

REFERENCIAIS TEÓRICOS PARA ANÁLISE DO PROCESSO DE ENSINO DE CIÊNCIAS*

Eduardo Fleury Mortimer

Faculdade de Educação / UFMG

Anna Maria Pessoa de Carvalho

Faculdade de Educação / USP

RESUMO

Neste artigo procuramos discutir como diferentes referenciais teóricos permitem que se analise o processo de ensino-aprendizagem que ocorre na sala de aula de ciências sob diferentes ângulos. Para isso apresentaremos as principais idéias sobre as características do processo de ensino e sobre o papel do professor que se depreendem de duas correntes teóricas: a teoria piagetiana e a teoria sociohistórica ou sociocultural de Vygotsky. Sempre que possível usaremos, para ilustrar nossa exposição, exemplos retirados da nossa pesquisa realizada em sala de aula da oitava série do Ensino Fundamental, onde documentamos o processo de ensino-aprendizagem de explicações atomísticas para os estados físicos da matéria.

PIAGET — VYGOTSKY — CONSTRUÇÃO DE CONHECIMENTO

ABSTRACT

THEORETICAL REFERENCES FOR THE ANALYSES OF TEACHING THE SCIENCES. In this article we discuss how different theoretical framework can provide information about different aspects of the teaching and learning process that happens in the classroom. We shall present the main ideas about teaching and the role of teacher that can be inferred from two theoretical viewpoints: the Piagetian and the Vygotskian theories. To illustrate our presentation, we shall use, whenever is possible, examples from classrooms (age 14-15) in which we have done research to describe the construction, by the students, of atomistic explanations for the physical states of matter.

* Versão modificada de trabalho apresentado na 17ª Reunião Anual da ANPED, em Caxambu, MG, de 23 a 27 de outubro de 1994.

Este trabalho foi realizado com o apoio financeiro do CNPq, PADCT/SPEC/CAPES e Pró-Reitoria de Pesquisa da UFMG.

Introdução

Neste artigo procuramos discutir como diferentes referenciais teóricos permitem que se analise o processo de ensino-aprendizagem que ocorre na sala de aula de ciências sob diferentes ângulos. Para isso apresentaremos as principais idéias sobre as características do processo de ensino e sobre o papel do professor que se depreendem de duas correntes teóricas: a teoria piagetiana e seus desdobramentos em termos de diferentes propostas construtivistas de ensino, e a teoria sociohistórica ou sociocultural de Vygotsky e suas várias leituras ocidentais que se foram delineando nos últimos anos.

Sempre que possível usaremos, para ilustrar a exposição, exemplos retirados da nossa pesquisa realizada em sala de aula da oitava série do ensino fundamental, onde documentamos o processo de ensino-aprendizagem de explicações atomísticas para os estados físicos da matéria (Mortimer, 1994). Essa pesquisa foi realizada no Centro Pedagógico da UFMG, uma "escola de aplicação" ligada à Faculdade de Educação, que atende a uma clientela de origem social variada. Os alunos responderam a pré e pós-testes, e todas as aulas sobre o assunto (entre 12 e 15 aulas) de cada uma das 3 turmas foram documentadas em vídeo e, posteriormente, transcritas.

Procuraremos mostrar como o referencial teórico piagetiano é útil para descrever as dificuldades na construção de uma idéia científica, ao prever que as idéias dos estudantes tendem a se estabilizar em determinados níveis de compensações que nem sempre coincidem com a explicação científica que está sendo proposta. Esses níveis estáveis de compensação são alcançados, em sala de aula, como conseqüência de um processo de equilíbrio (Piaget, 1977), desencadeado pela introdução de perturbações, por meio de experimentos e/ou situações problemáticas. Uma vez que os alunos aceitem os fatos introduzidos como perturbadores para suas idéias iniciais, eles começam a mudá-las na tentativa de absorver e compensar a perturbação. No entanto, esse processo nem sempre leva à construção da idéia científica.

Como conseqüência, tentaremos mostrar que a teoria piagetiana da equilíbrio não esgota a descrição do processo de construção de uma idéia científica em sala de aula. A introdução do referencial teórico construído a partir dos escritos de Vygotsky permite perceber os limites de se trabalhar com a construção do conhecimento em sala de aula como resultado de construções individuais, ao introduzir elementos de análise que procuram revelar os aspectos sociais da sala de aula. Assim, a negociação dos significados entre professor e alunos e a forma como o professor se apropria dos conhecimentos dos alunos em seu sistema de explicação são aspectos fundamentais para entender a dinâmica de construção do conhecimento em sala de aula que ficariam ausentes numa abordagem puramente piagetiana.

Limites de uma descrição piagetiana do processo de construção do conhecimento

As propostas de ensino de ciências que são influenciadas pela epistemologia piagetiana destacam como papel do professor, no processo de ensino, o de estabelecer um clima de cooperação em que possa imperar a exposição e a crítica de idéias. Essas idéias, ao serem expostas, devem ser apoiadas por evidências experimentais, conter o máximo de informações relevantes, ser breves, específicas, ordenadas, evitando a obscuridade e a ambigüidade. Essas séries de "máximas" de um princípio de cooperação (Edwards e Mercer, 1987. p.43) nem sempre estão explícitas, mas funcionam como regras de construção de um discurso comum de que o professor pode ter consciência desde o início do processo e de que os alunos vão se apropriando ao longo do ensino.

A idéia de cooperação, pela qual se procura construir o conhecimento em sala de aula, faz parte da concepção de ensino através da desequilíbrio-reequilíbrio. Para Piaget, há dois tipos de relação social que conduzem a resultados opostos. A coação, como relação social baseada numa assimetria garantida pela autoridade ou prestígio de um dos participantes da relação — o professor, o cientista, a autoridade no assunto etc. —, resulta no empobrecimento das relações sociais, no reforço do egocentrismo, no conhecimento acríptico e na manutenção de crenças e dogmas. E a cooperação, que pode levar ao desenvolvimento cognitivo, à descentração e à socialização crescentes e à construção de um conhecimento racional e dinâmico (Piaget, 1973).

É por essas razões que as estratégias de ensino, baseadas em Piaget, destacam a importância do debate e da discussão entre iguais na construção do conhecimento, uma vez que eles "promovem a otimização das perturbações inter-alunos, onde argumentos de uns promovem a reelaboração de argumentos de outros (...) A promoção de discussões entre sujeitos cognitivamente próximos também é justificada pelo fato de ser mais eficaz em possibilitar descentrações" (Carvalho et al. 1992. p.88).

Rowell (1989) emprega essa idéia de cooperação na determinação dos papéis do professor num processo de ensino baseado na teoria da equilíbrio. Como a participação em atos coletivos desenvolve, ao mesmo tempo, um ponto de vista social e pensamentos operatórios, o autor destaca que, para Piaget, racionalidade e cooperação são dois aspectos de um mesmo processo. Somente as relações de cooperação podem influenciar o desenvolvimento cognitivo, pois quando o sujeito põe suas idéias num mesmo plano das idéias dos outros, ele está apto a resgatar a postura crítica necessária às ultrapassagens e ao progresso dos conhecimentos.

Assim, o papel do professor, nas propostas de ensino que se apóiam na teoria da equilíbrio, é o de agente provocador e instigador no processo de construção de conhecimentos em sala de aula. O professor é o responsável pela manutenção do clima de

cooperação, evitando a imposição de verdades por aqueles que detêm um peso maior dentro do grupo, o que poderia levar a um conhecimento acrítico e não autônomo (Rowell, 1989).

Já havíamos acrescentado algo a essa visão de Rowell, reconhecendo que na construção de conhecimentos científicos o papel do professor seria mais que o de coordenador, instigador e provocador. Tínhamos acrescentado que, em relação às perturbações lacunares, o "papel do professor deixa de ser o de mais um cooperador passando a ser o de reforçador, ou seja, aquele que dispõe de dados que possibilitam a ultrapassagem dessas perturbações" (Carvalho et al., 1992. p.89).

Isso resulta da análise de que, apesar de a maioria das estratégias de ensino que optam por explicitar as idéias dos alunos no processo de ensino-aprendizagem ter uma clara raiz piagetiana, elas parecem desconhecer duas características importantes da teoria da equilibração. A primeira é que as lacunas são tão importantes quanto os conflitos. São poucos os autores (por exemplo, Rowell, 1989) que se referem às lacunas como um tipo de perturbação. Várias estratégias que se apóiam no conflito cognitivo parecem não reconhecer que, muitas vezes, no processo de construção de uma idéia nova, a falta de informações para interpretar os resultados de um experimento é obstáculo maior que o conflito entre as idéias dos estudantes e os resultados. A segunda característica é relacionada à terceira forma de equilibração na teoria piagetiana. Muitas dificuldades no processo de aprendizagem estão relacionadas à construção de totalidades, com forte poder de explicação, que podem ser generalizadas a um grande número de fenômenos. Muitas vezes o estudante permanece no plano dos esquemas, "procedimentos e rituais" (Edwards e Mercer, 1987) e não passa para o plano superior dos princípios, das explicações. Nesse nível, o aluno não tenta generalizar essas explicações a fenômenos diversos, pois não as reconhece como gerais e sim como mais um esquema localizado. Essas dificuldades estão relacionadas às diferenças entre uma teoria científica, geral e independente do contexto, e os esquemas e subsistemas cotidianos, nem sempre gerais e muitas vezes dependentes do contexto. Uma estratégia de ensino deveria lidar com essa terceira forma de equilibração e auxiliar os estudantes a superarem suas dificuldades em generalizar.

Outro tipo de problema nesse tipo de estratégia que usa o conflito cognitivo como forma de fazer as idéias dos alunos evoluírem é a dificuldade que os alunos enfrentam em reconhecer e vivenciar conflitos. Isso poderia explicar a improdutividade de certas discussões em grupo na sala de aula, em que os estudantes tenderiam a desenvolver "cinturões protetores" (no sentido atribuído por Lakatos, 1970) em torno do núcleo central de suas idéias em vez de tentarem superar possíveis conflitos. Isto poderia ser explicado pelas diferentes fases da construção compensatória na teoria piagetiana, uma vez que a existência de uma perturbação em potencial não significa, necessa-

riamente, a superação da idéia inicial. Os alunos poderiam não reconhecer a perturbação como tal e suas idéias permaneceriam inalteradas. Mesmo quando a reconhecessem, poderiam criar hipóteses *ad hoc* para adaptar a velha idéia à perturbação. Muitas vezes essas compensações geram idéias estáveis que nem sempre coincidem com aquelas aceitas cientificamente.

Nas salas de aula em que realizamos nossa pesquisa, em relação à construção de uma explicação atomista para os estados físicos da matéria, tivemos oportunidade de detectar situações que correspondem a esse tipo de construção compensatória e perceber seus limites quando se tem por objetivo a construção de uma idéia científica. Assim, o obstáculo interposto pelo "horror ao vácuo" não permitia que os alunos fossem além do atomismo substancialista na construção de uma explicação para o fenômeno de compressão do ar numa seringa com o bico tampado. Chamamos substancialistas os modelos propostos pelos alunos em que alguns comportamentos macroscópicos dos materiais (dilatarse, comprimir, fundir etc.) são atribuídos às partículas submicroscópicas. Neste caso, a compressão do ar é explicada pela diminuição do tamanho das partículas e não pela diminuição do espaço vazio entre as partículas, já que o aluno resiste a aceitar a existência desses espaços vazios. O "horror ao vazio" constitui-se, portanto, num obstáculo à construção do atomismo científico clássico.

Nas nossas salas de aula foi possível evidenciar uma sucessão de construções ativadas pelo mecanismo de compensação das perturbações, que vão sendo introduzidas pelo professor. Assim, os alunos, ao longo do debate, passaram de uma idéia de matéria contínua, para uma outra, em que a matéria é constituída por partículas redondas "bem apertadas entre si" e dessa para a idéia de partículas quadradas substancialistas que podem dilatar-se ou comprimir-se (Mortimer, 1994. p.194-9). Tudo isso em resposta às objeções de natureza lógica que o professor foi interpondo no caminho de suas idéias. Mas o grande salto entre essas idéias e a concepção atomista, que admite a possibilidade do vácuo entre as partículas, só se dá no espaço da negociação social.

Não há argumentos no objeto que possam ser retomados para provocar esse salto. As evidências concordam com o modelo construído pelos alunos e o professor é obrigado a reconhecê-lo. Não há como vencer essa descontinuidade, caracterizada pelo obstáculo, a não ser pela negociação.

Assim, vencer obstáculos ontológicos e epistemológicos parece transcender a lógica da equilibração sujeito-objeto. É algo que se realiza pela negociação em sala de aula. O modelo de equilibração e suas fases da construção compensatória são úteis para descrever a evolução das idéias dentro de certo paradigma. As idéias de senso comum dos estudantes sobre a matéria evoluíram até o atomismo substancialista por esse processo. As idéias clássicas sobre o átomo evoluíram, na História, também por esse processo. Mas a passagem de um quadro epistêmico (Piaget e Garcia, 1987) a outro, do senso comum da

matéria contínua à descontinuidade do atomismo clássico, ou deste à visão quântica da matéria, não se realiza por reestruturação das idéias contidas no paradigma anterior, mas pela invenção de uma nova idéia, que se desenvolve paralelamente à anterior. O fato de a idéia anterior conter obstáculos à construção da nova idéia inviabiliza que a criação dessa seja descrita como a acomodação de um novo esquema de assimilação. Na História, também temos exemplos desse tipo de criação de novidades, não assimiláveis em paradigmas anteriores. A tentativa de introduzir o *quantum* de ação elementar na teoria atômica clássica, realizada por Bohr, esbarraria, mais cedo ou mais tarde, numa série de problemas, resultado da inconsistência de se introduzir a quantização como hipótese *ad hoc* à teoria clássica. A evolução da teoria atômica na segunda fase da mecânica quântica, nos anos 20, se assenta em idéias totalmente novas, ausentes do programa clássico e do átomo de Bohr.

Ampliando a análise do processo de construção do conhecimento em sala de aula: as contribuições de Vygotsky e seguidores

As idéias de Vygotsky permitem acrescentar outros elementos à análise do processo do ensino e do papel do professor. Segundo Vygotsky (1978), a chave para o entendimento da ação humana, tanto no plano individual como no social, são as ferramentas e os símbolos, os chamados mecanismos semióticos ou simbólicos que medeiam a ação do sujeito sobre os objetos.

Em sala de aula, trabalhamos buscando a construção de um atomismo científico, um sistema simbólico que a cultura humana construiu como parte da Química e da Física, também sistemas de linguagem, símbolos e teorias que medeiam nossa relação com as transformações naturais e artificiais. Nossa noção de perfil conceitual (Mortimer, 1994, 1995), por outro lado, resulta numa seqüência genética histórica, filosófica e cultural. Algo pertencente à cultura, não ao indivíduo. Mesmo as concepções individuais detectadas na revisão dos estudos de concepções alternativas atomistas revelam um padrão de cultura do dia-dia, numa relação muito estreita com a linguagem do senso comum, sendo, portanto, algo coletivo. A idéia da origem social do conhecimento, e do papel mediador desse sistema social de símbolos, instrumentos e ferramentas, disponíveis para as novas gerações pelo ensino, mas ao mesmo tempo dinâmicos, abertas a novidades, nos parece compatível com o caráter histórico-cultural de nosso perfil conceitual.

Por outro lado, nosso referencial de análise — o perfil conceitual — foi desenvolvido como um sistema de avaliação da evolução das concepções de um indivíduo através de fases de uma evolução genética da noção de atomismo. Como aplicar essas mesmas categorias na análise de um processo social de construção de idéias? Como aplicar essas categorias se as idéias, uma vez colocadas no espaço social da

sala de aula, entram em processo de negociação no qual deixam de ser propriedade individual, perdendo também o significado inicial?

Vygotsky fornece uma pista interessante para olhar para o processo de sala de aula, pela diferenciação entre processos interpsicológicos e processos intrapsicológicos. Por meio de sua "lei geral do desenvolvimento cultural", ele propõe que qualquer função psicológica superior aparece "duas vezes, ou em dois planos. Primeiro ela aparece no plano social e então no plano psicológico; primeiro ela aparece entre as pessoas como uma categoria interpsicológica e então dentro da criança individual com uma categoria intrapsicológica" (Vygotsky, 1978. p.57). Ora, as transições do processo de ensino nos fornecem informações sobre como as idéias se desenvolveram em sala de aula, no plano interpsicológico. Os resultados dos pós-testes permitem verificar se os alunos internalizaram estas idéias (Mortimer, 1994). Além disso, o processo de sala de aula fornece indicações importantes sobre as dificuldades nesse processo de internalização.

As idéias que surgiam nas nossas salas de aula eram desenvolvidas claramente por um processo interpsicológico, em que a idéia de um indivíduo era apropriada pelo professor e pelos outros alunos e, nesse processo, era discutida, criticada, mudada. Ao final chegava-se a uma idéia que tinha se desenvolvido como fruto da contribuição de uma série de idéias individuais apropriadas pelo professor no seu sistema atomista. Salvo raras exceções, não temos como estabelecer claramente, pela análise das transições das aulas, se o indivíduo que gerou uma idéia inicial permanece com ela ou se internalizou a nova idéia construída no processo. Assim, é imperioso mudar o foco de análise do indivíduo para as idéias. A idéia de Vygotsky de que as funções mentais se desenvolvem primeiro no plano interpsicológico para depois serem internalizadas suporta essa mudança de unidade de análise.

Uma questão importante para Vygotsky é como os processos externos são transformados para criar processos internos, que não são idênticos, mas estão relacionados. Segundo Leontiev (1981. p.57, citado por Wertsch e Stone, 1985. p.163), "o processo de internalização não é a transferência de uma atividade externa para um 'plano de consciência' interno, preexistente: é o processo no qual este plano é formado". À primeira vista parece não haver diferença entre essa idéia de internalização e a idéia de interiorização por via da abstração reflexiva da teoria piagetiana (Piaget, 1977). Wertsch e Stone argumentam, entretanto, que a formulação de Vygotsky envolve duas premissas distintas. Primeiro, que a internalização é relacionada a um processo social. Segundo, que a idéia de Vygotsky baseia-se na análise de mecanismos semióticos ou simbólicos, especialmente a linguagem, que é mediadora do funcionamento individual e social.

Assim, internalização é vista como parte de um quadro mais amplo preocupado em responder

como a consciência emerge da vida social humana. O esquema geral de desenvolvimento começa com atividade social externa e termina com atividade individual interna. A descrição vygotskiana de mecanismos semióticos fornece a ponte que conecta externo com interno e social com individual. (Wertsch e Stone, 1985. p.164)

O sistema vygotskiano contribui, dessa forma, para repensarmos nossa unidade de análise. A impossibilidade de se acompanhar indivíduos no processo de ensino era até então imaginada como uma dificuldade metodológica básica de se observar a equibração (um processo individual) em sala de aula. No referencial vygotskiano essa dificuldade pode ser reinterpretada como uma característica do sistema que admite que as idéias possam ser construídas num espaço social e, nesse mesmo processo, internalizadas. "Ao assumir que o sujeito constitui suas formas de ação e sua consciência nas relações sociais, Vygotsky aponta para a superação da dicotomia social/individual" (Góes, 1991. p.17).

Além disso, a idéia de Vygotsky, ao argumentar que é característica comum do processo de aquisição de conhecimento a existência de uma relação entre o sistema de suporte no meio social e o processo de aquisição no aprendiz, permite que incorporem como elementos de nosso sistema, ao lado das idéias em evolução, os "amplificadores culturais" (apostila, experiências, atividades, textos, professor) (Newman et al., 1989), usados como sistema de suporte para a construção do atomismo. Essa é uma consequência da aplicação da lei geral de desenvolvimento cultural (Vygotsky, 1978) à análise de processos de ensino.

Outra consequência da relação entre planos interpsicológicos e intrapsicológicos, entre sistema de suporte e internalização, é que poderemos usar as mesmas categorias do perfil conceitual, pensadas inicialmente para a análise da evolução do atomismo em indivíduos, para detectar a evolução das idéias em sala de aula, já que os conteúdos atomistas que aparecerão nos pré e pós-testes terão sido internalizados nesse processo de ensino. Se há uma relação entre esse plano intrapsicológico individual e o plano interpsicológico social, as mesmas categorias deverão aparecer nos dois planos.

Cole (1985) nos dá uma interpretação interessante para a questão da unidade de análise numa perspectiva vygotskiana ao afirmar que há uma unidade básica comum para analisar tanto processos culturais como individuais.

Esta unidade é designada como atividade, tarefa ou evento (...) Essas atividades estão povoadas por outros, adultos em particular (...) O processo de aquisição de comportamentos culturais apropriados é um processo de interação entre crianças e adultos, no qual o fato de o adulto guiar o comportamento das crianças é um elemento essencial na aquisição de conceitos. (Cole, 1985. p.158)

Em outro momento, Newman, Griffin e Cole (1989) sugerem que a "análise de eventos sociais envolvendo negociação entre participantes com diferentes entendimentos ou análises da situação se torna uma parte necessária de um trabalho que segue esta abordagem" (p.62).

O que os autores estão sugerindo é o uso da idéia de Luria in Newman et al. (1989), de "sistema funcional" como unidade de análise. Numa sala de aula, ele corresponderia ao "sistema interpessoal numa zona de desenvolvimento proximal". Luria introduziu a idéia de sistema funcional na análise do sistema cerebral.

Uma das características básicas que distinguem o trabalho de um "sistema funcional" é a presença de uma tarefa invariante, desempenhada por mecanismos variáveis, que sempre levam o processo a uma conclusão invariante. A segunda característica distintiva é a composição complexa do sistema funcional. (Luria in Newman et al., 1989. p.71)

Parece-nos que as salas de aula onde trabalhos constituem um tipo de sistema funcional: uma tarefa invariante — construir concepções atomistas — desempenhada por mecanismos variáveis: análise de fenômenos, discussões em grupo e na classe, questões da apostila, textos escritos, informações fornecidas pelo professor em resposta a questões específicas etc. Trata-se, portanto, de um sistema de composição complexa que tem por objetivo levar a uma conclusão invariante: a construção de um sistema de explicação atomista pelos alunos.

Zona de desenvolvimento proximal como zona de construção e de convergência de diferentes significados

Na interpretação de "zona de desenvolvimento proximal" (ZDP) como um sistema funcional, Newman, Griffin e Cole (1989) se referem a quatro consequências para a análise de mudanças cognitivas que advêm da adoção de uma posição teórica na qual os indivíduos são vistos como parte de um sistema funcional construído socialmente, nas relações interpessoais. A primeira é que pode haver diferentes interpretações, no início e ao longo da tarefa, correspondentes aos mecanismos que podem ser usados para desempenhar a tarefa. Os alunos não têm a mesma representação da tarefa que o professor e podem ter diferentes representações entre si. Eles não entram na "zona de construção" no mesmo ponto (Newman et al., 1989. p.72). A segunda consequência é que há uma relação entre o sistema de suporte externo — apostilas, experiências, professor — e as estruturas internas. Os componentes desse sistema externo "são janelas na evolução e aparecimento de construtos cognitivos" (idem. p.73), sendo uma parte essencial do sistema funcional, pois dão oportunidade a que mudanças ocorram nos sujeitos e permitem ao pesquisador ter acesso a essas mudanças. A terceira é que as representações que os alunos fazem da tarefa não são

estáticas nem equivalentes à representação do professor. A comunicação é possível pela apropriação que o professor faz da representação do aluno, "como se" ela fosse parte de seu sistema. Essa série de relações de "como se" propicia que as construções sociais sejam apropriadas e revistas. A quarta consequência é que essa variação inerente de significados, ao longo do processo de mudança, às vezes associada à criatividade e à diversidade dos alunos, está sujeita ao processo social no qual são criadas as alianças temporárias (Newman et al., 1989. p.72-3).

Nas salas de aula analisadas na nossa pesquisa o professor faz uso, na sua fala, de elementos para os quais já obteve consenso, pois isso configura uma estratégia de construção de um discurso compartilhado, de um conhecimento em comum. Na primeira etapa do processo de ensino, em que as características dos vários modelos haviam sido explicitadas, o professor havia discutido com a turma as questões sobre a massa e a densidade do sistema antes e depois da transformação, e obtido o consenso de que a massa do sistema não varia e de que a densidade aumenta no caso da compressão do ar e diminui no caso da dilatação. Ao retomar esse aspecto, ele não só reforça esse elemento consensual como também chama a atenção para características macroscópicas do sistema, que devem ser levadas em consideração na hora da escolha do modelo. Assim, já tendo se apropriado das representações dos alunos "como se" elas fossem modelos, ele trabalha na construção dessa noção, estruturando a tarefa de modo a levar os alunos a considerarem a relação entre a transformação nas propriedades macroscópicas e as mudanças no modelo. Várias passagens, em seqüências posteriores, mostram como os alunos vão se apropriando dessas preocupações epistemológicas do professor.

O professor, com essa estratégia, tentava construir um modelo científico e a própria noção de modelo como algo isomórfico à realidade. Nesse processo o professor primeiro tinha se apropriado dos desenhos dos alunos para os fenômenos do pré-teste, "como se" fossem modelos. O aluno, não necessariamente, desenhara as partículas numa seringa com ar como um modelo para a situação. Posteriormente, o professor ia estruturando a tarefa de modo a chamar a atenção para a relação entre as propriedades macroscópicas e as características do modelo. Professor e aluno não tinham entrado nessa zona de desenvolvimento proximal com a mesma concepção. Mas, tendo se apropriado da noção dos alunos em seu sistema conceitual, o professor procurava, agora, estruturar as tarefas de modo a dar suporte para que essa noção evoluísse para aquela aceita cientificamente. Essa interpretação do conceito de noção de ZDP como "zona de construção" (Newman et al., 1989) parece-nos interessante e complementa a interpretação de ZDP como de sistema de suporte ou "andaime" (*scaffolding*, no inglês) que é uma interpretação mais comum, uma leitura mais literal da idéia de ZDP. O sistema de suporte faz parte da ZDP, mas não é seu único componente. O "como se" talvez seja um componente

até mais importante para a análise do processo de ensino em sala de aula.

A ZDP é definida por Vygotsky como "a distância entre o nível de desenvolvimento real, que se costuma determinar através da solução independente de problemas, e o nível de desenvolvimento potencial, determinado através da solução de problemas sob a orientação de um adulto ou em colaboração com companheiros mais capazes" (Vygotsky, 1984. p.97). Essa noção surge, na obra de Vygotsky, como uma tentativa de lidar com dois problemas práticos em psicologia educacional: a avaliação de habilidades cognitivas nas crianças e a avaliação de processos instrucionais (Wertsch e Stone, 1985. p.163). Vygotsky argumenta que a "o único tipo correto de pedagogia é aquele que segue em avanço relativamente ao desenvolvimento e ao guia" (Vygotsky, 1979. p.138). Para ter acesso ao crescimento potencial da criança, ele julga necessário avaliar não só o nível individual de desempenho da criança (seu nível de desenvolvimento real) mas também o nível de desempenho que ela é capaz num sistema interpsicológico (seu nível de desenvolvimento potencial).

A interpretação de ZDP como sistema de suporte ou "andaime" surge da aplicação da noção ao problema de ensino. O professor e os pares mais competentes são representados pela metáfora dos andaimes que, na construção de um edifício, são usados pelos operários como suporte a partir do qual fazem as paredes subir. Bruner explica a idéia de "andaimes" como parte da noção de ZDP afirmando que

se a criança é capaz de avançar sob a tutela de um adulto ou par mais competente, então o tutor ou o par serve ao aprendiz como uma forma de consciência emprestada até que o aprendiz seja capaz de realizar sua própria ação sob sua própria consciência e controle (...) Até este momento, o tutor efetivamente desempenha a crítica função de dar suporte (scaffolding) à tarefa de aprendizagem para tornar possível que a criança, nas palavras de Vygotsky, internalize conhecimento externo e o converta em ferramenta para consciência e controle. (Bruner, 1985. p.24-5)

O papel do professor na ação de "andaime" é o de "reduzir o número de graus de liberdade que a criança deve manejar para realizar uma tarefa. O professor o faz segmentando a tarefa e ritualizando-a: criando um formato, um nanocosmos" (Bruner, 1985. p.29). Ele limita a complexidade da tarefa até o nível em que a criança possa manejá-la.

Edwards e Mercer (1987) procuram descrever os padrões lingüísticos de iniciação-resposta-*feedback* encontrados normalmente em sala de aula como uma ZDP em que as questões, pistas e dicas do professor levam as crianças a *insights* que elas não experimentaríamos por si próprias. Os autores concluem que o processo pelo qual o conhecimento é construído e compartilhado em sala de aula resulta mais da construção de um discurso comum do que da atividade espontânea do aluno. Eles consideram esse tipo de aná-

lise como uma forma para solucionar o dilema da educação primária inglesa, entre uma ideologia predominantemente "aberta e progressiva" e práticas e rituais escolares muito mais limitados pelo currículo e pelo próprio papel social da escola. A ideologia dominante é fruto, de certa forma, de uma leitura piagetiana peculiar em que o professor: 1) acredita estar criando as condições para que a criança aprenda por ela mesma; 2) planeja atividades que levem a criança a experimentar diretamente, agir e não só escutar, ler ou escrever; 3) tenta se referir a experiências cotidianas ou de conhecimento geral quando explica tópicos do currículo; 4) usa técnicas como questionar e levar a criança a responder, elicitando as idéias-chave a partir das crianças no lugar de informá-las diretamente a respeito dessas idéias; 5) nunca define para a criança a agenda completa da atividade ou lição; 6) tampouco define explicitamente o critério de sucesso na aprendizagem (Edwards e Mercer, 1987. p.33-4).

Os autores examinam o processo pelo qual o "conhecimento em comum" vai sendo construído em sala de aula como um conhecimento compartilhado entre professor e alunos, e concluem que há uma tensão entre, por um lado, a noção de educação como um desabrochar das potencialidades e habilidades da criança, e por outro, a necessidade de inculcar às crianças um sistema cultural preexistente de conhecimento, pensamento e práticas escolares.

Edwards e Mercer acreditam que a idéia de zona de desenvolvimento proximal, como um processo educacional no qual a aprendizagem da criança tem o suporte do professor e dos pares mais avançados, à maneira de um "andaime", é um dispositivo que requer que a criança participe ativamente na criação do conhecimento em comum, no lugar de sentar e ouvir o discurso do professor. O processo de "explicitação por meio de pistas", que inclui a iniciação do professor, resposta do aluno e *feedback* do professor, é, segundo os autores, o padrão discursivo pelo qual a ZDP se desenvolve em sala de aula. Esse tipo de análise forneceria a solução para o dilema apontado acima. Propiciaria um compromisso entre a necessidade de as crianças, pelo menos aparentemente, gerarem seus próprios entendimentos das coisas através de pensamento e experiência próprios, e o requisito social da educação escolar, segundo o qual as crianças devem ser introduzidas em atividades e conceitos específicos planejados anteriormente (Edwards e Mercer, 1987. p.143).

Edwards e Mercer acreditam que a linguagem seja a ferramenta principal que o professor utiliza para controlar o processo de ensino e seus resultados, ainda que ele não admita isso. Ao mostrar o estabelecimento de um "conhecimento em comum" como a característica mais marcante do processo de ensino em sala de aula, os autores destacam que é impossível não perceber os padrões lingüísticos ali presentes, como os de iniciação-resposta-*feedback* (IRF), em que o professor inicia a interação com os alunos através de uma questão, os alunos respondem e o professor fornece um *feedback* que funciona como uma avalia-

ção da resposta do aluno. No entanto, os autores advertem que "o que nos preocupa não é tanto o padrão do discurso, mas o entendimento que os participantes são obrigados a possuir para serem hábeis em tomar parte dele" (Edwards e Mercer, 1987. p.45). Os autores detectam, na sua pesquisa, três dessas regras implícitas e que garantem o desenvolvimento do discurso: 1) quem faz perguntas é o professor; 2) o professor já conhece a resposta, portanto não está à procura de informação; 3) o *feedback* do professor normalmente tem a forma de uma avaliação. Repetir a pergunta, por exemplo, significa que a resposta anterior estava errada.

A maioria das perguntas que os professores fazem não procura informação num sentido direto. Elas fazem parte do instrumental discursivo disponível para o professor controlar os tópicos de discussão, direcionar o pensamento e a ação das crianças, e estabelecer a extensão em que a atividade, a atenção e o conhecimento estão sendo compartilhados. (Edwards e Mercer, 1987. p.46)

Além disso, os autores destacam que o diálogo em sala de aula depende de um contexto dado que inclui experiência e atividades comuns, além do ambiente físico e cultural. Contexto é uma propriedade do entendimento geral, mais do que do sistema lingüístico ou das circunstâncias físicas. Portanto, contexto é entendido como mental, mais do que lingüístico ou situacional. Os autores mostram, por meio de seqüências retiradas da gravação de aulas, que o discurso em sala de aula só muito raramente é descontextualizado. Ali ele depende, para sua inteligibilidade, da acumulação gradual de um contexto compartilhado de experiência e fala. Neste processo, as recapitulações e os resumos por parte do professor são as formas mais explícitas de se garantir a continuidade do diálogo. As formas menos explícitas incluem chamar a atenção dos alunos para as partes mais importantes da tarefa ou fornecer ao grupo um vocabulário comum que permita a comunicação.

O objetivo final desse processo é o estabelecimento de um conhecimento em comum que permita ao aluno realizar as tarefas sozinho, sem a ajuda do professor ou dos pares. Esse processo de transferência de controle para o aluno é parte fundamental do princípio da aprendizagem suportada (*scaffolded learning*) como interpretação do conceito vygotskiano de zona de desenvolvimento proximal: "Os alunos foram requisitados a fazerem eles mesmos o que, em aulas anteriores, necessitava ser apoiado de perto pelo professor, seja através de instrução explícita ou de assistência direta" (Edwards e Mercer, 1987. p.87).

Os autores mostram, ainda, em que extensão os professores controlam o discurso e, por intermédio dele, o conteúdo a ser apreendido. Argumentam que é, essencialmente, pelo fenômeno generalizado de controle do professor sobre a expressão do conhecimento que o entendimento das coisas apresentado pelos estudantes é, freqüentemente, ritual ou mecânico, no lugar de um conhecimento de princípios. Os estudantes "falam e fazem o que parece ser solicita-

do, no lugar de encontrar os princípios de como ou por que certas ações, expressões e procedimentos são apropriados ou corretos” (Edwards e Mercer, 1987, p.130). O resultado desse processo é que não há transferência do conhecimento e do controle para o aluno, descaracterizando os propósitos do processo vygotkiano de aprendizagem suportada, pois o “andaime” não é retirado no final.

A forma como esse controle é exercido é ilustrada através de uma série de características do discurso do professor em sala de aula: a maneira como as contribuições dos estudantes são explicitadas; as marcas significativas nas respostas, como frases de efeito, entonação, ou desconhecimento da contribuição do aluno; a fala simultânea, o uso do plural; a explicitação das contribuições dos alunos por meio de pistas; e a modificação da contribuição do aluno pela paráfrase.

A explicitação das contribuições dos alunos por meio de pistas pode, por exemplo, ter um efeito contraditório, dando uma falsa impressão da extensão em que o entendimento dos alunos é realmente responsável pelo que eles estão falando ou fazendo. “Isto pode facilmente mascarar no lugar de cobrir a distância entre o professor e a criança, o que é a base do processo de desenvolvimento de acordo com Vygotsky” (Edwards e Mercer, 1987). Essas características contraditórias do processo de controle dos produtos de ensino, pelo discurso, são uma importante contribuição que os autores fornecem para a análise da construção de conhecimento em sala de aula.

Nas salas de aula em que realizamos nossa pesquisa procuramos evitar as armadilhas apontadas por Edwards e Mercer (1987) por uma série de ações em que o professor procurava deixar claro o objetivo das tarefas a serem desenvolvidas: a explicitação da agenda, a referência direta aos obstáculos contidos nas idéias dos alunos e a revisão das idéias ao longo do processo de construção. Isso evitou, pelo menos parcialmente, que os alunos procurassem “adivinhar” o que o professor estava querendo na hora de construir suas respostas e pudessem formulá-las livremente. No entanto, a construção do significado de uma tarefa em sala de aula é um processo de convergência de entendimentos. O aluno não tem, de saída, o mesmo entendimento da tarefa que o professor. Vai ser ao longo da realização da tarefa que esse significado poderá convergir para o mesmo significado atribuído pelo professor. Essa característica é marcante no processo de construção de conhecimentos em sala de aula e, por mais que a agenda esteja explícita, sempre haverá uma certa ansiedade, por parte dos alunos, por “adivinhar” exatamente o que o professor está querendo.

Um exemplo desse processo de construção do significado da tarefa ocorreu numa das etapas do processo de ensino das explicações atomistas. Após terem formulado modelos para materiais gasosos em quatro situações diferentes (compressão do ar, dilatação do ar, vácuo em um frasco e difusão de um gás), os alunos foram solicitados a pensar nas caracterís-

ticas gerais de um modelo para qualquer gás. A discussão em um dos grupos de estudantes revela que os alunos tinham uma dificuldade em realizar a tarefa por causa do entendimento que tinham da palavra “gás”. Os alunos não pensavam “gás” como uma categoria geral da matéria, como um estado físico, mas como um gás particular: o gás de cozinha. Dessa forma, os alunos não identificam o ar, por exemplo, como um gás. Isso impede que eles avancem na realização da tarefa. Como consequência eles se perdem numa discussão sobre o frasco que deve ser desenhado para conter o gás.

Posteriormente, após uma intervenção do professor na discussão do grupo, os alunos percebem que seu entendimento da tarefa precisava ser revisto. Um dos alunos comenta que “caímos do cavalo achando que ‘gás’ se referia ao gás de cozinha”. Na discussão que se segue, o foco muda do frasco que deve conter o gás para as características dos materiais gasosos. Após obterem consenso sobre essas características, os alunos resolvem desenhar o modelo para os gases. Um dos alunos sugere que se desenhe “um quadrado ridículo aí e põe as partículas do gás dentro dele”. A mudança no entendimento da tarefa fica evidente, pois a decisão sobre o frasco que deverá conter o gás não tem mais importância.

Perspectivas complementares de Piaget e Vygotsky

Para finalizar essa discussão acerca de referenciais para análise de processos de ensino, é necessário verificar se o sistema vygotkiano é compatível com o referencial teórico desenvolvido anteriormente, de modo a justificar o artifício de se usar esse sistema como uma formulação *ad hoc* ao sistema piagetiano e à noção de perfil conceitual. Consideramos que tanto Vygotsky como Piaget admitem que o entendimento do sujeito é formado não só pelo encontro adaptativo com o mundo físico, mas também pela interação entre pessoas na relação com esse mesmo mundo. Afinal, este mundo não é inteiramente físico, mas cultural, com significados e significantes. Vygotsky, no entanto, enfatiza mais o papel do social nesse interacionismo que partilha com Piaget, ao acrescentar que esse mundo é feito assim principalmente por meio de ferramentas e sistemas simbólicos, o mais importante deles a linguagem. Todavia, tanto para Vygotsky como para Piaget, o sujeito não é cópia do objeto, pois suas ações internalizadas não são cópia de ações externas. O sujeito constrói seu conhecimento por um processo endógeno — assimilando ou internalizando. Por outro lado, há uma necessária interdependência dos planos intersubjetivos e intra-subjetivos. Em Piaget isso se traduz na idéia de que a cooperação propicia desenvolvimento. O sujeito constrói o conhecimento sob o efeito dos outros. Para Vygotsky, a construção do conhecimento nunca está assentada apenas em recursos individuais. Ela é sempre dependente da mediação social, do compartilhamento de um signifi-

cado, da apropriação de significados num sistema simbólico. Por essa natureza instrumental da idéia de desenvolvimento é que a relação entre aprendizagem escolar e desenvolvimento está explícita em Vygotsky. Piaget descreve a equilibração como um sistema individual de desenvolvimento, de construção de estruturas mais poderosas, e não como uma teoria de aprendizagem. Nós, como educadores, nos apropriamos da equilibração enquanto teoria da aprendizagem e queremos tirar dela elementos de ensino. Acrescentar a mediação à equilibração nos parece uma solução correta para acomodar certos problemas na explicação da construção de idéias contra-intuitivas. O conhecimento está na relação sujeito-objeto para ambos os autores. No entanto, esse objeto é essencialmente social para Vygotsky, de modo que a relação não é direta mas mediada por um sistema simbólico-instrumental da cultura.

Isso nos leva a buscar uma forma alternativa de ver o processo de construção do conhecimento. É necessário incorporar essa dimensão social à descrição pessoal do desenvolvimento do conhecimento em sala de aula, baseada na equilibração. Não nos parece que o acréscimo dessa dimensão social possa estar em contradição com a teoria da equilibração, que usamos como um dos suportes teóricos. Essa visão é reiterada por escritos recentes na linha piagetiana, que tendem a reforçar o papel da linguagem e de outros elementos da cultura no processo de construção do conhecimento. Chapman (1992), por exemplo, afirma acreditar que "o uso da cooperação humana como uma metáfora para o entendimento da cognição humana é eminentemente consistente com a teoria piagetiana, embora isto implique uma ênfase cada vez maior no papel da interação comunicativa no desenvolvimento do pensamento operacional" (p.55).

Essas considerações levam ao encontro daqueles que pensam a aprendizagem de ciências também como um processo de aculturação. "Aprender ciências envolve a entrada dos jovens numa forma diferente de pensar e de explicar o mundo natural; tornar-se socializado, em maior ou menor extensão, nas práticas da comunidade científica com seus propósitos particulares, e suas maneiras de ver e de explicar peculiares" (Driver et al., 1994).

As idéias de apropriação, eliciação, constrangimentos de origem social etc. formam um pano de fundo excelente para descrever o desenvolvimento de idéias atomistas em sala de aula usando as mesmas categorias do perfil conceitual que foram desenvolvidas para analisar os resultados de pré e pós-testes (Mortimer, 1993). As idéias evoluem por essas categorias, constrangidas pela apropriação que o professor faz delas em termos de modelo, e pela pressão social crescente, exercida pelo professor e pelos pares mais competentes, para a utilização do sistema do professor na explicação dos fenômenos estudados.

O mais importante é que, pela contribuição das idéias vygotskianas e pela forma como elas são apropriadas por diferentes autores, é possível estender a análise de sala de aula e descobrir aspectos de clara relevância para o ensino, que ficariam ausentes num referencial puramente piagetiano. Esse último é, no entanto, juntamente com a noção de perfil conceitual, um dos elementos para a análise do desenvolvimento das idéias em sala de aula. O referencial vygotskiano possibilita incorporar à análise o sistema de suporte para a construção da idéia, que inclui o professor, o discurso que ele elabora, as atividades etc., ampliando, dessa forma, o seu alcance.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRUNER, J. Vygotsky: a historical and conceptual perspective. In: WERTSCH, J. *Culture, communication and cognition: Vygotskian perspectives*. Cambridge: Cambridge University Press, 1985.
- CARVALHO, A. M. P., CASTRO, R. S., LABURU, C. E., MORTIMER, E. F. Fundamentos epistemológicos para a pesquisa em ensino de ciências. *Cadernos de Pesquisa*, n.82, p.85-9, ago. 1992
- CHAPMAN, M. Equilibration and the dialectics of organization. In: BEILIN, H., PUFALL (eds.). *Piaget's theory: prospects and possibilities*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates. 1992
- COLE, M. The Zone of proximal development: where culture and cognition create each other. In: WERTSCH, J. *Culture, communication and cognition: Vygotskian perspectives*. Cambridge: Cambridge University Press, 1985.
- DRIVER, R., ASOKO, H., LEACH, J., MORTIMER, E. F., SCOTT, P. Constructing scientific knowledge in the classroom. *Educational Researcher*, v.23, n.7, p.5-12, 1994.
- EDWARDS, D., MERCER, N. *Common knowledge: the development of understanding in the classroom*. London: Routledge, 1987.
- GÓES, M. C. R. A Natureza social do desenvolvimento psicológico. *Cadernos Cedes*, n.24, p.17-24, 1991.
- LAKATOS, I. Falsification and the methodology of scientific research programmes. In: LAKATOS, I., MUSGRAVE, A. (eds.). *Criticism and the growth of knowledge*. Cambridge: Cambridge University Press, 1970.
- MORTIMER, E. F. Conceptual change or conceptual profile change? *Science & Education*, v.4, n.3, p. 267-85, 1995.
- _____. *Evolução do atomismo em sala de aula: mudança de perfis conceituais*. São Paulo, 1994. Tese (dout.) FE/USP
- _____. Studying conceptual evolution in the classroom as conceptual profile change. *Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics. Proceedings*. Ithaca, New York: Misconceptions Trust, 1993.

- NEWMAN, D., GRIFFIN, P., COLE, M. *The Construction zone: working for cognitive change in school*. Cambridge: Cambridge University Press, 1989.
- PIAGET, J. *Estudos sociológicos*. Rio de Janeiro: Forense, 1973.
- _____. *O Desenvolvimento do pensamento: equilibração das estruturas cognitivas*. Lisboa: Dom Quixote, 1977.
- PIAGET, J., GARCIA, R. *Psicogênese e história das ciências*. Lisboa: Dom Quixote, 1987.
- ROWELL, J. A. Piagetian epistemology: equilibration and the teaching of science. *Synthese*, v.80, p.141-62, 1989.
- VYGOTSKY, L. S. *A Formação social da mente*. São Paulo: Martins Fontes, 1984.
- _____. *Mind in society: the development of higher psychological process*. In: COLE, M., JOHN-STEINER, V., SCRIBNER, S., SOUBERMAN, E. (eds.). Cambridge, MA: Harvard University Press, 1978.
- _____. *Pensamento e linguagem*. Lisboa: Antídoto, 1979.
- WERTSCH, J., STONE, C. A. The Concept of internalization in Vygotsky's account of the genesis of higher mental functions. In: WERTSCH, J. (ed.). *Culture, communication and cognition: Vygotskian perspectives*. Cambridge: Cambridge University Press, 1985.
-