

Copyright © 2000 by Eduardo Fleury Mortimer

2006 - 1ª reimpressão

Este livro ou parte dele não pode ser reproduzido por qualquer meio sem autorização escrita do Editor.

EDITORIAÇÃO DE TEXTO: Ana Maria de Moraes
PROJETO GRÁFICO e CAPA: Escritório de Design - Lucas Nemer e Gail Sara
REVISÃO DE PROVAS: Lúcia Valdeaz Feliço, Maria Aparecida Ribeiro, Rudaí Fátia dos Santos
PRODUÇÃO GRÁFICA: Eduardo Ferreira
FORMATAÇÃO: Marcelo Belico

Editora UFMG

Av. Antônio Carlos, 6627
Alameda da Biblioteca Central - Térreo - Campus Pampulha
31270-901 Belo Horizonte/MG
Tel. (31) 3499-4650
Fax: (31) 3499-4768
editora@ufmg.br
www.editora.ufmg.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

REITOR: Ana Lúcia Almeida Gazzola
VICE-REITOR: Marcos Boratto Viana

CONSELHO EDITORIAL:

Tutores: Wander Melo Miranda (presidente), Carlos Antônio Leite Brandão, Heloisa Maria Murgel
Scarling, José Francisco Soares, Jurez Rocha Guimarães, Maria das Graças Santa Bárbara, Maria Helena
Damasceno e Silva Piegue, Paulo Sérgio Lacerda Barão.

Mortimer, Eduardo Fleury

M888l
Linguagem e formação de conceitos no ensino de ciências/ Eduardo Fleury

Mortimer. - Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2000.

383p. - (Aprender)

I. Ciências - Ensino de primeiro grau I. Título II. Série

CDD: 372.35

CDU: 373.3

Catálogo na publicação: Divisão de Planejamento e Divulgação da

Biblioteca Universitária - UFMG
ISBN: 85-7041-181-2

À memória de meus pais, Geraldo e Júlia.
Para Regina, Ivan e Lucas, onde tudo começa e tudo termina.

Pedagógico da UFMG, um tipo de colégio de aplicação. Duas turmas de cada série foram filmadas. O próprio pesquisador atuou como professor em uma das turmas de cada série. Os dois outros professores, um de cada série, fazem parte do nosso grupo de pesquisa e estão familiarizados com a proposta e seus principais aspectos teóricos. A metodologia da pesquisa e o arranjo experimental utilizado são discutidos no Capítulo 4.

Decidimos nos deter em uma única sala de aula como unidade de análise, apesar dos prejuízos que essa opção poderia trazer à generalidade das conclusões da pesquisa. Esse é o preço a pagar pela profundidade da análise e pela sua originalidade. O que se busca é desenvolver uma nova forma de avaliar e descrever a evolução conceitual em sala de aula. A generalidade dos resultados encontrados neste trabalho é um problema futuro para o programa de pesquisa que ele inicia. Neste momento, construir as idéias básicas desse programa e um conjunto de questões que possa nortear seu desenvolvimento nos parece mais importante do que obter conclusões com alto grau de generalidade.

CAPÍTULO 1

PRESSUPOSTOS TEÓRICOS PARA A ELABORAÇÃO DE PROPOSTAS DE ENSINO da mudança conceitual à evolução de perfis conceituais



Neste capítulo, serão apresentados os aspectos teóricos da idéia central deste livro, a de que a evolução das explicações atomísticas dos estudantes para os estados físicos da matéria pode ser descrita como uma evolução de seus perfis conceituais. Para isso, tentaremos identificar as estratégias de ensino preocupadas em promover mudanças conceituais e discutiremos as suas relações com a teoria piagetiana da equilibrção. Procuraremos criticar, num segundo momento, os aspectos psicológicos e filosóficos que levam essas estratégias à expectativa de que as idéias dos estudantes devam ser abandonadas ou subsumidas no processo de ensino-aprendizagem. Como alternativa, apresentaremos a noção de perfil conceitual, que tenta evitar esse tipo de compromisso sem, no entanto, abrir mão de explicitar

as idéias alternativas dos estudantes ao longo do processo de ensino.

O MODELO DE MUDANÇA CONCEITUAL E AS ESTRATÉGIAS PARA A CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO EM SALA DE AULA

As pesquisas sobre as concepções alternativas dos estudantes, em relação aos mais diversos conceitos científicos, têm fortalecido uma visão construtivista de ensino-aprendizagem que parece dominar a área de Educação em Ciências e Matemática (MATHEWS, 1992). Apesar da grande variedade de abordagens e visões que aparecem na literatura sob o mesmo rótulo, há pelo menos duas características principais que parecem ser compartilhadas:

1) a aprendizagem se dá através do ativo envolvimento do aprendiz na construção do conhecimento;

2) as idéias prévias dos estudantes desempenham um papel fundamental no processo de aprendizagem, já que essa só é possível a partir do que o aluno já conhece.

Correspondente a essa visão de aprendizagem, há um modelo de ensino para lidar com as concepções dos estudantes e transformá-las em conceitos científicos: o modelo de mudança conceitual. Proposto, inicialmente, para explicar ou descrever "as dimensões substantivas do processo pelo qual os conceitos centrais e organizadores das pessoas mudam de um conjunto de conceitos a outro, incompatível com o primeiro" (POSNER, STRIKE, HEWSON & GERTZOG, 1982, p.211), "mudança

conceitual" se tornou sinônimo de "aprender ciência" (NIEDERER, GOLDBERG & DUIT, 1991), o que não significa que haja um consenso acerca de seu significado. A exemplo do que ocorre com "construtivismo", "mudança conceitual" se tornou um rótulo a cobrir um grande número de visões diferentes e, até, inconsistentes.

O modelo de mudança conceitual tem dois componentes principais: as condições que precisam ser satisfeitas para que haja acomodação do novo conceito e a ecologia conceitual do indivíduo. No artigo de 1982, Posner, Strike, Hewson e Gertzog definem vários tipos de conceitos e crenças que, como parte da ecologia conceitual, são particularmente importantes para a direção da acomodação de uma nova idéia: anomalias, analogias, idéias explicativas, visão geral sobre o caráter do conhecimento, visões metafísicas sobre a ciência como um todo e sobre conceitos científicos em particular, conhecimentos em outras áreas e conceitos em competição (POSNER et al., 1982, p.214-215).

Esses aspectos da ecologia conceitual nem sempre estão explícitos e às vezes são inconscientes. A construção do conhecimento em sala de aula será fortemente influenciada pela presença desses conceitos, visões e crenças, já que o sistema cognitivo é uma totalidade que se conserva nas assimilações e acomodações (PIAGET, 1977, p.37). Dessa forma, qualquer idéia nova que é acomodada pode, potencialmente, modificar toda a estrutura de concepções. No entanto, como "o todo é mais estável que seus componentes" (Idem), a ecologia conceitual tem um forte poder de redefinir o conceito ou a idéia nova em função de crenças e visões anteriores.

Em relação às condições para que a mudança conceitual ocorra, POSNER et al. (1982) e também HEWSON (1981) definem quatro condições básicas: a insatisfação com os conceitos existentes, a nova concepção se mostrar inteligível, a nova concepção se mostrar plausível e a nova concepção se mostrar frutífera. Os autores consideram que, quando um aluno depara com uma nova concepção, podem ocorrer duas possibilidades: a nova concepção pode ser incorporada às já existentes sem exigir modificação muito profunda. Neste caso, ela já aparecerá inicialmente como plausível. A outra possibilidade é de que a nova concepção seja contraditória em relação às anteriores. Desta forma, mesmo que a nova concepção se mostre inteligível para o aprendiz, ela não aparecerá como plausível, uma vez que "concepções conflituosas não podem ser, simultaneamente, plausíveis para uma pessoa" (HEWSON & THORLEY, 1989, p.543). O primeiro processo é chamado de *assimilação*, por Posner, e de *captura conceitual*, por Hewson. O segundo, de *acomodação* e *troca conceitual*, respectivamente. Posner parece considerar que a mudança conceitual se refere apenas ao segundo processo, enquanto que Hewson vê todos os dois processos como de natureza semelhante e, portanto, como mudança conceitual.

Num artigo mais recente, HEWSON & THORLEY (1989) realizam uma meta-análise do modelo e uma pequena revisão das críticas a ele dirigidas. Os autores consideram que a questão central da mudança conceitual é a mudança no status de concepções conflitantes durante o processo de acomodação. O status de uma concepção, para um determinado indivíduo, é definido como "a extensão pela qual a concepção incorpora as

três condições (ser inteligível, plausível e frutífera). Expresso nesses termos, o modelo de mudança conceitual está relacionado à diminuição ou aumento do status das concepções." (HEWSON & THORLEY, 1989, p.542) No processo de acomodação, entendido como o processo no qual a contradição entre a nova idéia e as já existentes é superada, deve haver a diminuição do status da concepção prévia do aprendiz e o aumento do status da nova idéia. Ambas as concepções podem coexistir na mente do aprendiz durante o processo, mas a tendência é de se resolver a contradição através da integração da velha idéia na nova.

Esse modelo de mudança conceitual tem gerado um grande número de diferentes estratégias de ensino. Apesar dessa variedade, é possível identificar características comuns compartilhadas por diferentes abordagens, o que resulta no uso de estratégias similares para promover a mudança conceitual (SCOTT, ASOKO & DRIVER, 1991). A seguir, serão trabalhadas as principais características de dois grupos de estratégias, que diferenciamos pelo critério de explicitarem (ou não) as idéias prévias dos alunos no processo de ensino.

ESTRATÉGIAS DE ENSINO BASEADAS NA EXPLICITAÇÃO DE IDÉIAS E SUAS RELAÇÕES COM A TEORIA PIAGETIANA DA EQUILIBRAÇÃO

Existe um grande número de trabalhos que se baseiam na explicitação das idéias prévias dos alunos e na sua problematização frente às experiências ou a outras idéias, de modo a

garantir a construção de conceitos científicos e a superação de concepções inadequadas do ponto de vista científico. Além disso, nesse tipo de estratégia o aluno tem que tomar consciência de sua própria aprendizagem e saber como avaliá-la, pois vai ter que tomar decisões sobre que concepções lhe parecem mais plausíveis, e quais deverá abandonar. Esse último aspecto diz respeito ao que é conhecido na literatura como meta-aprendizagem ou metacognição (ver, por exemplo, WHITE & GUNSTONE, 1989).

A maioria dos autores que optam por explicitar as idéias prévias dos estudantes lançam mão do conflito cognitivo como estratégia para mudança conceitual, se baseando, explícita ou implicitamente, na teoria piagetiana da equilibrização. Piaget postula que o desenvolvimento do conhecimento se dá por aproximações sucessivas do sujeito ao objeto. Neste processo, o conhecimento exterior vai sendo substituído por reconstruções endógenas do sujeito, que atribui suas próprias operações aos objetos. A questão central da epistemologia piagetiana é determinar como o sujeito constrói seu conhecimento, como melhora suas noções, passando de um estágio inferior a um estágio superior de conhecimento. Esta também tem sido a questão central do programa de pesquisa em ensino construtivista, como se passa de um conhecimento incompleto e parcial ao conhecimento científico.

O conceito de adaptação como o resultado do equilíbrio entre assimilação e acomodação é central na teoria da equilibrização. A adaptação é parte das invariantes funcionais do sistema cognitivo do indivíduo. Desde o nascimento, a criança se utiliza desses mecanismos funcionais. Já nos primórdios da vida, nos quais a inteligência é essencialmente sensorio-motora,

o pensamento da criança passa de um estado em que a acomodação ao meio é indiferenciada da assimilação das coisas aos esquemas do sujeito, para um estado em que a acomodação de esquemas diversos se tornou distinta de sua assimilação recíproca (PIAGET, 1970). Esse aspecto funcional, que permeia praticamente inalterado por toda a vida, leva à construção de estruturas de conhecimento cada vez mais complexas.

Piaget define assimilação como "incorporação de um elemento exterior (objeto, acontecimento etc.) num esquema sensorio-motor ou conceitual do sujeito" (PIAGET, 1977, p.16). Já a acomodação é definida como a necessidade do esquema de assimilação em considerar as particularidades próprias dos elementos a assimilar (ibidem, p.17). Esses mecanismos são sólidos. Todo esquema de assimilação tende a alimentar-se, ou seja, a incorporar elementos exteriores a ele, que são compatíveis com sua natureza. Por outro lado, todo esquema de assimilação é forçado a acomodar-se aos elementos que assimila, o que significa que deve modificar-se em função das particularidades desses elementos (PIAGET, 1977, p.18).

Ainda que possa ocorrer assimilação sem acomodação, quando a situação é a mesma ou a tarefa consiste em compreender coisas já conhecidas e imediatamente assimiláveis, a recíproca não é verdadeira. Uma acomodação é, necessariamente, a acomodação de um esquema de assimilação (INHELDER, GARCIA & VONECHE, 1976). Isso significa que a acomodação é subordinada à assimilação, ou seja, não há informação pura. Toda informação nova tem que carregar algo de redundante para que um sujeito dirija seus esquemas aos objetos e lhes forneça sentido. Essa relação entre assimilação e acomodação

explica um dos princípios básicos do paradigma de ensino-aprendizagem construtivista, a que nos referimos no princípio do trabalho: as idéias prévias do estudante são fundamentais ao processo de ensino-aprendizagem, já que só se aprende a partir do que já se sabe. Numa perspectiva piagetiana, isso seria o mesmo que dizer que a acomodação de uma idéia nova envolve a modificação dos esquemas de assimilação anteriores que o sujeito dispunha para tentar assimilar a novidade.

O processo pelo qual o indivíduo constrói conhecimento é chamado de equilibrção. De acordo com Piaget, o processo de equilibrção é desencadeado quando o sistema cognitivo individual reconhece uma perturbação, que pode ser gerada por conflitos ou lacunas. "A lacuna passa a ser uma perturbação quando se trata da ausência de um objeto ou das condições de uma situação que seriam necessárias para realizar uma ação, ou, ainda, da carência de um conhecimento indispensável para se resolver um problema." (PIAGET, 1977, p.32) As lacunas são, nesse sentido, relacionadas a esquemas de assimilação já ativados. O outro tipo de perturbação inclui aquelas "que se opõem às acomodações: resistências do objeto, obstáculos às assimilações recíprocas de esquemas ou subsistemas etc. Em suma, estas perturbações são causas de insucessos e erros, na medida em que o sujeito delas se apercebe, e as regulações que lhes correspondem compreendem então *feedback* negativos." (PIAGET, 1977, p.32)

O sistema se reequilibra por um processo de construção compensatória que pode levar a um equilíbrio melhor que o anterior. Essa reequilibrção majorante é diferente da restauração de um equilíbrio físico-químico, onde, segundo o princípio

de Le Chatelier, o sistema reage às perturbações neutralizando-as. Numa reequilibrção cognitiva, podem até ocorrer construções compensatórias desse tipo, mas elas conduzem a um equilíbrio instável. O aumento de conhecimento só é efetivo quando o sistema cognitivo absorve as perturbações, atingindo um novo estado de equilíbrio diferente e superior ao anterior, uma vez que incorporou a perturbação como algo dedutível ou previsível (MORTIMER, 1992).

Um exemplo pode nos ajudar a entender melhor as diferenças entre lacunas e conflitos. Podemos imaginar uma situação em que o aluno seja levado a prever a temperatura de um bloco de madeira e de um de alumínio, numa manhã fria. Se o aluno ainda não possui nenhum conceito de equilíbrio térmico e de condutibilidade térmica, sua avaliação pelo tato poderá levá-lo a prever que a temperatura do bloco de alumínio será menor (MORTIMER & AMARAL, 1998). Se após essa resposta pedimos ao aluno que meça a temperatura dos dois blocos, introduzindo um termômetro num orifício existente em cada um deles, ele obterá a mesma leitura para os dois blocos. Evidentemente, o resultado está em contradição com a expectativa do aluno e poderá acionar o processo de equilibrção no seu sistema cognitivo. Esse é um exemplo de perturbação conflitiva, em que uma previsão foi desmentida por um fato exterior.

No entanto, se outro aluno já possui a noção de equilíbrio térmico, ele deverá esperar que os blocos estejam numa mesma temperatura, já que se encontram no mesmo ambiente e, portanto, em equilíbrio térmico com esse ambiente. Se o aluno realizar a medida de temperatura, confirmará sua previsão,

baseada no seu conhecimento anterior. Neste caso, o que pode perturbar o sistema cognitivo do aluno não é um desmentido à sua previsão anterior, mas o fato de que ele não consegue relacionar a sensação de quente e frio com a temperatura. Falta-lhe a noção de calor específico, que explica por que o alumínio parece mais frio ao tato. Por apresentar um valor menor para o calor específico, a temperatura do alumínio se modifica mais rapidamente do que a da madeira, o que provoca a sensação de que o metal está mais frio do que a madeira. Aqui, a perturbação tem origem numa lacuna do pensamento do aluno, que deverá ser completada para resolver a contradição.

A presença desses dois tipos de perturbação num mesmo exemplo ilustra a necessidade de considerá-los da mesma forma nas estratégias de ensino. No caso dos conflitos são necessários correções e ajustes de idéias. Os conhecimentos a serem aprendidos podem entrar em conflito com idéias preexistentes, já no caso das lacunas são necessários reforços e/ou a introdução de conhecimentos novos que, no entanto, não entrarão em conflito com os já disponíveis.

É evidente que uma estratégia de ensino baseada em perturbações só será efetiva se o desequilíbrio criado levar a uma acomodação da idéia perturbadora. A criação de conflitos, por si só, é insuficiente para promover uma mudança conceitual. Isso é reconhecido pela maioria dos autores que trabalham nesta perspectiva. Driver & Easley, por exemplo, comentam que "contra-exemplos e conflitos não encorajavam, por si sós e, uma mudança no pensamento das crianças, e às vezes produziam unicamente confusão" (DRIVER & EASLEY, 1978).

Para que a perturbação leve o estudante a um progresso no seu conhecimento é necessária uma construção compensatória, em que as lacunas sejam preenchidas por reforços e os conflitos corrigidos. Piaget identifica três fases dessa construção compensatória. Na primeira fase, o sujeito procura neutralizar a perturbação seja simplesmente ignorando-a, seja deformando-a para não reconhecê-la como perturbação. A existência desse tipo de compensação não leva a um estado de equilíbrio melhor do que o anterior, pois não modifica as idéias do indivíduo. Isso explica, por exemplo, a dificuldade de lidar-se com estratégias de ensino baseadas no conflito. Os alunos podem simplesmente deformar o observável ou ignorar o conflito introduzido pelo professor. No exemplo já citado, da confusão entre temperatura e sensação de quente e frio, o aluno poderia deformar o observável e "ler" uma temperatura mais baixa para o metal: "É só um pouquinho, mas é menor." Poderia também atribuir a anomalia a um defeito no termômetro, "que não baixa além dessa temperatura".

Essa primeira fase da construção compensatória pode evoluir para uma segunda, em que o expediente de neutralizar a perturbação dá lugar à tentativa de integrá-la, criando teorias específicas para explicá-la ou mudando um pouco a explicação inicial, a fim de incorporá-la. Nesta fase, a idéia antiga pode conviver com a nova, e essa aparente contradição não traz problemas ao indivíduo. No exemplo citado, poderia ser criada uma teoria de que "o metal parece mais frio porque sua superfície é lisa", ou "a superfície do metal reflete o calor, por isso fica mais frio na superfície, mas não no seu interior, onde foi colocado o termômetro". Neste tipo de compensação, a

explicação anterior foi modificada, ou passou a conviver com uma outra diferente. De qualquer maneira, ao contrário do que ocorre na primeira fase, a perturbação é reconhecida e integrada na explicação, mesmo que através de uma estratégia de mínimo custo e máximo ganho.

A reorganização de idéias iniciada na segunda fase se completará quando a perturbação for totalmente eliminada enquanto tal e passar a ser vista como uma possibilidade e não como um distúrbio. Neste caso, o sistema explicativo é capaz de antecipar, por previsão ou dedução, as variações possíveis, que deixam de ser perturbadoras (PIAGET, 1977, p.90). No exemplo considerado, a aparente contradição entre temperatura e sensação de quente e frio para os dois blocos deixa de existir a partir do momento em que se adquirem, de maneira articulada, os conceitos de equilíbrio térmico e de calor específico. O primeiro nos leva a esperar pela mesma temperatura, já que os dois blocos estão no mesmo ambiente; o segundo, pela diferença na sensação, já que o metal tem um calor específico mais baixo e atinge a temperatura do nosso corpo mais rapidamente. A perturbação deixa de existir enquanto tal e se transforma numa variação possível desse sistema conceitual.

Numa estratégia de ensino, busca-se sair das fases iniciais e atingir a terceira fase. Se o aluno permanecer na primeira fase, qualquer tentativa de progresso é infrutífera. Se ele admite a perturbação, pode ser iniciado um processo que leve a um sistema estável de conceitos que consiga prever e deduzir variações possíveis.

Essa visão nos dá uma explicação bastante plausível das dificuldades encontradas nas tentativas de se promover a

mudança conceitual, ao mesmo tempo em que nos fornece um parâmetro bastante razoável para a avaliação de sua ocorrência. Parece-me que este é um aspecto importante nesse tipo de pesquisa. A ocorrência da mudança é normalmente avaliada através de pós-testes e testes de retenção, nos quais, por comparação com os resultados obtidos no pré-teste, tem-se um parâmetro para afirmar a extensão em que a mudança ocorreu e, ao mesmo tempo, indicar se ela é duradoura ou não. Há problemas evidentes nesta estratégia. Qual o tempo necessário de atraso para se afirmar que ocorreu a retenção? Como garantir que o aluno tenha abandonado suas idéias anteriores?

Usando a idéia de fases de construção compensatória, pode-se tentar avaliar a ocorrência do aprendizado pela escolha, no pós-teste, de problemas familiares e não-familiares. Pode-se ter três tipos de problemas: idênticos aos anteriores, semelhantes e diferentes. Esses últimos deverão conter fatos potencialmente perturbadores, de modo que se possa verificar se a construção compensatória se completou e se o aluno realmente adquiriu um sistema estável de conceitos.

Há, ainda, outro aspecto da teoria da equilíbrio que está bastante relacionado às estratégias de ensino baseadas em conflito cognitivo. Piaget afirma a existência de três formas de equilíbrio. A primeira delas ocorre entre a assimilação dos objetos aos esquemas dos sujeitos e a acomodação destes esquemas aos objetos. A segunda pode ocorrer entre esquemas ou entre subsistemas, numa assimilação-acomodação recíproca entre diferentes esquemas que se referem aos mesmos objetos ou eventos. A terceira é a equilíbrio entre diferentes

subsistemas e uma totalidade que os engloba, através de um processo de integração-diferenciação. Neste caso, a integração no todo é um caso de assimilação, e a diferenciação exige acomodações (PIAGET, 1977, p.21).

Um exemplo pode nos ajudar a entender melhor a questão. Quando um aluno é colocado frente ao problema de prever a flutuação, ou não, de objetos num líquido como a água, ele pode evocar diversos esquemas para tentar resolvê-lo. Muitos alunos se fixam em um único atributo do objeto, normalmente o que mais salta à vista. A afirmativa de que objetos leves flutuam e os pesados afundam é um desses tipos de previsão, baseado num único esquema ou atributo: o peso do objeto. Outros alunos se fixam no tamanho, outros ainda na forma ou mesmo na quantidade de água do recipiente. Todos eles fracassarão em algumas de suas previsões. Aqueles que previram que objetos pesados e/ou grandes afundariam se decepcionarão ao ver um grande bloco de madeira flutuar. Os que achavam que objetos chatos flutuariam decepcionar-se-ão ao ver uma placa de metal ir ao fundo. Os que se mostraram convencidos de que determinado objeto que afundou na bacia da prova flutuaria na piscina terão que aguardar o fim de semana, mas também os aguarda a decepção.

Não se trata de um problema que se resolve pela equilibrção entre a assimilação dos objetos a um único esquema. O problema depende da assimilação recíproca desses vários esquemas — massa, volume, forma e material. De como cada um deles influencia, em conjunto com os outros, o problema em questão. Mas o problema só fica inteiramente resolvido se esses esquemas forem integrados numa totalidade

que permita diferenciar a influência de cada um em particular, e ao mesmo tempo articulá-los. Essa "totalidade" se chama densidade. Uma vez consumada essa integração-diferenciação de massa, volume, material e forma na totalidade-densidade, o problema da flutuação se torna trivial.

Objetos feitos de materiais mais densos que a água podem nela flutuar, desde que tenham uma forma tal que aumente seu volume e esse volume passe a ser ocupado pelo ar, cuja massa é desprezível. É o caso dos navios. Para se chegar a uma afirmação desse tipo é necessário percorrer um caminho de equilibrções recíprocas entre massa, volume, forma e material, e de integração-diferenciação entre esses esquemas e o conceito totalizador de densidade.

Esses processos são, no entanto, dinâmicos, e assim que o conceito de densidade seja construído em relação aos seus esquemas formadores, ele está apto a se transformar num simples atributo, um relés esquema. Nas mãos de um mineralogista, a densidade é um desses esquemas que se usa com naturalidade para lidar com minerais que resistem à identificação por outras vias. Neste caso, ela passou a ser um subsistema relacionado a outros, numa nova totalidade chamada "propriedades específicas dos materiais".

Essa dinâmica não tem fim, e nas mãos desse sistema de conhecimento poderoso que é a mente humana, totalidades estão sempre em vias de se tornarem simples esquemas. Essas mudanças de plano são essenciais ao desenvolvimento do conhecimento. Esse exemplo ilustra a dinâmica dessas categorias piagetianas e sua utilidade para equacionar problemas reais de

ensino. Esse fato explica a grande influência dessas idéias no ensino construtivista.

STAVY & BERKOVITZ (1980) identificam dois tipos de conflitos em estratégias de ensino, cuja relação com as diferentes formas de equilibrar a teoria piagetiana é evidente: o primeiro é entre a concepção da criança sobre a realidade física e a realidade em si (um tipo de conflito sujeito-objeto); o segundo é entre duas estruturas cognitivas diferentes que estão relacionadas à mesma realidade física (um tipo de conflito na assimilação-acomodação recíproca de esquemas ou subsistemas).

NUSBAUM & NOVICK (1982) lidaram com o primeiro tipo de conflito, sugerindo uma estratégia de ensino cujo principal componente é o conflito cognitivo entre as idéias dos estudantes e os eventos discrepantes. No entanto, há muitos exemplos na literatura que ilustram as dificuldades em se encontrar experimentos críticos e eventos discrepantes, que poderiam causar insatisfação com as idéias existentes. Para "ver" anomalias e contra-exemplos, alguém precisa já possuir a nova teoria que possibilita a percepção dos fatos como tal. Esta posição é claramente explicitada, em termos filosóficos e históricos, por LAKATOS (1970). O autor sugere que um experimento é visto como crucial apenas retrospectivamente:

As elipses de Kepler foram admitidas como evidência crucial a favor de Newton e contra Descartes aproximadamente 100 anos depois das alegações de Newton. O comportamento anômalo do perélio de Mercúrio era conhecido por décadas como uma das muitas dificuldades não resolvidas no programa newtoniano; o simples fato da teoria de Einstein tê-lo explicado melhor transformou uma anomalia qualquer numa brilhante refutação do programa de pesquisa newtoniano. (LAKATOS, 1970, p.158)

Alguns autores levam este tipo de dificuldade em consideração ao desenvolverem estratégias de ensino. ROWELL & DAWSON (1984) apontam para a ineficácia de se usar uma estratégia de conflito no início de uma sequência didática, baseados na idéia de que uma teoria só é substituída após outra melhor ter sido construída. Os autores optam, então, por construir uma melhor teoria primeiro e só então a contrapõem às idéias dos estudantes. Essa estratégia é um exemplo do segundo tipo de conflito apontado por STAVY & BERKOVITZ (1980).

De maneira semelhante, SCOTT (1992) mostra que as explicações dos estudantes para alguns fenômenos relacionados à pressão atmosférica não auxiliam na construção desta idéia científica. Os estudantes, por exemplo, explicam o colapso da embalagem do refresco, à medida que ele é sugado, tendo por base a idéia de vácuo e a ação humana de sugar. Essas idéias não auxiliam a construção de uma explicação baseada nas diferenças entre as pressões internas e externas. Scott também sugere a construção da nova explicação em primeiro lugar, de forma independente das idéias prévias.

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 equilibrarção. 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 baseadas 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 equilíbrio da 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 & MERCER, 1987) e não passa para o plano superior dos princípios, das explicações. Em função disso, 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 equilíbrio e auxiliar os estudantes a superarem suas dificuldades em generalizar.

Outro tipo de problema, neste primeiro grupo de atividades, 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, onde 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. Como já tivemos oportunidade de ressaltar, isso poderia ser explicado pelas diferentes fases da construção compensatória na teoria piagetiana, uma vez que a existência

de uma perturbação em potencial não significa, necessariamente, a superação da idéia inicial. Os alunos poderiam não reconhecer a perturbação enquanto tal, e suas idéias permaneceriam inalteradas. Mesmo quando a reconhecessem, poderiam criar hipóteses ad hoc para adaptar a velha idéia à perturbação.

ESTRATÉGIAS QUE USAM ANALOGIAS E EVITAM EXPLICITAR AS IDÉIAS DOS ALUNOS

O outro grupo de estratégias de ensino pode ser caracterizado por evitar a explicitação das idéias dos estudantes no processo de ensino. Ele compartilha a mesma visão de ensino-aprendizagem construtivista, mas sugere que "um modelo construtivista de aprendizagem não tem como consequência lógica um modelo construtivista de instrução" (MILLAR, 1989, p.589). Segundo esse modelo de instrução, alvo da crítica de Millar, a aprendizagem é um produto da interação entre concepções preexistentes e novas experiências. As estratégias de ensino baseadas nesse modelo definiriam como passos de um processo de instrução: o ato de explicitar as idéias prévias; o de clareá-las, através de trocas e discussões em grupos; a exposição dessas idéias a situações de conflito e a construção de novas idéias; e, finalmente, a revisão do progresso no entendimento, através da comparação entre as idéias prévias e as recém-construídas (MILLAR, 1989, p.588-589).

Millar destaca que esse processo de explicitar, clarificar e construir novas idéias é interno, ou seja, tem lugar na mente do aprendiz e acontece sempre que ocorre um novo aprendizado,

independente da forma de instrução. O sucesso de um professor construtivista, na visão do autor, pode estar relacionado muito mais ao uso de um método ativo de aprendizagem do que à transformação desse modelo construtivista de aprendizagem em modelo de instrução. O autor aponta as dificuldades evidentes de se implantar tais modelos de instrução em larga escala, relacionadas ao maior consumo do tempo para o ensino de cada conceito e às dificuldades enfrentadas pela exigência de mudança no estilo de ensinar. O autor conclui, então, que o estabelecimento de analogias entre o que é conhecido e o que se quer ensinar pode ser muito mais produtivo como método de instrução. "Promover uma mudança conceitual pode, então, envolver a exposição da criança a um novo e mais produtivo paradigma, na esperança de que isso possa vir a ser internalizado e usado como um modelo para interpretar novas situações encontradas no futuro." (MILLAR, 1989, p.594)

STAVY (1991) acredita que haja uma profunda diferença entre as estratégias de ensino por conflito e aquelas por analogia. Nestas últimas, os estudantes não expressam suas idéias alternativas explicitamente; não precisam ficar conscientes do conflito ou do processo de ensino. Eles são informados apenas sobre a similaridade das tarefas.

Do ponto de vista do estudante, não há conceito errado, e nenhuma aprendizagem ocorre, pois ele, intuitivamente, entende as situações análogas. Assim, não há risco de os estudantes perderem sua autoconfiança ou optarem por idéias erradas. Do ponto de vista do professor, não há necessidade de treinamento específico. O processo de aprendizagem decorre da escolha de uma situação ou exemplo inicial apropriado

(STAVY, 1991, p.311-312). Stavy baseia seu trabalho na idéia de construir analogias que sirvam como pontes entre intuições corretas dos alunos e situações análogas a serem aprendidas. Essa idéia de *bridging analogies* foi usada anteriormente por CLEMENT (1987). Essas intuições corretas são chamadas de "exemplos âncora". Segundo STAVY (1991), o estudante pode possuir, em relação a determinado conceito, sistemas de conhecimento em competição. O que se mostrar mais forte, em dado momento, pode dominar todos os outros. Se esse sistema for inadequado, o estudante terá generalizado uma concepção errada. Do contrário, terá superado suas concepções errôneas. Essa generalização é feita com base em analogias, onde se reconhece a similaridade entre diferentes situações e se transfere as conclusões de uma situação para outra.

DUIT (1991) apresenta uma visão mais ampla sobre o conceito de analogia, através da revisão sobre o assunto. O autor define analogia como uma comparação baseada nas estruturas de dois domínios. "Comparações baseadas unicamente em algumas similaridades superficiais não são vistas como analogias neste estudo." (DUIT, 1991, p.666) Há uma evidente preocupação em distinguir analogias baseadas em relações estruturais daquelas que se valem unicamente de similaridades superficiais. No exemplo de Stavy, a analogia a ser estabelecida é entre relações estruturais (a conservação de massa nos dois sistemas). No entanto, parece-me que o apelo excessivo a aspectos perceptivos de sistemas físicos e químicos pode reforçar a tendência a analogias superficiais, usada como procedimento corriqueiro pelos alunos. Claparède, por exemplo, afirma que

o pensamento por analogia, que supõe a verificação de semelhanças entre objetos ou entre sentimentos por eles suscitados, é a mais primitiva das formas de pensamento; conduz, na maioria dos casos, a erros, provenientes de não se perceberem diferenças que seria necessário levar em conta. (CLAPARÈDE, 1950)

HESSE & ANDERSON (1992), por exemplo, detectaram que a analogia é a idéia mais elementar usada por estudantes para explicar reações químicas. Os estudantes não só usam analogias como também as avaliam como próximas das explicações químicas, diferindo unicamente pela ausência de vocabulário técnico.

DUIT (1991) está atento a essas limitações e não propõe a analogia como uma alternativa às estratégias de ensino por explicitação de idéias, como o fazem MILLAR (1989) e STAVY (1991). Há vários resultados ambíguos em relação ao uso de analogias no ensino de Ciências. Duit relata estudos que apontam problemas no uso de analogias, principalmente porque os estudantes não percebem a similaridade entre os domínios análogos, ou se prendem a aspectos superficiais que conduzem à generalização de concepções inadequadas. No entanto, o autor conclui que a analogia é uma ferramenta valiosa na aprendizagem por mudança conceitual e que abre novas perspectivas.

O uso de analogias não é exclusivo do grupo de estratégias que tenta evitar a explicitação das idéias dos estudantes, estando presente também em trabalhos pertencentes ao outro grupo. ROWELL (1989), por exemplo, na sua proposta de retardar o conflito, mostra que uma das etapas do processo de ensino é aquela em que a nova idéia é ensinada ligando-a, se possível, a idéias básicas que o estudante já possui, o que

também tem que ser feito por analogia entre novas e velhas idéias. Posner et al. também argumentam que analogias e metáforas são úteis para tornar novas idéias inteligíveis (POSNER et al., 1982).

Num trabalho sobre a construção de modelos de explicação atomista, como o nosso, temos que estar atentos às dificuldades relativas ao uso de analogias. Há que se considerar que um modelo atomista é algo abstrato que não está no mesmo plano dos fenômenos e que, portanto, pressupõe a criação de um esquema explicativo novo. Além disso, um modelo atomista é uma estrutura que ultrapassa a dimensão observável, criando entidades novas que são atribuídas à realidade. Talvez aí resida a principal dificuldade para sua aprendizagem. Claparède nos ensina que "a consciência da diferença aparece mais fácil, mais cedo que a da semelhança" (CLAPARÈDE, 1950, p.258). Tentar entender como se ensina algo que se conserva, escondido por uma aparente diversidade, é tarefa desafiadora e estimulante, e talvez demande um caminho mais árduo que o simples uso de analogias.

Não se pode negar, todavia, que as analogias desempenham um papel na construção de um modelo novo que ultrapassa a dimensão do observável. A concordância com o paradigma piagetiano, de que não há acomodação sem assimilação, de que a informação pura é impossível, de que toda novidade deve carregar algo de redundante, nos obriga a reconhecer que a analogia desempenha papel importante na construção de um conhecimento novo. À semelhança de ROWELL (1989), acreditamos que só é possível ensinar novas idéias ligando-as aos conhecimentos que o estudante já tem. A analogia é uma das vias que o professor utiliza para introduzir esse algo novo e isso ficará evidente nos dados de sala de aula que analisaremos.

A analogia é um tipo de pensamento usado tanto pelo senso comum como pela ciência. Um dos primeiros recursos que a ciência utiliza para dar sentido a fenômenos e objetos novos é a analogia. A área de física de partículas, por exemplo, está povoada por propriedades das partículas definidas por analogia, como "cor", "sabor" etc. Só que, à medida que a ciência avança, ela tende a sofisticar as analogias e mesmo a suprimi-las. Por isso, não concordamos que o uso de analogias possa suprimir a explicitação e discussão de idéias prévias e alternativas em sala de aula, mesmo que o custo desse processo possa ser maior em termos de tempo e necessidade de preparação do professor. O problema de se usar a analogia, como alternativa à explicitação de idéias prévias, na crença de que esse processo levará à superação de pré-concepções, é que estaremos usando as mesmas armas do inimigo que se quer derrotar. É importante usar armas mais avançadas, que ajudem o aluno a derrotar os obstáculos que impedem a construção de novas idéias e, ao mesmo tempo, sejam úteis em lutas futuras. O processo de explicitação de idéias em sala de aula, mais do que possibilitar um aprendizado de conteúdos científicos, dá aos estudantes uma arma fundamental para enfrentar a ciência e a vida: a crítica.

CRITICANDO ALGUNS PRESSUPOSTOS PSICOLÓGICOS E FILOSÓFICOS DAS ESTRATÉGIAS APRESENTADAS

As estratégias de ensino-aprendizagem descritas parecem ter, explícita ou implicitamente, uma expectativa comum em relação às idéias prévias dos estudantes: elas deverão ser abandonadas e/ou subsumidas no processo de ensino. Nas

estratégias que usam o conflito cognitivo, esse destino das idéias dos estudantes é o resultado da superação da contradição, tanto entre idéias e eventos discrepantes como entre idéias conflitantes que se referem a um mesmo conjunto de evidências. Nas estratégias baseadas em analogias, é o resultado de as idéias iniciais serem integradas e subsumidas numa idéia mais poderosa.

Esta expectativa tem sua origem numa visão construtivista de aprendizagem como um "processo adaptativo no qual os esquemas conceituais dos aprendizes são progressivamente reconstruídos de maneira a concordarem com um conjunto de experiências e idéias cada vez mais amplo" (DRIVER, 1989, p.482). De acordo com esse tipo de visão, "concepções conflitantes não podem ser simultaneamente plausíveis para uma pessoa" (HEWSON & THORLEY, 1989, p.543). Essas visões também têm raízes na epistemologia piagetiana e se baseiam na idéia de que o desenvolvimento do conhecimento leva à construção de estruturas conceituais cada vez mais poderosas.

Nessa visão, é possível reconhecer a gênese de qualquer idéia, ligando seus estágios mais avançados aos mais elementares. Fodor resume esse princípio da teoria piagetiana do seguinte modo:

Uma criança em desenvolvimento constitui uma série de lógicas tais que cada lógica contém literalmente a precedente, sendo a relação "contém" assimétrica. As lógicas tornam-se cada vez mais fortes, no sentido em que cada lógica ulterior contém a lógica anterior como uma de suas partes. (FODOR, 1983, p.190)

Piaget concorda com essa caracterização ao comentar que "o que é perfeitamente exato é a idéia de que toda a estrutura se converte em subconjunto de uma estrutura mais rica" (comentário de Piaget à intervenção de Fodor, em PIATELLI-PALMARINI, 1983, p.193). Como consequência, não está claro, na teoria piagetiana, o lugar das idéias de senso comum. Poderíamos concluir, por exemplo, que os cientistas não as usariam, uma vez que, como sujeitos lógico-formais, as teriam superado, incorporando-as em idéias mais racionais?

No entanto, essa característica do sujeito epistêmico piagetiano parece não prevalecer na vida cotidiana. Uma pessoa com formação científica poderia rir da ingenuidade do pensamento infantil, capaz de inventar a entidade frio em contraposição ao calor, e de distinguir duas formas de "energia" que podem fluir de um corpo ao outro: o calor e o frio (ERICKSON, 1985). No entanto, no seu cotidiano, essa pessoa continuará a usar esses conceitos de uma forma muito natural. Mesmo porque soaria pedante alguém afirmar que "vestiu uma blusa de lã porque ela é um bom isolante térmico, impedindo que o corpo ceda calor para o ambiente". Ora, nós vestimos lã porque ela é quente e nós estamos com frio. Não há aí nenhum vestígio de concepções ingênuas, mas o uso da palavra calor num sentido de senso comum que a nossa cultura consagrou. Essa maneira de ver o mundo está largamente incorporada como uma característica da cultura. Uma pessoa poderia adquirir a capacidade de distinguir essa maneira cotidiana de ver o mundo de maneiras mais sofisticadas. Suprimir essas "concepções alternativas", no entanto, significaria suprimir o pensamento de senso comum e seu modo de expressão, a

linguagem cotidiana. Uma expectativa irreal e inútil. A linguagem cotidiana é o modo mais abrangente de se compartilhar significados e permite a comunicação entre os vários grupos especializados dentro de uma mesma língua. Suprimi-la seria instaurar uma babel, impedindo que diferentes grupos pudessem compartilhar de significados numa mesma cultura.

FRANCO & COLINVAUX-DE-DOMINGUEZ (1992), ao comentarem a obra síntese de Piaget e Garcia, *Psicogênese e História da Ciência*, detectam a falta de uma diferenciação mais clara entre conhecimento de senso comum e conhecimento científico na epistemologia piagetiana. Para Piaget e Garcia,

o conhecimento científico não é uma categoria nova, fundamentalmente diferente e heterogênea em relação às normas do pensamento pré-científico (-). As normas científicas situam-se no prolongamento das normas de pensamento e de práticas anteriores, mas incorporando aí duas exigências novas: a coerência interna (do sistema total) e a verificação experimental (para as ciências não dedutivas). (PIAGET & GARCIA, 1987, p.37)

FRANCO & COLINVAUX-DE-DOMINGUEZ (1992) comentam que esse não é um critério convincente para a diferença entre pensamento de senso comum e científico, uma vez que a coerência interna do sistema total é uma característica da ciência consolidada e não um aspecto distintivo do processo de fazer ciência. Muitas vezes, essa coerência interna é obtida por postulados *ad hoc*, como, por exemplo, o postulado da não-emissão no modelo atômico de Bohr. Os autores apontam, ainda, que isso estaria em contradição com a própria visão expressa por Piaget e Garcia em outro momento da mesma

obra, segundo a qual o desequilíbrio associado à falta de coerência interna no sistema total é um dos fatores de crescimento do conhecimento em ciência e em psicogênese.

Como consequência dessa visão de gênese e continuidade entre o pensamento de senso comum e pensamento científico e entre diferentes fases do saber científico, não está claro o papel das rupturas e dos obstáculos epistemológicos na teoria piagetiana. Apesar de os autores reconhecerem a noção de obstáculo epistemológico e considerarem que "há um tipo de 'ruptura' cada vez que se passa de um estado de conhecimento a outro, tanto na ciência como na psicogênese" (PIAGET & GARCIA, 1987, p.234), o mecenismo de equilíbrio não tem espaço para essas rupturas. Piaget prevê dois tipos de majoração para o seu sistema, o primeiro resultante de "um alargamento do campo do sistema, na sua extensão", e o segundo que leva a diferenciações em compreensão e não apenas em extensão: "o seu resultado, de fato, é os elementos inicialmente inassimiláveis se tornarem depois constitutivos de um novo subsistema, ou subclasse, do esquema primeiramente inoperante" (PIAGET, 1977, p.47). Dessa maneira, Piaget define a tendência ao desenvolvimento de estruturas cognitivas contínuas entre si, pois não são previstas rupturas e descontinuidades em seu sistema, uma vez que esse sempre tende a se alargar, seja em extensão ou em compreensão. Segundo Piaget,

cada esquema de assimilação compreende uma certa capacidade de acomodações, mas dentro de certos limites, que são os da não ruptura do ciclo de que esse esquema é formado, e a esse respeito é lícito falar de uma "norma de acomodações" (...). Em contrapartida, há um segundo

fator mais acessível: o número dos esquemas elementares ou dos subsistemas (esquemas ligados) já constituídos no sistema total, porque quanto maior é este número mais se amplia a norma de acomodações do esquema considerado. (PIAGET, 1977, p.49-50)

Ao lado dessa base psicológica, várias estratégias de ensino têm ainda uma base filosófica, relacionada à transposição para o processo de ensino-aprendizagem de conceitos desenvolvidos para análise de processos históricos que ocorreram na ciência. O modelo de maior influência nas estratégias para mudança conceitual é aquele que descreve o desenvolvimento científico como alternância de períodos de ciência normal e revolução científica (KUHN, 1962). A rota kuhniana do modelo de mudança conceitual, por exemplo, é explícita. POSNER et al. (1982, p.215) justificam a escolha da teoria especial da relatividade de Einstein como tópico a ser analisado pelo fato de ele ser comumente visto como o protótipo de uma revolução científica.

Os problemas dessa visão estão relacionados não só à forma como se dá a transposição de um modelo filosófico para a situação de ensino-aprendizagem, mas ao próprio modelo que é transposto. O novo campo das ciências físicas, que lida com fenômenos complexos, como sistemas auto-organizadores, sistemas caóticos etc., teria nascido em consequência de uma crise em teorias bem estabelecidas como, por exemplo, a mecânica quântica? Este novo campo teve que superar alguma tradição bem estabelecida para emergir? Parece não haver respostas positivas para essas questões. A chamada física dos sistemas complexos nasceu mais como o resultado de se voltar

a atenção para alguns sistemas que, por sua complexidade, eram impossíveis de serem estudados antes de os computadores tornarem-se parte do cotidiano dos laboratórios. Estes possibilitam o estudo de sistemas complexos ao facilitarem o uso de simulações e de soluções numéricas de equações não-lineares (DAVID, 1989). Esse novo campo nasceu, portanto, como um desenvolvimento paralelo, baseado, certamente, em novo paradigma, mas que não teve que derrotar seus antecessores.

A diferença entre os objetos de estudo em cada campo da ciência revela a impossibilidade de se aplicar um modelo geral, independente de contexto, às mudanças conceituais, mesmo àquelas que ocorram dentro de uma mesma tradição científica. Há outros exemplos na história da ciência que demonstram a impropriedade do modelo de revolução científica para descrever qualquer mudança científica. DEBUS (1978) mostra que é um engano se afirmar que a química teve que esperar mais de 100 anos pela sua "revolução newtoniana". Segundo Debus, isso seria consequência de uma transposição superficial dos modelos de historiografia da física para outras áreas científicas, que tiveram modos diferentes de desenvolvimento. O nascimento da química moderna teria raízes em tradições químicas anteriores, como a iatroquímica, por exemplo.

Além disso, na ciência como um todo, e na química em particular, temos muitos exemplos de aplicações de conceitos já tidos como ultrapassados, mas que são úteis em determinados contextos. Um químico que possua sólida cultura quântica não precisa abandonar totalmente a sua visão daltoniana do átomo, enquanto indestrutível e indivisível. Afinal, os átomos assim permanecem nos processos químicos, e para lidar com a

estequiometria de equações químicas não é necessário mais do que essa visão simplificada do átomo daltoniano.

Mesmo que o modelo de revolução científica pudesse ser aplicado a qualquer mudança conceitual na ciência, a maneira como ele foi transposto para o processo de ensino-aprendizagem desconhece as diferenças profundas entre um processo que ocorre dentro de uma cultura científica e outro, que é justamente um processo de "enculturação". Na aprendizagem de ciências, os estudantes não estão envolvidos com as fronteiras do conhecimento. Aprender ciências está muito mais relacionado a se entrar num mundo que é ontológica e epistemologicamente diferente do mundo cotidiano. Esse processo de "enculturação" pode ocorrer, também, quando se tem que aprender teorias mais avançadas. Aprender mecânica quântica para quem tem uma visão clássica do mundo tem essa mesma característica de um processo de "enculturação".

Os pressupostos psicológicos e filosóficos descritos acima parecem, implícita ou explicitamente, dar suporte teórico à expectativa de que as idéias prévias dos estudantes deverão ser abandonadas e/ou subsumidas no processo de ensino. No entanto, há vários autores que admitem explicitamente a possibilidade de que as idéias prévias dos alunos possam sobreviver ao processo de ensino-aprendizagem, e essa é uma tendência que vem crescendo nos estudos sobre mudança conceitual. Solomon, por exemplo, afirma que "não há meios para se extinguir as noções cotidianas" (SOLOMON, 1983, p.49-50). Por outro lado, CHI (1991) mostra a possibilidade da coexistência de dois sentidos para o mesmo conceito, os quais são acessados em contextos apropriados.

Além disso, alguns autores têm tentado demonstrar a dificuldade dos estudantes em abandonarem suas noções do dia-a-dia. O trabalho de GALLI & BAR (1992), por exemplo, mostra que os mesmos estudantes que tiveram um bom desempenho em problemas familiares sobre força e movimento reverteram a um raciocínio pré-newtoniano de "movimento requer força" em questões que envolvem situações novas e/ou cotidianas. Os autores concluem que "essa 'regressão' a visões ingênuas pelos mesmos sujeitos é uma evidência a mais de que o processo de substituição de crenças ingênuas por novos conhecimentos adquiridos nas aulas de Física é complicado e muitas vezes inconsistente" (GALLI & BAR, 1992, p.78).

De maneira semelhante, SCOTT (1987, 1991), ao estudar o desenvolvimento de idéias sobre a matéria entre alunos da escola secundária, conclui que mudança conceitual não parece um título apropriado para o que se observa no processo.

No lugar de mudança conceitual parece haver um desenvolvimento paralelo das idéias sobre partículas e das idéias já existentes (...). O desenvolvimento paralelo de idéias resulta em explicações alternativas que podem ser empregadas no momento e situação apropriados. Não há mudança conceitual do tipo referido por POSNER et al. (1982) como uma acomodação. (SCOTT, 1987, p.417)

Mais recentemente, tem crescido o número de autores que procuram reformular a teoria de mudança conceitual de modo a admitir a hipótese de que as pessoas podem dispor de diferentes idéias alternativas que seriam ativadas por diferentes contextos. Apoiando-se nos modelos de aprendizagem situada, CARAVITA & HALLDÉN (1994), por exemplo, argumentam a

favor dessa hipótese, afirmando que o funcionamento intelectual deve ser analisado no contexto da demanda social das tarefas. Outros autores postulam que o conhecimento cotidiano não pode ser considerado como simplesmente errôneo, destacando que eles têm valor pragmático e um caráter fenomenológico e adaptativo (CLAXTON, 1984; DISESSA, 1993). A formulação de POZO & GOMEZ CRESPO (1998) para o problema da mudança conceitual, através da hipótese da integração hierárquica, se aproxima bastante do nosso modelo de "mudança de perfis conceituais" (MORTIMER, 1995). Segundo esses autores,

a ativação contextual de teorias alternativas não é incompatível com a necessidade de mudança conceitual entendida como a construção do conhecimento científico a partir do cotidiano. Uma nova teoria só poderá ser compreendida como tal na medida em que se diferencia conceitualmente do modelo anterior. (POZO & GOMEZ CRESPO, 1998)

Essa formulação, como veremos, parece compatível com a idéia da construção de novas zonas do perfil conceitual e da tomada de consciência desse novo perfil (MORTIMER, 1993, 1994 e 1995).

Esses resultados disponíveis na literatura confirmam nossos próprios achados iniciais de que não seria adequado descrever o processo de ensino como uma substituição das idéias prévias dos alunos por idéias científicas. Isso nos impôs a tarefa de buscar um modelo teórico alternativo para analisar a evolução conceitual em sala de aula. Esse modelo deveria admitir a possibilidade de se usar diferentes formas de pensar em diferentes domínios e, ainda, permitir que a construção de uma nova idéia pudesse, em algumas situações, ocorrer independentemente das

idéias prévias e não necessariamente como uma acomodação de estruturas conceituais já existentes. Essas necessidades nos levaram de volta a BACHELARD (1968) e sua noção de perfil epistemológico, com a qual já havíamos trabalhado anteriormente (MORTIMER, 1988). Isso nos ajudou a construir a noção de perfil conceitual, que passaremos a expor, e que acabou por se constituir no nosso principal instrumento de análise da evolução conceitual em sala de aula.

A NOÇÃO DE PERFIL CONCEITUAL COMO ALTERNATIVA PARA A CONSTRUÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE ENSINO E DE ANÁLISE DA EVOLUÇÃO CONCEITUAL

Não se constitui em novidade o fato de que as pessoas possam exibir diferentes formas de ver e representar a realidade à sua volta. Bachelard já havia usado essa idéia em 1940, relacionando ao que ele havia chamado de "noção de perfil epistemológico" (BACHELARD, 1968, 1984). O autor mostrou que uma única doutrina filosófica não é suficiente para descrever todas as diferentes formas de pensar quando se tenta expor e explicar um simples conceito. Segundo Bachelard, um único conceito isolado é suficiente para dispersar as filosofias e mostrar que elas são incompletas por estarem apoiadas num único aspecto, por iluminarem apenas uma das facetas do conceito. "Mas nós estamos agora de posse de uma escala graduada de discussão que nos permite localizar os diferentes pontos em questão na filosofia científica, e prevenir a confusão de argumentos." (BACHELARD, 1968, p.34) Essa "escala graduada" é a noção de perfil epistemológico, voltaremos a ela novamente.

Em primeiro lugar, é conveniente mostrar que Bachelard não está sozinho ao considerar que diferentes formas de ver o mundo podem ser encontradas numa mesma pessoa. Schuttz, por exemplo, fala de um mundo social que não é homogêneo, "mas mostra um estrutura múltipla. Cada uma de suas esferas ou regiões é tanto uma maneira de perceber quanto uma forma de entender a experiência subjetiva dos outros." (SCHUTZ, 1967, p.139) A diferentes realidades, pertencentes a contextos sociais específicos, correspondem diferentes formas de conhecimento. BERGER & LUCKMANN (1967) enfatizam que, entre essas múltiplas realidades, há uma que se apresenta como a realidade por excelência: aquela da vida cotidiana. "Comparadas à realidade da vida cotidiana, outras realidades são províncias finitas de significados." (BERGER & LUCKMANN, 1967, p.39) Quando alguém desloca sua atenção dessa realidade cotidiana para uma dessas províncias, por exemplo, para o conhecimento científico, uma mudança radical tem lugar na tensão da consciência. Contudo, mesmo quando este tipo de mudança radical tem lugar, a realidade da vida cotidiana ainda marca sua presença. A linguagem disponível para objetivar esses diferentes tipos de experiência é baseada na linguagem da vida cotidiana, e mesmo que se possa usar linguagens mais sofisticadas pertencentes a esse universo simbólico — como a matemática — é necessário, vez por outra, "traduzir" as experiências não-cotidianas na realidade da vida cotidiana" (BERGER & LUCKMANN, 1967, p.40). Também é necessário interpretar a coexistência desses diferentes tipos de realidade.

Outro argumento a favor da existência de "formas qualitativamente diferentes pelas quais as pessoas percebem e

entendem suas realidades" foi levantado por MARTON (1981, p.177), cuja abordagem fenomenográfica nos fala sobre concepções e formas de entendimento como categorias de descrição da realidade. Essas categorias podem ser observadas em um grande número de indivíduos, de modo que a sua totalidade denota um tipo de intelecto coletivo. "As mesmas categorias de descrição aparecem em diferentes situações. O conjunto das categorias é, portanto, estável e generalizável entre situações, mesmo que o indivíduo 'mova' de uma categoria a outra em diferentes ocasiões." (MARTON, 1981, p.193) As idéias de Marton repousam na distinção entre realidade e percepção da realidade, mas têm também um componente de dependência do conteúdo, já que "nós não podemos separar a estrutura do conteúdo da experiência" (MARTON, 1981, p.179). Marton sugere que nós podemos usar esse sistema supra-individual de formas de pensamento como um instrumento para a descrição de como as pessoas pensam em situações concretas e, numa perspectiva coletiva, como descrições de formas de pensar.

LINDER (1993), baseado nas idéias de Marton, argumenta que a dispersão conceitual é um fenômeno presente tanto na vida social como em ciência. O autor ilustra suas teses com exemplos de mecânica, ótica e eletricidade, onde a visão clássica e moderna de um mesmo fenômeno não é coincidente. Questiona os modelos de mudança conceitual que incluem o objetivo de fazer com que o estudante abandone uma concepção e adote uma alternativa, e conclui que a descrição da aprendizagem em ciências deve enfatizar "o esforço de se aumentar a capacidade dos estudantes em distinguir entre concepções apropriadas para cada contexto específico" (LINDER, 1993, p.298)

e não o esforço para mudar concepções já existentes entre os estudantes.

A idéia de um "intelecto coletivo" como um sistema supra-individual de formas de pensamento (MARTON, 1981) também desempenha um papel importante na teoria histórico-cultural ou sociocultural de Vygotsky e seguidores. Segundo Vygotsky, a relação do homem com o mundo não é uma relação direta. Os processos mentais superiores, como pensamento verbal, memória lógica e atenção seletiva, são gerados por atividades mediadas socialmente. A fonte de mediação pode ser uma ferramenta material, um sistema de símbolos ou o comportamento de outro ser humano (VYGOTSKY, 1978).

Este autor comenta que a dificuldade de se ver essa dimensão social nos processos mentais está relacionada ao fato de que o desenvolvimento desses processos começa e termina numa forma individualizada. O começo biológico e o fim intrapsicológico do desenvolvimento de uma função mental lhe dão esta aparência de processo individual. No entanto, ela passa por um estágio em que se caracteriza como uma forma particular de colaboração social. Somente nos seus últimos estágios a função psicológica adquire essa forma individualizada, carregando internamente os aspectos simbólicos essenciais de sua estrutura prévia (VYGOTSKY, 1982, citado por KOZULIN, 1990, p.116-117).

Os sistemas simbólicos que desempenham um papel fundamental na gênese dos processos mentais superiores nada mais são do que uma forma de "intelecto coletivo". KOZULIN (1990) identifica que o contexto intelectual que dá origem ao pressuposto vygotskiano de que as funções mentais humanas

são sociais em sua origem e conteúdo está relacionado mais à escola sociológica francesa de Emile Durkheim do que à teoria marxista, visto que a primeira seria a única a oferecer, na época, uma teoria suficientemente desenvolvida da cognição humana como socialmente determinada. O conceito de "representação coletiva", de Durkheim, seria uma dessas rotas das idéias de Vygotsky.

Uma representação coletiva é um conceito ou uma categoria de pensamento que um grupo de indivíduos possui em uma forma essencialmente similar de modo a permitir uma comunicação efetiva. Além disso, as representações coletivas têm um caráter supra-individual e através dessa característica elas são "impostas" sobre a cognição individual. (KOZULIN, 1990, p.122)

É interessante notar que esse conceito de representação coletiva parece ter influenciado também a Marton, cuja idéia de "intelecto coletivo" tem sua origem na mesma escola sociológica.

Apesar de Bachelard não ter trabalhado no desenvolvimento de conceitos relacionados à cognição humana, encontramos em sua "Filosofia do Não" uma explicação detalhada de diferentes maneiras de se conceituar a realidade em termos científicos. Ainda que formuladas em termos de sistemas filosóficos de pensamento, essas idéias podem nos ajudar a desenvolver um modelo de ensino, baseado na explicação das idéias dos estudantes, que tente resolver algumas das inconsistências levantadas em relação aos outros modelos e estratégias.

Segundo Bachelard, é possível que cada indivíduo trace seu perfil epistemológico para cada conceito científico. Apesar das características individuais do perfil, como o resultado de

uma psicanálise pessoal para um dado conceito, as categorias que constituem as diferentes divisões do perfil têm, como em Marton, uma característica mais geral. Cada zona do perfil é relacionada com uma perspectiva filosófica específica, baseada em compromissos epistemológicos distintos. Cada parte do perfil pode ser relacionada, portanto, com uma forma de pensar e com um certo domínio ou contexto a que essa forma se aplica.

Adaptando-se a proposta de BACHELARD (1984) às particularidades do conhecimento químico, os vários conceitos físicos e químicos podem ser relacionados com os seguintes componentes em termos de um perfil (MORTIMER, 1992): o realismo ingênuo, que é basicamente o pensamento de senso comum; o empirismo, que ultrapassa a realidade imediata através do uso de instrumentos de medida, mas que ainda não dá conta das relações racionais; o racionalismo clássico, em que os conceitos passam a fazer parte de uma rede de relações racionais; o racionalismo moderno, em que as noções simples da ciência clássica se tornam complexas e partes de uma rede mais ampla de conceitos; e também um racionalismo contemporâneo, ainda em desenvolvimento, que englobaria os avanços mais recentes da ciência através de estudos sobre a forma, fractais e sistemas não-lineares, que permitem a incorporação, como objeto de estudo, de sistemas complexos e/ou caóticos, como reações distantes do equilíbrio, sistemas irreversíveis etc.

Bachelard exemplifica a aplicação da noção de perfil ao conceito de massa. Assim, o realismo ingênuo está impregnado de senso comum, e uma noção realista atribui massa apenas aquilo que é pesado. A noção de massa corresponde, então "a uma apreciação quantitativa grosseira e como que ávida de

realidade. *Aprecia-se a massa pela vista.*" (BACHELARD, 1984, p.13)

Em relação ao empirismo, que o autor adjetiva de claro e positivista,

a noção de massa corresponde a um emprego cautelosamente empírico, a uma determinação objetiva precisa. O conceito está então ligado à utilização da balança (...). A tal conceito simples e positivo, a uma determinação simples e positiva de um instrumento (mesmo que seja teoricamente complicado) corresponde um pensamento empírico, sólido, claro, positivo e imóvel. (BACHELARD, 1984, p.15)

Já para o racionalismo clássico,

a noção de massa define-se num corpo de noções e não apenas como um elemento primitivo de uma experiência imediata e direta. Com Newton a massa será definida como o quociente da força pela aceleração. Força, aceleração, massa, estabelecem-se correlativamente numa relação claramente racional, dado que esta relação é perfeitamente analisada pelas leis racionais da aritmética. (BACHELARD, 1984, p.16)

O racionalismo moderno faz com que as noções se tornem mais complexas. A noção de massa, que era uma função simples, vai se tornar complexa, dependente de uma série de outras noções:

Com efeito, a relatividade descobre que a massa, outrora definida como independente da velocidade, como absoluta no tempo e no espaço, como base de um sistema de unidades absolutas, é uma função complicada da velocidade. A massa de um objeto é pois relativa ao deslocamento desse objeto (...). Também é falha de significado a noção de massa

absoluta (...). Mais uma complicação notional: na física relativista, a noção de massa já não é heterogênea à energia. Em suma, a noção simples dá lugar a uma noção complexa, sem declinar aliás o seu papel de elemento. A massa permanece uma noção de base e esta noção de base é complexa. Apenas em certos casos a noção complexa se pode simplificar. Simplifica-se na aplicação pelo abandono de determinadas sutilezas, pela eliminação de determinadas variações delicadas. Mas fora do problema da aplicação, e, conseqüentemente, ao nível das construções racionais o *probleme*, o número de funções internas da noção multiplica-se. (BACHELARD, 1984, p.18)

Bachelard fala ainda de um racionalismo contemporâneo, em que a realização se impõe à realidade. Na mecânica de Dirac, é a forma de propagação que definirá, em seguida, aquilo que se propaga. "A mecânica de Dirac é, pois, de saída, *desrealizada*." (BACHELARD, 1984, p.20) É no fim do seu desenvolvimento que ela procurará suas realizações:

Deste modo, a *realização* leva a melhor sobre a realidade. Essa primazia da realização desclassifica a realidade. Um físico só conhece verdadeiramente uma realidade quando a realizou, quando deste modo é senhor do eterno recomeço das coisas e quando constitui nele um retorno eterno da razão. Aliás, o ideal da realização é exigente: a teoria que realiza parcialmente deve realizar *totalmente*. Ela não pode ter razão apenas de uma forma fragmentária. A teoria é a verdade matemática que ainda não encontrou a sua realização completa. O cientista deve procurar essa realização completa. É preciso forçar a natureza a ir tão longe quanto o nosso espírito. (BACHELARD, 1984, p.21)

É interessante notar que, à medida que se percorre esse perfil epistemológico, qualquer conceito vai se tornando mais complexo ao longo do perfil, e também mais racional. Além

disso, a parte "realista" do espectro de noções pode ser relacionada às concepções alternativas que as pessoas possuem, muitas vezes independente da formação escolar.

O perfil epistemológico, em cada conceito, difere de um indivíduo para outro. Ele é fortemente influenciado pelas diferentes experiências que cada pessoa tem, pelas suas raízes culturais diferentes. A Figura 1 reproduz o perfil epistemológico que Bachelard usa para ilustrar o seu próprio conceito de massa.

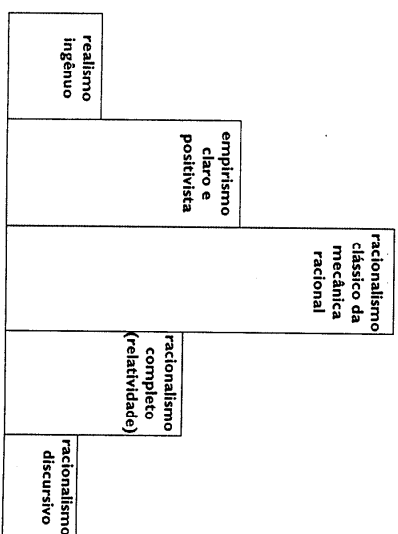


FIGURA 1 – O perfil epistemológico de Bachelard em relação ao conceito de massa
 FONTE – BACHELARD, 1984, p.25.

A altura de cada zona do perfil corresponde à extensão na qual essa "maneira de ver" está presente no pensamento individual, o que é definido pelo *background* cultural e pelas oportunidades que o indivíduo tem de usar cada divisão do perfil na sua vida. Quanto maior é uma determinada zona do perfil, mais forte é essa característica do conceito no perfil como um todo. O próprio autor adverte para o cuidado que deve ser tomado ao se interpretar esse tipo de representação, já que a altura de cada setor é uma aproximação qualitativa grosseira.

O meu próprio perfil em relação ao conceito de massa seria diferente daquele apresentado por Bachelard (Figura 1), uma vez que sua zona mais acentuada seria a empirista, e não a racionalista clássica. Isto está relacionado à minha formação como químico e a uma experiência de vários anos trabalhando em laboratórios químicos, usando balanças como parte das atividades cotidianas. O perfil de Bachelard é completamente diferente (Figura 1). A zona empírica em seu perfil é menos influente, e ele terá um setor racional bastante pronunciado, como consequência de sua experiência como físico e filósofo profissional.

O leitor poderia argumentar, em face das características da noção de perfil epistemológico, que é difícil de acreditar que cientistas e filósofos, a exemplo de Bachelard, pudessem ter um componente realista no seu perfil do conceito de massa, atribuindo massa somente a coisas grandes e pesadas, apreciando a massa pela vista. Eu seria obrigado a concordar, desde que alguém me provasse que um químico ou um físico jamais tivesse usado massa num sentido metafórico na sua linguagem cotidiana, jamais tivesse falado de uma "massa de ar frio que se aproxima"

ou de uma "massa de detalhes a serem trabalhados no projeto" (vide o *Novo Dicionário Aurélio* [FERREIRA, 1975] e o *Collins Cobuild English Language Dictionary* [SINCLAIR, Ed., 1987] para exemplos desses tipos de conceitos de massa). Massa, neste sentido, é claramente realística, e seria de um absoluto *nonsense* falar acerca de uma pequena massa de detalhes a ser trabalhada. Uma importante característica que poderia distinguir o perfil do químico e do físico daquele de um estudante novato nas leis da física é que os primeiros poderiam ser mais conscientes de seu perfil e usar cada noção no contexto apropriado, enquanto o último poderia não ter atingido esse grau de consciência.

Usarei a noção de *perfil-conceitual* no lugar de *perfil epistemológico* com o propósito de introduzir algumas características ao perfil que não estão presentes na visão filosófica de Bachelard, já que minha intenção é construir um modelo para descrever a evolução das idéias, tanto no espaço social da sala de aula como nos indivíduos, como consequência do processo de ensino. A noção de perfil conceitual tem, obviamente, características em comum com a de perfil epistemológico, como, por exemplo, a hierarquia entre as diferentes zonas, pela qual cada zona sucessiva é caracterizada por conter categorias de análise com poder explanatório maior que as anteriores. No entanto, alguns elementos importantes devem ser adicionados à noção bachelardiana.

O primeiro deles é a distinção entre características ontológicas e epistemológicas de cada zona do perfil. Apesar de lidar com o mesmo conceito, cada zona do perfil poderá ser não só epistemológica como também ontologicamente diferente

das outras, já que essas duas características do conceito podem mudar à medida que se mova através do perfil. Como mostrarei em relação ao perfil do conceito de átomo, este, enquanto objeto quântico, não pertence à mesma categoria ontológica do átomo clássico, um tipo de bloco básico a partir do qual a matéria é construída. Essa distinção entre aspectos epistemológicos e ontológicos é importante uma vez que muitos dos problemas na aprendizagem de conceitos científicos têm sido relacionados com a dificuldade em se mudar as categorias ontológicas às quais os conceitos são designados.

Para que os estudantes entendam realmente o que é força, luz, calor e corrente, eles precisam mudar suas concepções de que essas entidades são substâncias, e passar a considerá-las como um tipo de evento (*constraint-based event*) (incluindo campos), o que requer, consequentemente, uma mudança em sua ontologia. (CHI, 1991, p.13)

Um outro aspecto importante a acrescentar é que a tomada de consciência, pelo estudante, de seu próprio perfil, desempenha um papel importante no processo de ensino-aprendizagem. Esse aspecto já seria suficiente para explicar certos resultados da literatura que questionam a interpretação usual de mudança conceitual como substituição das pré-concepções por conceitos científicos, como os de GALLI & BAR (1992), a que nos referimos anteriormente. O uso, pelo estudante, de concepções prévias em problemas cotidianos e/ou novos poderia indicar a falta de consciência de seu próprio perfil. O aluno teria adquirido o conceito newtoniano de movimento, mas não teria se conscientizado da relação entre este e o seu conceito anterior de que "movimento requer força", não sabendo,

portanto, em que contexto é mais apropriado empregar um ou outro. Numa situação nova ele usaria o conceito pré-newtoniano de que "movimento requer força", apesar de já ter usado o conceito newtoniano com sucesso em situações familiares, justamente porque ele não teria tomado consciência de que esses dois conceitos pertencem a um mesmo perfil, mas que os domínios a que se aplicam são diferentes. A falta dessa consciência o levaria a generalizar seu conceito anterior, que, por ser mais familiar, seria usado com mais segurança numa situação nova.

Outra característica importante da noção de perfil conceitual é que seus níveis "pré-científicos" não são determinados por escolas filosóficas de pensamento, mas pelos compromissos epistemológicos e ontológicos dos indivíduos. Como essas características individuais estão fortemente influenciadas pela cultura, podemos tentar definir o perfil conceitual como um sistema supra-individual de formas de pensamento que pode ser atribuído a qualquer indivíduo dentro de uma mesma cultura. Apesar de cada indivíduo possuir um perfil diferente, as categorias pelas quais ele é traçado são as mesmas para cada conceito. A noção de perfil conceitual é, portanto, dependente do contexto, uma vez que é fortemente influenciada pelas experiências distintas de cada indivíduo; e dependente do conteúdo, já que, para cada conceito em particular, tem-se um perfil diferente. Mas as categorias que caracterizam o perfil são, ao mesmo tempo, independentes de contexto, uma vez que, dentro de uma mesma cultura, têm-se as mesmas categorias pelas quais são determinadas as diferentes zonas do perfil. Em nossa civilização ocidental e industrial, as zonas científicas do

perfil são claramente definidas pela história das idéias científicas. As zonas pré-científicas também estão claras para muitos conceitos, como consequência da intensa pesquisa em concepções alternativas dos estudantes, realizada nas últimas décadas, e que identificou os mesmos tipos de concepções relacionadas a um determinado conceito científico em diferentes partes do mundo.

Vai além dos objetivos deste trabalho responder se essas similaridades são devidas às características transculturais das concepções alternativas, o que daria suporte à idéia de que as concepções dos estudantes seriam moldadas mais pelo meio físico que pelo cultural. Ou se elas são consequência da uniformidade cultural da nossa civilização industrial moderna, já que as diferenças culturais entre as diversas regiões e países têm se tornado cada vez menores, à medida que o mundo se transforma numa "aldeia global". Nada proibe, no entanto, que se encontrem diferentes zonas pré-científicas no perfil de um mesmo conceito em diferentes culturas ou mesmo em diferentes classes sociais dentro de uma mesma cultura, o que seria apenas uma evidência da raiz cultural desse conceito em particular. No entanto, acreditamos ser possível encontrar, para muitos conceitos científicos, as mesmas divisões do perfil conceitual em todo o mundo ocidental. Consequentemente, é possível definir com clareza as categorias que caracterizam cada zona do perfil para muitos conceitos, e o faremos para os conceitos de átomo e de estados físicos da matéria.

Há várias consequências para o estabelecimento de estratégias de ensino e para a análise do processo de evolução conceitual em sala de aula que emergem da noção de perfil conceitual. Voltaremos a elas no momento oportuno. Por

enquanto, é importante sublinhar que uma fase fundamental no planeamento do ensino, de acordo com essa noção, é a determinação das categorias que constituem as diferentes zonas do perfil do conceito a ser ensinado, bem como a identificação dos obstáculos ontológicos e epistemológicos. Há uma fonte bastante ampla de informações, na literatura sobre conceitos alternativos, que pode ser usada para identificar as características do perfil no seus níveis mais elementares. A história da ciência é outra fonte importante, não só para esses níveis elementares, mas também para outros mais avançados. Antes de nos determos especificamente na determinação desse perfil, é necessário revermos os estudos disponíveis na literatura sobre atomismo e estados físicos da matéria, pois eles nos darão a base conceitual sobre a qual serão determinadas as categorias das zonas iniciais do perfil, bem como nos ajudarão a pensar estratégias de ensino adequadas ao modelo que acabamos de apresentar.

CAPÍTULO 2

ATOMISMO, CAUSALIDADE E GENERALIZAÇÃO



Neste capítulo, analisaremos os principais resultados dos estudos em concepções dos estudantes sobre atomismo, com o objetivo de construir as categorias que definirão o perfil conceitual de átomo e de estados físicos da matéria. Além disso, a análise desses dados disponíveis na literatura fornecerá a base de comparação com os resultados da nossa pesquisa. Nossa intenção é articular um conjunto mais ou menos disperso de dados, de modo a destacar as características das idéias dos alunos que devem ser levadas em consideração para a construção de um referencial de análise, baseado na noção de perfil conceitual, para a elaboração de estratégias para o ensino do atomismo num nível elementar. Uma descrição mais completa dos resultados aqui analisados pode ser encontrada em MORTIMER (1994).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS (de todo o livro)

- AMARAL, L.O.F., MORTIMER, E.F. (1986). Termoquímica: atividades relacionadas a compreensão dos conceitos básicos. *Suplemento de Ciência e Cultura*, v.38, n.7, p.639-640.
- AHTEE, M., VARJOLA, I. (1998). Students' understanding of chemical reaction. *International Journal of Science Education*, v.20, n.3, p.305-316.
- ANDERSSON, B. (1986). Pupils' explanations of some aspects of chemical reactions. *Science Education*, v.70, n.5, p.549-563.
- ANDERSSON, B. (1990). Pupils' conceptions of matter and its transformations (age 12-16). *Studies in Science Education*, v.18, p.53-85.
- BACHELARD, G. (1968). *The philosophy of no*. New York: The Orion Press. (Translated from *La philosophie du non* (1940) by G.C. Waterston.)
- BACHELARD, G. (1984). *A filosofia do não*. São Paulo: Abril Cultural. p.1-87. (Coleção Os Pensadores).
- BACHELARD, G. (1972). Conhecimento comum e conhecimento científico. *Tempo Brasileiro*, v.28, p.27-46.
- BACHELARD, G. (1975). *Les intuitions atomistiques (essai de classification)*. Paris: J. Vrin.
- BAKHTIN, M.M. (1981). *The dialogic imagination*. Trans. by Caryl Emerson and Michael Holquist. Austin: University of Texas Press. (Ed. by Michael Holquist.)
- BAKHTIN, M.M. (1986). *Speech genres & other late essays*. Trans. by Vern W. McGee. Austin: University of Texas Press. (Ed. by Caryl Emerson and Michael Holquist.)
- BERGER, P.L., LUCKMANN (1967). *The social construction of reality: a treatise in the sociology of knowledge*. London: Allen Lane.

- BOHR, N. (1935). Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete? *Physical Review*, v.48, p.696-702.
- BROOK, A., BRIGGS, H., DRIVER, R. (1984). *Aspects of secondary students' understanding of the particulate nature of matter*. Leeds: Children's Learning in Science Project, Centre for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds.
- BUNGE, M. (1961). *Causalidad - el principio de causalidad en la ciencia moderna*. Tradução de Hernan Rodriguez. Buenos Aires: EUDEBA.
- BRUNER, J. (1985). *Vygotsky: a historical and conceptual perspective*. In: WERTSCH, J. *Culture, communication and cognition: Vygotskian Perspectives*. Cambridge: Cambridge University Press.
- CARAVITA, S., HALDEN, O. (1994). Re-framing the problem of conceptual change. *Learning and Instruction*, v.4, n.1, p.89-111.
- CARRASCO, A.L.S., J., GIL PEREZ, D. (1989). La metodología de la superficialidad y el aprendizaje de la Ciencia. *Enseñanza de las Ciencias*, v.3, p.113-120.
- CARVALHO, A.M.P. et al. (1991). *Formação de professores sobre bases construtivistas - conteúdo "calor e temperatura"*. Trabalho apresentado na 2ª Conferência Interamericana sobre Educação em Física. Caracas, 14 a 20 de julho de 1991.
- CARVALHO, A.M.P., CASTRO, R.S., LABURU, C.E., MORTIMER, E.F. (1992). Fundamentos epistemológicos para a pesquisa em ensino de ciências. *Cadernos de Pesquisa*, n.82, p.85-89, ago.
- CHAPMAN, M. (1992). Equilibration and the dialectics of organization. In: BELIN, H., PUFALL (Ed.). *Piaget's theory: prospects and possibilities*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- CHI, M.T.H. (1991). Conceptual change within and across ontological categories: examples from learning and discovery in science. In: GIERE, R. (Ed.). *Cognitive models of science: Minnesota studies in the philosophy of science*. Minnesota: University of Minnesota Press.

- CLAPARÈDE, E. (1946). *L'éducation fonctionnelle*. Neuchâtel: Delachaux et Niestlé.
- CLAXTON, G. (1984). *Live and learn*. Londres: Harper & Row.
- CLAXTON, G. (1986). The alternative conceptions' conceptions. *Studies in Science Education*, v.13, p.123-130.
- CLAXTON, G. (1991). *Educating the inquiring mind: the challenge for school science*. New York: Harvester Wheatsheaf.
- CLEMENTE, J. (1987). Overcoming students' misconceptions in physics: the role of anchoring intuitions and analogical validity. In: NOVAK, J. (Ed.). *Proceedings of the 2nd international seminar misconceptions and educational strategies in science and mathematics*. Ithaca, New York: Cornell University Press, 3, p.84-97.
- COLE, M. (1985). 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.
- CROS, D., MAURIN, M. (1986). Conceptions of first-year university students of the constituents of matter and the notions of acid and bases. *European Journal of Science Education*, v.8, n.3, p.305-313.
- DAVIS, P. (Ed.). (1989). *The new physics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- DE LA TAILLE, Y. (1992). O lugar da interação social na concepção de Jean Piaget. In: DE LA TAILLE, Y., OLIVEIRA, M.K., DANTAS, H. (1992). *Piaget, Vygotsky, Wallon: teorias psicogenéticas em discussão*. São Paulo: Summus.
- DEBUS, A.G. (1978). *Man and nature in the Renaissance*. Cambridge: Cambridge University Press.
- DEUGEOGES, S. (Org.). (1984). *Le monde quantique*. Paris: Sciences & Avenir.
- DIESPAGNAT, B. (1979). The quantum theory and reality. *Scientific American*, n.241, p.128-140.
- DIESSSA, A. (1993). Towards an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*, v.10, n.2-3, p.105-225.

- DORAN, R. (1972). Misconceptions of selected science concepts held by elementary school children. *Journal of Research in Science Teaching*, v.9, n.2, p.127-137.
- DOW, W.M., AULD, J., WILSON, D. (1978). *Pupils' concepts of gases*. Dundee: Dundee College of Education.
- DRIVER, R., EASLEY, J. (1978). Pupils and paradigms: a review of literature related to concept development in adolescent science students. *Studies in Science Education*, v.12, p.7-15.
- DRIVER, R., GUESNE, E., TIBERGHIEN, A. (Ed.) (1985). *Children's ideas in science*. Milton Keynes: Open University Press.
- DRIVER, R. (1985). Beyond appearance: the conservation of matter under physical and chemical transformations. In: DRIVER, R., GUESNE, E., TIBERGHIEN, A. (Ed.). *Children's ideas in science*. Milton Keynes: Open University Press.
- DRIVER, R. (1989). Students' conceptions and the learning of science. *International Journal of Science Education*, v.11, n.5, p.481-490.
- DRIVER, R., ASOKO, H., LEACH, J., MORTIMER, E.F., SCOTT, P. (1994). Constructing scientific knowledge in the classroom. *Educational Researcher*, v.23, n.7, p.5-12.
- DUIT, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, v.75, n.6, p.649-672.
- EDWARDS, D., MERCER, N. (1987). *Common knowledge - the development of understanding in the classroom*. London: Routledge.
- EINSTEIN, A., PODOLSKY, B., ROSEN, N. (1935). Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete? *Physical Review*, v.47, p.777-780.
- FARADAY, M. (1844). A speculation touching electric conduction and the nature of matter. *Phil. Mag.*, v.24, p.136-144. Reprinted in KNIGHT, D.M. (Ed.) (1968). *Classical scientific papers - chemistry*. London: Mills & Boon.
- FERRERA, A.B.H. (1975). *Novo dicionário de língua portuguesa*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira.
- FERRERA, R. (1987). Notas sobre as origens da teoria atômica de Dalton. *Química Nova*, v.10, n.3, p.204-207.
- FODOR, J. (1983). Da impossibilidade de aquisição de estruturas mais poderosas. In: PATELLI-PALMARINI, M. (Org.). *Teorias da linguagem, Teorias da aprendizagem: o debate entre Jean Piaget & Noam Chomsky*. São Paulo: Cultrix. (Tradução de Théories du langage/Théories de l'apprentissage [1979], por Álvaro Cabral)
- FRANCO, C., COLINVAUX-DE-DOMINGUEZ, D. (1992). Genetic epistemology, history of science and science education. *Science & Education*, v.1, p.255-271.
- GALLI, I., BAR, V. (1992). Motion implies force: where to expect vestiges of the misconceptions? *International Journal of Science Education*, v.14, n.1, p.63-81.
- GARCIA, R. (1977). La explicación en física. In: PIAGET, J. (Org.). *La explicación en las ciencias*. Barcelona: Martínez Roca.
- GARCIA, R. (1982). El desarrollo del sistema cognitivo y la enseñanza de las ciencias. *Revista de Consejo Nacional de Tecnología de la Educación*, México, n.42, p.33-57.
- GARNETT, P.J., HACKLING, M.W. (1995). Students' alternative conceptions in chemistry: a review of research and implications for teaching and learning. *Studies in Science Education*, 25, p.69-95.
- GILBERT, J.K., WATTS, M. (1983). Concepts, misconceptions and alternative conceptions: changing perspectives in science education. *Studies in Science Education*, v.10, p.61-98.
- GILBERT, J.K., SWIFT, D.J. (1985). Towards a Lakatosian analysis of the piagetian and alternative conceptions research programs. *Science Education*, v.69, n.5, p.681-696.
- GREGORY, J.G. (1931). *A short history of atomism*. London: A. and C. Black.
- GRIFFITHS, A.K., PRESTON, K.R. (1992). Grade-12 students' misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules. *Journal of Research in Science Teaching*, v.29, n.5, p.611-628.

- GÓES, M.C.R. (1991). A natureza social do desenvolvimento psicológico. *Codernos Cedes*, n.24, p.17-24.
- GÓES, M.C.R. (1997). A construção de conhecimentos e o conceito de zona de desenvolvimento proximal. In: *Anais do Encontro Linguagem, Cultura e Cognição: reflexões para o Ensino de Ciências*. Belo Horizonte: UFMG, 1997, p.114-122.
- GOLDFARB, A.M.A. (1987). *Da alquimia à química*. São Paulo: Nova Stella/EDUSP.
- HALBWACHS, F. (1977). História de la explicación en física. In: PIAGET, J. (Org.) *La explicación en las ciencias*. Barcelona: Martínez Roca.
- HESSE, J.; ANDERSON, C.W. (1992). students' conceptions of chemical change. *Journal of Research in Science Teaching*, v.29, n.3, p.277-299.
- HEWSON, P.W. (1981). A conceptual change approach to learning science. *European Journal of Science Education*, v.3, n.4, p.383-396.
- HEWSON, P.W.; THORLEY, R. (1989). The conditions of conceptual change in the classroom. *International Journal of Science Education*, v.11, n.5, p.541-553.
- HILLS, G.L.C. (1989). Students' 'intuitive' beliefs about natural phenomena: primitive science or commonsense? *Science Education*, v.73, n.2, p.155-186.
- INHELDER, B.; GARCIA, R.; VONECHE, J. (1976). *Epistemologia genética e equilibrção*. Lisboa: Livros Horizonte.
- INHELDER, B.; PIAGET, J. (1976). *Da lógica da criança à lógica do adolescente*. São Paulo: Pioneira.
- INHELDER, B.; BOVET, M.; SINCLAIR, H. (1977). *Aprendizagem e estruturas do conhecimento*. São Paulo: Saraiva.
- JOHNSON, P. (1998). Progression in children's understanding of a 'basic' particle theory: a longitudinal study. *International Journal of Science Education*, v.20, n.4, p.393-412.
- JOHNSTONE, A. (1982). Macro and microchemistry. *The School Science Review*, v.64, n.227, p.377-379.

- JONES, B.L.; LYNCH, P.P. (1989). Children's understanding of the notions of solid and liquid in relation to some common substances. *International Journal of Science Education*, v.11, n.4, p.417-428.
- JUSTI, R. (1991). *Sobre espaços vazios e partículas - movimento de idéias sobre a descontinuidade da matéria em um processo contínuo de ensino-aprendizagem de Química no II Grau Campinas*. Faculdade de Educação da Unicamp. (Dissertação, Mestrado)
- KARMILOFF-SMITH, A.; INHELDER, B. (1974). If you want to get ahead, get a theory. *Cognition*, v.3, p.195-212.
- KNIGHT, D.M. (Ed). (1968). *Classical scientific papers - chemistry*. London: Mills & Boon.
- KOZULIN, A. (1990). *Wygotsky's psychology: a biography of ideas*. New York: Harvester Wheatsheaf.
- KRNEL, D.; WATSON, R.; GLAZAR, S.A. (1998). Survey of research related to the development of the concept of "matter". *International Journal of Science Education*, v.20, n.3, p.257-289.
- KUHN, T.S. (1962). *The structure of scientific revolutions*. Chicago: University of Chicago Press.
- KUHN, T.S. (1977). *La tensión esencial*. Tradução de Roberto Heiler. México: Fondo de Cultura Económica.
- LABURU, C.E. (1993). *A construção do conhecimento*. São Paulo: Faculdade de Educação da USP. (Tese, Doutorado)
- LAKATOS, I. (1970). Falsification and the methodology of scientific research programmes. In: LAKATOS, I.; MUSGRAVE, A. (Ed). *Criticism and the growth of knowledge*. Cambridge: Cambridge University Press.
- LAKATOS, I.; MUSGRAVE, A. (Org.). (1970). *Criticism and the growth of knowledge*. Cambridge: Cambridge University Press.
- LALOE, F. (1984). La mecanique quantique: Une grande dame qui n'a pas change ses principes depuis un demi-siècle. In: DELIGEORGES, S. (Org.) *Le monde quantique*. Paris: Sciences & Avenir.

- LAUDAN, L., DONAVAN, A., LAUDAN, R., BARKER, P., BROWN, H., LEPIN, J., THAGARD, P., WYKSTRA, S. (1986). Scientific change: philosophical models and historical research. *Synthese*, v.69, p.141-223.
- LAUDAN, L. (1987). Relativism, naturalism and reticulation. *Synthese*, v.71, p.221-234.
- LEE, O., EICHINGER, D.C., ANDERSON, C.W., BERKHEIMER, G.D., BLAKESLEE, T.D. (1993). Changing Middle School Students Conceptions of Matter and Molecules. *Journal of Research in Science Teaching*, v.30, n.3, p.249-270.
- LEMKE, J.L. (1990). *Talking science: Language, learning and values*. Norwood, New Jersey: Ablex Publishing Corporation.
- LINDER, C.J. (1993). A challenge to conceptual change. *Science Education*, v.77, n.3, p.293-300.
- LOPES, A.R.C. (1990). *Letos difíceis: obstáculos ao aprendizado da ciência química*. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas. (Dissertação, Mestrado)
- LOTMAN, Y.M. (1988). The semiotics of culture and the context of a text. *Soviet Psychology*, 26, p.32-51.
- MARTON, F. (1981). Phenomenography - describing conceptions of the world around us. *Instructional Science*, v.10, p.177-200.
- MATTHEWS, M.R. (1992). Constructivism and empiricism: an incomplete divorce. *Review of Educational Research*, v.22, p.299-307.
- MCDERMOTT, L.C. (1994). Research on conceptual understanding in mechanics. *Physics Today*, July.
- MILLAR, R. (1989). Constructive criticisms. *International Journal of Science Education*, v.11, n.5, p.587-596.
- MIRANDOLA, P. (1985). *Discurso sobre a dignidade do homem*. Lisboa: Edições 70. (Edição bilingue)
- MORTIMER, E.F. (1988). *O ensino de estrutura atômica e de ligação química na Escola de 2º grau: drama, tragédia ou comédia?* Belo Horizonte: Faculdade de Educação da UFMG. (Dissertação, Mestrado)

- MORTIMER, E.F. (1990). Explicações dos estudantes para transformações físicas baseadas no modelo corpuscular. São Paulo: Resumos da 13ª Reunião Anual da SBQ, p.ED-07.
- MORTIMER, E.F. (1992). Pressupostos epistemológicos para uma metodologia de ensino de química: mudança conceitual e perfil epistemológico. *Química Nova*, v.15, n.3, p.242-249.
- MORTIMER, E.F. (1993). Studying conceptual evolution in the classroom as conceptual profile change. *The proceedings of the third international seminar on misconceptions and educational strategies in science and mathematics*. Itasca, New York: Misconceptions Trust.
- MORTIMER, E.F. (1994). *Evolução do atomismo em sala de aula: mudança de perfis conceituais*. São Paulo: Faculdade de Educação da USP. (Tese, Doutorado)
- MORTIMER, E.F. (1995). Conceptual change or conceptual profile change? *Science & Education* 4, p.267-285.
- MORTIMER, E.F. (1998). Multivoicedness and univocality in classroom discourse: an example from theory of matter. *International Journal of Science Education*, v.20, n.1, p.67-82.
- MORTIMER, E.F., AMARAL, L.O.F. (1998). Quanto mais quente melhor: calor e temperatura no ensino de termogímica. *Química Nova na Escola*, n.7, p.30-34.
- MORTIMER, E.F., MACHADO, A.H. (1996). A linguagem numa aula de ciências. *Presença Pedagógica*, v.2, n.11, p.49-57.
- MOZAS, T., RUIZ, G. (1989). Introducción al modelo de partículas. *Enseñanza de las Ciencias*, tomo 2, p.281-283. Número extra (III Congreso).
- NEWMAN, D., GRIFFIN, P., COLE, M. (1989). *The construction zone: working for cognitive change in school*. Cambridge: Cambridge University Press.
- NIEDDERER, H., GOLDBERG, F., DUIT, R. (1991). towards learning process studies: a review of the workshop on research in physics learning. In: DUIT, R., GOLDBERG, F., NIEDDERER, H. (Eds). *Research in physics learning: theoretical issues and empirical studies*. Kiel: IPN, p.10-28.

- NOVICK, S., NUSSBAUM, J. (1978). Junior high school pupils' understanding of the particulate nature of matter: an interview study. *Science Education*, v.62, n.3, p.273-281.
- NOVICK, S., NUSSBAUM, J. (1981). Pupils' understanding of the particulate nature of matter: a cross age study. *Science Education*, v.65, n.2, p.187-196.
- NUSSBAUM, J., NOVICK, S. (1982). Alternative frameworks, conceptual conflict and accommodation. *Instructional Science*, v.11, p.183-203.
- NUSSBAUM, J. (1983). Classroom conceptual change: the lesson to be learned from the history of science. In: *Proceedings of the international seminar: misconceptions and educational strategies in science and mathematics*. Ithaca, New York: Cornell University, p.272-281.
- NUSSBAUM, J. (1985). The particulate nature of matter in the gaseous phase. In: DRIVER, R., GUESNE, E., TIBERGHIEN, A. (Ed.). *Children's ideas in science*. Milton Keynes: Open University Press.
- NUSSBAUM, J. (1989). Classroom conceptual change: philosophical perspectives. *International Journal of Science Education*, v.11, n.5, p.530-540.
- OLIVEIRA, R.J. (1990). *Erro: o elo mais fraco da cadeia científica*. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas. (Dissertação, Mestrado)
- OSBORNE, R.J., COSGROVE, M.M. (1983). Children's conceptions of the changes of state of water. *Journal of Research in Science Teaching*, v.20, n.9, p.825-838.
- PAOLONI, L. (1980). Química e mecânica quântica: relação entre a estrutura lógica da química e a realidade molecular. *Química Nova*, v.3, n.4, p.164-171.
- PEREIRA, M.P., PESTANA, M.E.M. (1991). Pupils' representations of models of water. *International Journal of Science Education*, v.13, n.3, p.313-319.
- PRUNDT, H., DUIT, R. (1992). *Bibliography - student's alternative frameworks and science education*. Kiel: IPN.
- PIAGET, J. [s.d.]. *A representação do mundo na criança*. São Paulo: Record.

- PIAGET, J. (1970). *A construção do real na criança*. Rio de Janeiro: Zahar. (Edição original de 1937)
- PIAGET, J., INHELDER, B. (1971). *O desenvolvimento das quantidades físicas na criança: Conservação e atomismo*. Rio de Janeiro: Zahar. (Edição original de 1941.)
- PIAGET, J., GARCIA, R. (1973). *Las explicaciones causales*. Barcelona: Baral.
- PIAGET, J. et al. (1974). *A tomada de consciência*. São Paulo: EDUSP/ Melhoramentos.
- PIAGET, J. (1973). *Estudos sociológicos*. Rio de Janeiro: Forense.
- PIAGET, J. (1975). *O desenvolvimento do pensamento. Equilibração das estruturas cognitivas*. Lisboa: Dom Quixote.
- PIAGET, J. et al. (1984). *Investigaciones sobre la generalización (estudios de epistemología y psicología genéticas)*. México: Premia Editora.
- PIAGET, J., GARCIA, R. (1987). *Psicogênese e História das Ciências*. Lisboa: Dom Quixote.
- PIATTELLI-PALMARINI, M. (Org.). (1983). *Teorias da linguagem, teorias do aprendizado: o debate entre Jean Piaget & Noam Chomsky*. São Paulo: Cultrix. (Traduzido de *Théories du langage/Théories de l'apprentissage* (1979), por Álvaro Cabral)
- POPPER, K.R. (1982). *Conjecturas e refutações*. Brasília: Editora Universidade de Brasília.
- POPPER, K.R. (1985). *A lógica da pesquisa científica*. São Paulo: Cultrix.
- POPPER, K.R. (1972). *Objective knowledge. An evolutionary approach*. Oxford: Oxford University Press.
- POSNER, G.J., STRIKE, K.A., HEWSON, P.W., GERTZOG, W.A. (1982). *Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change*. *Science Education*, v.66, n.2, p.211-227.
- POZO, J.I., GÓMEZ GRESPO, M.A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid: Ediciones Morata.

- PREIETO, T., BLANCO, A., RODRIGUEZ, A. (1989). The ideas of 11 to 14 year-old students about the nature of solutions. *International Journal of Science Education*, v.11, n.4, p.451-464.
- RESTRÖM, L. (1987). Pupils' conception of matter - a phenomenography approach. In: NOVAK, J.D. (Ed.). *The proceedings of the second international seminar: misconceptions and educational strategies in science and mathematics*. New York: Cornell University, v.11, p.398-414.
- ROMANELLI, L.I. (1992). *Concepções do professor sobre o seu papel mediador na construção do conhecimento do conceito átomo*. Campinas: Faculdade de Educação da UNICAMP. (Tese, Doutorado)
- ROWELL, J.A., DAWSON, C.J. (1983). Laboratory counterexamples and the growth of understanding in science. *European Journal of Science Education*, v.5, n.2, p.203-215.
- ROWELL, J.A., DAWSON, C.J. (1984). Equilibrium: conflict and instruction: a new class-oriented perspective. *European Journal of Science Education*, v.7, n.3, p.331-344.
- ROWELL, J.A. (1989). Piagetian epistemology: equilibration and the teaching of science. *Synthese*, v.80, p.141-162.
- SCHULTZ, A. (1967). *The phenomenology of the social world*. New York: Northwestern University Press. (Translated from *Der Sinnhafte Aufbau der Sozialen Welt* [1932], by George Walsh and Frederick Lehnert.)
- SCOTT, P.H. (1987). The process of conceptual change in science: a case study of the development of a secondary pupil's ideas relating to matter. In: NOVAK, J.D. (Ed.). *The proceedings of the second international seminar: misconceptions and educational strategies in science and mathematics*. Ithaca, New York: Cornell University, v.11, p.404-419.
- SCOTT, P.H. (1992). Planning secondary school science teaching with children's thinking in mind. Paper presented at BERA, Stirling, August.
- SCOTT, P.H., ASOKO, H.M., DRIVER, R.H. (1991). Teaching for conceptual change: a review of strategies. In: DUIT, R., GOLBERG, F., NIEDDERER, H. (Eds.). *Research in physics learning: theoretical issues and empirical studies*. Kiel: IPN.
- SCOTT, P.H. (1993). *Overtures and obstacles: teaching and learning about air pressure in a high school classroom*. The proceedings of the third international seminar on misconceptions and educational strategies in science and mathematics. Ithaca, New York: Cornell University. (In press)
- SÉRÉ, M.G. (1986). Children's conceptions of the gaseous state, prior to teaching. *European Journal of Science Education*, v.8, n.4, p.413-425.
- SLONE, M., BOKHURST, F.D. (1992). Children's understanding of sugar water solutions. *International Journal of Science Education*, v.14, n.2, p.221-235.
- SINCLAIR, J. (Ed.). (1987). *Collins Cobuild English Language Dictionary*. London: Harper Collins Publishers.
- SOLOMON, J. (1983). Learning about energy: how pupils think in two domains. *European Journal of Science Education*, v.5, n.1, p.49-59.
- STAVRIDOU, H., SOLOMONIDOU, C. (1989). Physical phenomena - chemical phenomena: do pupils make the distinction? *International Journal of Science Education*, v.11, n.1, p.83-92.
- STAVRIDOU, H., SOLOMONIDOU, C. (1998). Conceptual reorganization and the construction of the chemical reaction concept during secondary education. *International Journal of Science Education*, v.20, n.2, p.205-221.
- STAVY, R., BERKOWITZ, B. (1980). Cognitive conflict as a basis for teaching quantitative aspect of the concept of temperature. *Science Education*, v.64, n.5, p.679-692.
- STAVY, R., STACHEL, D. (1985). Children's ideas about "solid" and "liquid". *European Journal of Science Education*, v.7, n.4, p.407-421.
- STAVY, R. (1988). Children's conceptions of gas. *International Journal of Science Education*, v.10, n.5, p.530-560.
- STAVY, R. (1990). Children's conception of changes in the state of matter: from liquid (or solid) to gas. *Journal of Research in Science Teaching*, v.27, n.3, p.247-266.
- STAVY, R. (1991). Using analogy to overcome misconceptions about conservation of matter. *Journal of Research in Science Teaching*, v.28, n.4, p.305-313.

- TOULMIN, S. (1961). *Foresight and understanding: an enquiry into the aims of science*. London: Hutchinson.
- TRIVELATO, G.C. (1989). *Conservação e modelo corpuscular: um estudo transversal das explicações dos estudantes para transformações da matéria*. São Paulo: Faculdade de Educação da USP. (Dissertação, Mestrado)
- VAN MELSEN, A.G. (1952). *From atoms to atom: the history of the concept atom*. Pittsburgh: Duquesne University Press.
- VOLOSHINOV, V.N. (1973). *Marxism and the philosophy of language*. Trans. L. Matejka and I.R. Titunik. New York: Seminar Press. (Originally published in 1929)
- VYGOTSKY, L.S. (1962). *Thought and language*. Cambridge: MIT Press. (Translated from *Myslenie i rech* [1934] by Eugenia Hanfmann and Gertrude Vakar.)
- VYGOTSKY, L.S. (1979). *Pensamento e linguagem*. Lisboa: Antidoto.
- VYGOTSKY, L.S. (1978). *Mind in society: the development of higher psychological process*. Cambridge, MA: Harvard University Press. (V. Cole, V. John-Steiner, S. Scribner & E. Soubnerman, Ed.).
- VYGOTSKY, L.S. (1982). *Sobranie Sochinenii (Collected Papers)*. V.I. I'ossou: Pedagogika. (Original de 1926). Citado por KOZULIN, A. (1990). *Vygotsky's psychology: a biography of ideas*. New York: Harvester Wheatsheaf.
- VYGOTSKY, L.S. (1984). *A formação social do mente*. São Paulo: Martins Fontes.
- WERTSCH, J.V. (1991). *Voices of the mind: a sociocultural approach to mediated action*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- WERTSCH, J.V. (1998). *Mind as action*. New York: Oxford University Press.
- WERTSCH, J.V., STONE, C.A. (1985). The concept of internalization in Vygotsky's account of the genesis of higher mental functions. In: WERTSCH, J.V. (Ed). *Culture, communication and cognition: vygotskian perspectives*. Cambridge: Cambridge University Press.
- WEST, L.H.T., PINES, A.L. (1985). *Cognitive structure and conceptual change*. Orlando: Academic Press.