

Construindo conhecimento científico na sala de aula

A seção “Pesquisa no ensino de química” relata investigações relacionadas a problemas no ensino de química, explicitando os fundamentos teóricos e procedimentos metodológicos adotados na pesquisa e analisando seus resultados. A seção “Aluno em Foco” discute resultados de pesquisas sobre idéias informais dos estudantes, sugerindo formas de levar essas idéias em consideração no ensino-aprendizagem de conceitos científicos. O presente artigo enfoca a importante temática da construção de conhecimento científico em sala de aula e a relação entre as idéias científicas e idéias informais dos estudantes, razão pela qual se inclui a tradução deste artigo para integrar as seções “Pesquisa em Ensino de Química” e “Aluno em Foco”. A publicação deste artigo também significa uma homenagem da comunidade de educadores químicos brasileiros à grande pesquisadora em ensino de ciências que foi Rosalind Driver, falecida em outubro de 1997.

**Rosalind Driver
Hilary Asoko
John Leach
Eduardo Mortimer
Philip Scott**
Tradução*: Eduardo Mortimer

► processo de aprendizagem, idéias científicas, idéias informais, pedagogia ◀

O compromisso central de uma posição construtivista — de que o conhecimento não é diretamente transmitido mas construído ativamente pelo aprendiz — é compartilhado por diferentes tradições de pesquisa no ensino das ciências. Uma dessas tradições concentra-se na construção individual de significados e nas várias teorias informais que as pessoas desenvolvem sobre os fenômenos naturais (Carey, 1985; Carmichael *et al.*, 1990; Pfundt e Duit, 1985), como resultado das interações individuais dos aprendizes com os eventos físicos de sua vida diária (Piaget, 1970). A aprendizagem em sala de aula, a partir dessa perspectiva, é vista como algo que requer atividades práticas bem elaboradas que desafiem as concepções prévias do aprendiz, encorajando-o a reorganizar suas teorias pessoais. Uma outra tradição descreve o processo de construção de conhecimento como consequência da aculturação do aprendiz nos discursos cientí-

ficos (por exemplo, Edwards e Mercer, 1987; Lemke, 1990). Outros, ainda, vêem o processo como um aprendizado das práticas científicas (Rogoff e Lave, 1984). O nosso próprio trabalho tem se concentrado no estudo de como os alunos recorrem a seu conhecimento informal e como este interage com as formas científicas de conhecimento introduzidas na sala de aula (por exemplo, Johnston e Driver, 1990; Scott, 1993; Scott *et al.*, 1994). Existe uma variedade de descrições dos processos de construção do conhecimento. Parece ser necessário esclarecer essas perspectivas distintas e suas inter-relações. Uma outra questão que precisa ser esclarecida entre os educadores em ciências é a relação que vem sendo proposta entre a visão construtivista da aprendizagem e suas implicações

pedagógicas. De fato, Millar (1989) afirma que perspectivas particulares sobre a aprendizagem não resultam necessariamente em práticas pedagógicas específicas. Além disso, as tentativas de articular as abordagens ‘construtivistas’ à didática das ciências (Driver e Oldham, 1986; Fensham *et al.*, 1994; Osborne e Freyberg, 1985) têm sido criticadas com base no pressuposto de que tais práticas pedagógicas estão fundamentadas em uma visão empirista da natureza da ciência (Matthews, 1992; Osborne, 1993), argumento que será posteriormente analisado neste texto.

Neste artigo, vamos apresentar nossa visão de como os vários fatores da experiência pessoal, da linguagem e da socialização inter-relacionam-se no processo de aprendizagem das ciências em sala de aula e discutir as relações problemáticas entre conhecimento científico, aprendizagem das ciências e pedagogia.

A natureza do conhecimento científico

Qualquer relato sobre ensino e aprendizagem das ciências precisa levar em consideração a natureza do conhecimento a ser ensinado. Embora trabalhos recentes sobre a natureza da ciência enfatizem que as práticas científicas não podem ser caracterizadas de modo unitário simplista, ou seja,

...na educação em ciências, é importante considerar que o conhecimento científico é, ao mesmo tempo, simbólico por natureza e socialmente negociado

que não existe uma única 'natureza da ciência' (Millar *et al.*, 1993), existem alguns compromissos centrais ligados às práticas científicas e ao conhecimento que têm implicações para o ensino da ciência. Defendemos que, na educação em ciências, é importante considerar que o conhecimento científico é, ao mesmo tempo, simbólico por natureza e socialmente negociado. Os objetos da ciência não são os fenômenos da natureza, mas construções desenvolvidas pela comunidade científica para interpretar a natureza. Hanson (1958) fornece uma ilustração eloqüente sobre a diferença entre os conceitos da ciência e os fenômenos do mundo, em seu relato sobre os esforços intelectuais de Galileu para explicar o movimento de queda livre. Durante vários anos Galileu realizou medidas de objetos em queda, representando a aceleração em termos das mudanças na velocidade do objeto em uma dada distância, uma formulação que levou a relações complexas e deselegantes. Uma vez que ele começou a pensar em termos de mudança de velocidade em um dado intervalo de tempo, a aceleração constante de objetos em queda se tornou evidente. A noção de aceleração não emergiu de forma não problemática das observações, mas lhes foi imposta. O conhecimento científico em muitos domínios, seja nas explicações do comportamento de circuitos elétricos, no fluxo de energia através de ecossistemas ou na rapidez das reações químicas, consiste de

entidades definidas formalmente e de relações que se supõe existirem entre elas. O fato é que, mesmo em domínios relativamente simples da ciência, os conceitos usados para descrever e modelar o domínio não são revelados de maneira óbvia pela leitura do 'livro da natureza'. Ao contrário, esses conceitos são construções que foram inventadas e impostas sobre os fenômenos para interpretá-los e explicá-los, muitas vezes como resultado de grandes esforços intelectuais.

Uma vez que esse conhecimento tenha sido construído e acordado dentro da comunidade científica, torna-se parte da forma não problemática de ver as coisas, aceita dentro dessa comunidade. Como resultado, o mundo simbólico da ciência é hoje povoado por entidades como átomos, elétrons, íons, campos e fluxos, genes e cromossomos; ele é organizado por idéias como a da evolução e inclui procedimentos de medida e experimentos. Essas entidades ontológicas e conceitos organizadores, assim como a epistemologia e as práticas das ciências a eles relacionadas, dificilmente serão descobertas por indivíduos através de suas próprias observações do mundo natural. O conhecimento científico, como conhecimento público, é construído e comunicado através da cultura e das instituições sociais da ciência.

Existem estudos, na área de história e sociologia das ciências, que vêem o conhecimento que emerge da atividade dentro da comunidade científica

como relativista e resultante exclusivamente de processos sociais (Collins, 1985; Latour e Woolgar, 1979). Além disso, essa posição relativista argumenta que não há como saber se esse conhecimento é um reflexo 'verdadeiro' do mundo, e que a noção de 'progresso' científico é, portanto, problemática. Esse aparente 'irracionalismo' e relativismo das ciências é, no momento, motivo de controvérsia nos estudos sobre as ciências e na educação em ciências. Mas uma perspectiva do conhecimento científico como socialmente construído não implica logicamente uma posição relativista. Ao propor uma ontologia realista, Harré (1986) sugere que o conhecimento científico é limitado pela própria estrutura do mundo tal como ele é, e que o progresso científico tem base empírica, mesmo que seja socialmente construído e validado (uma posição que consideramos convincente).

Quer se adote ou não uma perspectiva relativista, a visão do conhecimento científico como socialmente construído e validado tem implicações importantes para a educação em ciências. Isso significa que a aprendizagem das ciências envolve ser iniciado nas formas científicas de se conhecer. As entidades e idéias científicas, que são construídas, validadas e comunicadas através das instituições culturais da ciência, dificilmente serão descobertas pelos indivíduos por meio de sua própria investigação empírica; aprender ciências, portanto, envolve ser iniciado

Rosalind Driver



Quando o eu estava preparando esta tradução, fui comunicado do falecimento da profa. Rosalind Driver, principal articuladora deste artigo. Ros foi uma das mais proeminentes figuras da educação em ciências neste século. Seu trabalho com Jack Easley, publicado em 1978 no *Studies in Science Education*, sob o título de "Pupils and paradigms: a review of literature related to concept development in adolescent science students", é considerado um marco na criação do programa de pesquisa sobre concepções alternativas dos estudantes, que dominou a cena na educação

em ciências na década de 80. Dinâmica e inquieta, Ros esteve sempre a frente do movimento construtivista no ensino de ciências e soube perceber como ninguém a crise que foi se instalando nesse programa de pesquisa a partir do fim da década de 80. Este artigo representa uma tentativa de refletir sobre essa crise e sugerir novos rumos ao movimento.

Todos que tiveram a honra e o privilégio de conviver e trabalhar com a excelente figura humana que foi Ros Driver podem avaliar a dor que sua morte significou para seus amigos e colaboradores. Para seus leitores e admiradores nos quatro cantos do mundo, fica a sensação de uma perda irreparável para a educação em ciências. Espero que a publicação deste artigo em português provoque nos leitores e leitoras a mesmas inquietações, questionamentos e buscas de novos rumos que marcaram a vida de Rosalind Driver.

nas idéias e práticas da comunidade científica e tornar essas idéias e práticas significativas no nível individual. O papel do professor de ciências, mais do que organizar o processo pelo qual os indivíduos geram significados sobre o mundo natural, é o de atuar como mediador entre o conhecimento científico e os aprendizes, ajudando-os a conferir sentido pessoal à maneira como as asserções do conhecimento são geradas e validadas. Portanto, essa perspectiva pedagógica difere fundamentalmente da perspectiva empirista.

Aprendizagem das ciências como atividade individual

Embora Piaget não tenha se referido a si mesmo como 'construtivista' a não ser tardiamente em sua vida (Piaget, 1970), a perspectiva de que o conhecimento é construído pelo sujeito cognoscente é central em sua posição. Como reflete sua afirmação "l'intelligence organise le monde en s'organisant elle-même" ("a inteligência organiza o mundo organizando a si mesma" – 1937, p. 311), a preocupação central de Piaget foi com o processo pelo qual os seres humanos constroem seu conhecimento do mundo. Em termos amplos, Piaget postulou a existência de esquemas cognitivos que são formados e se desenvolvem por meio da coordenação e da internalização das ações de um indivíduo sobre os objetos do mundo. Esses esquemas se desenvolvem como resultado de um processo de adaptação a experiências mais complexas (através do processo que Piaget denominou *equilíbrio*). Novos esquemas, portanto, passam a existir pela modificação dos antigos. Assim, o desenvolvimento intelectual é visto como uma adaptação progressiva dos esquemas cognitivos individuais ao ambiente físico. Piaget reconheceu que a interação social poderia ter um papel na promoção do desenvolvimento cognitivo, por exemplo ao tornar disponíveis para a criança pontos de vistas diferentes por meio da discussão. Para que aconteça o desenvolvimento, no entanto, é essencial que haja equilíbrio em nível individual.

Embora mais tarde em sua vida Piaget tenha tratado da relação entre

os esquemas individuais de conhecimento e a história das ciências (Piaget e Garcia, 1989), e na verdade sua questão básica fosse essencialmente epistemológica, o enfoque central de grande parte de seu programa de pesquisa foi o modo como os indivíduos conferem significado ao mundo físico por meio do desenvolvimento de estruturas e operações lógicas independentes de conteúdo. De forma contrastante, o programa de pesquisa sobre o raciocínio científico das crianças que emergiu nos últimos 20 anos tem como foco os esquemas de conhecimento em domínios específicos no contexto da aprendizagem das ciências pelas crianças. As concepções das crianças sobre os fenô-

menos físicos já foram documentadas em uma ampla variedade de domínios da ciência (Carmichael *et al.*, 1990; Driver *et al.* 1985; Pfundt e Duit, 1985; West e Pines, 1985). Embora esse campo de pesquisa tenha como foco o conhecimento específico por domínio e não os esquemas gerais de raciocínio, ele possui muito em comum com a perspectiva piagetiana, podendo conduzir a perspectivas pedagógicas semelhantes. Ambas vêem o significado como sendo construído pelos indivíduos e afirmam que o significado depende dos esquemas de conhecimento existentes no indivíduo. A aprendizagem acontece quando esses esquemas são modificados pelo processo de reequilíbrio. Esse processo requer uma atividade mental interna e tem como resultado a modificação de um esquema anterior de conhecimento. A aprendizagem é vista, portanto, como algo que envolve um processo de mudança conceitual. As abordagens do ensino de ciências baseadas nessa perspectiva concentram-se em fornecer às crianças experiências físicas que induzam ao conflito cognitivo e, assim, encorajam os aprendizes a desenvolver novos esquemas de conhecimento que são mais bem adaptados à experiência. As atividades práti-

cas apoiadas por discussões em grupo formam a essência dessas práticas pedagógicas (vide, por exemplo, Nussbaum e Novick, 1982; Rowell e Dawson, 1984). A partir dessa perspectiva individual, as salas de aula são lugares onde as pessoas estão ativamente engajadas umas com as outras, na tentativa de compreender e interpretar fenômenos por si mesmas, e onde

a interação social em grupos é vista como algo que fornece o estímulo de perspectivas diferentes sobre as quais os indivíduos possam refletir. O papel do professor é fornecer as experiências físicas e encorajar a reflexão. As concepções das crianças são consideradas e questionadas de maneira respeitosa. Na

passagem a seguir, Duckworth descreve claramente os tipos de intervenções que são úteis:

O que você quer dizer? Como você fez isso? Por que você diz isso? Como é que isso se encaixa no que acabamos de dizer? Poderia me dar um exemplo? Como você chegou a isso? Em cada caso, essas perguntas são primeiramente uma maneira de o interlocutor tentar compreender o que o outro está entendendo. Entretanto, em cada caso elas vão, também, engajar os pensamentos do outro e levá-los um passo adiante. (1987, p. 96-97.)

Assim, as atividades e intervenções do professor são descritas como promovendo o pensamento e a reflexão por parte dos alunos, solicitando argumentos e evidências em apoio às afirmações. Há, em nosso ponto de vista, uma omissão significativa por parte dessa perspectiva sobre a construção de conhecimento. O desenvolvimento das estruturas cognitivas dos aprendizes é visto como resultado da interação dessas estruturas com aspectos de uma realidade física externa, sendo o processo de significação estimulado

Embora esse campo de pesquisa tenha como foco o conhecimento específico por domínio e não os esquemas gerais de raciocínio, ele possui muito em comum com a perspectiva piagetiana, podendo conduzir a perspectivas pedagógicas semelhantes

pela interação entre pares. No entanto, as interações dos aprendizes com as realidades *simbólicas*, com as ferramentas culturais da ciência, não são substancialmente consideradas.

Além disso, ao ver a aprendizagem como algo que envolve a substituição de antigos esquemas de conhecimento por novos, essa perspectiva ignora a possibilidade de os indivíduos terem esquemas conceituais plurais, cada um apropriado a contextos sociais específicos. (Os cientistas, afinal, entendem perfeitamente o que significam frases como “Feche a porta para o frio não entrar”). No lugar de reequilibrações sucessivas, argumenta-se que a aprendizagem pode ser mais bem caracterizada por construções paralelas relacionadas a contextos específicos (Solomon, 1983). A noção de ‘perfil epistemológico’ de Bachelard (1940/1968) pode ser útil aqui. Em vez de construir uma única e poderosa idéia, os indivíduos podem apresentar maneiras diferentes de pensar, ou seja, um perfil conceitual dentro de domínios específicos. Por exemplo, uma visão contínua da matéria é normalmente adequada para lidar com as propriedades e o comportamento das substâncias sólidas na vida cotidiana. Perspectivas diferentes podem, entretanto, ser utilizadas. Uma visão quântica da matéria é epistemológica e ontologicamente diferente de uma visão atomista, e ambas são diferentes de um modelo contínuo. Essas três perspectivas podem formar o perfil conceitual de um indivíduo para os sólidos, e cada uma pode ser apropriada a um contexto diferente. Assim, um químico que trabalha em uma reação de síntese pode achar mais útil considerar os átomos partículas materiais do que um conjunto de singularidades matemáticas em campos de força (Mortimer, 1993).

Aprendizagem das ciências como construção social do conhecimento

Enquanto a perspectiva individual sobre a construção do conhecimento privilegia as experiências físicas e seu papel na aprendizagem das ciências, uma perspectiva socioconstrutivista reconhece que a aprendizagem envol-

ve a introdução em um mundo simbólico. Isso está bem explicitado na introdução de Bruner ao trabalho de Vygotsky:

O projeto Vygotskyano é descobrir o modo como os membros aspirantes de uma cultura aprendem de seus tutores, os vicários de sua cultura, a entender o mundo. Este mundo é um *mundo simbólico* no sentido de que ele consiste de sistemas de crenças conceitualmente organizados, delimitados por regras sobre as coisas que existem, sobre como atingir os objetivos e sobre o que deve ser valorizado. Não existe nenhuma maneira, nenhuma mesmo, através da qual o ser humano poderia ter domínio desse mundo sem a ajuda e a assistência de outras pessoas, pois, na verdade, esse mundo são os outros (Bruner, 1985, p. 32).

A partir dessa perspectiva, o conhecimento e o entendimento, inclusive o entendimento científico, são construídos quando os indivíduos se engajam socialmente em conversações e atividades sobre problemas e tarefas comuns. Conferir significado é, portanto, um processo dialógico que envolve pessoas em conversação e a aprendizagem é vista como o processo pelo qual os indivíduos são introduzidos em uma cultura por seus membros mais experientes. À medida que isso acontece, eles ‘apropriam-se’ das ferramentas culturais por meio de seu envolvimento nas atividades dessa cultura.

Um membro mais experiente de uma cultura pode ajudar um membro menos experiente estruturando as tarefas, tornando possível que ele as desempenhe e internalize o processo, ou seja,

convertendo-as em ferramentas para controle consciente.

Existe aqui uma questão importante para a educação em ciências. Se a

construção do conhecimento for vista apenas como processo individual, isso é semelhante ao que tem sido tradicionalmente identificado como aprendizagem por descoberta. Se, no entanto, os aprendizes tiverem que ter acesso aos sistemas de conhecimento da ciência, o processo de construção do conhecimento tem que ultrapassar a investigação empírica pessoal. Quem aprende precisa ter acesso não apenas às experiências físicas, mas também aos conceitos e modelos da ciência convencional. O desafio está em ajudar os aprendizes a se apropriarem desses modelos, a reconhecerem seus domínios de aplicabilidade e, dentro desses domínios, a serem capazes de usá-los. Se ensinar é levar os estudantes às idéias convencionais da ciência, então a intervenção do professor é essencial, tanto para fornecer evidências experimentais apropriadas como para disponibilizar para os alunos as ferramentas e convenções culturais da comunidade científica. O desafio é como alcançar com êxito esse processo de enculturação na rotina da sala de aula comum. Além disso, os desafios são especialmente importantes quando a perspectiva científica que o professor está apresentando é conflitante com os esquemas de conhecimento prévio dos alunos.

Idéias científicas informais e conhecimento de senso comum

Os jovens possuem vários esquemas de conhecimento utilizados para interpretar os fenômenos com que se deparam no seu dia-a-dia. Esses esquemas são fortemente apoiados pela experiência pessoal e pela socialização em uma visão de senso comum. Pesquisas feitas em todo o mundo já demonstraram que as idéias científicas informais das crianças não são totalmente idiossincráticas. Dentro de domínios específicos das ciências existem ma-

neiras informais de modelar e interpretar os fenômenos que são encontrados entre crianças de diferentes países, línguas e sistemas educacionais. Uma

Em vez de construir uma única e poderosa idéia, os indivíduos podem apresentar maneiras diferentes de pensar, ou seja, um perfil conceitual dentro de domínios específicos

das áreas mais exaustivamente estudadas é o raciocínio informal sobre mecânica. Aqui existe uma concepção comum de que é necessário uma força constante para manter um objeto em movimento constante (Clement, 1982; Gunstone e Watts, 1985; Viennot, 1979). Essa noção difere da física newtoniana, que associa força à mudança na condição de movimento, ou seja, à aceleração. Entretanto, não é difícil entender que experiências como empurrar objetos pesados ou pedalar uma bicicleta possam ser vistas como coerentes com a noção de que “movimento constante implica em força constante”. Em outro domínio, aquele do raciocínio sobre

as substâncias materiais, as crianças não vêem problema em considerar a matéria algo que aparece e desaparece. Quando um tronco de madeira queima até ser reduzido a um amontoado de cinzas, as crianças afirmam que a matéria “se foi com o fogo!” (Andersson, 1991). As crianças mais velhas podem reconhecer que existem produtos gasosos originários do fogo. No entanto, eles não são vistos como substâncias, mas como algo que tem propriedades etéreas (Meheut *et al.*, 1985). “Os gases, afinal, não podem ter massa ou peso; se não, por que não caem?” De fato, para muitas crianças a idéia de que o ar ou um gás possa ter peso é totalmente implausível. Muitos chegam a postular que eles têm peso negativo, porque tendem a fazer as coisas subirem (Brook *et al.*, 1989; Stav, 1988). Um raciocínio semelhante é utilizado sobre o papel dos gases nos processos biológicos, como a fotossíntese, a respiração e a degradação (Leach *et al.*, no prelo).

Esses são apenas alguns exemplos dos tipos de idéias informais que prevalecem no raciocínio de jovens e adultos. Em domínios como os aqui referidos, sustentamos que existem coisas em comum nas maneiras informais de raciocinar, em parte porque os membros de uma cultura compartilham formas de falar e de se referir a fenômenos específicos. Além disso, as

maneiras como os indivíduos experimentam os fenômenos naturais são limitadas pela própria realidade.

No que tange às experiências do dia-a-dia das pessoas, as idéias informais são, na maioria das vezes, perfeitamente adequadas para interpretar e orientar as ações. As fogueiras *de fato* queimam até virar um monte de cinzas – uma maneira muito usada para livrar-se do lixo indesejado. Se você deseja que um piano continue a ser mover, você precisa *de fato* de empurrá-lo com um esforço constante. Não é de

No que tange às experiências do dia-a-dia das pessoas, as idéias informais são, na maioria das vezes, perfeitamente adequadas para interpretar e orientar as ações. As fogueiras de fato queimam até virar um monte de cinzas

admirar que as idéias que são usadas e cuja utilidade é comprovada sejam então representadas na linguagem do dia-a-dia. Expressões do tipo “leve como o ar” ou “o fogo consumiu tudo” refletem e apóiam idéias informais subjacentes. Argumentamos, portanto, que as idéias informais não são apenas visões pessoais do mundo, mas refletem uma visão comum, representada por uma linguagem compartilhada. Essa visão compartilhada constitui o ‘senso comum’, uma forma socialmente construída de descrever e explicar o mundo.

Durante a infância, as idéias das crianças se desenvolvem como resultado da experiência e da socialização, transformando-se em visões ‘do senso comum’. Para crianças muito pequenas (entre 4 e 6 anos), o ar existe apenas como vento ou brisa – os pequeninos não conceituam o ar como substância material. A noção do ar como ‘coisa’ normalmente torna-se parte dos modelos de mundo das crianças entre 7 e 8 anos. Essa coisa é então conceitualizada como algo que ocupa espaço, mas que não tem peso, ou que tem um peso negativo ou a propriedade de se elevar (‘upness’ – Brook *et al.*, 1989). Esse exemplo ilustra uma questão muito mais geral: as entidades – o ar como coisa, por exemplo – que são tidas como reais pelas crianças podem ser bastante diferentes para

crianças em faixas etárias diferentes. Em outras palavras, as estruturas ontológicas cotidianas da criança desenvolvem-se com a experiência e com a utilização da linguagem dentro de uma cultura. Essa mudança corresponde ao que outros autores descrevem como uma reestruturação radical das concepções específicas por domínio das crianças (vide Carey, 1985; Vosniadou e Brewer, 1992).

As formas ‘de senso comum’ de explicar os fenômenos, conforme exposto aqui, representam o conhecimento do mundo descrito dentro da cultura do dia-a-dia. Elas diferem do conhecimento da comunidade científica de várias maneiras. Obviamente, o senso comum e a ciência diferem nas entidades ontológicas que contêm. As entidades tidas como reais dentro do discurso do dia-a-dia diferem das entidades da comunidade científica. Em segundo lugar, o raciocínio de senso comum, embora possa apresentar certa complexidade, também tende a ser tácito ou a não ter regras explícitas. O raciocínio científico, por outro lado, é caracterizado pela formulação explícita de teorias que podem ser comunicadas e inspecionadas à luz da evidência. Em ciências, esse processo envolve vários cientistas comunicando-se uns com os outros. Embora o conhecimento tácito tenha, inquestionavelmente, o seu lugar na ciência, a necessidade de ser explícito na formulação de uma teoria é central para o empreendimento científico. Em terceiro lugar, o raciocínio do dia-a-dia é caracterizado pelo pragmatismo. As idéias são julgadas por sua utilidade para fins específicos ou em situações específicas e, como tal, orientam as ações das pessoas. A busca científica, por outro lado, tem o objetivo adicional de construir um quadro geral e coerente do mundo. O compromisso científico, portanto, não é satisfeito por modelos situacionalmente específicos, mas por modelos que tenham maior generalidade e escopo.

Aprendizagem das ciências envolvendo processos individuais e sociais

Vamos considerar agora o que vemos como as implicações das distin-

ções entre senso comum e raciocínio científico para a aprendizagem das ciências. Já argumentamos que aprender ciências não é uma questão de simplesmente ampliar o conhecimento dos jovens sobre os fenômenos – uma prática talvez mais apropriadamente denominada estudo da natureza – nem de desenvolver e organizar o raciocínio do senso comum dos jovens. Aprender ciências requer mais do que desafiar as idéias anteriores

dos alunos mediante eventos discrepantes. Aprender ciências envolve a introdução das crianças e adolescentes a uma forma diferente de pensar sobre o mundo natural e de explicá-lo; é tornar-se socializado, em maior ou menor grau, nas práticas

da comunidade científica, com seus objetivos específicos, suas maneiras de ver o mundo e suas formas de dar suporte às assertivas do conhecimento. Antes que isso possa acontecer, no entanto, os indivíduos precisam engajar-se em um processo pessoal de construção e de atribuição de significados. Caracterizado dessa maneira, aprender ciências envolve tanto processos pessoais como sociais. No plano social, o processo envolve ser introduzido aos conceitos, símbolos e convenções da comunidade científica. Entrar nessa comunidade de discurso não é algo que os alunos descobrem por conta própria, assim como nunca aprenderiam por conta própria a falar esperanto.

Tornar-se socializado nas práticas discursivas da comunidade científica não significa, no entanto, abandonar o raciocínio do senso comum. Os seres humanos participam de múltiplas comunidades de discurso paralelas, cada uma com práticas e objetivos específicos. Atualmente existe bastante interesse por parte da comunidade de educação em ciências no processo de mudança conceitual. Aprender ciências está sendo caracterizado por alguns como a promoção de uma mudança conceitual das idéias informais dos alunos para as idéias da comu-

nidade científica (Hewson, 1981; Posner *et al.*, 1982; West e Pines, 1985). O problema que vemos nessa caracterização é que não deveríamos esperar que os estudantes necessariamente abandonassem suas idéias do senso comum, como resultado do ensino de ciências. Como já argumentamos anteriormente, os estudantes podem continuar a usar essas idéias para se comunicar dentro dos contextos sociais apropriados (Solomon, 1983).

Uma perspectiva social da aprendizagem em salas de aula reconhece que uma maneira importante de introduzir os iniciantes em uma comunidade de conhecimento é através do discurso no contexto de tarefas relevantes

Alguns pesquisadores caracterizam a aprendizagem das ciências como o reflexo de padrões de mudança semelhantes que ocorreram na própria ciência, por meio da reestruturação progressiva das teorias implícitas dos alunos

(Carey, 1985; Chinn e Brewer, 1993; McCloskey, 1983; Vosniadou e Brewer, 1987). Embora reconheçamos que a aprendizagem das ciências envolve algum tipo de reestruturação de idéias, argumentamos que a visão da aprendizagem como mudança de teoria coloca uma ênfase exagerada na semelhança entre as idéias informais dos alunos e as teorias científicas. É a natureza implícita e situada dessas idéias informais que as distingue das teorias científicas. Além disso, aprender ciências na escola significa mais do que mudar de um conjunto de teorias para outro; significa, em primeiro lugar, estar articulado de modo consciente sobre o que constitui as teorias.

Uma perspectiva social da aprendizagem em salas de aula reconhece que uma maneira importante de introduzir os iniciantes em uma comunidade de conhecimento é através do discurso no contexto de tarefas relevantes. As salas de aula de ciências estão sendo reconhecidas, atualmente, como comunidades caracterizadas por práticas discursivas distintas (Lemke, 1990). Ao serem engajados nessas práticas, os estudantes são socializados em uma comunidade específica do conhecimento, um processo descrito como aprendizado cultural (Rogoff e Lave, 1984; Seely Brown *et*

al., 1989). As práticas discursivas nas salas de ciências diferem substancialmente das práticas de argumentação e pesquisa científica que ocorrem dentro das várias comunidades de cientistas profissionais; isso não surpreende, se considerarmos as diferenças entre as escolas e os vários contextos institucionais das ciências em termos de objetivos e relações de poder. Essa disjunção já foi reconhecida, e alguns pesquisadores em ensino de ciências estão experimentando maneiras de organizar as salas de aula de modo a refletir formas específicas de investigação colaborativa que possam ajudar os estudantes a dominar gradualmente algumas das normas e práticas características das comunidades científicas (Eichinger *et al.*, 1991; Roseberry *et al.*, 1992).

A aprendizagem na sala de aula de ciências

Nesta seção, vamos identificar algumas das práticas discursivas que apóiam a construção conjunta do conhecimento científico por professores e alunos e que também refletem aspectos da argumentação científica. Apresentamos episódios curtos de ensino e aprendizagem nas salas de aula de ciências, baseando-nos nas perspectivas pessoais e sociais sobre a aprendizagem, a fim de interpretar o que acontece em cada caso. Os exemplos foram retirados de estudos que estamos conduzindo em colaboração com professores, em salas de aula de ciências na Inglaterra, nas quais foi chamada a atenção, explicitamente, para as diferenças entre o raciocínio informal dos alunos sobre um tópico específico e a visão científica (Scott *et al.*, 1992).

Os episódios não têm como finalidade apresentar casos exemplares de ensino e aprendizagem. Na verdade, eles foram escolhidos para ilustrar as maneiras como os alunos desenvolvem significados pessoais dentro do contexto social da sala de aula, como é feita a apropriação dos significados científicos e como as diferenças ontológicas e epistemológicas entre as visões informal e científica podem criar obstáculos para a compreensão individual.

Raios de luz: negociando “novas ferramentas conceituais” — novas entidades ontológicas

Uma classe de alunos entre 8 e 9 anos de idade participou de uma série de aulas introdutórias sobre a luz (vide Asoko, 1993). As crianças nessa idade tendem a considerar a luz como fonte ou efeito (Guesne, 1985), mas têm menos possibilidade de conceituar a luz como algo que existe no espaço e que se desloca a partir de uma fonte. O professor, Michael, estava interessado em ajudar a turma a desenvolver a idéia de que a luz viaja pelo espaço e que se desloca em linha reta. Uma vez estabelecida a concordância de que a luz viaja em linha reta, ele planejou apresentar a representação convencional dos ‘raios’ de luz.

A princípio, o professor Michael convidou a classe a pensar sobre a luz da sala de aula, e todas as crianças concordaram que se tratava da luz do sol. A seguir ele explorou com elas essa noção um pouco mais, perguntando de onde vem a luz do sol.

Aluno 1: Do sol.

Michael: Quer dizer que a luz que está entrando naquela janela veio do sol? (várias respostas simultâneas)

Aluno 2: Vem do calor, porque é tão quente que faz uma luz brilhante.

Michael: Então como é que ela chega aqui? Se é a luz do sol, como é que pode estar aqui também? Martyn?

Aluno 3: Porque o sol está brilhando sobre nós.

Michael: Mas ele está a 93 milhões de milhas daqui – então como é que a luz do Sol pode estar aqui nesta mesa?

Aluno 4: É por causa da camada de ozônio? (Seguiu-se uma curta interação entre eles, em que vários alunos deram suas idéias sobre o buraco na camada de ozônio que permitia que mais luz do sol passasse, e então Michael recolocou sua pergunta).

Michael: Mas como é que a luz do sol chega até aqui?

Aluno 5: Ela viaja até aqui.

Michael: Coulton disse, e essas são suas palavras exatas, que “ela

viaja até aqui”. Em outras palavras, a luz se move do Sol até aqui...

Aluno 5: Sim.

Michael: 93 milhões de milhas. Está certo?

Alunos: Sim (coro de muitas vozes)

Nessa interação, Michael indicou que a idéia do sol brilhando sobre nós poderia ser mais bem elaborada e, com as contribuições da turma, focalizou a idéia da luz como algo que viaja de sua fonte, percorrendo o espaço. Sua interação com a classe, à medida que a idéia foi sendo explorada, fornece uma indicação de que essa é uma idéia geralmente aceita como plausível, um aspecto importante na construção conjunta do conhecimento em sala de aula.

A idéia de que a luz viaja foi desenvolvida um pouco mais através de uma atividade prática feita em grupos. Cada grupo de três a quatro crianças recebeu um jogo de equipamentos contendo uma lâmpada de 12 V, colocada em uma posição central sob uma caixa de cartolina octogonal de aproximadamente 35 cm de diâmetro, colocada sobre uma grande folha de papel. Foi cortada uma fresta de 12 cm de altura por 0,5 cm de largura em cada uma das oito faces. Foi então pedido às crianças para pensar sobre o que veriam quando a luz fosse acesa e para desenhar, na folha de papel, o que esperavam ver. Quase todas as crianças desenharam linhas num ângulo de 90 graus em relação às faces, a partir da fresta, para indicar o caminho da luz. As linhas variavam em comprimento, de 2 a 3 cm até aproximadamente 30 cm. Quando todas as crianças haviam feito pelo menos uma previsão, todas as lâmpadas foram acesas simultaneamente na sala escura. O efeito espetacular causou certa empolgação e não pouca surpresa, quando as crianças perceberam que, em vez de percorrer apenas uma distância curta, os raios de luz continuaram por toda a folha, podendo ser vistos, num plano vertical, quando chegavam a uma superfície como a parede ou os corpos das crianças.

Michael reuniu a turma para discutir suas observações. Ele desenhou, no

quadro, o plano da caixa octogonal. Traçando uma linha para representar a trajetória da luz, ele comentou que todos haviam feito previsões sobre a posição da linha que estavam de acordo com o que eles tinham visto, mas acrescentou que várias pessoas na sala acharam que a luz iria parar.

Michael: Está certo?

Aluno 1: Não, ela continua.

Michael: Ela continua. Quanto mais ela continuaria?

Aluno 2: Até o final. Ela continua toda a vida.

Aluno 3: Continua toda a vida, isto...

Aluno 4: Ela não pode parar. Você não pode parar a luz sem desligá-la.

Nessa seqüência, a noção de que a luz “continua toda a vida” novamente é interpretada como um discurso compartilhado. Michael então convidou as crianças a desenhar mais linhas sobre o seu desenho a fim de mostrar para onde vai a luz. Depois que elas terminaram, Michael começou a usar as palavras *raio de luz* para descrever a trajetória da luz.

Nesse conjunto de seqüências, Michael estava introduzindo às crianças, por meio do discurso, a *maneira científica de ver as coisas*, tornando essa visão plausível no contexto de uma experiência memorável. Tendo se convencido de que as crianças tinham uma representação mental para “o caminho pelo qual a luz viaja”, ele introduziu a convenção ou representação simbólica do raio de luz, uma ferramenta cultural que seria utilizada em aulas subseqüentes. Ao longo de toda a seqüência, foi surgindo uma história coerente, uma história que Michael verificava, através de feedbacks, ser comum a toda a turma. Esse processo de desenvolver um significado compartilhado entre professor e alunos é central àquilo que Edwards e Mercer (1987) chamam de *conhecimento comum* na sala de aula. Esse conhecimento comum ou discurso compartilhado passou a se referir a uma nova estrutura ontológica sobre a luz, uma estrutura na qual a luz viaja, e viaja em linha reta (representada simbolicamen-

te por 'raios de luz') por longas distâncias.

A pressão do ar: estruturando (scaffolding) "uma nova maneira de explicar" — conflito entre o senso comum e a perspectiva científica

O processo pelo qual os alunos desenvolvem novas maneiras de explicar podem envolver interações dialógicas entre professor e alunos ou entre pequenos grupos de alunos. Nessas interações, o adulto (ou um colega mais competente) fornece aquilo que Bruner (1986) chamou de 'andaime' (*scaffolding*) para a aprendizagem dos alunos enquanto eles constroem novos significados para si mesmos.

Numa seqüência instrucional sobre a pressão do ar entre alunos de 11 e 12 anos (Scott, 1993), o professor desenvolveu, por meio de demonstrações e conversa com a classe, uma nova maneira de explicar vários fenômenos simples (como, por exemplo, por que uma garrafa plástica murcha quando o ar é retirado de dentro dela). Essa nova maneira de explicar baseava-se nas diferenças entre a pressão do ar dentro e fora da garrafa. Foi pedido à turma para trabalhar em grupos a fim de usar essa idéia de diferença de pressão para explicar outros fenômenos — por exemplo, como borrachas de sucção, a exemplo dos desentupidores de pia, grudam em superfícies lisas ou como um líquido pode ser sugado para uma pipeta.

...nas interações entre professor e alunos, o professor fornece o que Bruner chamou de 'andaime' para a aprendizagem dos alunos

Nas passagens que se seguem, vemos exemplos de um adulto experiente tentando 'andaimear' (*to scaffold*) o raciocínio dos estudantes em termos do modelo de diferença de pressão. Vemos também as maneiras como as teorias informais dos alunos, como por exemplo a idéia de que "o vácuo suga", influenciam na formação de sentido pelos indivíduos.

Christa e Adele completaram uma

atividade com as borrachas de sucção e ficaram surpresas com a força que precisaram fazer para retirá-las de uma superfície lisa. Elas então discutiram sua explicação para o fato:

Christa: É uma superfície lisa e não existe ar na borracha, então há menos ar dentro do que fora, por isso ela gruda.

Adulto: Então, o que é que empurra... o que é que faz grudar?

Christa: O ar.

Adele: A sucção.

Adulto: O que é sucção?

Adele: É algo que puxa... algo que puxa para baixo...

Adulto: Uns minutinhos atrás, você disse que tinha a ver com o ar empurrando aqui fora.

Adele: Sim.

Adulto: Então você também disse que tinha a ver com sucção. Trata-se da mesma explicação, ou são explicações diferentes?

Adele: São quase... (Adele não tem certeza e interrompe sua fala).

O adulto então lembrou as duas meninas da demonstração anterior do colapso da garrafa plástica, que elas explicaram em termos de diferença na pressão do ar dentro e fora. As meninas então voltaram a pensar no caso das borrachas de sucção.

Adulto: Agora, onde é que estão a parte de dentro e de fora?

Adele: Bem... esta é a parte de dentro (indica a parte de baixo da borracha de sucção)

Adulto: Sim... certo.

Adele: É, e esta é a parte de fora.

Adulto: Ok. — Você pode usar a mesma explicação usada para a garrafa, para poder explicar o que acontece aqui? (O adulto volta a se referir à garrafa plástica que murchou).

Adele: Tem alguma coisa a ver com gravidade?

Adulto: Por que você está dizendo isto?

Adele: Puxando para baixo.

Após uma conversa adicional, Adele e o adulto concordaram que a gravidade pode estar agindo mesmo quan-

do não existe ar, e que são, portanto, coisas diferentes. Eles continuaram a pensar nas borrachas de sucção:

Adele: Está agarrado no fundo... ele [o ar] sai todo pelas laterais.

Adulto: Tudo bem, mas e o ar do lado de fora?

Christa: O ar de fora está empurrando para baixo.

Adele: Então fica difícil puxar para cima.

Neste trecho, o adulto estruturou o curso do raciocínio, primeiro lembrando às meninas da explicação que a turma construiu para o fenômeno ocorrido com a garrafa plástica e, a seguir, ajudando-as a fazer a ligação com o caso da borracha de sucção ao levá-las a pensar no ar dentro e fora da borracha.

Logo em seguida, Adele levantou uma outra questão:

Adele: Como é que quando você prende a borracha, e então você puxa para um canto da mesa e ela solta?

Adulto: Ah, esta é uma ótima pergunta. Vocês querem analisar isto um minutinho?

Adele: É que...

Christa: Não, deixa eu mostrar o que acontece. É o ar, ele consegue entrar de volta, não consegue?

Adele: É, ele volta para dentro, então o ar empurra para cima, não é?

As duas: É.

Aqui, o adulto retirou o apoio ou *scaffolding*, tornando-se apenas um espectador interessado, e as próprias garotas usaram com confiança a explicação baseada na diferença de pressão. No entanto, uma pergunta final de Christa sugere que ainda pode haver problemas:

Adulto: Agora... (pausa longa) vocês têm alguma pergunta a respeito?

Christa: Por que... por que o ar empurra para baixo... quando o ar sai pelas laterais? Por que o ar empurra para baixo?

A pergunta de Christa sugere que, embora ela tivesse tido êxito (com o

apoio do adulto) em construir a explicação com base na diferença de pressão para esse caso, a situação ainda não é plausível para ela ("Por que o ar empurra para baixo?"). Na verdade, é bastante improvável que qualquer experiência ou explicação anterior sobre o ar estático pudesse apoiar a idéia de que ele exerce tanta pressão. A nova maneira de explicar desafia as idéias dos alunos sobre aquilo que o ar pode e não pode fazer; desafia suas ontologias pessoais sobre o ar.

Os exemplos aqui apresentados chamam a atenção para o ponto fundamental de que domínios diferentes da ciência envolvem tipos diferentes de aprendizagem. No primeiro exemplo, os jovens alunos pareciam ter pouca dificuldade em compreender e acreditar que a luz viaja e persiste, a menos que seja bloqueada. Eles adotaram o discurso científico e usaram as idéias de forma produtiva. A situação no segundo exemplo parece ser bastante diferente. O professor havia envolvido os alunos nas atividades e no discurso a fim de apoiá-las na construção da visão científica, e mesmo assim vemos as alunas passando por dificuldades para tornar aqueles modelos da ciência significativos e apropriá-los à realidade de cada uma. Sugerimos que essas diferenças nas reações dos alunos podem, em parte, ser explicadas ao se considerar as demandas ontológicas e epistemológicas de aprendizagem nos domínios distintos da ciência que estão sendo estudados. No entanto, o que é comum em ambos os casos é o processo pelo qual o professor, familiarizado com o modo de ver científico, torna acessíveis aos alunos as ferramentas culturais da ciência, apoiando a (re)construção de suas idéias por meio do discurso sobre eventos físicos comuns.

Resumo e comentários finais

A visão de que o conhecimento científico é socialmente construído, validado e comunicado é central neste artigo. Apresentamos uma perspectiva de aprendizagem das ciências como processo de *enculturação* e não de descoberta, argumentando que o estudo empírico do mundo natural não resultará em conhecimento científico

porque o conhecimento científico é, por natureza, discursivo. Mostramos que os alunos de ciências possuem representações cotidianas sobre os fenômenos que a ciência explica. Essas representações são construídas, comunicadas e validadas dentro da cultura do dia-a-dia. Elas se desenvolvem à medida que os indivíduos convivem dentro de uma cultura. Mostramos que existem diferenças epistemológicas e ontológicas entre o raciocínio cotidiano e o raciocínio científico. Embora a aprendizagem das ciências envolva interações sociais, no sentido de que as ferramentas culturais da ciência precisam ser apresentadas aos alunos, defendemos a posição de que os indivíduos precisam entender de forma pessoal as maneiras de ver o mundo que lhes foram apresentadas. Se as representações cotidianas de certos fenômenos naturais forem muito diferentes das representações científicas, a aprendizagem acaba sendo difícil. Já argumentamos que a relação entre as visões de aprendizagem e a pedagogia é problemática e que não existem regras simples para a prática pedagógica que emergem de uma visão construtivista da aprendizagem. Existem, no entanto, aspectos importantes do processo de mediação que podem ser identificados. Para que os alunos adotem formas científicas de conhecer, é essencial que haja intervenção e negociação com uma autoridade, normalmente o professor. Nesse aspecto, o ponto crítico é a natureza do processo dialógico. O papel do professor, como autoridade, possui dois componentes importantes. O primeiro deles é introduzir novas idéias ou ferramentas culturais onde for necessário e fornecer apoio e orientação aos estudantes a fim de que eles próprios possam dar sentido a essas idéias. O outro é ouvir e diagnosticar as maneiras como as atividades instrucionais estão sendo interpretadas, a fim de subsidiar as próximas ações. O ensino visto nessa perspectiva é, portanto, também um processo de aprendizagem para o professor. Aprender ciências na sala de aula requer que as crianças entrem numa nova comunidade de discurso, numa nova cultura; o professor é o guia, quase sempre pressionado, des-

sa excursão, que faz a mediação entre o mundo cotidiano das crianças e o mundo da ciência.

O que foi apresentado aqui difere fundamentalmente do programa educacional positivista, cuja ênfase reside na racionalidade técnica e na apresentação não-problemática do conhecimento a ser adquirido. Participando das atividades discursivas das aulas de ciências, os alunos vão sendo socializados nas formas de conhecimento e nas práticas da ciência escolar. Isso representa uma grande demanda para os educadores: O desafio está em criar, entre os alunos, uma perspectiva crítica sobre a cultura científica. A fim de desenvolver tal perspectiva, os alunos precisarão estar conscientes dos objetivos variados do conhecimento científico, de suas limitações e das bases sobre as quais se assentam suas asserções. Um desafio crucial para o cotidiano da sala de aula é, portanto, transformar esses aspectos epistemológicos no foco explícito do discurso e, assim, socializar os alunos na perspectiva crítica da ciência como forma de conhecimento.

Rosalind Driver foi professora titular de ensino de ciências na Faculdade de Educação da Universidade de Leeds, Reino Unido, onde **Hilary Asoko, John Leach** e **Philip Scott** são professores de ensino de ciências. Em 1995 Rosalind Driver assumiu a posição de professora titular do King's College, em Londres. Todos os quatro têm em comum o interesse no ensino e aprendizado das ciências, com um enfoque específico sobre o desenvolvimento da compreensão de conceitos, tendo sido membros do CLIS (Children's Learning in Science Research Group), atualmente LIS. **Eduardo Mortimer** é professor adjunto da Faculdade de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil, também interessado no desenvolvimento da compreensão de conceitos nas ciências.

*Este artigo foi originalmente publicado em *Educational Research*, v. 23, n. 7, p. 5-12, 1994. Sua tradução foi autorizada pela American Educational Research Association.

Agradecimentos

Os autores agradecem os comentários feitos por Robin Millar a uma versão anterior deste trabalho, bem como as valiosas sugestões feitas por revisores anônimos.

Nota do tradutor

1. No original, "is burnt away". É difícil encontrar uma expressão semelhante em português.

Referências bibliográficas

ANDERSSON, B. Pupils' conceptions of matter and its transformations (age 12-16). *Studies in Sci. Educ.*, v. 18, p. 53-85, 1990.

ASOKO, H. First steps in the construction of a theoretical model of light: a case study from primary school classroom. In: *Proceedings of the Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*. Ithaca, NY: Misconceptions Trust, 1993.

BACHELARD, G. *The philosophy of no*. Nova Iorque: The Orion Press, 1968. Trad. de *La philosophie du non* de G.C. Waterston, 1940.

BROOK, A.; DRIVER, R. e HIND, D. *Progression in science: the development of pupil's understanding of physical characteristics of air across the age range 5-16 years*. Reino Unido: Centre for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds, 1989.

BRUNER, J. Vigotsky: a historical and conceptual perspective. In: J. Wertsch (Ed.), *Culture, communication and cognition: Vygotskian perspectives*. Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press, 1985.

BRUNER, J. *Actual minds, possible worlds*. Cambridge, MA: Harvard Univ. Press, 1986.

CAREY, S. *Conceptual change in childhood*. Cambridge, MA: MIT Press, 1985.

CARMICHAEL, P.; DRIVER, R.; HOLDING, B.; PHILLIPS, I.; TWIGGER, D. e WATTS, M. *Research on students' conceptions in science: a bibliography*. Reino Unido: Centre for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds, 1990.

CHINN, C. e BREWER, W. The role of anomalous data in knowledge acquisition: a theoretical framework and implications for science instruction. *Review of Educational Research*, v. 63, n. 1, p. 1-50, 1993.

CLEMENT, J. Students' preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, v. 50, n. 1, p. 66-71, 1992.

COLLINS, H.M. *Changing order*. Londres: Sage Publications, 1985.

DRIVER, R.; GUESNE, E. e TIBERGHEN, A. (Eds.) *Children's ideas in science*. Milton Keynes, Inglaterra: Open University Press, 1985.

DRIVER, R. Oldham, V. A constructivist approach to curriculum development in science. *Studies in Science Education*, v. 13, p. 105-122, 1986.

DUCKWORTH, E. *The having of wonderful ideas and other essays on teaching and learning*. Nova Iorque: Teachers' College Press, 1987.

EDWARDS, D. e MERCER, N. *Common knowledge — the development of understanding in the classroom*. Londres: Routledge, 1987.

EICHINGER, D.; ANDERSON, C.W.; PALINSCAR, A.S. e DAVID, Y. An illustration of the roles of content knowledge, scientific argument and social norms in collaborative problem solving. Artigo apresentado no Annual Meeting of the American Educational Research Association, Chicago, IL, Abril, 1991.

FENSHAM, P.; GUNSTONE, R. e WHITE, R. (Eds.). *The content of science*. Londres: Falmer Press, 1994.

GUESNE, E. Light. In: DRIVER, R.; Guesne, E. e Tiberghien, A. (Eds.) *Children's ideas in science*, p. 10-32. Milton Keynes, Inglaterra: Open University Press, 1985.

GUNSTONE, R. e WATTS, M. Children's understanding of force and motion. In: Driver, R., Guesne, E., Tiberghien, A. (Eds.) *Children's ideas in science* (p. 85-104). Milton Keynes, Inglaterra: Open University Press, 1985.

HANSON, N.R. *Patterns of discovery*. Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press, 1958.

HARRÉ, R. *Varieties of realism*. Oxford: Blackwell, 1986.

HEWSON, P.W. A conceptual change approach to learning science. *European Journal of Science Education*, v. 3, n. 4, p. 383-396, 1981.

JOHNSTON, K. e DRIVER, R. *A constructivist approach to the teaching of the particulate theory of matter: a report on a scheme in action*. Reino Unido: Centre for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds, 1990.

LATOUR, B. e WOOLGAR, S. *Laboratory life: the social construction of scientific facts*. Londres: Sage, 1979.

LEACH, J.; DRIVER, R.; SCOTT, P. e WOOD-ROBINSON, C. Children's ideas about ecology 2: Ideas about the cycling of matter found in children aged 5-16. *International Journal of Science Education* (no prelo).

LEMKE, J.L. *Talking science. language, learning and values*. Norwood, NJ: Ablex, 1990.

MATTHEWS, M.R. Constructivism and empiricism: an incomplete divorce. *Research in Science Education*, v. 22, p. 299-307, 1992.

MCCLOSKEY, M. Intuitive physics. *Scientific American*, v. 248, p. 122-130, 1983.

MEHEUT, M.; SALTIEL, E. e TIBERGHEN, A. Pupils' (11-12 years old) conceptions of combustion. *European Journal of Science Education*, v. 7, n. 1, p. 83-93, 1985.

MILLAR, R. Constructive criticisms. *International Journal of Science Education*, v. 11, n. 5, p. 587-596, 1989.

MILLAR, R.; DRIVER, R.; LEACH, J. e SCOTT, P. *Students' understanding of the nature of science: Philosophical and sociological foundations of the study*. Working Paper 2 from the project The Development of Understanding of the Nature of Science. Reino Unido: Centre for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds, 1993.

MORTIMER, E.F. Studying conceptual evolution in the classroom as conceptual profile change. In: *Proceedings of the Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*. Ithaca, NY: Misconceptions Trust, 1993.

NUSSBAUM, J. e NOVICK, S. Alternative frameworks, conceptual conflict and accommodation. *Instructional Sci.*, v. 11, p. 183-208, 1982.

OSBORNE, J. Beyond constructivism. In: *Proceedings of the Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*. Ithaca, NY: Misconceptions Trust, 1993.

OSBORNE, R. e FREYBERG, P. *Learning in*

science: the implications of children's science. Auckland: Heinemann, 1985.

PFUNDT, H. e DUIT, R. *Bibliography: student's alternative frameworks and science education*. Kiel: IPN, 1985.

PIAGET, J. *La construction de réel chez l'enfant*. Neuchâtel: Delachaux et Niestlé, 1937.

PIAGET, J. *Genetic epistemology*. Trad. de E. Duckworth. Nova Iorque: Columbia University Press, 1970.

PIAGET, J. e GARCIA, R. *Psychogenesis and the history of science*. Nova Iorque: Columbia University Press, 1989.

POSNER, G.J.; STRIKE, K.A.; HEWSON, P.W. e GERTZOG, W.A. Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, v. 66, n. 2, p. 211-227, 1982.

ROGOFF, B. e LAVE, J. *Everyday cognition: its development in social context*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1984.

ROSEBERRY, A.; WARREN, B. e CONANT, F. *Approaches to scientific discourse: findings from language minority classrooms* (Working Paper n. 1-92). Cambridge, MA: TERC, 1992.

ROWELL, J.A. e DAWSON, C. Equilibration, conflict and instruction: a new class-oriented perspective. *European Journal of Science Education*, v. 7, n. 3, p. 331-344, 1984.

SCOTT, P. Overtures and obstacles: teaching and learning about air pressure in a high school classroom. In: *Proceedings of the Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*. Ithaca, NY: Misconceptions Trust, 1993.

SCOTT, P.; ASOKO, H. e DRIVER, R. Teaching for conceptual change: a review of strategies. In: R. Duit, F. Goldberg e H. Niedderer (Eds.). *Research in physics learning: theoretical issues and empirical studies*. Kiel, Alemanha: Schmidt & Klannig, 1992. p. 310-329.

SCOTT, P.; ASOKO, H.; DRIVER, R. e EMBERTON, J. Working from children's ideas: an analysis of constructivist teaching in the context of a chemistry topic. In: Fensham, P., Gunstone, R., White, R. (Eds.) *The content of science*. Londres: Falmer Press, 1994.

SEELY BROWN, J.; COLLINS, A. e DUGUID, P. Situated cognition and the culture of learning. *Educ. Researcher*, v. 18, n. 1, p. 32-42, 1989.

SOLOMON, J. Learning about energy: How pupils think in two domains. *European Journal of Science Education*, v. 5, n. 1, p. 49-59, 1983.

STAVY, R. Children's conceptions of gas. *International Journal of Science Education*, v. 10, n. 5, p. 552-560, 1988.

VIENNOT, L. Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education*, v. 1, n. 2, p. 205-222, 1979.

VOSNIADOU, S. e BREWER, W.F. Theories of knowledge restructuring in development. *Review of Educ. Research*, v. 57, p. 51-67, 1987.

VOSNIADOU, S. e BREWER, W.F. Mental models of the earth: a study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, v. 24, p. 535-585, 1992.

WEST, L. e PINES, A. *Cognitive structure and conceptual change*. Orlando, FL: Academic Press, 1985.