenar (dentro de si) a energia necessária para provocar mudanças em outros objetos que possam recebê-la. Esta concepção, segundo Driver et al (1994), também considera a energia como uma entidade material (pode ser armazenada). Corpos que possuem energia (depositários) podem ser recarregados, e também há corpos que absorvem energia e gastam o que conseguem obter (alta atividade). Há também aqueles corpos, cujo nível de atividade é dito como *“normal”* (média atividade). Pode-se entender, a partir deste modelo, que a energia está armazenada dentro de certos objetos e é um agente causal. Trumper (1997) identifica duas interpretações para este modelo de energia: (i) Uma estrutura mais simples do tipo depósito, que atribui à energia uma natureza passiva. A energia está contida num objeto (reservatório), como em *‘Há energia na bateria...’*; (ii) Uma estrutura ativa ou causal, que concebe a energia como causa dos fenômenos. A energia é necessária para a ocorrência de certos processos, como em *“a lâmpada elétrica precisa de energia para acender”* (pág. 159).

III. Associada a força e movimento;

Driver et al (1994) mostram que há uma confusão quando crianças utilizam os termos força, energia e trabalho que vai além da expressão terminológica. Esta confusão é também conceitual. Alguns estudos revistos pelos autores mostram que é comum que estudantes utilizem os termos

força e energia como sinônimos. Quando são capazes de diferenciá-los, fazem-no de forma a manter uma relação entre ambos. Eles afirmam que há uma vinculação muito forte quando se analisam as noções de energia, força e movimento. Muitas crianças usam o termo “força” para explicarem o movimento de uma esfera em um trilho nas situações em que cientistas ou professores usariam o termo “*energia cinética*”. A literatura sobre o tema indica que antes de estudar o assunto, as crianças são muito propensas associar energia com o fato de alguns objetos se moverem. Neste caso, o movimento acontece em virtude da existência de algum tipo de energia. Outras vezes a energia é confundida com um tipo de força. (Driver et al; 1994).

IV. Energia como Combustível;

Esta concepção parece estar associada ao conhecimento de senso comum a respeito de um esgotamento futuro das fontes de energia não-renováveis utilizadas pelo homem. Driver et al (1994) explicitam que expressões como “*crise de energia*” e “*conservação de energia*” significam, respectivamente, crise de combustível e conservar combustível. Sempre prevalece, entre as crianças, a noção de que combustível é energia, muito mais do que combustível contenha, ou seja, uma fonte de energia. A partir do início da década de 1970, a questão da crise dos combustíveis e da busca por fontes alternativas de energia ocupou lugar de destaque na mídia e teve impacto nos currículos escolares.

V. Fluido - um ingrediente ou um produto;

A noção de energia como um fluido, ingrediente ou produto, foi notada por Watts e Gilbert, citados por Driver et al (1994), Gayford (1986), Duit (1987) e outros. O raciocínio embutido nessa concepção é o de que energia é algo que pode ser contido, armazenado, transportado, dado, conduzido. A energia é pensada como algo que pode fluir de um corpo a outro. Uma concepção muito comum em estudantes do ensino médio e adultos leigos, especialmente quando analisam situações que envolvem eletricidade e em questões envolvendo a física térmica.

No entanto, como assinalam Bliss e Ogborn (1985), estudos como estes não permitem avaliar o nível de complexidade, de coerência e de organização do pensamento do indivíduo. Assim, um modelo de *reservatório*, descrito por esse sistema de categorias, torna-se insuficiente para tentar esclarecer a maneira de pensar do indivíduo ou o quanto ele conhece acerca de um tema, pois um modelo de *reservatório* não pode ser dito ser mais apropriado, ou mais próximo do conhecimento aceito como científico do que um modelo de combustível ou de fluido, por exemplo. A análise da literatura indicou que algumas dessas categorias eram, de fato, ambíguas e que tal sistema apresenta muitas superposições. Por exemplo, depoimentos como os citados abaixo (Driver et al, 1994) podem ser interpretados como pertencentes a mais de uma categoria, o que dificulta a análise da estrutura do modelo:

“Exercício é bom para você, ele aumenta sua energia”.

“Quando corremos, perdemos energia e precisamos alimento e repouso”.

“Exercícios consomem energia, por isso nos sentimos cansados”. (pág. 143-144).

Podemos interpretar qualquer um desses depoimentos tanto na categoria “*atividade*”, pois refletem atividade óbvia (do ponto de vista do aluno), quanto na categoria “*reservatório*”, pois se “*aumentamos*” ou “*perdemos*” energia do corpo, este pode ser considerado um reservatório onde se armazena energia; ou mesmo na categoria de “*fluido*”, onde haveria um fluxo de energia

que chega ou sai do corpo. Nesse aspecto reside a insuficiência de tal sistema de categorização, no que concerne à fundamentação estrutural de um modelo. Ou seja uma categoria descreve um tipo de resposta, mas não as estruturas cognitivas que o sustentam.

Watts e Gilbert (opus cit) perceberam também outros dois tipos de raciocínio acerca da energia: energia como ingrediente “*adormecido*” dentro de certos objetos que pode se manifestar através de um mecanismo de disparo. O outro tipo distinguido é o da energia como subproduto de uma situação. Energia não é conservada, ela é vista como um produto de vida curta. Esse produto é gerado, é ativado e depois desaparece.

ASPECTOS ONTOLÓGICOS E CAUSAIS DOS MODELOS DE ENERGIA

Entre os conceitos da ciência escolar que se espera que todo estudante aprenda, o de energia é considerado como um dos mais difíceis de ser ensinado e aprendido, por várias razões. Por que requer um alto grau de abstração para o seu entendimento. Bunge (2000) faz uma análise do estatuto do conceito de energia, destacando que da forma como o conceito é normalmente apresentado nos livros tratado, e ensinado, ele é pouco claro e abstrato. Os textos enfatizam as várias formas de energia, cada uma apresentada dentro de domínios específicos da ciência. Fala-se em energia potencial gravitacional, energia cinética, energia potencial elástica, e outras formas de energia, usadas na ciência, mas também de uso corrente em situações não-escolares, como por exemplo, energia química, energia térmica, energia eólica, energia elétrica, energia nuclear e outras. O uso desta ampla variedade de formas de energia, cada uma associada a processos particulares, sugere que não sabemos exatamente o que a energia é, uma idéia usada por Feynman. Sabemos que há algo a que chamamos de energia, que existe em diferentes formas. Sabemos que as diferentes formas de energia podem ser transformadas em outras, e ainda assim continua sendo a mesma coisa, embora obedecendo ainda a um princípio de conservação, básico da ciência. Esta última característica torna a idéia de energia atraente para a resolução de problemas.

Um exame da literatura abordando as concepções alternativas de estudantes sobre energia revela muitos aspectos importantes a considerar como fundamentos de qualquer abordagem para o ensino desse tema. O trabalho organizado por Driver et al (1994) aponta registros de várias concepções alternativas de estudantes sobre energia. Duit e Haeussler (1995), consideram que essas concepções poderiam ser mais bem trabalhadas se a degradação da energia fosse incluída entre os aspectos básicos do ensino do conceito de energia. Solomon (1992) mostra que o conceito de energia está sempre associado a palavras como força, resistência, vigor, potência, vida (cheio de), eletricidade, movimento, esforço, alimento, saúde (boa forma) e respiração. Gilbert e Pope (1986) caracterizaram sete concepções que consideram relevantes para o entendimento dos modelos mentais de energia dos estudantes, a saber: antropocêntrica, de reservatório, de substância, atividade, produto (subproduto de um estado ou sistema), funcional (associada a combustível) e fluido. Não obstante, tais trabalhos são descritores de categorias de respostas e não têm o objetivo de buscar uma explicação estrutural para tais interpretações.

Com relação ao conceito de energia, é necessário dizer que, o que se espera em termos de aprendizagem, é que os alunos desenvolvam modelos de energia que sejam construídos com base nos princípios de transformação, conservação e degradação da energia, e que isso lhe permita perceber possíveis situações como processos contínuos que podem ser enfrentados com esses novos modelos de energia. Considera-se que a instanciação de um modelo mental que incorpore esses novos esquemas, mesmo que construído para dar conta de situações e exemplos simplificados, significa uma evolução importante, pois os modelos iniciais dos estudantes são

pouco desenvolvidos, como relatado em estudos similares e também revelado pelos resultados do pré-teste e constatado no transcorrer da análise dos dados dessa pesquisa.

Estudos mais recentes sobre diversos conceitos físicos procuram apontar características ontológicas descritivas através das quais seria possível situar um nível de complexidade e organização para as respostas dos estudantes (Mariani e Ogborn, 1991; Chi, 1994). Para entender como os indivíduos pensam sobre as coisas do mundo, Mariani e Ogborn (1991) sugerem traçar um perfil ontológico relativo aos objetos ou conceitos analisados. Para isso buscam sustentação na teoria piagetiana em que a ação dos sujeitos proporciona a base na qual a estrutura subjacente à realidade é construída. A ação do sujeito depende de três aspectos: “de que o objeto é feito”, “o que você pode fazer com o objeto” e “o que o objeto pode fazer acontecer (causar)”.

Por outro lado, Chi (1994) apresenta uma estrutura dividida em três árvores ontológicas (“substâncias materiais”, “processos” e “estado mental”) às quais, supõe-se, seria possível abrigar todos os objetos ou eventos do mundo real. Dificuldades de aprendizagem de certos conceitos estariam relacionadas ao fato de alguns indivíduos atribuírem características inadequadas ao conceito, o que corresponderia situá-los na árvore ontológica diversa daquela que deveria ocupar enquanto conhecimento científico. Durante o ato cognitivo, no decorrer da sua experiência, o pensamento do indivíduo é orientado segundo alguns critérios ontológicos variáveis e “se movimenta” entre os diversos níveis dessas árvores ontológicas, construindo seu conhecimento, podendo haver um movimento vertical, mais simples e imediato, dentro de uma mesma árvore, e um movimento horizontal, que é considerado mais difícil de ocorrer.

No âmbito desse trabalho, essa proposta de Chi apresenta-se como uma boa perspectiva de orientação, pois é conhecida a tendência de substancialização da energia por parte dos estudantes. Assim, com relação ao desenvolvimento de modelos mentais de energia mais coerentes, o pressuposto fundamental é que o aluno pudesse realizar esse movimento ontológico horizontal (ou como a pesquisadora denomina, “travessia ontológica”) da árvore “substâncias materiais” para a árvore “processos”.

A partir desses estudos, toma-se o exame dos aspectos ontológicos nas respostas dos estudantes como uma das dimensões da análise. A outra dimensão busca examinar os aspectos causais atribuídos pelos estudantes às situações com que lidaram. Ao responder questões que lhe são formuladas envolvendo conceitos complexos e abstratos como é o caso da energia, os estudantes deverão decidir através de processos cognitivos implícitos quais atributos ontológicos são relevantes na situação e nos quais eles se apóiam para produzir respostas e inferências sobre a situação observada. Nesse aspecto, é importante lembrar que as interpretações das respostas, por parte do pesquisador, são baseadas não apenas em um instrumento como o pré-teste, mas também, originam-se da análise do debate inicial em sala de aula e das entrevistas.

Para um conceito de aplicação tão ampla quanto o conceito de energia, de tamanha complexidade e que exige dos alunos um bom grau de abstração, são propostas cinco questões orientadoras da análise, e que vão permitir a interpretação dos modelos dos estudantes ao longo de duas dimensões distintas: **i)** ontológica; **ii)** causal:

(i) dimensão ontológica que se assemelha à abordagem do estudo de Mariani e Ogborn (opus cit.), em que eles apresentam aos estudantes um questionário dirigido, sendo que, para cada questão proposta é apresentada uma série de opções como respostas possíveis. O estudo desses pesquisadores trata de focar as estruturas fundamentalmente ontológicas dos modos de raciocínio dos estudantes, objeto da pesquisa. Como já dito anteriormente, na pesquisa foram utilizadas três

ferramentas como fonte de dados: pré-teste (escrito), debate em sala de aula e entrevista em separado com pequenos grupos de alunos.

As três questões iniciais (A, B, C), mencionadas abaixo, buscam verificar como o estudante concebe, espontaneamente, o que é energia, que características ontológicas atribui a energia. Examinamos se cada estudante concebia energia como sendo relacionada a algo concreto ou abstrato, material ou imaterial, real ou imaginário, no sentido descrito por Bunge (2000).

(ii) dimensão causal, examina em que medida as explicações apresentadas pelos estudantes são causais. Nesse aspecto, recorrendo à distinção introduzida por Kuhn, as explicações causais foram classificadas em dois tipos: **causalidade restrita** (ou “eficiente”, segundo Aristóteles), e a **causalidade auto-suficiente**. A *causalidade restrita* se expressa de duas maneiras: pressupõe a identificação clara de um agente e um receptor aliada a uma idéia de intencionalidade (causalidade restrita de primeira ordem); ou expressa a idéia de que a energia surge em um evento como elo necessário entre a ação executada pelo agente e o evento (causalidade restrita de segunda ordem). Assim, se ao executar (ou realizar) uma determinada ação, a energia “surge”, ela desempenha a função de um agente “mediador” (passivo) entre o agente ativo e o evento (ou efeito) observado. Exemplo: “*O corpo cria uma energia para andar de bicicleta*”, em que o corpo seria o agente causal ativo e o evento o movimento da bicicleta, sendo a energia um agente mediador.

A *causalidade auto-suficiente* prevê a energia como a própria causa (ou o próprio agente responsável) para o efeito produzido ou destacado naquela situação ou evento analisado. Nesse último caso, tanto *causa* quanto *efeito*, identificados nas respostas, podem estar relacionados a idéias de necessidade ou funcionalidade. Exemplo: “*A energia faz a planta crescer*”, “*A energia faz a lâmpada acender*”, “*A energia ajuda o carro a andar*”, “*Energia para a planta sobreviver*”. É importante lembrar que essa explicação pode ser considerada suficiente pelo aluno, devido ao próprio fato de que energia é uma entidade “científica”, ensinada na escola, o que lhe dá um caráter de realidade, mas não carrega necessariamente uma idéia de concreto (Pinheiro e Pietrocola, 2002). Num estágio mais avançado, a causalidade auto-suficiente seria ilustrada por explicações do tipo que não apontam qualquer agente causal como justificativa para o evento, que não devem, de forma alguma ser consideradas como explicações não-causais (Kuhn, 1977). Elas se baseiam na matemática ou, no caso específico da energia, nos princípios ou propriedades relacionados ao conceito – conservação, transformação e degradação – previstas no estudo do próprio conceito, e entendidas como suficientes dentro do contexto escolar.

Em suma, durante a análise procuramos avaliar o que as explicações dadas para as situações e fenômenos apresentados revelam sobre a ontologia e dos modos de raciocínio causal discutidos. Estes dois pressupostos parecem bastantes promissores para investigar os modos de raciocínio dos estudantes. Quatro questões guiaram a análise:

A – O que é energia?

B – O que é possível inferir sobre a natureza da energia?

C – Como ela é tratada no plano da realidade?

D – É possível inferir alguma idéia de causalidade?

METODOLOGIA DE PESQUISA

A pesquisa foi realizada numa escola da Rede Municipal de Belo Horizonte, em um bairro da periferia, com alunos da 1ª série do Ensino Médio do turno noturno. A turma era composta de 35 alunos, com faixa etária diversificada, com jovens desde 17 a adultos com mais de 30 anos de idade. Muitos desses alunos trabalhavam durante o dia em atividades bastante diversificadas como recepcionista de hospital, vendedor de equipamentos de combate a incêndio, empregadas domésticas, vendedores de lojas de roupas, trabalhadores da construção civil entre outras, e alguns sem ocupação fixa.

A coleta de dados começou com um pré-teste em que os alunos receberam um conjunto de 21 figuras representando diversas situações (veja Barbosa e Borges, 2003). Sua tarefa era assinalar em quais situações/figuras havia energia presente e justificar sua resposta. O curso sobre energia e as outras etapas de coleta de dados se estenderam por mais quatro semanas, totalizando cerca de doze horas em sala de aula, mais o tempo considerado para as entrevistas em separado.

A seguir, realizamos um debate com toda a turma em que discutimos as situações apresentadas no pré-teste. O debate foi registrado em áudio e vídeo. Além disso, um grupo de estudantes que seria acompanhado durante a intervenção foi entrevistado antes do início das atividades de modelamento. As entrevistas foram realizadas com grupos, de dois ou três alunos, e registradas em áudio. Em meio às dificuldades que a rede pública vivia na época da pesquisa, parte da rede estava em greve, havia o grave problema da evasão escolar e das faltas dos alunos por períodos prolongados. Do grupo inicial de dez estudantes, terminamos com apenas dois grupos de três alunos cada, dois quais quatro deles participaram de todas as aulas. Toda a turma participou normalmente das atividades em sala. Os alunos se mostraram bastante entusiasmados em participarem da pesquisa, não obstante os problemas enfrentados.

O papel de mediador ficou restrito ao professor enquanto as atividades se davam em sala de aula (no ambiente de aprendizagem). Evidentemente que, nas entrevistas em separado com o grupo de alunos selecionado, ao questioná-los sobre o tópico estudado, confrontá-los com novas situações e discuti-las, incorreu-se necessária e inevitavelmente numa situação em que o pesquisador se colocou como mediador do processo de aprendizagem. Os dados analisados neste trabalho originaram do pré-teste aplicado a turma, seguido da vídeo-gravação de um debate com toda a turma sobre o pré-teste e da entrevista inicial com dois grupos de três estudantes (Barbosa e Borges, 2004).

RESULTADOS

Ao analisar as respostas de cada estudante ou as discussões, gravadas em áudio ou em vídeo, entre eles, reconhece-se que nem sempre será possível garantir que tais respostas revelem o modelo mental do indivíduo ou as estruturas desses modelos por dois motivos: (i) modelos são normalmente imprecisos, incompletos, incoerentes e confusos. Sendo assim, as explicações que o aluno verbaliza podem parecer incoerentes, desconectadas e confusas, exigindo do pesquisador uma análise cuidadosa daquele discurso naquele contexto particular; (ii) o discurso do estudante (conscientemente ou não) é construído para dominar a situação, impressionando o ouvinte, formulando uma resposta que satisfaça a pergunta, mas que não exprima necessariamente uma compreensão real do objeto do debate, ou seja, que pode não transparecer um modelo mental.

Os quadros 1 e 2 resumizam os resultados dos quatro estudantes que acompanhamos em todas as fases da pesquisa. Paralelamente à análise das estruturas ontológicas e causais, examinamos também as estratégias utilizadas pelos alunos enquanto buscam apreender o conhecimento novo (veja Barbosa, 2003). Esperava-se que essas estratégias pudessem revelar momentos de conflito

de concepção (momento em que o aluno perceberia uma eventual limitação do seu modelo) ou momentos de transição de raciocínio (quando ele expressa um modo de raciocínio diferente daquele que utilizava). Tais aspectos poderiam ser revelados através dos questionamentos e respostas dirigidos por eles ao grupo ou ao professor durante os debates, ou poderiam se manifestar, ainda, nas suas atitudes e comportamentos (observar, tocar, medir, gesticular).

O modelo inicial de Fátima sugere que, pelo menos em algumas situações, energia é como algo que tem existência real e que pode ser contido, armazenado e que pode passar dos alimentos ao corpo. Ela trata energia ora como algo concreto e ora como algo abstrato. Em outras situações específicas, a aluna propõe explicações que sugerem que uma tendência de pensar em energia como processo (de transmissão, de transferência ou transformação, e de armazenamento). Para reconhecer energia, Fátima precisa reconhecer um agente causal em cada problema ou evento observado. Quando isso não é possível, ela sente dificuldades em reconhecer a existência de energia nas situações. A dualidade verificada no plano ontológico também aparece quando se analisa o aspecto da causalidade nos seus modelos. Seu modelo mental de energia parece, em relação a algumas das situações do teste, sustentado por uma idéia de causalidade auto-suficiente. Em outras ocasiões, a aluna parece entender que a energia pode ser criada para servir como agente mediador, o que implica numa idéia de causalidade restrita de segunda ordem. Associado a esse aspecto, ela demonstra relacionar energia a movimento, uma vez que ela não assinalou nenhuma situação do pré-teste em que não havia movimento evidente.

Quadro 1 – Sumário dos modelos iniciais dos quatro estudantes

PRINCIPAIS ASPECTOS DOS MODELOS INICIAIS	
WALTER	FÁTIMA
<ul style="list-style-type: none"> ● Substancialização da energia. Energia é algo real e material. ● Uso de terminologia pobre e confusa. ● Relacionada a situações em que haja atividade óbvia. Forte relação com movimento. ● Concepção vitalista da energia proveniente do conhecimento factual e cotidiano. ● A ebulição da água é um processo químico. ● Dificuldade de enfrentar situações/problemas como processos. ● Fraca evidência de uma estrutura causal restrita de segunda ordem. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Energia é algo real, que pode ser contido, armazenado, e passar dos alimentos ao corpo. ● Dualidade do caráter concreto/abstrato da energia. ● Necessita reconhecer ou construir uma estrutura causal envolvendo a situação/problema analisada. ● Dualidade causal: causalidade auto-suficiente e causalidade restrita de segunda ordem. ● Terminologia pobre. ● Parece sempre relacionar energia a movimento.

Energia é para Walter algo real e material. Walter parece preferir pensar em energia como sendo um tipo de substância ou algo associada a substâncias que ele conhece (“água” e “potássio”). Energia é também associada a situações nas quais há atividade óbvia, e não teve dúvidas em relacionar energia a todas as situações em que havia movimento. Ele mantém e reforça, ao longo do curso, a idéia de vitalismo – o calor como fonte de energia indispensável à vida. O que o leva a abordar de forma diferenciada as situações envolvendo seres vivos e inanimadas. Acreditamos que a cultura do hospital onde ele trabalha contribua para que ele entenda energia dessa forma. Seu modelo inicial é pouco desenvolvido, não incorporando os princípios de conservação, transformação ou transferência da energia. Seu modelo apresenta fraca evidência de uma estrutura causal restrita de segunda ordem e uma aparente dificuldade em interpretar situações/problemas como processos, caracterizando, portanto, uma tendência a imaginar todas as situações como estáticas, exceto nos casos de movimento. Somente em alguns casos isolados

ele pareceu supor uma seqüência de eventos encadeados na situação analisada. Situações que podem ser associadas a formas de energia que não fazem parte do seu cotidiano, como energia potencial ou térmica, foram descartadas.

O entendimento inicial de energia de Jorge Bruno era muito insatisfatório e impreciso. O seu vocabulário relacionado com energia era muito limitado e suas explicações não passavam de descrições resumidas. Ele confundiu energia com força; uma centelha elétrica em um fogão foi entendida como sendo a própria energia. Diferentemente de outros alunos não há qualquer evidência que Jorge Bruno associe energia a movimento.

No plano ontológico, o caráter material ou imaterial (concreto/abstrato) da energia depende da situação/problema enfrentada pelo aluno. Há situações em que esse caráter se apresenta como material e outras situações como imaterial, mas energia é algo que tem existência real e necessária para provocar mudanças nos objetos. Ao término da primeira fase, os modelos desenvolvidos ou expressos pelo aluno mantêm essa característica dual para a energia. Além disso, energia é algo que pode ser criado e armazenado. Parece que, nesse momento do curso, Jorge Bruno já está começando a revisar seus modelos, passando a compreender a utilidade das “novas idéias” sobre energia para explicar mudanças no estado das situações. Aliás, foi o estudante que mais surpreendeu em termos de ganhos de aprendizagem durante o curso.

Quadro 2 – Sumário dos modelos iniciais dos quatro estudantes

PRINCIPAIS ASPECTOS DOS MODELOS INICIAIS	
JORGE BRUNO	ANA LÚCIA
<ul style="list-style-type: none"> ● Energia pode ser criada e armazenada. ● Energia é algo real. ● Relaciona energia a processos de mudança, mas de maneira implícita. ● Dualidade do caráter concreto/abstrato da energia. ● Causalidade auto-suficiente e causalidade restrita de segunda ordem. ● Uso de terminologia completamente alheia ao conhecimento científico. ● Apenas relaciona aspectos salientes das situações/problemas que possam dar qualquer sentido particular (para ele) à situação. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Idéia inicial de processo já bem definida (fala explicitamente em seqüência temporal de eventos). Mudanças nos aspectos das situações/problemas são associadas à energia. ● Energia é algo real e abstrato. ● Energia pode causar movimento e movimento pode causar energia. ● As três formas de estruturas causais previstas são identificadas: estrutura causal auto-suficiente, estrutura causal restrita de primeira ordem e estrutura causal restrita de segunda ordem, prevalecendo esta última. ● Energia associada ao caráter de necessidade. ● Terminologia pobre. Confusão entre conceitos de força e energia.

Ana Lúcia apresentou o modelo inicial de energia mais sofisticado dentre os quatro estudantes. Embora confundindo força e energia, pode-se inferir que ela utiliza uma idéia de processo bem desenvolvida. O vocabulário que ela usa era inicialmente limitado, mas desenvolve-se bastante ao longo do curso. Ana teve bom desempenho no pré-teste, assinalando e justificando adequadamente 18 das 21 situações. Já nessa fase, é capaz de perceber que algumas mudanças observadas nos eventos podem ser associadas à energia. Suas justificativas para algumas das situações assinaladas no pré-teste são baseadas em atributos óbvios que expressam uma estrutura causal auto-suficiente. Em outras situações, ela propõe justificativas que identificam relações entre as partes do sistema/situação representado. Energia, para ela, é algo real e abstrato, pode estar contido, pode ser transferido, armazenado ou transmitido e está ligado à causa do movimento, diferentemente da maioria de seus colegas que igualavam movimento e energia. Ela fala freqüentemente em interferência da energia, o que sugere a necessidade da presença de

energia para as coisas acontecerem. Mas a estrutura que acaba prevalecendo nessa fase é a causalidade restrita de segunda ordem.

CONCLUSÃO

Os modelos iniciais dos alunos, exceto no caso de Ana Lúcia, são simples, baseados em conceitualizações típicas de senso comum – a energia é concebida com algo material e concreto, como uma substância, que pode ser armazenada e transferida. Ela é normalmente a causa que faz os fenômenos e eventos acontecerem. Quando muito a energia é compreendida como um intermediário entre a fonte de causalidade e o objeto que sofre seus efeitos. O vocabulário utilizado pelos estudantes tem pouca correspondência com a terminologia adotada pela ciência e pela ciência escolar.

É importante notar que, quando se identifica uma estrutura causal, tal como no caso de Fátima, é possível inferir que tal estrutura parece associada a uma estrutura ontológica baseada em processos, em que um primeiro evento previamente observado está associado a um segundo evento, normalmente deslocado no tempo, através dos agentes causais “construídos” por ela (quem modela a situação). Esse aspecto é importante para se perceber a complexidade de um processo de modelamento disparado por um indivíduo, para se dar conta de que o processo não é linear. A (re)construção dos modelos, relacionada às estruturas ontológicas, é fundamental ao desenvolvimento de modelos mais sofisticados e abrangentes, uma vez que o conceito de energia pode e deve ser associado a processos de transformação de estados físicos, relacionados a eventos naturais ou não. Reconstrução de estruturas ontológicas, enriquecimento de terminologia e atribuição de relações a outros conceitos, pressupõem a incorporação de novos elementos (*resíduos cognitivos*) compartilhados da rede cognitiva estabelecida no ambiente.

Thomas Kuhn, em “A tensão Essencial”, lembra que toda Ciência tem seus cânones, e uma explicação científica é suficiente se está inserida nesses cânones, daí a necessidade de difundir a linguagem científica e torná-la compreensível para os estudantes. Em particular, para um conceito tão abstrato como é o de energia. É um conceito difícil e desafiador para professores e estudantes por várias razões. Não existe nos cursos iniciais de ciências uma preocupação em definir a ontologia, e quase sempre os modelos iniciais dos estudantes substancializam a energia, tratando-a como algo intangível que pode fluir entre sistemas, que pode ser armazenado ou que existe em forma latente num reservatório, e que embora possa se transformar, este algo permanece sendo energia. Acreditamos que estas razões justificam a adoção de estratégias que auxiliem os estudantes a modelar o conceito.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, João Paulino V. **Evolução dos Modelos Mentais de Energia**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais (Dissertação de Mestrado), 2003.

BARBOSA, João Paulino V.; BORGES, A. Tarciso. Modelos iniciais de energia. In M. A. Moreira (Org.) **Atas do IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**. Bauru, 25 a 29 Novembro de 2003. Porto Alegre: ABRAPEC. p. 1-12. 2004.

BLISS, Joan; OGBORN, Jon. Children’s choices of uses of energy. **European Journal of Science Education**, vol. 7, no. 2, p. 195-203, 1985.

BORGES, A. Tarciso. Modelos mentais de eletromagnetismo. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, vol.15, no.1, p.7-31, abr, 1998.

BORGES, A. Tarciso. Como evoluem os modelos mentais. **Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências**, vol.1, no.1, p.85-125, 1999.

BUNGE, M. Energy: Between physics and metaphysics. **Science & Education**. v. 9, p. 457-461, 2000.

CLEMENT, John. Expert novice similarities and instruction using analogies. **International Journal of Science Education**, vol.20, n.10, p.1271-1286, 1998.

CHI, Michelene T. H.; SLOTTA, James D.; de LEEUW, Nicholas. From things to processes: a theory of conceptual change for learning science concepts. **Learning and Instruction**, vol. 4, p. 27-43, Elsevier Science Ltd, 1994.

CHI, Michelene T. H. Creativity: Shifting Across Ontological Categories Flexibly. In: WARD, T. B., SMITH, S. M., VAID, J. (ed). **Creative Thought: An investigation of conceptual structures and processes**. (pp. 209-234. Washington, DC: American Psychological Association. 1997.

DRIVER, Rosalind et al. **Making sense of secondary science – Research into children's ideas**. New York: Routledge, 1994.

DUIT, Reinders; HAEUSSLER, Peter. Learning and teaching energy. In FENSHAM, Peter al (eds): **The content of science (A constructivist approach to its teaching and learning)**. London: The Palmer Press, 1995.

GILBERT, John K. and POPE, M.: Small group discussions about conception in science: a case study. **Research in Science and Technological Education**, vol. 4, p. 61-76, 1986.

HESTENES, David. A Modeling Theory of Physics Instruction. **American Journal of Physics**, vol..55, p. 440-454 (1987).

IOANNIDIS, G. S.; SPILIOTOPOULOU, V.; Childrens Drawings and Stories about Energy. **Proceedings of the Second International Conference of the European Science Education Research Association (ESERA)**, vol. 1, p. 95-97. 1999.

KUHN, Thomas S. **The essential tension – Selected studies in scientific tradition and change**. (cap. 2 e 4). The University of Chicago Press: Chicago. 1977.

MARIANI, M.C.; OGBORN, Jon. Towards an ontology of common-sense reasoning. **International Journal of Science Education**, vol. 13, n. 1, p. 69-85, 1991.

_____. The ontology of physical events: a comparison of two groups. **International Journal of Science Education**, vol. 17, n. 5, p. 643-661, 1995.

PEA, Roy D. Practices of distributed intelligence and designs for education. In SALOMON, Gavriel (Ed). **Distributed Cognitions. Psychological and educational considerations**. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.

PINHEIRO, Terezinha F.; PIETROCOLA, Maurício. Um estudo sobre critérios de realidade em estudantes do ensino médio. In: Vianna, D. M.; Peduzzi, L. O. Q.; Borges, O. N.; Nardi, R. (Orgs.). **Atas do VIII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**. CD-Rom, arquivo: CO17_2 .pdf. São Paulo: SBF, 2002.

SOLOMON, Joan. **Getting to Know about Energy in School and Society**. London: The Palmer Press, 1992.

WATTS, D. Michael. Some alternative views of energy. **Physics Education**, v. 18, p. 213-216, 1983.

WATTS, D. M and GILBERT, J. K. **Appraising the understanding of science concepts: energy**. Department of Educational Studies, University of Surrey, Guildford, 1985.

WELLS, Malcolm; HESTENES, D. and SWACKHAMER, G. A Modeling method for high school physics instruction. **American Journal of Physics**, v. 63, n. 7, p. 606-619, 1995.