

PRESSUPOSTOS EPISTEMOLÓGICOS PARA A PESQUISA EM ENSINO DE CIÊNCIAS

Ana Maria Pessoa de Carvalho

Ruth Schmitz de Castro

da Fac. de Educação/USP

Carlos Eduardo Laburu

do Inst. de Física da Univ. Estadual de Londrina

Eduardo Fleury Mortimer

da Fac. de Educação/UFMG

RESUMO

Tendo como referência a teoria piagetiana de equilíbrio, este artigo examina aspectos da construção do conhecimento, em especial do conhecimento científico, retirando exemplos de conteúdos específicos de Ciências. Discute a função do professor na construção do conhecimento pelo aluno, buscando subsidiar a pesquisa em ensino em uma perspectiva construtivista.

ENSINO DE CIÊNCIAS - INTEGRAÇÃO ENSINO-PESQUISA -
PIAGET - PSICOLOGIA GENÉTICA

ABSTRACT

EPISTEMOLOGICAL PRESSUPPOSITIONS FOR RESEARCH ON SCIENCE TEACHING. By drawing on Piaget's theory of equilibration, this paper examines aspects of the construction of knowledge, mainly scientific knowledge, using examples from Science curricula contents. It discusses the teacher's role in the construction of knowledge by students, offering suggestions for research on science teaching in a constructivist approach.

Durante os últimos anos, inúmeros trabalhos têm sido realizados a fim de levantar concepções dos estudantes acerca de determinados conteúdos e analisar o papel que elas desempenham na aquisição dos conceitos científicos. O freqüente fracasso do ensino em mudar tais concepções parece invocar uma perspectiva construtivista de ensino e aprendizagem: o conhecimento não é simplesmente transmitido ou revelado, mas construído pelo próprio sujeito a partir de impressões ou vagas noções que evoluem de acordo com as possibilidades e oportunidades desse sujeito. Segundo Driver (1989, p.481), "a aprendizagem se dá através de um envolvimento ativo do aprendiz na construção do conhecimento. Dentro desta perspectiva construtivista, os aprendizes vão construindo representações mentais do mundo ao seu redor, que são usadas para interpretar novas situações e guiar sua ação nestas situações".

Mais recentemente, diversos pesquisadores da área vêm se dedicando incansavelmente à busca de estratégias instrucionais que levem em conta o que os alunos pensam, como percebem e compreendem os fenômenos que vão ser estudados (Stavy e Berkovitz, 1980; Nussbaum e Novick, 1982; Posner et al.; 1982; Rowell e Dawson, 1984; Hewson, 1990).

Porém, intercalada a essas preocupações fundamentais para o avanço das pesquisas e do próprio ensino das ciências, uma questão de ordem filosófica se nos impõe: como o sujeito efetivamente constrói seu conhecimento? Em outras palavras, como ele melhora suas noções; como aprimora sua forma de explicar; de que modo ele se aproxima do conhecimento aceito como científico?

Neste artigo, voltar-nos-emos para esta indagação que parece ligar filosoficamente a preocupação com as concepções alternativas dos alunos e a busca de um ensino mais eficaz de conceitos científicos. Vamos analisá-la a partir da teoria piagetiana que se revela, cada vez mais para nós, um instrumento de referência consistente para o enfrentamento dessas questões. Tentaremos elucidar alguns pontos desta teoria através de exemplos retirados de conteúdos específicos de ciências.

Discutiremos, ainda, o papel do professor, tentando redimensionar sua função na construção do conhecimento pelo aluno. Finalmente, levantaremos algumas pistas que se apresentam quando uma postura construtivista é adotada e o ensino é encarado como uma atividade de investigação.

COMO O CONHECIMENTO É CONSTRUÍDO

Encontramos na Teoria da Equilibração Piagetiana (ou da auto-regulação) uma estrutura teórica capaz de abarcar os vários aspectos da questão de saber como o estudante melhora suas noções, construindo o conhecimento. Segundo essa teoria, todo indivíduo possui um sistema cognitivo que funciona por um processo de adaptação (assimilação/acomodação) que é perturbado por conflitos e lacunas, reequilibrando-se através de três fases de compensações: alfa, beta e gama.

Em primeiro lugar, ao tentar se aproximar do objeto de conhecimento, o sujeito, por meio do processo de adaptação, utiliza dois elementos fundamentais que compõem qualquer sistema cognitivo. O primeiro é a "assimilação ou a incorporação de um elemento exterior (objeto, acontecimento etc.) num esquema sensorio-motor ou conceitual do sujeito (...)". O segundo processo central "é a acomodação, quer dizer, a necessidade em que a assimilação se encontra de considerar as particularidades próprias dos elementos a assimilar" (Piaget, 1977, p.16-7). Esses elementos estão normalmente em equilíbrio. O sistema é perturbado e mecanismos de equilibração são disparados no indivíduo, quando um conflito ou uma lacuna, reconhecidos antecipadamente como tais, são gerados frente a um objeto ou a um evento.

A partir de perturbações, produzem-se construções compensatórias que buscam outro equilíbrio, melhor que o anterior (o que Piaget chama de equilibração majorante). Nas desequilibrações sucessivas, o conhecimento exógeno é complementado por reconstruções endógenas que são incorporadas ao sistema do sujeito. As estruturas cognitivas utilizáveis na abordagem de objetos e fatos são então desenvolvidas, propiciando o progresso na construção do conhecimento.

A teoria piagetiana distingue três fases ou comportamentos compensatórios que compõem nos mecanismos de equilibração:

— um comportamento alfa, no qual prevalece a tentativa de neutralizar a perturbação: considerando-a anômala, não lhe atribuindo importância, ou deformando-a para não reconhecê-la como perturbação. Esta maneira de restaurar o equilíbrio só é parcialmente compensadora e o equilíbrio é, pois, frágil e instável e será facilmente perturbado.

— o segundo comportamento, chamado beta por Piaget, busca a perturbação no sistema, sem ignorá-la, mas criando teorias específicas para explicá-la. O sistema começa a ser modificado até atingir um novo equilíbrio, no qual os distúrbios aparecem como variações da própria estrutura reorganizada.

— a reorganização iniciada em beta é completada no comportamento gama, que consiste em antecipar por previsão ou dedução as variações possíveis. Elimina-se assim a perturbação como tal, inserindo-a no sistema já devidamente transformado para contê-la como mais uma possibilidade e não mais como distúrbio.

Podemos entender melhor a diferença destes comportamentos se considerarmos, por exemplo, como um aluno se comporta quando é levado a medir a temperatura de ebulição da água numa cidade situada acima do nível do mar. Ele pode ter a expectativa, baseada em informações anteriores, de que a água ferverá a 100°C. Ao obter experimentalmente um valor menor que este, apresentará um comportamento alfa quando se negar a reconhecer essa perturbação, atribuindo a anomalia, por exemplo, a um defeito do termômetro ou à incapacidade da fonte de calor em elevar mais a temperatura ("se usarmos um fogo mais alto, a temperatura chegará a 100°C").

Esse comportamento evoluirá para uma fase beta quando o aluno procurar alterar sua explicação, levando em conta, o fato perturbador. Ele pode, então, atribuir a temperatura menor ao fato de o vapor "estar carregando o calor", impedindo que a temperatura se eleve; ou, ainda, ao fato de o dia estar frio ou, mesmo, chegar à conclusão de que a altitude influencia a temperatura de ebulição.

Essa evolução do comportamento chegará finalmente à fase gama quando o aluno possuir, articuladamente, todas as informações necessárias para considerar o fato perturbador como algo previsível dentro de seu sistema cognitivo. Para apresentar um comportamento gama o aluno deverá, então, ser capaz de articular vários esquemas entre si e saber aplicá-los ao fenômeno em questão. No exemplo citado, isso implica coordenar as seguintes questões: um líquido entra em ebulição quando sua pressão de vapor iguala a pressão atmosférica; a temperatura em que isto ocorre é tanto mais baixa quanto menor for a pressão atmosférica; a pressão atmosférica é menor em altitudes maiores.

Percebe-se um progresso sistemático nesses comportamentos e qualquer deles pode levar ao novo estado de equilíbrio entre os processos de assimilação e acomodação.

Nessa maneira de explicar como o conhecimento progride, o estado conflitual constitui o motor, desempenhando o papel de mola propulsora. A ultrapassagem desse estado, ou seja, a reequilibração majorante, é a real fonte de progresso.

Isto parece ter inspirado várias propostas de ensino na linha construtivista, que lançam mão da estratégia de "conflito cognitivo". Segundo essa estratégia, o aluno aprende naturalmente se suas idéias prévias sobre determinado fenômeno são colocadas em conflito com observáveis, ou seja, se suas previsões ou antecipações teóricas são contrariadas por resultados experimentais. Por exemplo, imaginemos um circuito simples, contendo duas ou três lâmpadas ligadas em série e sujeitas a uma certa diferença de potencial. Se perguntarmos a um aluno qual sua expectativa em relação à intensidade do brilho das lâmpadas, ele poderá afirmar que a primeira brilhará mais que a segunda e esta mais que a terceira. Chega a explicar que isso ocorre porque, ao passar pela primeira lâmpada, a corrente "é dissipada" ou "gasta-se", o mesmo ocorrendo após passar pela segunda. Esse tipo de concepção prévia é muito comum em nossos alunos, o que parece demonstrar uma indiferenciação entre corrente, energia e potência. No momento em que a experiência é realizada e se constata o igual brilho das três lâmpadas, há um conflito entre a explicação prévia e o resultado empírico.

Uma situação de conflito cognitivo é, pois, criada, parecendo favorecer a aprendizagem no caso de o sujeito identificar o conflito como tal e passar a trabalhar no sentido de ultrapassá-lo.

PERTURBAÇÕES DO SISTEMA COGNITIVO: CONFLITOS E LACUNAS

Quando uma perturbação é causada por um agente externo (professor, debates em grupo), pretende-se que os níveis beta e, principalmente, gama, sejam alcançados. Mas, se a perturbação for suficientemente grande em relação ao nível equilibrado das componentes assimilação-acomodação, de modo que esta última se mostre demasiadamente extensa, o sujeito não reconhecerá o elemento perturbador como tal. As estratégias de ensino tornar-se-ão inoperantes e não se ultrapassará o nível compensatório alfa. Portanto, é importante que, dentro da assimilação, a componente da acomodação disponha de espaços e limites *suficientes* (e não mais que isto) para que a perturbação possa ser integrada ao novo ou aos novos esquemas de assimilação.

Além disso, para se construírem atividades de ensino baseadas na teoria da equilibração, deve-se levar em conta que as perturbações podem ser de dois tipos: conflitivas ou lacunares. As conflitivas, já exemplificadas, contrariam as expectativas e implicam em correções, factíveis apenas a partir da análise da contradição; as lacunares ocorrem quando, numa situação, faltam objetos ou condições que seriam necessários para realizar uma ação ou, ainda, quando não se têm informações ou conhecimentos indispensáveis para resolver um problema (Piaget, 1977). Dessa forma, as lacunas relacionam-se com um esquema de assimilação já ativado e sua regulação implica reforços e não correções.

Como exemplo de uma perturbação lacunar, podemos imaginar a reação de um aluno frente a um experimento de objetos cilíndricos descendo um plano inclinado. Utilizando-se cilindros homogêneos, confirma-se a expectativa do senso comum, ou seja, os cilindros descem o plano. O resultado será diferente se usarmos um cilindro não homogêneo, que possui um material mais denso colocado assimetricamente em relação a seu eixo de simetria. Neste caso, ele poderá inicialmente subir o plano. Tal fenômeno só será convenientemente explicado pelo aluno se for introduzida a noção mais geral de centro de massa. Tal superação envolve o preenchimento de uma lacuna existente em seu conhecimento, por um mecanismo de regulação que envolve extensão de conteúdo e não correções.

O fato de a perturbação se apresentar segundo essas duas formas é importante e não pode ser ignorado, embora, na maioria dos casos reais, elas compareçam juntas como fontes de desequilíbrio. Num processo de mudança conceitual, por exemplo, as estratégias de ensino baseadas em situações de conflito são necessárias mas não suficientes, uma vez que apenas a insatisfação com as idéias prévias, própria do conflito, não implica a ocorrência da mudança (Posner et al., 1982). O uso de estratégias de perturbação lacunares, nas quais informações adicionais são fornecidas, proporciona as condições adicionais para a mudança conceitual. Por isso, conflito e lacuna nem sempre podem ser tratadas

como distintas nas estratégias utilizadas para alcançar a equilíbrio majorante.

Um bom exemplo para mostrar o imbricamento desses dois tipos de perturbação surge ao perguntar a um aluno a respeito da temperatura, apenas avaliada pelo tato, de dois blocos, um de madeira e outro de alumínio, numa manhã fria. Ele tende a responder que a temperatura do bloco de alumínio é mais baixa. Se, ao contrário, ambos os blocos forem deixados ao sol por um longo tempo, a resposta será invertida (Amaral e Mortimer, 1986). Ao medir com um termômetro a temperatura desses blocos, o aluno obtém o dado empírico de que a temperatura dos dois blocos é a mesma, o que está em contradição com sua expectativa. A avaliação errônea do aluno, quanto à temperatura dos blocos, pode ser consequência da falta de informação sobre a condutividade, constituindo então uma perturbação lacunar, que requer uma nova informação — portanto um reforço — para ser regulada. Por outro lado, o aluno pode ter uma concepção errônea do que seja temperatura, confundindo-a com a sensação de quente e frio. Neste caso, temos um conflito, que deve ser compensado através de uma correção.

CONHECIMENTO CIENTÍFICO. CAUSALIDADE E LEGALIDADE

Outro aspecto importante a ser considerado nesta perspectiva construtivista é a possibilidade de distinguir o conhecimento lógico-matemático e o conhecimento físico. Da interação sujeito-objeto, através dos mecanismos de assimilação-acomodação, resultam estruturas lógico-matemáticas, endógenas aos sujeitos, que são empregadas na construção de um conhecimento do mundo físico, exógeno. Por meio da interação simbiótica, solidária, desses componentes, pode-se considerar o conhecimento científico como duas faces de uma mesma moeda: o causal e o legal.

Ao descobrir regularidades no mundo físico e ao aplicar-lhes uma relação lógico-matemática, o sujeito constrói LEIS, que exprimem relações passíveis de repetição entre fatos, constituindo um amplo domínio da legalidade. No entanto, ao procurar explicar o porquê da ocorrência de algum fenômeno ou o porquê da existência de leis, o sujeito terá que construir um sistema de relações que é apenas isomórfico em relação à realidade física, não se confundindo inteiramente com ela. Nesta sistema causal, os objetos passam a operar uns sobre os outros, em função das necessidades que o próprio sistema criou. Todas as leis conhecidas que dizem respeito ao sistema passam a ser vistas como necessárias frente ao comportamento que o sujeito atribui ao mundo físico.

Esse sistema causal depende do mundo físico — afinal é um sistema de relações entre objetos e eventos — e também das estruturas formais do sujeito, que é quem cria as relações. Assim, a existência do dia e da noite e as estações do ano — uma lei natural — torna-se necessária para um sistema causal que atribui à Terra um movimento em torno de seu eixo não perpendicular à órbita em torno do sol.

O PAPEL DA INTERAÇÃO SOCIAL E DO PROFESSOR

Além de considerar esses aspectos, ao tentar traçar uma linha de ensino construtivista inspirada nesse modelo de equilíbrio, é inevitável considerar a importância da interação social (aluno-aluno, aluno-professor) e vê-la como fundamental para a construção de conhecimentos científicos ou pré-científicos consistentes. Embora esta construção seja um processo eminentemente endógeno — o sujeito é o equilibrador — ela sempre ocorre sob o efeito dos outros no sujeito (Rowell, 1989).

Mas, de que forma a interação social influi no desenvolvimento cognitivo do sujeito? Se a perturbação, quando desequilibrante, é condição favorável ao progresso do sistema cognitivo e deve ser compatível com o limite de acomodação gerada por ela, então a interação com os outros, principalmente entre alunos, é de grande relevância. Os debates e discussões entre iguais promovem a otimização das perturbações inter-alunos, onde os argumentos de uns promovem a reelaboração dos argumentos de outros. A proximidade cognitiva dos sujeitos em discussão pode fazer com que as perturbações em jogo carreguem o *quantum* perturbativo necessário e suficiente para promover a acomodação. Em outras palavras, esses sujeitos "falam a mesma língua", sendo capazes de reconhecer o conflito como tal, não deslocando assim, de forma exagerada, e portanto irremediável naquele momento, o equilíbrio assimilação/acomodação.

A promoção de discussões entre sujeitos cognitivamente próximos é também justificada pelo fato de ser mais eficaz em possibilitar descentrações. Os pontos de vista particulares são revistos e tornam-se passíveis de ser melhorados. As contradições são mais facilmente detectáveis e superadas por extensão do domínio de discussões e por melhor compreensão através de relativização das noções, o que diminui a rigidez das idéias inicialmente engendradas pelo sujeito (Piaget, 1974).

A participação em atos coletivos desenvolve ao mesmo tempo um ponto de vista social e pensamentos operatórios, o que levou Piaget a encarar racionalidade e cooperação como dois aspectos de uma mesma coisa. Somente relações com cooperação podem influenciar o desenvolvimento cognitivo. Quando o sujeito coloca suas idéias no mesmo plano das idéias dos outros, numa perspectiva de confrontação, ele está apto para resgatar a postura crítica necessária às ultrapassagens e ao progresso cognitivo (Inhelder e Piaget, 1976).

Parece ser inegável o valor da promoção de debates e discussões para enfrentar as perturbações do tipo conflitivo. Neles, o professor também participa do processo de cooperação e deve ter claro seu papel de agente provocador, de instigador (Rowell, 1989), nas tentativas de ultrapassar este tipo de perturbação. Deverá também tentar estabelecer uma igualdade social entre os participantes dessas discussões, para que não haja imposição de "verdades" por aqueles que implicitamente detêm um peso maior dentro do grupo, pois isso pode levar a um conhecimento não autônomo.

HISTÓRIA DA CIÊNCIA E GÊNESE DE CONCEITOS

Buscará, portanto, maneiras de perturbar o sistema cognitivo do aluno para, em seguida, monitorar o processo de reequilibração. Isso, porém, parece conferir-lhe apenas o papel de mais um no processo de reequilibração. Não se pode esquecer que o professor monitora principalmente a construção de conhecimentos científicos, que dificilmente podem ser edificadas apenas com discussões e debates entre alunos. Esses, muitas vezes, não detêm as informações necessárias ou a clareza dos conceitos que buscam conhecer.

Se a construção de conhecimentos é passível de ocorrer naturalmente, inclusive atingindo níveis pré-científicos em decorrência do desenvolvimento cognitivo, o mesmo não ocorre com a construção de conhecimento científico, que não pode ser efetuada de forma tão natural e precisa da intervenção do professor. Ele é aquele que conhece o conteúdo específico, uma vez que já o construiu anteriormente, e detém informações sobre o objeto em construção. É quem possui uma visão global do conteúdo abordado e que, por isso, é capaz de integrá-lo a outros, sendo-lhe inclusive possível perceber os objetos, as informações ou condições que faltam e que são indispensáveis à elaboração dos conceitos abordados e à resolução de problemas. É, pois, nas perturbações lacunares, cuja regulação se dá por reforços, que o papel do professor deixa de ser o de mais um cooperador passando a ser o de reforçador, ou seja, aquele que dispõe de dados que possibilitam a ultrapassagem dessas perturbações. Isso é válido, também, para a ultrapassagem das perturbações conflitivas, cuja regulação se dá por correções, onde o professor busca substituir a concepção do aluno pelo conhecimento científico.

Estar ciente de sua importância na regulação e poder discernir o momento exato de entrar com reforços e/ou correções é o que distingue o professor das outras fontes de informação às quais o aluno tem acesso (textos escritos, vídeos etc.). Levando em conta que o tempo requerido para a reequilibração é individual, ele tem condições de julgar e optar pelo desdobramento ou inclusão de atividades, o que possibilitará a maximização da aprendizagem em sala de aula.

A busca de um ensino mais coerente com a própria natureza do homem, alicerçada numa concepção construtivista do conhecimento, orienta-se para o acompanhamento de dois processos: a evolução das idéias ao longo da história e o desenvolvimento cognitivo individual. A preocupação com a gênese do conhecimento obriga a abordá-la em suas dimensões possíveis: a que ocorre em nível de indivíduo (ontogênese) e a que ocorre em nível de espécie (filogênese). Isso não deve ser feito visando traçar um paralelismo ingênuo entre uma e outra: os contextos são muito diferentes e o que gerou obstáculos ao longo da história pode não o fazer em relação ao sujeito.

O acesso às informações históricas e o estudo psicogenético das idéias que evoluem em direção aos conceitos científicos são muito importantes para a pesquisa em ensino. Contudo, não se pode transgredir os limites de cada um desses campos, transportando impropriamente aspectos de um para o outro, ou mesmo estabelecendo correspondências indevidas.

Só o estudo de ambos como dimensões não paralelas, mas distintas e solidárias de uma mesma questão, fornece subsídios para o entendimento de como o que vem antes comparece no que vem depois, gerando a novidade, o conhecimento que logo passará a ser passado, integrável a um novo presente, numa sucessão interminável de construções. História da ciência e psicogênese, abordados como elementos aliados, permitirão que a prática didática seja repensada numa perspectiva mais profunda e subjacente às relações cotidianas: aprender é investigar, é construir; o erro é permitido e a imperfeição é legítima num processo constante de busca do saber.

Ao reconhecer e respeitar a dificuldade de construir conhecimentos científicos (que não são, de forma alguma, banais ou óbvios), o professor torna esse conhecimento possível de ser reconstruído. Só então a aprendizagem passa a ser o que realmente deve ser: uma incansável perscrutação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, L. O. F., MORTIMER, Eduardo F. Termoquímica: atividades relacionadas à compreensão de conceitos básicos. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v.38, n.7[supl.], p.639-40, 1986.
- DRIVER, R. Students' conceptions and the learning of science. *International Journal on Science Education*, Nova Iorque, v.11, n.5, p.481-90, 1989.
- HEWSON, P. W. La enseñanza de "fuerza y movimiento" como cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v.8, n.2, p.157-71, 1990.
- INHELDER, Barbel, PIAGET, Jean. *Da lógica da criança à lógica do adolescente: ensaio sobre a construção das estruturas operatórias formais*. São Paulo: Pioneira, 1976.
- NUSSBAUM, J., NOVICK, S. Alternative frameworks, conceptual conflict, and accommodation. *Instructional Science*, v.11, p.183-208, 1982.
- PIAGET, Jean. *O desenvolvimento do pensamento: equilíbrio de estruturas cognitivas*. Lisboa: Dom Quixote, 1977.
- _____. *Recherches sur la contradiction 2: les relations entre affirmations et négations*. Paris: P.U.F., 1974.
- POSNER, G. J. et al. Accommodation of scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, Nova Iorque, v.66, n.2, p.211-27, 1982.
- ROWELL, J. A., DAWSON, C. J. Equilibration, conflict, and instruction: new class-oriented perspective. *European Journal of Science Education*, Londres, v.7, n.3, p.331-44, 1984.
- STAVY, R., BERKOVITZ, B. Cognitive conflict as a basis for teaching quantitative aspects of the concept of temperature. *Science Education*, Nova Iorque, v.64, n.5, p.679-92, 1980.
-