

MUDANÇA CONCEITUAL OU MUDANÇA DE PERFIL CONCEITUAL?

IN: Lopes, E.M.T. e Pereira, M.R. (org.) (2011).
Conhecimento e inclusão social: 40 anos de pesquisa em
Educação. Belo Horizonte: Ed. UFMG.

INTRODUÇÃO

A pesquisa sobre as ideias das crianças a respeito dos conceitos científicos nas últimas décadas tem gerado uma visão construtivista da aprendizagem que parece ser uma das principais influências no ensino das ciências e da matemática.¹ Apesar da grande variedade de visões que aparecem na literatura sob o mesmo rótulo, existem pelo menos dois aspectos principais que parecem ser compartilhados pelas diferentes abordagens: que “o aprendizado vem através do envolvimento ativo do aluno na construção do conhecimento”;² e que as ideias anteriores e alternativas dos alunos possuem um papel fundamental no processo de aprendizagem, uma vez que ele só se torna possível com base naquilo que o aluno já conhece.

Correspondente a esse modelo de aprendizagem, há um outro modelo de ensino que trata dos conceitos dos alunos, transformando-os em conceitos científicos: o modelo de mudança conceitual. Proposta originalmente como um modelo para explicar ou descrever “as dimensões significativas do processo através do qual os conceitos centrais e organizadores das pessoas mudam de um conjunto de conceitos para outro que é incompatível com o primeiro”,³ “a mudança conceitual” tornou-se um sinônimo da “ciência do aprendizado”,⁴ o que não significa que haja um consenso em relação a esse significado. Como o “construtivismo”, a “mudança conceitual” tornou-se um rótulo, englobando uma gama de pontos de vista diferentes e, às vezes, inconsistentes.

Apesar das diferenças, parece haver uma expectativa generalizada nessas visões de que a construção de um conceito científico substituiria a visão inicial dos alunos. A maioria das estratégias de ensino das ciências como uma mudança conceitual parece ter, de forma explícita ou implícita, uma expectativa irreal com relação às ideias iniciais dos alunos: elas devem ser abandonadas ou integradas ao processo pedagógico. Em estratégias conflitantes, este é o resultado do processo de resolução de uma contradição entre ideias e eventos conflitantes ou entre diferentes ideias relacionadas com o mesmo conjunto de evidências. Nas estratégias baseadas em analogias, esta é uma consequência do fato de as ideias iniciais se integrarem e serem englobadas por uma ideia científica mais contundente.

Apenas alguns autores reconhecem explicitamente a impossibilidade de se realizar esse tipo de mudança que resulta na substituição das ideias iniciais dos alunos. Solomon destaca que “não se deve procurar meios para extingui-las [as noções cotidianas]”.⁵ Mais recentemente, Chi⁶ demonstrou a possibilidade de coexistência dos dois contextos. Linder⁷ argumenta que essa coexistência é possível mesmo nos contextos científicos e ilustra essa tese com exemplos da mecânica, ótica e eletricidade, em que as visões clássica e moderna dos mesmos fenômenos não correspondem. Como resultado,

a visão de aprendizagem dos professores de ciências deve ser ampliada para que se coloque menos ênfase nos repertórios de conceitualizações dos alunos e mais empenho em aprimorar a capacidade dos alunos para distinguirem entre as conceitualizações de um modo apropriado a algum contexto específico.⁸

Além disso, alguns autores já tentaram destacar as dificuldades dos alunos em abandonar as noções cotidianas. O trabalho de Galili e Bar,⁹ por exemplo, demonstra que alguns alunos com bom desempenho nas tarefas rotineiras que tratavam de força e movimento retornaram ao raciocínio pré-newtoniano de que “movimento implica força” nas perguntas desconhecidas. Os

autores concluem que “essa regressão dos mesmos sujeitos para pontos de vista ingênuos evidencia o processo complicado e às vezes inconsistente de substituição das crenças anteriores pelo novo conhecimento adquirido numa aula de física”.¹⁰

No presente texto, tentarei aprofundar essa questão e apresentar uma visão geral de um novo modelo para a análise da evolução conceitual na sala de aula, com base na noção de um perfil conceitual. Esse modelo difere dos modelos de mudança conceitual pois sugere a possibilidade de se utilizar diferentes formas de pensar em domínios diferentes. Sugere também que, mesmo nos domínios científicos, existem diferenças epistemológicas e ontológicas entre teorias sucessivas. Isso pode ser visto ao se analisar o desenvolvimento de ideias importantes nas ciências, como o desenvolvimento da teoria da matéria. Assim, é necessário preparar nossos alunos para uma atividade em constante mudança se desejamos introduzi-los em diferentes domínios científicos. Esse ponto será exemplificado com diferentes ideias sobre o átomo que os alunos precisam aprender nos diferentes estágios de sua formação. O novo modelo difere também de alguns dos modelos construtivistas de aprendizado, demonstrando que o processo de construção de significado nem sempre ocorre através de uma acomodação de estruturas conceituais prévias, face a novos eventos ou objetos, porém, muitas vezes acontece independentemente dos conceitos adquiridos previamente.

Ao desenvolver minhas ideias, vou introduzir a noção de perfil conceitual e discutir como essa ideia pode ser utilizada para desenvolver uma estratégia de ensino sobre a teoria da matéria.

FORMAS DIFERENTES DE SE ENXERGAR E REPRESENTAR O MUNDO

Que as pessoas podem ter formas diferentes de enxergar e representar o mundo não é novidade. Schutz, por exemplo, fala sobre a palavra social, que “não é de forma nenhuma homogênea, porém apresenta uma estrutura multiforme. Cada uma de suas esferas ou regiões é ao mesmo tempo uma forma de perceber e de entender

as experiências subjetivas dos outros”.¹¹ Às diferentes realidades que fazem parte dos contextos sociais específicos correspondem várias formas de conhecimento. Berger e Luckmann¹² enfatizam que, entre as múltiplas realidades, existe uma que se apresenta como a realidade por excelência: a realidade da vida cotidiana. “Comparada à realidade da vida cotidiana, as outras realidades parecem províncias de significação finitas, enclaves dentro da realidade primordial, marcados por significados e modalidades de experiência delimitados.”¹³ Ao se deslocar a atenção de uma realidade da vida cotidiana para uma província de significado finita, como o conhecimento da química, ocorre uma mudança radical na forma de se conceitualizar a realidade. Entretanto, mesmo quando ocorre esse tipo de mudança radical, a realidade da vida cotidiana continua presente. A linguagem comum disponível para a objetificação dos diferentes tipos de experiências baseia-se na vida cotidiana e, mesmo se for possível o deslocamento para uma linguagem mais significada dos universos simbólicos – como a linguagem matemática –, às vezes ainda é necessário “traduzir as experiências não cotidianas para a realidade primordial da vida cotidiana”.¹⁴ É preciso também interpretar a existência desses diferentes tipos de realidades.

Os conceitos e as categorias disponíveis em todas as esferas da palavra social são mantidos em uma forma essencialmente semelhante por diversos indivíduos, de modo a permitir a comunicação eficaz. Essas “representações coletivas”¹⁵ possuem uma característica supraindividual e são impostas sobre a cognição individual. Com base nessa posição, Vygotsky¹⁶ destacou a dimensão social do processo mental humano. Todas as funções mentais superiores eram externas por terem sido sociais em algum ponto antes de se tornarem funções internas e verdadeiramente mentais.¹⁷ Apesar de a função psicológica aparecer como um processo individual em seu início biológico e em seu final intrapsicológico de desenvolvimento, Vygotsky demonstra que ela passa por um estágio de forma específica de colaboração social.¹⁸

Partindo da mesma ideia de “representações coletivas”, Marton fala sobre “formas qualitativamente diferentes pelas quais

as pessoas percebem e entendem sua realidade”. Essas formas de compreensão não são qualidades individuais, mas categorias de descrições cuja totalidade denota um certo tipo de intelecto coletivo. “As mesmas categorias de descrição aparecem em situações diferentes. O conjunto de categorias é, dessa forma, estável e generalizável entre situações, mesmo se os indivíduos “mudarem” de uma categoria para outra em diferentes ocasiões”.¹⁹ As ideias de Marton baseiam-se na distinção entre a realidade e a percepção da realidade. Porém, elas possuem também um componente de dependência de conteúdo, já que “não podemos separar a estrutura do conteúdo da experiência”.²⁰ Marton sugere que podemos utilizar esse sistema superindividual de formas de pensar como um instrumento para descrever a forma como as pessoas pensam em situações concretas e, a partir de uma perspectiva coletiva, como uma descrição do pensamento.

Na obra de Bachelard, *A filosofia do não*, existe uma explicação detalhada sobre as diferentes formas de conceitualização da realidade em termos de conceitos científicos. O autor demonstrou que uma única doutrina filosófica não basta para descrever todas as formas de pensar diferentes, ao tentarmos explicar um determinado conceito. Segundo Bachelard, “um conceito único foi o suficiente para *dispersar* as filosofias e demonstrar que a incompletude de algumas filosofias era atribuída ao fato de que elas se baseavam em um único aspecto, iluminavam exclusivamente uma faceta do conceito”.²¹

Segundo Bachelard, deveria ser possível para cada indivíduo traçar seu próprio perfil epistemológico relativo a cada conceito científico. Apesar das características individuais do perfil, como resultado de uma psicanálise individual de um certo conceito, as categorias que constituem as diferentes divisões do perfil são formas superindividuais de pensamento, pois pertencem a um intelecto coletivo.

Bachelard ilustrou sua noção usando o conceito de “massa”. A forma anterior do conceito – forma realista – corresponde às nossas noções cotidianas, profundamente arraigadas no raciocínio do senso comum. Massa é atribuída apenas aos objetos pesados e

grandes e “corresponde a uma avaliação quantitativa grosseira – como que ávida pela realidade”. “Massa se avalia com os olhos”.²² Esses aspectos agem como obstáculos epistemológicos ao desenvolvimento do conceito, uma vez que bloqueiam o conhecimento, em vez de resumi-lo. Eles também explicam a dificuldade de as crianças mais novas atribuírem massa a materiais mais sutis, como o ar e outros gases.²³

O segundo nível do perfil – o nível empírico – corresponde à determinação precisa e objetiva dada pelo uso empírico de uma balança. Essa utilização clara, simples e infalível de um instrumento substitui a experiência primária que dá ao conceito uma clareza empírica e positiva, até mesmo quando a teoria do instrumento é desconhecida.

O próximo nível do conceito de massa – o nível racional – está vinculado à sua utilização dentro do conjunto de noções, e não meramente como um elemento primitivo de experiência direta e imediata. Newton definiu massa como uma relação entre força e aceleração. “Força, aceleração, massa se estabelecem correlativamente em uma relação claramente racional, sendo perfeitamente analisadas pelas leis racionais da aritmética”.²⁴

Finalmente, com o advento da relatividade, o conceito de massa torna-se uma noção complexa – a moderna noção racional –, dependendo de um conjunto de noções mais complicadas. A antiga noção de massa independente da velocidade, absoluta no tempo e no espaço e a base de um sistema de unidades absolutas dá lugar a uma função de velocidade bastante complicada. A noção de massa absoluta nunca teve sentido. Além disso, na física relativista, massa não tem mais uma natureza diferente da energia. “Resumindo, a noção simples dá lugar a uma noção complexa sem anular, no entanto, seu papel como um elemento. Massa permanece como uma noção básica e sua noção básica é complexa.”²⁵

O perfil epistemológico, em cada conceito, difere de pessoa para pessoa. Ele é fortemente influenciado pelas diferentes experiências de cada pessoa e por suas raízes culturalmente diferentes. Os gráficos 1 e 2 ilustram dois perfis epistemológicos diferentes possíveis em relação ao conceito de massa. A altura de cada setor em um

perfil corresponde à extensão em que essa “forma de enxergar” está presente no pensamento individual, que é definido por seu *background* cultural e pelas oportunidades que o indivíduo teve de utilizar cada divisão do perfil em sua vida. Quanto mais alto um setor, mais forte este aspecto do conceito no perfil como um todo. Precisamos ter cuidado ao interpretar esse tipo de representação, já que a altura de cada setor é uma estimativa qualitativa aproximada. O meu próprio perfil em relação ao conceito de massa (Gráfico 1) é mais forte no setor empírico. Isso se explica pela minha experiência no campo da química e por vários anos de trabalho dentro de laboratórios químicos, utilizando escalas em minhas atividades cotidianas. Um perfil hipotético de um físico (Gráfico 2) pode ser completamente diferente. O setor empírico de seu perfil é mais fraco que o meu, provavelmente devido à pouca utilização de escalas nas rotinas de trabalho. Em compensação, essa pessoa possui um setor racional mais forte, como resultado de sua experiência no ensino das leis de Newton. O setor moderno do perfil do físico também é mais forte que o meu, já que ele tem mais familiaridade com a teoria da relatividade e suas implicações.

Pode-se argumentar que é difícil acreditar que um químico ou um físico tivesse um conceito realista de massa, a ponto de atribuir massa apenas a objetos pesados e grandes e avaliar massa com os olhos. Eu concordaria, desde que alguém provasse que um químico ou físico nunca tivesse utilizado massa num sentido metafórico na linguagem comum, ou nunca tivesse falado sobre uma “massa de papéis dentro da pasta” ou uma “massa de detalhes para resolver”. Nesses sentidos, massa é claramente realista e não teria qualquer sentido referir-se a uma “pequena massa” de detalhes para se resolver. Uma característica importante que pode distinguir o perfil do químico e do físico do perfil de um estudante novato é que os primeiros estão conscientes de seu perfil, podendo utilizar cada noção no contexto apropriado, enquanto o último pode não atingir esse nível de conscientização.

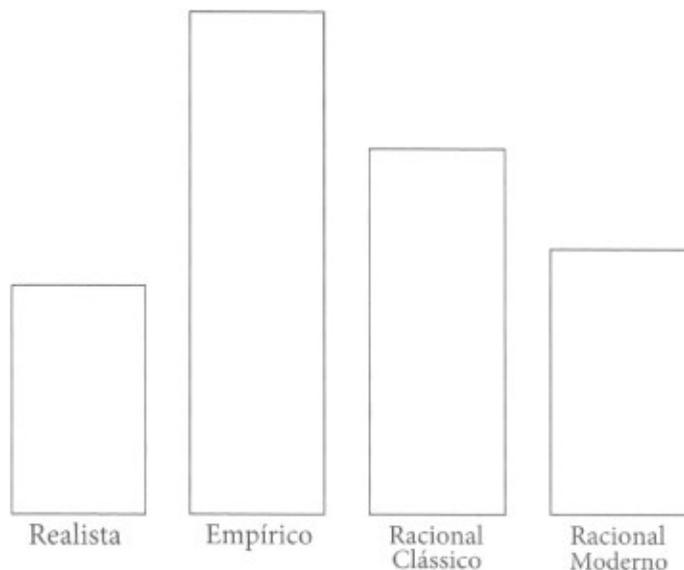


GRÁFICO 1 – Meu perfil epistemológico do conceito de massa

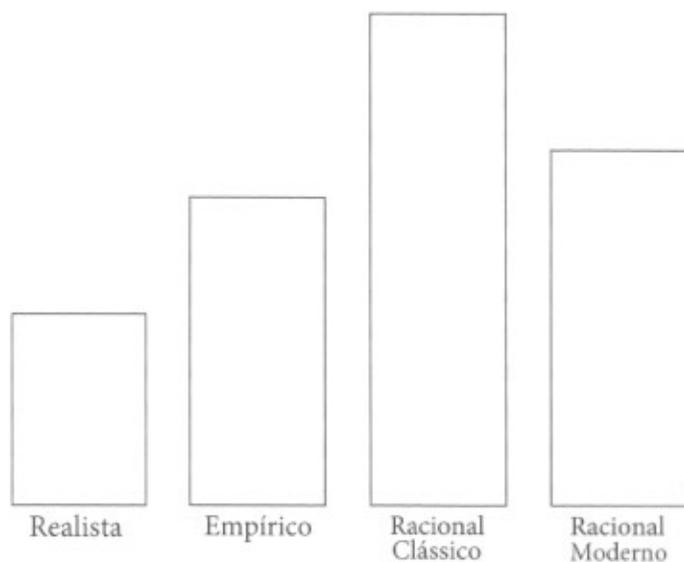


GRÁFICO 2 – Perfil epistemológico do conceito de massa de um físico

A NOÇÃO DO PERFIL CONCEITUAL

Será utilizada a noção de “perfil conceitual” em vez da de “perfil epistemológico” para introduzir no perfil alguns aspectos que diferem da noção filosófica de Bachelard, já que minha intenção é encontrar um modelo para descrever mudanças nos pensamentos individuais como resultado do processo pedagógico. O perfil conceitual deve ter semelhanças com o perfil epistemológico, como as hierarquias entre as diferentes zonas através das quais cada zona sucessiva é caracterizada por apresentar categorias com um poder explicativo maior do que as anteriores. Entretanto, alguns elementos importantes devem ser adicionados à noção de Bachelard. O primeiro é a distinção entre os aspectos epistemológico e ontológico de cada conceito. Apesar de tratar do mesmo conceito, cada zona pode ser não apenas epistemologicamente, mas também ontologicamente diferente das demais, uma vez que os aspectos conceituais mudam à medida que se movem através do perfil. Como será demonstrado adiante, o átomo como objeto quântico não pertence à mesma categoria ontológica do átomo clássico, uma espécie de bloco-base do qual é construída a matéria. Esse aspecto possui importância especial, uma vez que várias das dificuldades no aprendizado dos conceitos científicos já foram identificadas com dificuldades de mudança das categorias ontológicas às quais os conceitos são atribuídos.²⁶

Outro aspecto importante do

perfil conceitual é que seus “níveis não científicos” não são limitados pelas escolas filosóficas de pensamento, mas pelos compromissos epistemológicos e ontológicos dos indivíduos. Como essas características individuais são fortemente influenciadas pela cultura, eu poderia tentar definir um perfil conceitual como um “sistema superindividual de formas de pensar”.²⁷

que pode ser atribuído a qualquer indivíduo dentro da mesma cultura. Apesar das diferenças entre os perfis individuais, as categorias pelas quais cada perfil conceitual é traçado são as mesmas. O perfil conceitual, portanto, depende do contexto, uma vez que

é fortemente enraizado no *background* específico do indivíduo, e também depende do conteúdo, já que se refere a um determinado conceito. Ao mesmo tempo, porém, suas categorias independem do contexto, já que dentro de uma cultura temos as mesmas categorias pelas quais as zonas do perfil são determinadas. Na civilização industrial ocidental, as divisões científicas do perfil são claramente definidas pela história das ideias científicas, como parte do “terceiro mundo” popperiano.²⁸ As zonas pré-científicas de vários conceitos também são claramente definidas como resultado das duas últimas décadas de intensas pesquisas sobre as concepções alternativas dos alunos, que identificaram o mesmo tipo de concepções relacionadas com o conceito científico em várias partes do mundo.

Considerando a noção de perfil conceitual (PC), o problema da ciência do ensino-aprendizado pode ser considerado sob um novo prisma. É possível ensinar um conceito a um certo nível do perfil sem referência ao nível menos complexo, uma vez que são epistemológica e ontologicamente diferentes. Nesse sentido, o processo de aprendizado pode ser pensado como a construção de um conjunto de noções baseado em novos fatos e experimentos apresentados aos alunos no processo pedagógico. O novo conceito não depende necessariamente dos anteriores e poderia ser aplicado a domínios novos e diferentes. Somente quando o conceito alternativo forma um obstáculo epistemológico ou ontológico ao desenvolvimento do conceito em um nível mais complexo, torna-se necessário lidar com essa contradição, algo que poderia ocorrer a qualquer momento durante o processo educativo e não apenas no início. Superar essa contradição significa encontrar uma forma de explicá-la, o que é possível em um nível mais complexo do conceito ensinado, porém não significa abandonar a antiga forma de enxergar, que continua fazendo parte do perfil individual.

A fim de planejar o ensino de acordo com o PC, precisamos determinar as diferentes divisões do perfil para cada concepção e identificar os obstáculos epistemológicos e ontológicos. Na literatura, existe uma ampla fonte de informações sobre concepções alternativas, que pode ser utilizada para identificar os aspectos

do conceito em seu nível elementar e estabelecer quais desses aspectos servem de obstáculos ao desenvolvimento de uma nova zona do perfil. A história da ciência é outra importante fonte de informações, não apenas para esse tipo de nível elementar, mas também para os níveis mais desenvolvidos do perfil.

Como cada conceito pode ter aspectos diferentes e divisões do perfil diferentes, não existe uma regra geral ou uma sequência de passos aplicável a qualquer conceito, como sugerem algumas abordagens construtivistas. Em vez de passos universais – por exemplo, solicitação de ideias anteriores, esclarecimento e troca dentro do grupo de alunos, exposição a situações conflitantes e construção de novas ideias, seguido de análise da compreensão –, a noção de perfil conceitual sugere que o processo de ensino e seus passos dependem dos aspectos epistemológicos e ontológicos de cada zona do perfil do conceito a ser ensinado.

Entretanto, podemos considerar dois momentos distintos dentro do processo pedagógico. O primeiro corresponde à aquisição do conceito em um nível específico do perfil e depende da natureza dos obstáculos epistemológicos e ontológicos identificados nas zonas anteriores do perfil conceitual. O papel do professor não é apenas monitorar um processo adaptativo, mas apontar novas evidências e mostrar relações entre a teoria e o experimento. O professor tem também o papel fundamental de identificar os obstáculos e de tentar minimizar e reduzir esses obstáculos, ajudar a superá-los. Assim, ele realiza um conjunto de funções diferentes que não podem ser organizadas numa sequência de passos: explicitar a agenda; tratar dos obstáculos e dos aspectos epistemológicos do conhecimento científico a ser aprendido; reduzir o grau de liberdade que os alunos enfrentam na tarefa de reconhecer e superar essas barreiras interpostas entre suas próprias noções e a nova noção; generalizar as novas ideias e dar aos alunos a oportunidade de generalizá-las; chamar os alunos à reflexão sobre suas próprias ideias, a fim de compará-las às ideias científicas e conscientizá-los sobre o desenvolvimento de suas ideias.

O segundo momento importante no processo pedagógico é quando o aluno se conscientiza de seu próprio perfil, permitindo

a comparação entre as diferentes áreas do perfil, bem como uma avaliação de seu poder relativo. Nesse processo, os alunos estarão cientes das limitações de seus conceitos alternativos, porém, sem deixá-los de lado. O mesmo processo ocorrerá em um nível mais avançado, quando os alunos terão de limitar o domínio de um conceito científico antigo, à medida que aprenderem e se conscientizarem de um novo nível de seu perfil. É isso que ocorre, por exemplo, quando eles aprendem uma visão mecânica quântica da matéria e podem enxergar as limitações da visão atômica clássica.

O processo de conscientização do próprio perfil conceitual não é uma tarefa fácil no processo de aprendizagem. Ele envolve algum tipo de abstração em que a mente reflete sobre ela própria. De acordo com Piaget,²⁹ isso depende da capacidade de cada indivíduo de operar em um segundo nível – operar sobre uma operação –, que significa que o indivíduo precisa adquirir a capacidade de analisar seus pensamentos e nunca mais permanecer submerso em suas próprias funções mentais. Uma vez adquirida essa habilidade, é possível fazer essa análise e utilizar critérios como coerência, consistência lógica e conformidade com a experiência. Além disso, o indivíduo fica mais flexível e aberto a outras ideias, podendo compará-las com suas próprias ideias, criticar e superar estas quando necessário.

Vygotsky se expressa dessa mesma forma e utiliza “conscientização para denotar consciência da atividade da mente – a consciência de estar consciente”.³⁰ De acordo com ele, “consciência e controle aparecem apenas num estágio posterior do desenvolvimento de uma função, após a utilização e prática inconsciente e espontânea. A fim de submeter uma função ao controle intelectual, precisamos primeiro tomar posse dela”.³¹

Para atingir esse nível de conscientização, os alunos precisam vivenciar um processo de generalização dos novos conceitos, em diversas situações diferentes. Nesse processo, o novo conceito pode adquirir estabilidade para ser empregado em uma nova situação, por mais inquietante que ele seja. As inquietações (no sentido piagetiano, Piaget, 1977) e as situações problemáticas têm um papel fundamental no processo de tomada de consciência. Em

1946, Claparède já chamava atenção a esse problema com sua “lei da tomada de consciência”: “Quanto mais o comportamento do indivíduo envolver a utilização automática e inconsciente de um processo, de uma relação ou objeto, mais tarde ele tomará consciência desse processo, relações ou objeto.”³² Em outros termos, para tomar consciência de um conceito, precisamos usá-lo em novas situações e em situações problemáticas que exigem sua utilização consciente. Nessas novas situações, existe uma forte tendência de que o aluno utilize conceitos antigos que pertencem ao nível não científico do perfil conceitual. Isso acontece porque os conceitos anteriores lhe são mais familiares e, geralmente, é mais fácil relacionar algo novo com uma estrutura conceitual familiar do que com uma nova estrutura que acaba de ser construída. Para adquirir estabilidade, o novo conceito precisa ser submetido a diversas inquietações e situações problemáticas. Nesse processo, os alunos tomam consciência não apenas do novo conceito científico, mas também das relações entre os diferentes níveis de seu perfil conceitual e de quando é mais conveniente utilizar um ou outro nível.

O processo pedagógico inclui, portanto, o uso explícito de ideias alternativas, sua crítica e a avaliação de seu domínio. No entanto, ele não inclui a supressão das ideias alternativas, nem eleva ou reduz o *status* da concepção de uma pessoa, entendido como “o grau em que o conceito atende às três condições (ser inteligível, plausível e proveitoso)”.³³ De acordo com o perfil conceitual, não podemos aumentar nem reduzir a plausibilidade ou o grau de fecundidade de um determinado conceito, mas apenas mostrar em que domínio ele pode ser considerado como plausível e proveitoso. Ninguém sobrevive sem senso comum. Até mesmo um cientista profissional utiliza frases do tipo “feche a porta e deixe o frio lá fora”. “Existem evidências que mostram que os físicos utilizam noções ingênuas para fazer previsões na vida cotidiana”,³⁴ e já citamos algumas dessas situações com relação ao conceito de massa. Essa forma de enxergar o mundo está incorporada como um aspecto cultural do cotidiano. Uma pessoa pode adquirir a capacidade de criticar seu significado à luz de formas de pensar mais sofisticadas. No entanto, eliminar as concepções alternativas

algumas vezes significa eliminar o pensamento do senso comum e seu modo de expressão, a linguagem comum, que é a forma mais abrangente de compartilhar significado em uma cultura, permitindo a comunicação entre todos os diversos grupos especializados que compartilham a mesma língua-mãe. Suprimir essa possibilidade significa suprimir a possibilidade de que grupos diferentes possam compartilhar significado dentro de uma mesma cultura.

APLICANDO A NOÇÃO DE UM PERFIL CONCEITUAL AO ENSINO DA "TEORIA DA MATÉRIA"

Tentarei aplicar aqui as ideias gerais desenvolvidas anteriormente ao ensino de dois conceitos relativos à teoria da matéria: o conceito mais elementar e atomista da matéria e o estado físico da matéria. Para isso, irei buscar as categorias para um perfil conceitual desses conceitos, usando a história da ciência, a literatura sobre conceituações alternativas e os resultados de meus estudos em sala de aula.

O atomismo foi escolhido por ser uma ideia central da química, com um rico histórico de modelos sucessivos cada vez mais adequados aos experimentos. Na história do atomismo, um novo modelo baseado em nova evidência experimental substituiu o modelo anterior. Os modelos antigos, porém, continuam sendo úteis para explicar alguns fenômenos específicos. Nesse sentido, existe uma série de modelos atomistas alternativos que podem ser utilizados em contextos diferentes. É possível também encontrar uma variedade de conceitos atomistas não científicos entre indivíduos a partir de diversos trabalhos na literatura. O atomismo é, portanto, um conceito com um perfil conceitual amplo e claro. Além de ser um modelo, nesse aspecto ele é também um construto sem um vínculo direto com as observações. A história do atomismo no século XIX demonstra que não havia evidência definitiva da existência dos átomos e que somente alguém que seguisse pela trilha do atomismo poderia ver átomos em toda a parte. Nesse sentido, anomalias, conflitos e experimentos críticos

parecem ineficazes para manter sob controle ideias contínuas e alternativas sobre a matéria. Pelo contrário, essas ideias alternativas parecem coerentes e plausíveis, possuindo um *status* elevado para os alunos. No entanto, essas ideias apresentam alguns obstáculos epistemológicos e ontológicos ao desenvolvimento do atomismo científico, mesmo em nível elementar. É possível identificar esses obstáculos na análise do perfil conceitual do átomo e planejar o ensino levando em consideração os obstáculos.

O outro conceito, os estados físicos da matéria, possui vários aspectos diferentes e tem fortes raízes nos experimentos empíricos e mesmo nos procedimentos empíricos do cotidiano. Existem diversos estudos na literatura demonstrando que as crianças conseguem, ainda bem cedo, conceitualizar os sólidos e os líquidos de alguma forma e utilizar esses conceitos para classificar os materiais. Além disso, essas ideias primitivas sobre líquidos e sólidos, do tipo "o sólido é rígido e duro", "podemos derramar os líquidos", "os líquidos contêm água" etc., nos ajudam a tratar dos líquidos e sólidos nas situações do dia a dia. A construção de uma nova ideia científica deve explicar a antiga, mas não deve suprimir ou reduzir seu *status*. Se isso acontecesse, os alunos teriam diversos problemas em seu cotidiano, derramando os líquidos e colidindo com os objetos sólidos. Nesse caso, o processo pedagógico precisa mostrar os limites do conceito primitivo, através de situações nas quais eles não funcionam, como as suspensões coloidais e os cristais de líquidos.

CATEGORIAS PARA UM PERFIL CONCEITUAL DO CONCEITO DO ÁTOMO E DOS ESTADOS FÍSICOS DA MATÉRIA

A primeira zona do perfil atômico é realista e caracterizada pela ausência de qualquer noção descontínua da matéria. Essa zona se caracteriza por uma negação do atomismo e seu principal obstáculo é a negação da possibilidade de existência de um vácuo. O aluno que só tem essa noção da matéria a representa como um contínuo, sem qualquer referência a partículas.

Associada a esse conceito de matéria, existe uma noção realista dos estados físicos da matéria, que é intimamente ligada às aparências e aos aspectos sensíveis dos materiais. Nossos alunos demonstraram a mesma variedade de visões realistas que aparece na literatura: os sólidos são duros, espessos; é possível tocar e segurar os sólidos; os líquidos são macios; não é possível segurá-los, eles escorrem; os líquidos são molhados e contêm água; os gases são invisíveis; não é possível tocar ou sentir um gás; os gases se espalham na atmosfera.³⁵

A segunda zona do perfil é a que eu chamo de “atomismo substancialista”. O substancialismo é um aspecto relevante porque leva à conclusão de que, apesar de utilizar partículas em suas representações, os alunos pensam nessas partículas como grãos de matéria que podem se dilatar, contrair, mudar de estado etc. Então os alunos fizeram uma analogia entre o comportamento das partículas e das substâncias. Eles não se referiam ao átomo como um conceito científico, mas a grãos de matéria que apresentam propriedades macroscópicas. Essa analogia entre os mundos macroscópico e microscópico é o principal obstáculo epistemológico para os estudantes cujos conceitos podem ser classificados nessa zona. Além disso, o fato de utilizarem partículas em suas representações da matéria não garante que eles acreditem na existência do vácuo entre elas. Isso é particularmente importante porque uma pessoa nessa área não consegue necessariamente superar o obstáculo da área anterior. Houve um episódio semelhante na história das Ciências. Desde o século XVII, os filósofos mecanicistas tentam explicar as transformações da matéria usando partículas materiais, revivendo os átomos de Lucipo e Demócrito. No entanto, não havia consenso sobre a natureza das partículas: elas eram átomos verdadeiros (do grego, *indivisíveis*) separados por um vácuo – de acordo com Gassendi e, posteriormente, segundo Boyle e Newton, entre outros –, ou elas eram separadas por outras partículas cada vez menores, chegando a seu limite nas partículas infinitesimais – como propunha Descartes, seguido por outros filósofos?³⁶

O conceito do átomo não possui uma área empírica correspondente, e as dificuldades de aceitá-lo no século XIX estavam

relacionadas à ausência de evidência empírica. Vários cientistas importantes no século XIX eram céticos em relação à sua validade, e alguns se opunham fortemente a ele. Faraday, por exemplo, cujos trabalhos empíricos trouxeram importantes contribuições para o desenvolvimento da hipótese atômica, tinha sérias reservas sobre isso, com base no raciocínio empírico. Ele demonstrou a impossibilidade de se dar uma explicação coerente sobre a existência dos materiais condutores e isolantes à luz dessa hipótese atômica. Segundo Faraday, essa hipótese postulava que cada átomo era separado dos outros e que o único componente contínuo da matéria era o espaço vazio. Ao refletir sobre a necessidade de um meio contínuo para permitir que a eletricidade fluísse através da matéria, Faraday perguntou como o espaço vazio poderia ter uma natureza dupla, sendo ao mesmo tempo condutor nos corpos condutores e isolante nos corpos isolantes.³⁷ Essas dificuldades da história das ciências nos ajudam a compreender algumas das dificuldades do processo pedagógico com relação à falta de evidência empírica para a hipótese atomista.

A terceira zona do perfil do átomo corresponde à noção clássica do átomo como unidade básica da matéria, conservada durante as transformações químicas. O átomo é uma partícula da matéria, e seu comportamento é governado por leis mecânicas, como qualquer outro corpo. As substâncias são constituídas de moléculas que resultam da combinação dos átomos. Os átomos do mesmo tipo possuem o mesmo peso atômico médio.

Em meu estudo, dediquei-me especialmente a essa terceira área do perfil do átomo, devido ao meu interesse em encontrar formas de ensinar a teoria da matéria em nível elementar. Para ensinar esse conceito, precisamos identificar suas categorias e usá-las a fim de expandir essa parte do perfil, criando uma “estrutura fina” do espectro conceitual. Uma categoria importante a ser acrescentada à descontinuidade e ausência do substancialismo é a conservação da massa na transformação da matéria. A falta de conservação parece mais fácil de aceitar do que a ideia de que “a natureza abomina o vácuo” e, em seguida, o “atomismo substancialista”. Creio que haveria um obstáculo epistemológico à construção do conceito

do átomo, se os alunos não usassem o raciocínio de conservação em qualquer contexto. Porém, este não é o caso. Os alunos na faixa dos 14-15 anos utilizam esse raciocínio de diversas formas. A questão trata apenas da transferência desse raciocínio para uma nova situação.

As três categorias (continuidade/descontinuidade; substancialismo/não substancialismo; ausência/presença da conservação da massa) foram suficientes para uma análise das ideias atomistas apresentadas pelos alunos antes da aula. Como em vários estudos encontrados na literatura, nossos alunos não usaram as outras categorias que caracterizam o atomismo clássico: movimento-energia; interação-arranjo.

A terceira zona do perfil dos estados físicos da matéria é apoiada por uma generalização que não é uma característica externa dos materiais, mas que precisa ser construída como um modelo explicativo. Nessa definição, existem aspectos mútuos entre as substâncias sólidas, líquidas e gasosas, ou seja, elas são compostas por partículas. O que torna as substâncias sólidas diferentes das líquidas e gasosas não é mais a variação externa – um aspecto extrínseco e sensível –, mas um aspecto intrínseco que pertence a um sistema conceitual mais amplo que nos permite identificar semelhanças entre materiais que parecem tão diversos. Essa transição dos aspectos externos, vinculados a fortes aspectos sensíveis, para os aspectos internos, vinculados a modelos imaginários, é um grande obstáculo epistemológico que precisa ser superado no ensino.

Esses aspectos intrínsecos do modelo atômico clássico, juntamente com a descontinuidade, permitem uma análise do comportamento da matéria, conduzindo a um conceito mais sofisticado dos estados físicos da matéria do que os modelos realista e empírico. Esse conceito “interno” constitui a terceira zona desse perfil. De acordo com esse modelo, as partículas possuem um movimento intrínseco ligado à energia cinética e devem ser arranjadas de formas diferentes nos três estados físicos, associados às diferentes interações entre as partículas em cada estado. Segue-se que os sólidos são organizados de forma muito ordeira devido à forte interação entre as partículas, que ocupam posições fixas num cristal. Os líquidos mantêm suas

partículas juntas, porém arranjadas de forma desordenada, o que significa que a interação entre elas é mais fraca do que nos sólidos. Na fase gasosa, as partículas possuem interação mínima e, por esse motivo, não se unem, tendo mais movimento do que as partículas dos líquidos, além de serem individuais. Se as moléculas gasosas não absorvem a luz na região visível dos espectros eletrônicos, espera-se então que o gás seja invisível.

Essa última característica dá margem a críticas sobre os conceitos realistas e empíricos da fase gasosa, que incluem nuvens, neblina e o vapor resultante da água que ferve em uma chaleira, como materiais gasosos. Além disso, é preciso trabalhar com outra categoria de materiais, ou seja, o aerossol, a fim de classificar esse tipo de material.

É importante perceber que o atomismo clássico ainda possui características “realistas” e “substancialistas”, como legado de suas origens mecanicistas. Apesar da diferença epistemológica entre o atomismo clássico e as outras duas áreas do perfil, todos esses conceitos consideram o átomo como um tipo de coisa material, um bloco-base a partir do qual as substâncias são construídas. Nesse sentido, todos esses “átomos” pertencem à mesma categoria ontológica. A principal diferença é que, na visão clássica e racional, não podemos atribuir todo o comportamento material aos átomos, simplesmente porque algumas formas de comportamento (como derreter, ferver, dilatar) são uma consequência do movimento dos átomos, moléculas ou íons em um vácuo e da interação entre eles, que pode variar à medida que a energia do sistema é alterada. Consequentemente, um átomo individual não apresenta propriedades como pontos de fervura ou fusão, que são interpretadas como resultado da agregação de um grande número deles em quantidades macroscópicas. No entanto, um átomo clássico apresenta algumas outras propriedades materiais, como massa, volume, raio etc. Sendo assim, trata-se de uma coisa material que pertence à categoria ontológica da substância. O átomo só passou para outra categoria ontológica com a mecânica quântica, que começou a ver os átomos não como partículas materiais, mas como objetos quânticos.

Eu poderia não me preocupar com as outras áreas do perfil do conceito de átomo, já que meu interesse é o ensino no curso elementar. No entanto, é importante identificar a direção geral da mudança no conceito, a fim de evitar reforçar alguns obstáculos epistemológicos e ontológicos à sua compreensão em nível mais avançado. É impossível evitar completamente esse problema, já que a visão clássica do átomo possui alguns aspectos intrínsecos que representam obstáculos à construção de uma visão quântica do átomo. Isso é inerente à noção de obstáculo, uma característica de conhecimento. O que hoje seria uma ideia nova no futuro se torna, inevitavelmente, um obstáculo à resolução de um novo problema. Essa natureza provisória do conhecimento nos obriga a refletir sobre o ensino como uma mudança no perfil conceitual e não como uma substituição das noções cotidianas por conceitos científicos que deverão ser substituídos por conceitos mais avançados. Dentro da lógica da substituição de conceitos, seria inútil ensinar os conceitos clássicos, já que eles não são "conceitos científicos" à luz da ciência moderna.

A nova zona do perfil do átomo é uma consequência do tratamento da mecânica quântica do sistema atômico. A aplicação do elementar *quantum* de ação de Plank ao átomo, feita por Bohr em 1913, deu início à transição da visão clássica para a visão quântica do átomo. No átomo de Bohr, essa nova ideia coexistia com as ideias clássicas sobre as partículas em órbita. Entretanto, a nova visão atômica que emergiu a partir da teoria quântica ao final da década seguinte desligou-se de forma drástica do conceito de átomo como partícula material da mecânica. O átomo como objeto quântico pertence a outra categoria ontológica. Não se trata mais de uma partícula material, mas de um tipo de objeto melhor descrito através de equações matemáticas do que através de analogias ou modelos. A versão mais popular da mecânica quântica é precisamente a postulada por Schrödinger, que atribui as equações de ondas a elétrons. O apelo a coisas familiares como ondas não reduz a complexidade da realidade quântica, já que atribuímos propriedades de ondas às partículas materiais.

A visão quântica mecânica dos átomos possui duas implicações importantes para o ensino da visão clássica. A primeira é que ela envolve uma superação dialética da contradição contínuo-descontínuo. O objeto quântico possui as propriedades das coisas contínuas (ondas, campos etc.) e das coisas descontínuas (partículas). De acordo com Toulmin,

os físicos podem discutir com gravidade se as chamadas "partículas fundamentais" não poderiam ser substituídas por singularidades matemáticas no campo da força – um conceito que tem mais em comum com as teorias do contínuo dos estoicos do que com o atomismo nu e cru de Demócrito.³⁸

O problema está simplesmente ligado ao modo como cada cultura científica utiliza seu perfil conceitual. Para os químicos, a visão clássica, atomista e descontínua é de fato fundamental. Todo o universo molecular é representado como tal. O químico pode imaginar uma molécula como um conjunto de singularidades matemáticas nos campos de foco. No entanto, ao planejar uma síntese, ele está mais preocupado com as partículas como entidades materiais, que podem ser adicionadas ou removidas de um reagente a fim de se obter um composto final.

A segunda consequência da mecânica quântica no ensino do atomismo clássico é o papel dos modelos e das analogias. As dificuldades de se interpretar os resultados da mecânica quântica estão ligadas à impossibilidade de traduzi-los em nosso mundo conhecido de objetos materiais e eventos. Não existe um elo direto entre os elementos teóricos e a realidade física, pelo menos na visão clássica da realidade física.³⁹ Consequentemente, no atomismo clássico, não podemos trabalhar com modelos e analogias como verdades definitivas sobre a realidade, mas como visões provisórias e incompletas que são meramente isomórficas em relação à realidade. O modelo é essencialmente uma construção, uma construção sempre provisória, dependente de uma resposta que a realidade dá à sua presença. Ao ensinar os modelos clássicos, devemos ter cuidado em utilizar modelos, a fim de evitar a criação de obstáculos epistemológicos e ontológicos à visão quântica.

CONCLUSÕES

A partir da análise das categorias que constituem as diferentes zonas dos perfis conceituais do átomo e dos estados físicos da matéria, podemos tirar algumas conclusões sobre a relação entre diferentes noções de um perfil conceitual. Com relação aos estados físicos da matéria, o novo conceito atomista pode explicar alguns aspectos dos conceitos empíricos anteriores, sem negá-los. Nesse sentido, um processo educativo não leva a uma mudança conceitual, mas a uma mudança no perfil conceitual do aluno, aumentando uma zona do perfil racional e restringindo os domínios de outras (sensível-realista e empírica). Os alunos saídos do processo pedagógico reteriam todas as ideias que tinham antes. No entanto, espero que aqueles que mudaram seu perfil e tomaram consciência desse processo possam reconhecer os domínios diferentes de cada ideia, bem como seu referencial hierárquico, em que algumas ideias explicam outras.

Essa mudança do perfil conceitual deve acontecer também com a teoria da matéria. O problema aqui é que um conjunto de ideias científicas contradiz suas alternativas, e a melhor forma de resolver as contradições é eliminar um dos termos. Entretanto, isso exige coerência em um aspecto epistemológico das ideias científicas e racionais, o que não é encontrado, necessariamente, entre as ideias das crianças ou no raciocínio cotidiano. Mesmo nas ciências, é possível encontrar ideias aparentemente contraditórias coexistindo num mesmo modelo ou explicação, por exemplo, as ideias clássicas e quânticas no átomo de Bohr. Quando os alunos adquirem uma forma atomista de enxergar o mundo, eles podem superar a contradição e desistir das ideias antigas para lidar com os problemas de forma científica. Mesmo quando isso ocorre, não quer dizer que os alunos abandonem outras partes do perfil conceitual. O conceito contínuo da matéria continua a existir nas mentes dos alunos, como também na mente de um físico ou químico. O que ocorre é que os alunos, como os cientistas, podem adquirir a capacidade de discriminar quando um ou outro conceito é aplicável. Isso significa, em determinado grau, que os alunos

chegam a uma conscientização de seu próprio perfil e podem decidir onde cada conceito se aplica. Para os alunos envolvidos no aprendizado do atomismo elementar, este perfil alcançado após o ensino inclui apenas algumas zonas distintas, como a visão realista da matéria (como algo contínuo) e uma visão atomista primária (matéria constituída por partículas em movimento no espaço vazio). No cientista, como no físico ou químico, o perfil tem outras zonas, como a visão atomista desenvolvida (o átomo é um sistema de subpartículas) e uma visão quântica (o átomo é um sistema de objetos quânticos descritos por modelos matemáticos). No entanto, os cientistas, e também as crianças que são conscientes de seu perfil, podem utilizar cada noção no momento apropriado.

É possível determinar se o aluno adquiriu uma nova zona em seu perfil conceitual, procurando o uso de categorias que caracterizam essa zona na explicação de alguns fenômenos. Com relação ao atomismo elementar, isso significa que os alunos podem utilizar categorias como descontinuidade, movimento-energia, interação-arranjo ao explicar as transformações da matéria, como dilatação, compressão de gases, mudanças nos estados físicos etc. Esse tipo de avaliação, porém, só demonstra se os alunos obtiveram um entendimento completo ou incompleto da forma atomista de se enxergar o mundo. Para verificar se os alunos utilizam elementos estáveis diferentes de um perfil conceitual em ocasiões diferentes, seria necessário utilizar diversos problemas, de acordo com cada contexto identificado na análise teórica do perfil. A capacidade de identificar o contexto e responder, utilizando a área apropriada do perfil, poderia ser uma indicação não apenas de que o aluno possui um perfil, mas também de que ele ou ela está consciente desse perfil. Obter esse tipo de informação através de entrevistas e testes individuais seria importante para verificar a operacionalidade da noção de perfil conceitual e para investigar como esse perfil pode mudar como resultado do ensino.

Resultados empíricos como os de Galili e Bar,⁴⁰ demonstrando que os mesmos alunos que tiveram bom desempenho em tarefas conhecidas sobre força e movimento reverteram ao raciocínio pré-newtoniano de que “movimento implica força” em questões

com as quais não estavam familiarizados, são indicadores de que os alunos possuem um perfil de concepções, uma vez que suas crenças anteriores não foram substituídas, mas coexistem com a nova visão. Mesmo um aluno que utilize o raciocínio newtoniano em questões com as quais não está familiarizado teria esse perfil. A diferença é que esse aluno parece estar consciente da melhor ocasião para utilizar cada setor do perfil. Ele poderia aplicar o raciocínio pré-newtoniano em um contexto apropriado, por exemplo, na vida cotidiana. Falar sobre "a força de um argumento" ou sobre "a força dos raios ultravioleta"⁴¹ é exemplo do uso apropriado de concepções não newtonianas de força na vida cotidiana. Creio ser possível encontrar resultados semelhantes em outras áreas em que as noções possuem uma forte raiz no senso comum. Scott,⁴² por exemplo, ao investigar o desenvolvimento das ideias de uma aluna de nível secundário sobre a matéria, verificou que, ao final da aula, a aluna "foi capaz de diferenciar claramente entre seu mundo cotidiano (*life-world*) e o conhecimento 'científico', ao afirmar que o primeiro seria mais útil numa conversa com sua mãe (que não tinha um *background* científico)".⁴³ A noção de perfil conceitual fornece um referencial teórico para interpretar esse tipo de resultado. Além disso, a existência de visões clássicas e modernas com relação a diversos conceitos na ciência, como demonstrei com relação ao conceito de átomo, é uma forte indicação de que não podemos falar sobre uma visão científica como oposta à visão do senso comum, já que essa visão científica não é única.

Usando a noção de perfil conceitual, é possível tratar com a evolução conceitual na sala de aula, não como uma mudança conceitual, mas como uma mudança acompanhada pela aquisição de consciência, do perfil conceitual do aluno. Usei essa ideia para servir de base para a análise do ensino da teoria da matéria nas escolas secundárias. Ela ajudou na seleção das estratégias pedagógicas para tratar dos obstáculos à construção de um ponto de vista científico elementar. Foi usada também para avaliar a evolução conceitual, selecionando categorias diferentes dentro de uma hierarquia que permite traçar a direção dessa evolução. Creio que é possível utilizar esse referencial teórico para analisar o processo pedagógico para este e para outros conceitos, podendo

gerar pesquisas futuras. Uma questão importante a tratar nessas pesquisas é como determinar o perfil de cada indivíduo antes e depois do ensino, e em que grau ele atinge uma consciência de seu perfil ao final do processo pedagógico.

(Texto apresentado pela Linha Educação e Ciências, e originalmente publicado em inglês, como artigo, em *Science & Education*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 4, p. 267-285, 1999.)

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado por bolsas do CNPq, CAPES (PADCT-SPEC) e da Pró-Reitoria de Pesquisa da UFMG. Uma visita acadêmica ao CLIS (*Children's Learning in Science Research Group*), Universidade de Leeds, Grã Bretanha, tornou possível a redação deste artigo. Agradeço a Rosalind Driver, Phil Scott e a três revisores anônimos por suas sugestões nas versões preliminares deste artigo.

NOTAS

- 1 MATTHEWS, M. R., Constructivism and Empiricism: An Incomplete Divorce. *Review of Educational Research*, 22, p. 299-307, 1992.
- 2 DRIVER, R. "Students" Conceptions and the Learning of Science. *International Journal of Science Education*, v. 11, n. 5, p. 481, 1989.
- 3 POSNER, G. J. et al. Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change. *Science Education*, v. 66, n. 2, p. 211, 1982.
- 4 NIEDDERER, H.; GOLDBERG, E.; DUTT, R. Towards Learning Process Studies: A Review of the Workshop on Research in Physics Learning. In: _____ (Ed.). *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies*. Kiel: IPN, 1991. p. 10-28.
- 5 SOLOMON, J. Learning about Energy: How Pupils Think in Two Domains. *European Journal of Science Education*, v. 5, n. 1, p. 49-50, 1983.
- 6 CHI, M. T. H. Conceptual Change within and across Ontological Categories: Examples from Learning and Discovery in Science. In: GIERS, R. (Ed.). *Cognitive Models of Science: Minnesota Studies in the Philosophy of Science*. Minnesota: University of Minnesota Press, 1991.

- ⁷ LINDER, C. J. A Challenge to Conceptual Change. *Science Education*, v. 77, n. 3, p. 293-300, 1993.
- ⁸ *Ibidem*, p. 298.
- ⁹ GALILI, I.; BAR, V. Motion Implies Force: Where to Expect Vestiges of the Misconceptions? *International Journal of Science Education*, v. 14, n. 1, 63-81, 1992.
- ¹⁰ *Ibidem*, p. 78.
- ¹¹ SCHUTZ, A. *The Phenomenology of the Social World*. Translated by G. Walsh and F. Lehnert. New York: Northwestern University Press, 1967. p. 139.
- ¹² BERGER, P. L.; LUCKMANN, T. *The Social Construction of Reality: A Treatise in the Sociology of Knowledge*. London: Allen Lane, 1967.
- ¹³ *Ibidem*, p. 39.
- ¹⁴ *Ibidem*, p. 40.
- ¹⁵ DURKHEIM, E. *Selected Writings*. Cambridge: Cambridge University Press, 1972.
- ¹⁶ KOZULIN, A. *Vygotsky's Psychology: A Biography of Ideas*. New York: Harvester Wheatsheaf, 1990.
- ¹⁷ VYGOTSKY, L. S. *Mind in Society: The Development of Higher Psychological a Process*. Edited by M. Cole et al. Cambridge: Cambridge University Press, 1978.
- ¹⁸ VYGOTSKY, L. S. *Sobranie Sochinenni (Collected Papers)*. Moscow: Pedagogika, 1982 citado por KOZULIN, *op. cit.*
- ¹⁹ MARTON, F. Phenomenography – Describing Conceptions of the World around us. *Instructional Science*, 10, p. 193, 1981.
- ²⁰ *Ibidem*, p. 179
- ²¹ BACHELARD, G. *The Philosophy of No*. Translated by G.C. Waterston. New York: The Orion Press, 1968. p. 34
- ²² *Ibidem*, p. 18.
- ²³ Por exemplo, SÉRÉ, M.G. Children's Conceptions of the Gaseous State, Prior to Teaching. *European Journal of Science Education*, v. 8, n. 4, p. 413-425, 1986; STAVY, R. Children's Conceptions of Gas. *International Journal of Science Education*, v. 10, n. 5, p. 530-560, 1988; STAVY, R. Children's Conceptions 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, 1990.
- ²⁴ BACHELARD, *op. cit.*, p. 22.
- ²⁵ *Ibidem*, p. 25.
- ²⁶ CHI, *op. cit.*
- ²⁷ MARTON, *op. cit.*
- ²⁸ POPPER, K. R. *Objective Knowledge: An Evolutionary Approach*. Oxford: Oxford University Press, 1972.
- ²⁹ PIAGET, J. *The Development of Thought: Equilibration of Cognitive Structures*. Translated by Arnold Rosin. Oxford: Basil Blackwell, 1977.
- ³⁰ VYGOTSKY, L. S. *Thought and Language*. Translated from by E. Hanfmann and G. Vakar. Cambridge: MIT Press, 1962. p. 91
- ³¹ *Ibidem*, p. 90
- ³² CLAPAREDE, E. *L'education fonctionnelle*. Neuchâtel: Delachaux et Niestle, 1946, p. 57, tradução do autor.
- ³³ HEWSON, P. W.; THORLEY, R. The Conditions of Conceptual Change in the Classroom. *International Journal of Science Education*, v. 11, n. 5, p. 542, 1989.
- ³⁴ MCDERMOTT, L. C. Research on Conceptual Understanding in Mechanics. *Physics Today*, jul. 1984.
- ³⁵ Para fins de comparação, ver: STAVY, R.; STACHEK, D. Children's Ideas about "Solid" and "Liquid". *European Journal of Science Education*, v. 7, n. 4, p. 407-421, 1985; STAVY. Children's Conceptions of Gas. *International Journal of Science Education*, v. 10, n. 5, p. 530-560, 1988.
- ³⁶ VAN MELSEN, A. G. *From Atomos to Atom: The History of the Concept Atom*. Pittsburgh: Duquesne University Press, 1952.
- ³⁷ FARADAY, M. A Speculation Touching Electric Conduction and the Nature of Matter. *Phil. Mag.*, 24, p. 136-144, 1844.
- ³⁸ TOULMIN, S. *Foresight and Understanding: An Enquiry into the Aims of Science*. London: Hutchinson, 1961. p. 105.
- ³⁹ Para um debate interessante sobre esse ponto, ver: EINSTEIN, A.; PODOLSKY, B.; ROSEN, N. Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality be Considered Complete? *Physical Review*, 47, p. 777-780, 1935; BOHR, N. Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality be Considered Complete? *Physical Review*, 48, p. 696-702, 1935.
- ⁴⁰ GALILI; BAR, *op. cit.*
- ⁴¹ COLLINS COBUILD ENGLISH LANGUAGE DICTIONARY, 1987, p. 565.
- ⁴² SCOTT, P. 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: Cornell University, 1987. v. II, p. 404-419.
- ⁴³ *Ibidem*, p. 417.