

**A TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS DE VERGNAUD, O ENSINO DE CIÊNCIAS E
A PESQUISA NESTA ÁREA
(Vergnaud's conceptual field theory, science education, and research in this area)**

Marco Antonio Moreira [moreira@if.ufrgs.br]
Instituto de Física, UFRGS
Caixa Postal 15051
91501-970 Porto Alegre, RS

Resumo

Descreve-se a teoria dos campos conceituais de Vergnaud como possível referencial para o ensino de ciências e para a pesquisa nesta área. Além da descrição em si, são estabelecidas algumas pontes entre essa teoria e outros referenciais como, por exemplo, aprendizagem significativa, resolução de problemas e representações mentais.

Palavras-chave: campos conceituais, Vergnaud, ensino de ciências.

Abstract

Vergnaud's conceptual fields theory is described as a possible framework for science education and for research in this area. In addition to the description of the theory, some links are established with other frameworks such as meaningful learning, problem solving, and mental representations.

Key-words: conceptual fields, Vergnaud, science education.

Introdução

Este texto tem por objetivo descrever a teoria dos campos conceituais de Vergnaud e suas implicações para o ensino de ciências e para a pesquisa nesta área.

Gérard Vergnaud, diretor de pesquisa do Centro Nacional de Pesquisa Científica (CNRS) da França, discípulo de Piaget, amplia e redireciona, em sua teoria, o foco piagetiano das operações lógicas gerais, das estruturas gerais do pensamento, para o estudo do funcionamento cognitivo do "sujeito-em-situação". Além disso, diferentemente de Piaget, toma como referência o próprio conteúdo do conhecimento e a análise conceitual do domínio desse conhecimento (Vergnaud, 1994, p. 41; Franchi, 1999, p. 160). Para Vergnaud, Piaget não se deu conta de quanto o desenvolvimento cognitivo depende de situações e de conceitualizações específicas necessárias para lidar com elas (1998, p. 181). Segundo ele, Piaget também não percebeu o infrutífero que é tentar reduzir a complexidade conceitual, progressivamente dominada pelas crianças, a algum tipo de complexidade lógica geral (1994, p. 41). Vergnaud argumenta que embora Piaget tenha feito um trabalho muito importante para a educação, ele não trabalhou dentro da sala de aula ensinando matemática e ciências. No entanto, no momento em que nos interessamos por aquilo que se passa na sala de aula, somos obrigados a nos interessar pelo conteúdo do conhecimento (1996b, p. 10). O próprio Vergnaud, no que se refere à Matemática, foi obrigado a se interessar muito mais do que Piaget por questões como as estruturas aditivas e as estruturas multiplicativas para estudar as dificuldades dos alunos nessas áreas. Parece-lhe claro que as dificuldades dos estudantes não são as mesmas de um campo conceitual para outro (ibid.).

Por outro lado, Vergnaud reconhece a importância da teoria de Piaget, destacando as idéias de adaptação, desequilíbrio e reequilíbrio como pedras angulares para a investigação em didática das Ciências e da Matemática. Mas acredita que a grande pedra angular cobrada por Piaget

foi o conceito de esquema (1996c, p. 206). Tal conceito, como veremos mais adiante, é fundamental na teoria de Vergnaud.

Vergnaud reconhece igualmente que sua teoria dos campos conceituais foi desenvolvida também a partir do legado de Vygotsky. Isso se percebe, por exemplo, na importância atribuída à interação social, à linguagem e à simbolização no progressivo domínio de um campo conceitual pelos alunos. Para o professor, a tarefa mais difícil é a de prover oportunidades aos alunos para que desenvolvam seus esquemas na zona de desenvolvimento proximal (1998, p. 181).

Vergnaud toma como premissa que o conhecimento está organizado em campos conceituais cujo domínio, por parte do sujeito, ocorre ao longo de um longo período de tempo, através de experiência, maturidade e aprendizagem (1982, p. 40). Campo conceitual é, para ele, um conjunto informal e heterogêneo de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e operações de pensamento, conectados uns aos outros e, provavelmente, entrelaçados durante o processo de aquisição (ibid.). O domínio de um campo conceitual não ocorre em alguns meses, nem mesmo em alguns anos. Ao contrário, novos problemas e novas propriedades devem ser estudados ao longo de vários anos se quisermos que os alunos progressivamente os dominem. De nada serve tentar contornar as dificuldades conceituais; elas são superadas na medida em que são encontradas e enfrentadas, mas isso não ocorre de um só golpe (1983a, p. 401).

A teoria dos campos conceituais supõe que o âmago do desenvolvimento cognitivo é a conceitualização (1996a, p. 118). É ela a pedra angular da cognição (1998, p. 173). Logo, deve-se dar toda atenção aos aspectos conceituais dos esquemas e à análise conceitual das situações para as quais os estudantes desenvolvem seus esquemas, na escola ou fora dela (1994, p. 58).

Não é, no entanto, uma teoria de ensino de conceitos explícitos e formalizados. Trata-se de uma teoria psicológica do processo de conceitualização do real que permite localizar e estudar continuidades e rupturas entre conhecimentos do ponto de vista de seu conteúdo conceitual (1990, p. 133). No estudo desse processo, qualquer reducionismo é perigoso na medida em que a conceitualização do real é específica de conteúdo e não pode ser reduzida nem às operações lógicas gerais, nem às operações puramente lingüísticas, nem à reprodução social, nem à emergência de estruturas inatas, nem, enfim, ao modelo do processamento da informação (1983a, p. 392). Conseqüentemente, a teoria dos campos conceituais é uma teoria complexa, pois envolve a complexidade decorrente da necessidade de abarcar em uma única perspectiva teórica todo o desenvolvimento de situações progressivamente dominadas, dos conceitos e teoremas necessários para operar eficientemente nessas situações, e das palavras e símbolos que podem representar eficazmente esses conceitos e operações para os estudantes, dependendo de seus níveis cognitivos (1994, p. 43).

Resumindo, a teoria dos campos conceituais é uma teoria cognitivista neopiagetiana que pretende oferecer um referencial mais frutífero do que o piagetiano ao estudo do desenvolvimento cognitivo e da aprendizagem de competências complexas, particularmente aquelas implicadas nas ciências e na técnica, levando em conta os próprios conteúdos do conhecimento e a análise conceitual de seu domínio. Embora Vergnaud esteja especialmente interessado nos campos conceituais das estruturas aditivas e das estruturas multiplicativas (1983b, p. 128), a teoria dos campos conceituais não é específica desses campos, nem da Matemática. Em Física, por exemplo, há vários campos conceituais -- como o da Mecânica, o da Eletricidade e o da Termologia -- que não podem ser ensinados, de imediato, nem como sistemas de conceitos nem como conceitos isolados. É necessária uma perspectiva desenvolvimentista à aprendizagem desses campos. O mesmo é válido, segundo Vergnaud (1996a, p. 116) em Biologia: a compreensão da reprodução em vegetais não tem muito a ver com o entendimento da reprodução em animais ou com a compreensão de processos celulares. A História, a Geografia, a Educação Física, por exemplo, têm igualmente

uma série de campos conceituais para os quais os alunos devem desenvolver esquemas e concepções específicas. Em todos esses casos, o modelo piagetiano da assimilação/acomodação funciona desde que não se tente reduzir a adaptação de esquemas e conceitos a estruturas lógicas (ibid.).

Os conceitos-chave da teoria dos campos conceituais são, além do próprio conceito de campo conceitual, os conceitos de esquema (a grande herança piagetiana de Vergnaud), situação, invariante operatório (teorema-em-ação ou conceito-em-ação), e a sua concepção de conceito.

Nas seções seguintes, cada um destes conceitos será abordado e exemplificado, na perspectiva da teoria de Vergnaud. Após isso, serão retomados aspectos gerais da teoria e examinadas as implicações para o ensino, de ciências em particular, e para a pesquisa em ensino.

Campos conceituais

Uma definição de campo conceitual já foi dada na introdução deste trabalho, na página 1. Vejamos outras, bem como alguns exemplos.

Campo conceitual é também definido por Vergnaud como um conjunto de problemas e situações cujo tratamento requer conceitos, procedimentos e representações de tipos diferentes mas intimamente relacionados (1983b, p. 127).

Em outros trabalhos (1988, p. 141; 1990, p. 146), Vergnaud define campo conceitual como sendo, em primeiro lugar, um conjunto de situações cujo domínio requer, por sua vez, o domínio de vários conceitos de naturezas distintas. Por exemplo, o campo conceitual das estruturas multiplicativas consiste de todas as situações que podem ser analisadas como problemas de proporções simples e múltiplas para os quais geralmente é necessária uma multiplicação, uma divisão ou uma combinação dessas operações (ibid.). Vários tipos de conceitos matemáticos estão envolvidos nas situações que constituem o campo conceitual das estruturas multiplicativas e no pensamento necessário para dominar tais situações. Entre tais conceitos estão o de função linear, função não-linear, espaço vetorial, análise dimensional, fração, razão, taxa, número racional, multiplicação e divisão (ibid.). Analogamente, o campo conceitual das estruturas aditivas é o conjunto de situações cujo domínio requer uma adição, uma subtração ou uma combinação de tais operações.

Como se pode observar, a definição referida na introdução -- conjunto informal e heterogêneo de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e operações de pensamento, conectados uns aos outros e, provavelmente, entrelaçados durante o processo de aquisição -- é mais abrangente. Posteriormente a ela, Vergnaud destaca a idéia de situações nas definições que dá de campo conceitual. Como ver-se-á mais adiante, situação é um conceito-chave da teoria de Vergnaud, porém a definição inicial, mais ampla, de campo conceitual dá uma idéia melhor da complexidade daquilo que ele chama de campo conceitual.

Três argumentos principais levaram Vergnaud (1983a, p. 393) ao conceito de campo conceitual: 1) um conceito não se forma dentro de um só tipo de situações; 2) uma situação não se analisa com um só conceito; 3) a construção e apropriação de todas as propriedades de um conceito ou todos os aspectos de uma situação é um processo de muito fôlego que se estende ao longo dos anos, às vezes uma dezena de anos, com analogias e mal-entendidos entre situações, entre concepções, entre procedimentos, entre significantes.

Vergnaud considera o campo conceitual como uma unidade de estudo para dar sentido às dificuldades observadas na conceitualização do real e, como foi dito antes, a teoria dos campos conceituais supõe que a conceitualização é a essência do desenvolvimento cognitivo.

Além dos já citados campos conceituais das estruturas aditivas e multiplicativas, outros importantes campos conceituais, interferindo com esses dois, incluem: deslocamentos e transformações espaciais; classificações de objetos e aspectos discretos; movimentos e relações entre tempo, velocidade, distância, aceleração e força; relações de parentesco; medições de quantidades espaciais e físicas contínuas (1983b, p. 128).

Naturalmente, esses campos conceituais não são independentes e uns podem ser importantes para a compreensão de outros, mas, ainda assim, Vergnaud considera útil falar em distintos campos conceituais se eles puderem ser consistentemente descritos. Ele crê que é praticamente impossível estudar as coisas separadamente, mas, por isso mesmo, é preciso fazer recortes e é nesse sentido que os campos conceituais são unidades de estudo frutíferas para dar sentido aos problemas de aquisição e às observações feitas em relação à conceitualização (1983a, p. 393).

Já que o núcleo do desenvolvimento cognitivo é a conceitualização, Vergnaud destaca que é preciso dar toda atenção aos aspectos conceituais dos esquemas e à análise conceitual das situações nas quais os aprendizes desenvolvem seus esquemas na escola ou na vida real (1994, p. 58). Isso nos leva ao conceito de conceito na teoria dos campos conceituais.

Conceitos

Vergnaud define conceito como um triplo de três conjuntos (1983a, p. 393; 1988, p. 141; 1990, p. 145; 1993, p. 8; 1997, p. 6), $C = (S, I, R)$ onde:

S é um conjunto de situações que dão sentido ao conceito;

I é um conjunto de invariantes (objetos, propriedades e relações) sobre os quais repousa a operacionalidade do conceito, ou o conjunto de invariantes operatórios associados ao conceito, ou o conjunto de invariantes que podem ser reconhecidos e usados pelos sujeitos para analisar e dominar as situações do primeiro conjunto;

R é um conjunto de representações simbólicas (linguagem natural, gráficos e diagramas, sentenças formais, etc.) que podem ser usadas para indicar e representar esses invariantes e, conseqüentemente, representar as situações e os procedimentos para lidar com elas.

O primeiro conjunto – de situações – é o referente do conceito, o segundo – de invariantes operatórios – é o significado do conceito, enquanto o terceiro – de representações simbólicas – é o significante.

Uma definição pragmática poderia considerar um conceito como um conjunto de invariantes utilizáveis na ação, mas esta definição implica também um conjunto de situações que constituem o referente e um conjunto de esquemas postos em ação pelos sujeitos nessas situações. Daí, o triplo (S, R, I) onde, em termos psicológicos, S é a realidade e (I, R) a representação que pode ser considerada como dois aspectos interagentes do pensamento, o significado (I) e o significante (R). (1998, p. 141).

Isso implica que para estudar o desenvolvimento e uso de um conceito, ao longo da aprendizagem ou de sua utilização, é necessário considerar esses três conjuntos simultaneamente. Não há, em geral, correspondência biunívoca entre significantes e significados, nem entre invariantes e situações; não se pode, portanto, reduzir o significado nem aos significantes nem às situações (1990, p. 146). Por outro lado, como foi dito, um único conceito não se refere a um só tipo de situação e uma única situação não pode ser analisada com um só conceito.

Por tudo isso, é necessário falar-se em campos conceituais. Mas se os conceitos tornam-se significativos através de situações decorre, naturalmente, que as situações e não os conceitos constituem a principal entrada de um campo conceitual. Um campo conceitual é, em primeiro lugar, um conjunto de situações (1988, p. 141; 1990, p. 5), cujo domínio requer o domínio de vários conceitos de naturezas distintas.

Situações

O conceito de situação empregado por Vergnaud não é o de situação didática, mas sim o de tarefa, sendo que toda situação complexa pode ser analisada como uma combinação de tarefas, para as quais é importante conhecer suas naturezas e dificuldades próprias. A dificuldade de uma tarefa não é nem a soma nem o produto das diferentes subtarefas envolvidas, mas é claro que o desempenho em cada subtarefa afeta o desempenho global. (1990, p. 146; 1993, p. 9).

Vergnaud recorre também ao sentido que, segundo ele (op. cit., p. 150 e p. 12), é atribuído usualmente pelo psicólogo ao conceito de situação: os processos cognitivos e as respostas do sujeito são função das situações com as quais é confrontado. Além disso, ele destaca duas idéias principais em relação ao sentido de situação: variedade e história. Isto é, em um certo campo conceitual existe uma grande variedade de situações e os conhecimentos dos alunos são moldados pelas situações que encontram e progressivamente dominam, particularmente pelas primeiras situações suscetíveis de dar sentido aos conceitos e procedimentos que queremos que aprendam (ibid.). Segundo Vergnaud, muitas de nossas concepções vêm das primeiras situações que fomos capazes de dominar ou de nossa experiência tentando modificá-las (1996a, p. 117).

Como foi dito antes, as situações é que dão sentido ao conceito; as situações é que são responsáveis pelo sentido atribuído ao conceito (Barais & Vergnaud, 1990, p. 78); um conceito torna-se significativo através de uma variedade de situações (1994, p. 46). Mas o sentido não está nas situações em si mesmas, assim como não está nas palavras nem nos símbolos (1990, p. 158).

O sentido é uma relação do sujeito com as situações e com os significantes. Mais precisamente, são os esquemas, i.e., os comportamentos e sua organização, evocados no sujeito por uma situação ou por um significante (representação simbólica) que constituem o sentido dessa situação ou desse significante para esse indivíduo (1990, p. 158; 1993, p. 18). Por exemplo, o sentido de adição para um sujeito individual é o conjunto de esquemas que ele pode utilizar para lidar com situações com as quais se defronta e que implicam a idéia de adição; é também o conjunto de esquemas que ele pode acionar para operar sobre os símbolos numéricos, algébricos, gráficos e lingüísticos que representam a adição (ibid.). Por outro lado, uma dada situação ou um certo simbolismo não evocam no indivíduo todos os esquemas disponíveis, o que significa que o sentido de uma situação particular de adição não é o sentido de adição para esse indivíduo, assim como não o é o sentido de um símbolo particular. Trata-se de um subconjunto dos esquemas que o sujeito possui, ou dos esquemas possíveis. (ibid.)

Vejam onde estamos: a idéia de campo conceitual nos levou ao conceito de conceito como um triplete (referente, significado e significante); porém, como são as situações que dão sentido ao conceito, chegamos ao conceito de situação e dele ao de esquema, pois são os esquemas evocados no sujeito que dão sentido a uma dada situação. O conceito de esquema, como veremos, nos levará ao conceito de invariante operatório.

Esquemas

Vergnaud chama de esquema a organização invariante do comportamento para uma determinada classe de situações (1990, p. 136; 1993, p. 2; 1994, p. 53; 1996c, p. 201; 1998, p. 168). Segundo ele, é nos esquemas que se devem pesquisar os conhecimentos-em-ação do sujeito, isto é, os elementos cognitivos que fazem com que a ação do sujeito seja operatória.

Esquema é o conceito introduzido por Piaget para dar conta das formas de organização tanto das habilidades sensório-motoras como das habilidades intelectuais. Um esquema gera ações e deve conter regras, mas não é um estereótipo porque a seqüência de ações depende dos parâmetros da situação (1994, p. 53). Um esquema é um universal que é eficiente para toda uma gama de situações e pode gerar diferentes seqüências de ação, de coleta de informações e de controle, dependendo das características de cada situação particular. Não é o comportamento que é invariante, mas a organização do comportamento. (1998, p. 172)

Há esquemas perceptivo-gestuais como o de contar objetos, ou de fazer um gráfico ou um diagrama, mas há também esquemas verbais, como o de fazer um discurso, e esquemas sociais, como o de seduzir outra pessoa ou o de gerenciar um conflito (ibid.). Algoritmos, por exemplo, são esquemas, mas nem todos os esquemas são algoritmos. Quando algoritmos são utilizados repetidamente para tratar as mesmas situações eles se transformam em esquemas ordinários, ou hábitos (op. cit; p. 176).

Vergnaud considera que os esquemas necessariamente se referem a situações, a tal ponto que, segundo ele (1996c, p. 203), dever-se-ia falar em interação esquema-situação ao invés de interação sujeito-objeto da qual falava Piaget. Decorre daí que o desenvolvimento cognitivo consiste sobretudo, e principalmente, no desenvolvimento de um vasto repertório de esquemas. Este repertório afeta esferas muito distintas da atividade humana e quando analisamos, por exemplo, os conteúdos da competência profissional de um indivíduo frequentemente observamos que junto a competências técnicas e científicas, propriamente ditas, estão, com peso considerável, competências sociais e afetivas. A educação, portanto, deve contribuir para que o sujeito desenvolva um repertório amplo e diversificado de esquemas, porém procurando evitar que esses esquemas se convertam em estereótipos esclerosados (ibid.)

Voltemos à definição: esquema é a organização invariante do comportamento para uma dada classe de situações. Trata-se de uma definição precisa, mas que certamente necessita de maiores especificações para facilitar sua compreensão. Aquilo que Vergnaud chama de ingredientes dos esquemas (1990, p. 136, 142; 1994, p. 46; 1996a, p. 113-114; 1996b, p. 11; 1996c, p. 201-202-206; 1998, p. 173) fornece tais especificações:

1. metas e antecipações (um esquema se dirige sempre a uma classe de situações nas quais o sujeito pode descobrir uma possível finalidade de sua atividade e, eventualmente, submetas; pode também esperar certos efeitos ou certos eventos);
2. regras de ação do tipo "se ... então" que constituem a parte verdadeiramente geradora do esquema, aquela que permite a geração e a continuidade da seqüência de ações do sujeito; são regras de busca de informação e controle dos resultados da ação;
3. invariantes operatórios (teoremas-em-ação e conceitos-em-ação) que dirigem o reconhecimento, por parte do indivíduo, dos elementos pertinentes à situação; são os conhecimentos contidos nos esquemas; são eles que constituem a base, implícita ou explícita, que permite obter a informação pertinente e dela inferir a meta a alcançar e as regras de ação adequadas;
4. possibilidades de inferência (ou raciocínios) que permitem "calcular", "aqui e agora", as regras e antecipações a partir das informações e invariantes operatórios de que dispõe o

sujeito, ou seja, toda a atividade implicada nos três outros ingredientes requer cálculos "aqui e imediatamente" em situação.

Como foi dito, para Vergnaud os esquemas se referem necessariamente a situações, ou classes de situações, onde ele (1993, p. 2) distingue entre:

1. classes de situações em que o sujeito dispõe, no seu repertório, em dado momento de seu desenvolvimento e sob certas circunstâncias, das competências necessárias ao tratamento relativamente imediato da situação;
2. classes de situações em que o sujeito não dispõe de todas as competências necessárias, o que obriga a um tempo de reflexão e exploração, a hesitações, a tentativas frustradas, levando-o eventualmente ao sucesso ou ao fracasso.

Segundo Vergnaud (*ibid.*), o conceito de esquema não funciona do mesmo modo nas duas classes. Na primeira delas, observam-se, para uma mesma classe de situações, condutas amplamente automatizadas, organizadas por um só esquema, enquanto que na segunda observa-se a sucessiva utilização de vários esquemas, que podem entrar em competição e que, para atingir a meta desejada, devem ser acomodados, descombinados e recombinaados.

De um modo geral, todas as condutas comportam uma parte automatizada e uma parte de decisão consciente. Os esquemas são freqüentemente eficazes, mas nem sempre efetivos. Quando o sujeito usa um esquema ineficaz para uma certa situação, a experiência o leva a mudar de esquema ou a modificar o esquema (1990, p. 138). Está aí a idéia piagetiana de que os esquemas estão no centro do processo de adaptação das estruturas cognitivas, i.e., na assimilação e na acomodação. Contudo, Vergnaud dá ao conceito de esquema um alcance muito maior do que Piaget e insiste em que os esquemas devem relacionar-se com as características das situações às quais se aplicam. Há muito de implícito nos esquemas. Muitos esquemas podem ser evocados sucessivamente, e mesmo simultaneamente, em uma situação nova para o sujeito (1990, p. 140). As condutas em uma dada situação repousam sobre o repertório inicial de esquemas que o sujeito dispõe. Como já foi dito, o desenvolvimento cognitivo pode ser interpretado como consistindo, sobretudo, no desenvolvimento de um vasto repertório de esquemas afetando esferas muito distintas da atividade humana.

Do ponto de vista teórico, o conceito de esquema proporciona o indispensável vínculo entre a conduta e a representação (1996c, p. 202): a relação entre situações e esquemas é a fonte primária da representação e, portanto, da conceitualização (1998, p. 177). Por outro lado, são os invariantes operatórios que fazem a articulação essencial entre teoria e prática, pois a percepção, a busca e a seleção de informação baseiam-se inteiramente no sistema de conceitos-em-ação disponíveis para o sujeito (objetos, atributos, relações, condições, circunstâncias...) e nos teoremas-em-ação subjacentes à sua conduta (1996c, p. 202).

As expressões conceito-em-ação e teorema-em-ação designam os conhecimentos contidos nos esquemas. São também designados, por Vergnaud, pela expressão mais global invariantes operatórios. Teorema-em-ação é uma proposição considerada como verdadeira sobre o real; conceito-em-ação é uma categoria de pensamento considerada como pertinente (*ibid.*).

Esta seção foi dedicada ao conceito de esquema. Dos ingredientes de um esquema – metas e antecipações, regras de ação, invariantes operatórios e possibilidades de inferência – os invariantes operatórios, i.e., os conhecimentos-em-ação (conceitos e teoremas-em-ação) constituem a base conceitual, implícita ou explícita, que permite obter a informação pertinente e, a partir dela e da meta a atingir, inferir as regras de ação mais pertinentes para abordar uma situação (1996c, p. 201). Um exemplo de esquema, dado por Franchi (1999, p. 165), pode ser útil para ilustrar esses aspectos e concluir esta seção. Trata-se do esquema da enumeração de uma pequena coleção de objetos

discretos por uma criança de cinco anos: por mais que varie a forma de contar, por exemplo, copos na mesa, cadeiras da sala, pessoas sentadas de maneira esparsa em um jardim, não deixa de haver uma organização invariante para o funcionamento do esquema: coordenação dos movimentos dos olhos e gestos dos dedos e das mãos, enunciação correta da série numérica, identificação do último elemento da série como o cardinal do conjunto enumerado (acentuação ou repetição do último "número" pronunciado). Vê-se facilmente que o esquema descrito recorre a atividades perceptivo-motoras, a significantes (as palavras-números) e a construções conceituais, tais como a de correspondência biunívoca entre conjuntos de objetos e subconjuntos de números naturais, a de cardinal e ordinal e outras. Recorre igualmente a conhecimentos, tais como os que identificam o último elemento da série ordinal ao cardinal do conjunto. Esses conceitos e conhecimentos são implícitos e praticamente insuscetíveis de explicitação por uma criança nas fases iniciais da aprendizagem de competências e conceitos aritméticos. Entretanto, orientam o desenvolvimento da ação sendo chamados de conhecimentos-em-ação. A ausência de uma conceituação adequada está no centro da origem dos erros sistemáticos cometidos pelos alunos (ibid.).

Naturalmente, os esquemas usados por crianças maiores e por adultos em determinadas classes de situações podem ser muito mais elaborados, mas a idéia é mesma: o esquema é a forma estrutural da atividade, é a organização invariante do sujeito sobre uma classe de situações dadas (op. cit. p. 164) e contém conhecimentos-em-ação que são implícitos.

Invariantes operatórios

Designam-se pelas expressões "conceito-em-ação" e "teorema-em-ação" os conhecimentos contidos nos esquemas. Pode-se também designá-los pela expressão mais abrangente "invariantes operatórios" (1993, p. 4). Esquema é a organização da conduta para uma certa classe de situações; teoremas-em-ação e conceitos-em-ação são invariantes operacionais, logo, são componentes essenciais dos esquemas (1998, p. 167) e determinam as diferenças entre eles.

Teorema-em-ação é uma proposição tida como verdadeira sobre o real. Conceito-em-ação é um objeto, um predicado, ou uma categoria de pensamento tida como pertinente, relevante. (1996c, p. 202; 1998, p. 167).

Vejamos exemplos de teoremas-em-ação. Consideremos a seguinte situação proposta a alunos de 13 anos (1994, p. 49): O consumo de farinha é, em média, 3,5 kg por semana para dez pessoas. Qual a quantidade de farinha necessária para cinquenta pessoas durante 28 dias? Resposta de um aluno: 5 vezes mais pessoas, 4 vezes mais dias, 20 vezes mais farinha; logo, $3,5 \times 20 = 70$ kg.

É impossível, segundo Vergnaud (ibid.), dar conta desse raciocínio sem supor o seguinte teorema implícito na cabeça do aluno: $f(n_1x_1, n_2x_2) = n_1n_2 f(x_1,x_2)$, ou seja, Consumo (5 x 10, 4 x 7) = 5 x 4 Consumo (10, 7)

Naturalmente, este teorema funciona porque as razões de 50 pessoas para 10 pessoas e 28 dias para 7 dias são simples e evidentes. Ele não seria tão facilmente aplicado a outros valores numéricos. Portanto, seu escopo de aplicação é limitado. Ainda assim, é um teorema que pode ser expresso, por exemplo, em palavras: O consumo é proporcional ao número de pessoas quando o número de dias é mantido constante; e é proporcional ao número de dias quando o número de pessoas é mantido constante. Pode também ser expresso pela fórmula $C = k.P.D.$ onde C é o consumo, P o número de pessoas, D o número de dias e k o consumo por pessoa por dia.

É claro que essas diferentes maneiras de expressar o mesmo raciocínio não são cognitivamente equivalentes. A segunda é mais difícil. São maneiras complementares de explicitar a mesma estrutura matemática implícita em diferentes níveis de abstração.

Suponhamos agora outras situações (1998, p. 174):

A: Janete tinha 7 bolinhas de gude. Ela jogou e ganhou 5 bolinhas. Quantas bolinhas ela tem agora?

B: Paulo tinha 12 bolinhas de gude. Ele jogou e perdeu 5 bolinhas. Quantas bolinhas ele tem agora?

C: Hans tinha 9 bolinhas de gude. Ele jogou com Rute. Ele tem agora 14 bolinhas de gude. O que aconteceu no jogo?

D: Rute jogou bolinhas de gude com Hans e perdeu 5 bolinhas. Ela agora tem 7 bolinhas de gude. Quantas ela tinha antes de jogar?

Há vários conceitos-em-ação distintos implícitos na compreensão dessas situações: número cardinal, ganho e perda, aumento e diminuição, transformação e estado, estado inicial e final, transformação positiva e negativa, adição e subtração.

Os conceitos relevantes são os mesmos para todas as situações, mas a situação D é bem mais difícil para alunos de sete ou oito anos porque implica raciocinar para trás e achar o estado inicial adicionando as 5 bolinhas perdidas ao estado final de 7 bolinhas. Tal raciocínio depende de um forte teorema-em-ação (ibid.): $F = T(I)$, $I = T^{-1}(F)$ onde I é o estado inicial, F o estado final, T a transformação direta e T^{-1} a transformação inversa.

Segundo Vergnaud (1994, p. 54), entre os mais importantes teoremas-em-ação desenvolvidos pelos estudantes encontram-se as propriedades isomórficas da função linear

$$\begin{aligned} f(x) &= x \\ f(x) &= x \\ f(c_1x_1 + c_2x_2) &= c_1f(x_1) + c_2f(x_2) \end{aligned}$$

e as propriedades de coeficiente constante dessa mesma função

$$\begin{aligned} f(x) &= ax \\ x &= \frac{1}{a}f(x) \end{aligned}$$

e algumas propriedades específicas de funções bilineares como a do primeiro exemplo: $f(c_1x_1, c_2x_2) = c_1c_2f(x_1, x_2)$.

Entre os mais importantes conceitos-em-ação desenvolvidos pelos alunos acham-se os de grandeza e magnitude, valor unitário, razão e fração, função e variável, taxa constante, dependência e independência, quociente e produto de dimensões.

Há uma relação dialética entre conceitos-em-ação e teoremas-em-ação, uma vez que conceitos são ingredientes de teoremas e teoremas são propriedades que dão aos conceitos seus conteúdos. Mas seria um erro confundí-los (1998, p. 174). Conceitos em ação são ingredientes necessários das proposições. Mas conceitos não são teoremas, pois não permitem derivações (inferências ou computações); derivações requerem proposições. Proposições podem ser verdadeiras ou falsas; conceitos podem ser apenas relevantes ou irrelevantes. Ainda assim não existem proposições sem conceitos (1994, p. 55).

Reciprocamente, não há conceitos sem proposições, pois é a necessidade de derivar ações das representações do mundo e de ter concepções verdadeiras (ou pelo menos adequadas) do mundo que tornam necessários os conceitos. Um modelo computável do conhecimento intuitivo deve compreender conceitos-em-ação e teoremas-em-ação como ingredientes essenciais dos esquemas. Esquemas são fundamentais porque geram ações, incluindo operações intelectuais, mas podem gerá-las porque contêm invariantes operatórios (teoremas e conceitos-em-ação) que formam o núcleo da representação.

Por outro lado, um conceito-em-ação não é um verdadeiro conceito científico, nem um teorema-em-ação é um verdadeiro teorema a menos que se tornem explícitos. Na ciência, conceitos e teoremas são explícitos e pode-se discutir sua pertinência e sua veracidade, mas esse não é necessariamente o caso dos invariantes operatórios (1990, p. 144). Conceitos e teoremas explícitos não constituem mais do que a parte visível do iceberg da conceitualização: sem a parte escondida formada pelos invariantes operatórios essa parte visível não seria nada. Reciprocamente, não se pode falar de invariantes operatórios integrados nos esquemas sem a ajuda de categorias do conhecimento explícito: proposições, funções proposicionais, objetos, argumentos (ibid.).

Mas conceitos-em-ação e teoremas-em-ação podem, progressivamente, tornarem-se verdadeiros conceitos e teoremas científicos. O status do conhecimento é muito diferente quando ele é explicitado ao invés de ficar totalmente imerso na ação. O conhecimento explícito pode ser comunicado a outros e discutido, o conhecimento implícito não (1998, p. 175).

Em geral, os alunos não são capazes de explicar ou mesmo expressar em linguagem natural seus teoremas e conceitos-em-ação. Na abordagem de uma situação, os dados a serem trabalhados e a seqüência de cálculos a serem feitos dependem de teoremas-em-ação e da identificação de diferentes tipos de elementos pertinentes. A maioria desses conceitos e teoremas-em-ação permanecem totalmente implícitos, mas eles podem também ser explícitos ou tornarem-se explícitos e aí entra o ensino: ajudar o aluno a construir conceitos e teoremas explícitos, e cientificamente aceitos, a partir do conhecimento implícito. É nesse sentido que conceitos-em-ação e teoremas-em-ação podem, progressivamente, tornarem-se verdadeiros conceitos e teoremas científicos, mas isso pode levar muito tempo.

A teoria dos campos conceituais: um resumo

A teoria dos campos conceituais de Gérard Vergnaud é uma teoria psicológica cognitivista que supõe que o núcleo do desenvolvimento cognitivo é a conceitualização do real (1996a, p. 118). É uma teoria psicológica de conceitos, na qual a conceitualização é considerada a pedra angular da cognição (1998, p. 173). Para Vergnaud, o conhecimento está organizado em campos conceituais, cujo domínio, de parte do aprendiz, ocorre ao longo de um longo período de tempo, através de experiência, maturidade e aprendizagem (1982, p. 40). Campo conceitual é um conjunto informal e heterogêneo de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e operações de pensamento, conectados uns aos outros e, provavelmente, entrelaçados durante o processo de aquisição (ibid.). Campo conceitual é definido também como sendo, em primeiro lugar, um conjunto de situações cujo domínio requer, por sua vez, o domínio de vários conceitos,

procedimentos e representações de naturezas distintas (1988, p. 141; 1990, p. 146). Conceitos são definidos por três conjuntos: o primeiro é um conjunto de situações que constituem o referente do conceito, o segundo é um conjunto de invariantes operatórios (teoremas e conceitos-em-ação) que dão o significado do conceito, e o terceiro é um conjunto de representações simbólicas que compõem seu significante.

Como são as situações que dão sentido aos conceitos, é natural definir campo conceitual como sendo, sobretudo, um conjunto de situações. Um conceito torna-se significativo através de uma variedade de situações (1994, p. 46), mas o sentido não está nas situações em si mesmas, assim como não está nas palavras nem nos símbolos (1990, p. 158). O sentido é uma relação do sujeito com situações e significantes. Mais precisamente, são os esquemas, i.e., as ações e sua organização, evocados no sujeito por uma situação ou por um significante que constituem o sentido dessa situação ou desse significante para esse indivíduo (1990, p. 158; 1993, p. 18). Vergnaud considera que os esquemas necessariamente se referem a situações, a tal ponto que dever-se-ia falar em interação esquema-situação ao invés de interação sujeito-objeto. Esquemas têm como ingredientes essenciais aquilo que Vergnaud chama de invariantes operatórios, i.e., conceitos-em-ação e teoremas-em-ação que constituem a parte conceitual dos esquemas, i.e., os conhecimentos contidos nos esquemas. Teorema-em-ação é uma proposição considerada como verdadeira sobre o real; conceito-em-ação é uma categoria de pensamento tida como pertinente (1996c, p. 202). Esse conhecimento é principalmente implícito e o aprendiz tem dificuldades em explicá-lo ou expressá-lo, mas isso não significa que tal conhecimento não possa ser explicitado. É através do processo de explicitação do conhecimento implícito – aí o professor tem um papel mediador fundamental – que os teoremas-em-ação e conceitos-em-ação podem tornar-se verdadeiros teoremas e conceitos científicos. Uma proposição explícita pode ser debatida, uma proposição tida como verdadeira de maneira totalmente implícita, não. Assim, o caráter do conhecimento muda se for comunicável, debatido e compartilhado (op. cit, p. 204).

A figura 1 apresenta um mapa conceitual para a teoria de Vergnaud, ou seja, um diagrama conceitual destacando os conceitos-chave da teoria e suas principais interrelações. As palavras que aparecem sobre as linhas conectando os conceitos procuram explicitar a natureza da relação entre elas. Por exemplo, a relação entre situações e conceitos é referente, pois as situações é que dão sentido ao conceito, i.e., constituem o referente do conceito. Outro exemplo: a interação entre situações e esquemas é a fonte primária das representações simbólicas e estas constituem o significante de um conceito. As setas, quando existem, sugerem apenas uma direção para leitura.

Ao mesmo tempo que se afasta de Piaget – ocupando-se do estudo do funcionamento cognitivo do sujeito-em-situação, ao invés de ocupar-se de operações lógicas gerais ou de estruturas gerais de pensamento e tomando como referência o próprio conteúdo do conhecimento e a análise conceitual do domínio desse conhecimento (1994, p. 41; Franchi, 1999, p. 160) – a teoria de Vergnaud tem forte base piagetiana que se manifesta principalmente no importante papel que o conceito de esquema tem nessa teoria. Por outro lado, tem também influência vygotskyana pois considera o professor como importante mediador no longo processo que caracteriza o progressivo domínio de um campo conceitual pelo aluno. Sua tarefa consiste principalmente em ajudar o aluno a desenvolver seu repertório de esquemas e representações. Novos esquemas não podem ser desenvolvidos sem novos invariantes operatórios. A linguagem e os símbolos são importantes nesse processo de acomodação e o professor faz amplo uso deles na sua função mediadora. Mas o principal ato mediador do professor é o de prover situações frutíferas aos alunos (1998, p. 181). Um conceito, ou uma proposição, torna-se significativo através de uma variedade de situações, mas não se capta o significado sozinho. O papel mediador do professor é essencial (1994, p. 44).

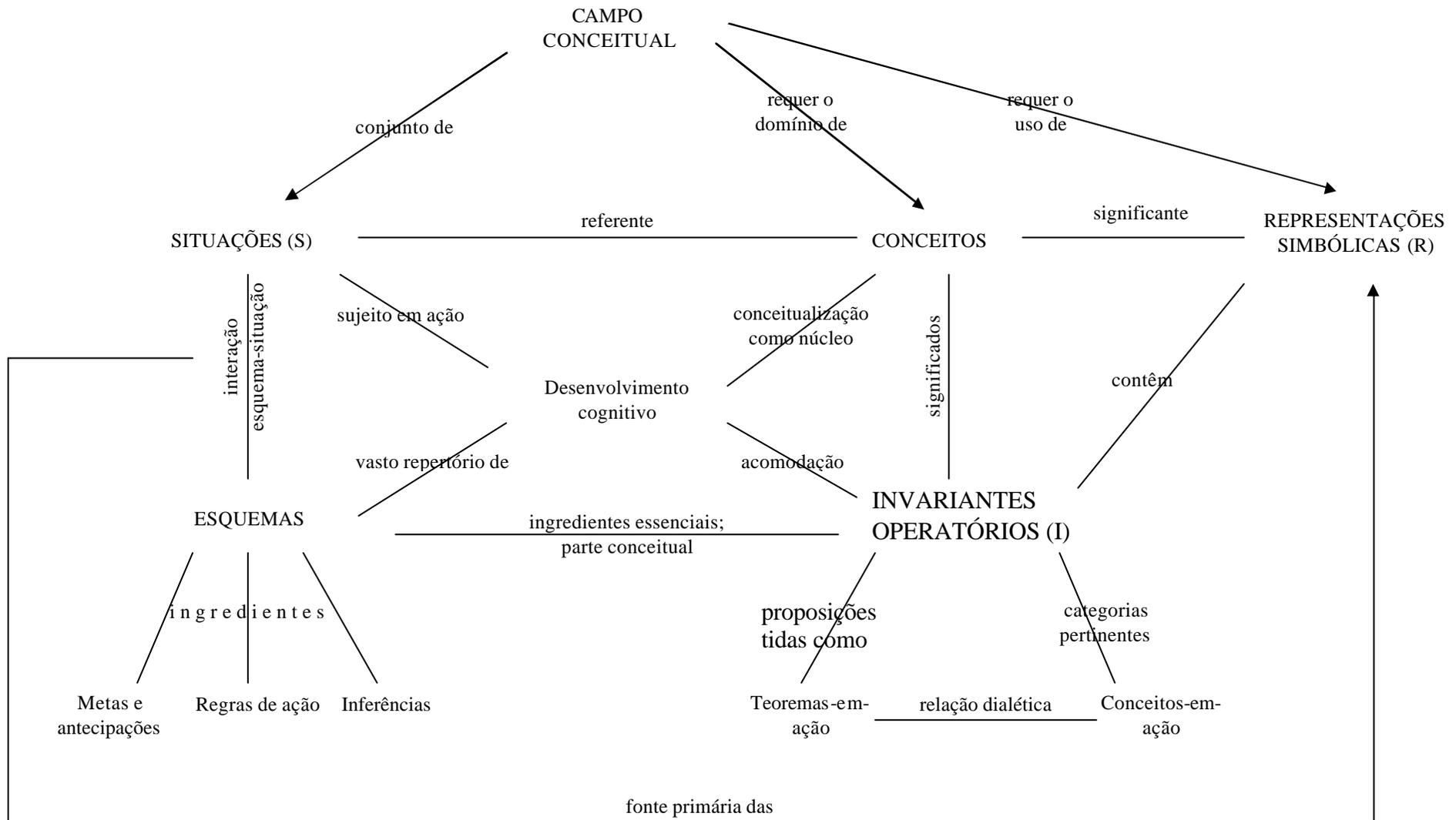


Figura 1. Um mapa conceitual para a teoria dos campos conceituais de Vergnaud (M.A. Moreira, 2002)

A teoria dos campos conceituais, o ensino de ciências e a pesquisa nessa área

Basta dar atenção à bibliografia usada neste trabalho para perceber que a teoria de Vergnaud tem sido utilizada principalmente como referencial para a educação matemática. Nada mais natural, pois as pesquisas de Vergnaud, e que sustentam sua teoria, têm focalizado a aprendizagem e o ensino da Matemática, particularmente das estruturas aditivas e multiplicativas. Não obstante, como foi dito na introdução, essa teoria não é específica da Matemática e justamente por isso este texto tem por objetivo descrevê-la e divulgá-la entre professores de ciências e pesquisadores em educação em ciências.

Nas próximas seções serão comentadas algumas implicações da teoria dos campos conceituais de Vergnaud para o ensino de ciências e para a pesquisa nesse campo.

Conhecimento Prévio/Aprendizagem significativa

A teoria dos campos conceituais destaca que a aquisição de conhecimento é moldada pelas situações e problemas previamente dominados e que esse conhecimento tem, portanto, muitas características contextuais. Assim, muitas de nossas concepções vêm das primeiras situações que fomos capazes de dominar ou de nossa experiência tentando modificá-las (1996 a, p. 117). No entanto, existe, provavelmente, uma lacuna considerável entre os invariantes que os sujeitos constroem ao interagir com o meio e os invariantes que constituem o conhecimento científico.

As concepções prévias dos alunos têm sido consideradas como erros, *misconceptions*, concepções ingênuas, concepções alternativa, em relação às concepções científicas. Para Vergnaud (1990, p. 69), esta maneira de conceber o conhecimento prévio supõe a criança, o aluno ou o adulto aprendiz, como incompletos, imperfeitos ou deficientes em comparação a adultos especialistas. Essa abordagem, segundo ele, é inadequada às questões de desenvolvimento cognitivo aí envolvidas. Seria muito mais frutífero considerar o sujeito como um sistema dinâmico, com mecanismos regulatórios capazes de assegurar seu progresso cognitivo.

Muitas das concepções errôneas dos alunos derivam do fato de que eles atribuem a certas palavras usadas em ciências, para representar conceitos, o mesmo significado que atribuem a essas mesmas palavras no dia-a-dia. Inclusive de uma ciência para outra os significados de uma mesma palavra podem ser distintos, mas o aluno pode não captá-los como distintos.

As predições que os estudantes fazem para responder questões do tipo “O que acontecerá se ...” ou as explicações que dão para responder questões do tipo “explique”, “interprete”, “justifique”, têm, segundo Vergnaud (*ibid*, p. 73), alguns pontos em comum. Por exemplo, focalizam características perceptivas e relacionadas a eventos da situação: ações, movimentos, mudança no aspecto (cor, aparecimento de bolhas, fumaça, vapor, etc.); descrevem os elementos da situação apenas em termos de suas propriedades e funções; concebem de maneira assimétrica as interações entre elementos da situação; implicam seqüenciação temporal e espacial. Estes modos de compreensão que são, essencialmente, do tipo “relacionado a evento”, diferentemente do tipo “conceitual” usado no campo das ciências, são inadequados e freqüentemente levam a previsões errôneas.

A persistência das chamadas concepções alternativas, inclusive em estudantes em cursos científicos avançados, têm recebido várias interpretações, porém, Vergnaud argumenta (*ibid*; p. 74) que em praticamente todas elas o sistema de percepção visual tem um papel preponderante na construção do conhecimento pelos sujeitos, mas pouca atenção tem sido dada ao papel funcional dessas concepções e poucas pesquisas têm sido feitas sobre os problemas que os sujeitos encontram para construí-las. Por exemplo, os “erros” encontrados em alguns estudos freqüentemente decorrem

de fato de que os sujeitos se deparam com questões que nunca se propuseram antes ou que envolvem valores não usuais das variáveis de uma dada situação. Outro exemplo de dificuldade enfrentada pelos sujeitos está no fato de que os modelos científicos fazem uso de entidades que geralmente não são acessíveis sensorialmente. Em Física, por exemplo, os estudantes enfrentam uma dificuldade que também existe na Álgebra: a verificação do significado de representações simbólicas depende não só da habilidade que o sujeito tenha para representar as entidades e as relações entre elas, mas principalmente de elementos conceituais que devem ser levados em conta (conceitos como sistema, estado, interação, transferência, conservação, apenas para mencionar alguns). (ibid; p. 76).

O que tudo isso quer dizer é que é normal que os alunos apresentem tais concepções e que elas devem ser consideradas como precursoras de conceitos científicos a serem adquiridos. A ativação desses precursores é necessária e deve ser guiada pelo professor.

As concepções prévias dos alunos contêm teoremas e conceitos-em-ação que não são verdadeiros teoremas e conceitos científicos mas que podem evoluir para eles. Porém, como já foi dito, o hiato entre os invariantes operatórios dos alunos e os do conhecimento científico é grande, de modo que a mudança conceitual poderá levar muito tempo.

Por outro lado, pode ocorrer que certos conceitos possam ser construídos somente se certas concepções prévias forem abandonadas. Quer dizer, o conhecimento prévio pode funcionar como obstáculo epistemológico. (ibid; p. 83). Nesse caso, a ação mediadora do professor é também imprescindível.

A construção do conhecimento pelo aprendiz não é um processo linear, facilmente identificável. Ao contrário, é complexo, tortuoso, demorado, com avanços e retrocessos, continuidades e rupturas. O conhecimento prévio é determinante no progressivo domínio de um campo conceitual, mas pode também, em alguns casos, ser impeditivo. Continuidades e rupturas não são, no entanto, excludentes. Pode haver continuidade e ruptura. A Álgebra, por exemplo, se apóia na Aritmética, mas, ainda assim, para aprendê-la é necessário romper com a Aritmética. A Mecânica Clássica e a Mecânica Quântica apresentam continuidades, mas para aprender esta é preciso rupturas com aquela.

No ensino, é necessário desestabilizar cognitivamente o aluno, mas não demais. É preciso identificar sobre quais conhecimentos prévios a criança pode se apoiar para aprender, mas é forçoso também distinguir quais as rupturas necessárias. Quer dizer, é preciso propor também, com cuidado, situações para as quais os alunos não têm onde se apoiar, ou não devem se apoiar, em conhecimentos prévios.

As idéias de Vergnaud sobre o papel do conhecimento prévio (que pode ser “alternativo”) como precursor de novos conhecimentos (que podem ser científicos) e sobre as continuidades e rupturas na construção do conhecimento, parecem ter muito a ver com a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel (Ausubel et al., 1980; Moreira, 1999 a e b). Para Ausubel, o conhecimento prévio é o principal fator, isolado, que influencia a aquisição de novos conhecimentos. A aprendizagem significativa se caracteriza pela interação entre o novo conhecimento e o conhecimento prévio. É nessa interação que o novo conhecimento adquire significados e o conhecimento prévio se modifica e/ou adquire novos significados. Mas tal interação não é arbitrária, ou seja, o novo conhecimento adquire significados pela interação com conhecimentos prévios especificamente relevantes. Em outras palavras, a interação não é com qualquer conhecimento prévio. Nesse sentido, no ensino é preciso identificar sobre quais conhecimentos prévios o aluno pode se apoiar para aprender. Contudo, o efeito do conhecimento prévio na aprendizagem é tão forte que em certos casos é preciso romper com ele. Por exemplo, no ensino do

conceito de aprendizagem significativa pode não ser adequado apoiar-se na idéia de interação, pois esta pode estar fortemente arraigada na estrutura cognitiva como sendo uma relação assimétrica que poderia dificultar a compreensão do fato de que na aprendizagem significativa tanto o novo conhecimento como o conhecimento prévio se modificam. Por outro lado, a compreensão da aprendizagem significativa como uma relação simétrica, ou de ação recíproca, juntamente com a aprendizagem de outros processos envolvendo ação recíproca, poderia levar a uma evolução dos conceitos e teoremas-em-ação associados à idéia de interação (que é uma idéia-chave na ciência) para outros progressivamente mais próximos daqueles cientificamente compartilhados.

Mas se a teoria dos campos conceituais é compatível com a teoria da aprendizagem significativa, por que não ficar com esta que é bastante mais conhecida e aceita no ensino de ciências? A resposta é que podem ser tomadas como complementares: a teoria de Ausubel, é uma teoria de aprendizagem em sala de aula, de aquisição de corpos organizados de conhecimento em situação formal de ensino, enquanto que a teoria de Vergnaud é uma teoria psicológica do processo de conceitualização do real que se propõe a localizar e estudar continuidades e rupturas entre conhecimentos do ponto de vista de seu conteúdo conceitual. A teoria de Vergnaud não é uma teoria de ensino de conceitos explícitos e formalizados, embora tenha subjacente a idéia de que os conhecimentos-em-ação (largamente implícitos) podem evoluir, ao longo do tempo, para conhecimentos científicos (explícitos). A teoria de Ausubel, por outro lado, se ocupa exatamente da aquisição de conceitos explícitos e formalizados, chegando inclusive a propor princípios programáticos – como a diferenciação progressiva, a reconciliação integradora e a consolidação – para a organização do ensino.

Ao resgatar e enriquecer o conceito de esquema introduzindo os conceitos de teorema-em-ação e conceito-em-ação, ao definir conceito como um triplete, ao colocar a conceitualização no âmago do desenvolvimento cognitivo, ao priorizar a interação sujeito-situação e, como não poderia deixar de ser, ao definir campo conceitual, Vergnaud provê um referencial muito rico para compreender, explicar e investigar o processo da aprendizagem significativa. A teoria dos campos conceituais de Vergnaud parece prover um referencial adequado para analisar a estrutura fina da teoria da aprendizagem significativa de Ausubel. O que para Ausubel são campos organizados de conhecimento, para Vergnaud são campos conceituais.

Professor/Ensino

Um determinado campo conceitual, como o da Eletricidade, por exemplo, pode ser progressivamente dominado por um aprendiz, mas o ensino, através da ação mediadora do professor, é essencial para isso. Professores são mediadores. Sua tarefa é a de ajudar os alunos a desenvolver seu repertório de esquemas e representações (1998, p. 180). Desenvolvendo novos esquemas, os alunos tornam-se capazes de enfrentar situações cada vez mais complexas. Novos esquemas não podem ser desenvolvidos sem novos invariantes operacionais. A linguagem e os símbolos são importantes nesse processo. Os professores usam palavras e sentenças para explicar, formular questões, selecionar informações, propor metas, expectativas, regras e planos. Contudo, sua ação mediadora mais importante é a de prover situações (de aprendizagem) frutíferas para os estudantes (ibid.). Tais situações devem ser cuidadosamente escolhidas, ordenadas, diversificadas, apresentadas no momento certo e dentro da zona de desenvolvimento proximal do aluno. Sem dúvida, uma tarefa difícil, mas essencial.

Para Vergnaud, o desenvolvimento cognitivo depende de situações e conceitualizações específicas para lidar com elas. São as situações que dão sentido aos conceitos; elas é que são responsáveis pelo sentido atribuído ao conceito (Barais & Vergnaud, 1990, p. 78); um conceito torna-se significativo através de uma variedade de situações (1994, p. 46), mas o sentido não está nas situações em si mesmas, assim como não está nas palavras nem nos símbolos (1990, p. 158).

Cabe aqui lembrar que embora estejamos falando do ensino e do papel do professor na perspectiva de Vergnaud, as situações antes referidas não são situações didáticas, propriamente ditas, mas sim tarefas, problemas.

O papel do professor como mediador, provedor de situações problemáticas frutíferas, estimuladoras da interação sujeito-situação que leva à ampliação e à diversificação de seus esquemas de ação, ou seja, ao desenvolvimento cognitivo, deixa ainda mais evidente que a teoria de Vergnaud tem também forte influência vigotskyana.

Há, no entanto, outra importante implicação da teoria dos campos conceituais para o ensino: a questão do conhecimento implícito e do conhecimento explícito. A escola, segundo Vergnaud (1994, p. 47), superestima o conhecimento explícito e subestima, até mesmo desvaloriza, o conhecimento implícito dos alunos. Contudo, a maior parte de nossa atividade física e mental, de nosso comportamento enfim, é constituída de esquemas e estes têm como componentes essenciais os invariantes operatórios (conceitos e teoremas-em-ação) que constituem os conhecimentos contidos nos esquemas e que são largamente implícitos. Quer dizer, há muito de implícito nos esquemas. Os alunos, em geral, não são capazes de explicar ou expressar em linguagem natural seus teoremas-em-ação, ainda que sejam capazes de resolver certas tarefas (situações). Não só alunos, qualquer pessoa muitas vezes é incapaz de colocar em palavras coisas que faz muito bem, conhecimentos que tem. Há um hiato, entre a ação e a formalização da ação. Agimos com o auxílio de invariantes operatórios sem expressá-los ou sem sermos capazes de expressá-los. A análise cognitiva dessas ações muitas vezes revela a existência de potentes teoremas e conceitos-em-ação implícitos. Esse conhecimento, no entanto, não pode ser, apropriadamente, chamado de conceitual pois o conhecimento conceitual é necessariamente explícito (Vergnaud et al, 1990, p. 20). Portanto, palavras e outros símbolos, sentenças e outras expressões simbólicas, são instrumentos cognitivos indispensáveis para a transformação de invariantes operatórios, implícitos, em conceitos e teoremas científicos, explícitos. (ibid.) Quer dizer, a formalização – o ensino direcionado à formalização – é necessária, porém é preciso levar em conta que as idéias científicas evoluem no aluno, durante um longo período de desenvolvimento cognitivo, através de uma variedade de situações e atividades e que qualquer conhecimento formal e axiomatizado que o aluno apresenta pode não ser mais do que a parte visível de um iceberg formado basicamente por conhecimentos implícitos (op. cit; p. 21). O ensino de ciências não pode deixar de lado a simbolização e a formalização, porque a ciência é simbólica, formal e explícita, mas é preciso ter sempre em mente que o conhecimento do aluno, como de qualquer outro sujeito, é, em grande parte, implícito. O ensino de ciências deve facilitar a transformação do conhecimento implícito em explícito, sem nunca subestimá-lo ou desvalorizá-lo. A trajetória do aprendiz ao longo de um campo conceitual científico é sinuosa, difusa, difícil e, sobretudo, demorada. Não se pode esperar que um aluno domine um campo conceitual como o da Termodinâmica, por exemplo, através de uma ou duas unidades didáticas desenvolvidas ao longo de dois ou três meses. É normal que o aluno continue usando conhecimentos implícitos ao mesmo tempo que vai se apropriando dos conhecimentos explícitos da ciência. A perspectiva dos campos conceituais é progressiva, não substitutiva. Ou seja, o campo conceitual vai sendo progressivamente dominado pelo aprendiz; o conhecimento implícito vai evoluindo, progressivamente, para o explícito, ao invés de ser substituído por ele. Isso, como alerta Vergnaud, pode levar muito tempo, muitos anos talvez, mas o ensino e, em última análise, o professor têm um papel essencial nesse processo. Sem o ensino, não há razão nenhuma para se acreditar que o sujeito passe a dominar campos conceituais complexos e formalizados como os científicos.

Resolução de Problemas

O ensino de ciências tradicionalmente envolve três aspectos principais profundamente interrelacionados: o conhecimento teórico (conceitos, leis, princípios, equações), as práticas de

laboratório (experimentos, demonstrações, procedimentos científicos) e a resolução de problemas (abertos, fechados, como investigação, de papel e lápis). Obviamente, qualquer professor experiente sabe que essa distinção é artificial: o conhecimento científico é produzido através da interação entre o domínio conceitual e o metodológico. Porém, na perspectiva de Vergnaud esta interdependência entre a teoria e a prática fica muito clara.

Como já foi dito reiteradamente ao longo deste texto, são as situações¹ que dão sentido aos conceitos; um conceito torna-se significativo através de uma variedade de situações, os conhecimentos dos alunos são moldados pelas situações que encontram e, progressivamente, dominam. Embora o conceito de situação tenha, na teoria dos campos conceituais, o significado de tarefa, podemos supor que no âmbito das ciências situação significa também problema. Ou podemos falar em situações e problemas como faz o próprio Vergnaud ao dizer que “a aquisição de conhecimento é moldada pelas situações e problemas previamente dominados e, portanto, o conhecimento do sujeito tem muitos aspectos locais” (1994, p. 42). Em outro trabalho, bastante anterior a esse, Vergnaud diz que “na verdade, os conceitos se desenvolvem através da resolução de problemas, e esse desenvolvimento é lento” (1983b, p. 172).

Isso significa que a resolução de problemas ou as situações de resolução de problemas são essenciais para a conceitualização, mas, como chama atenção Vergnaud (1994, p. 42), “um problema não é um problema para um indivíduo a menos que ele ou ela tenha conceitos que o/a tornem capaz de considerá-lo como um problema para si mesmo”. Ou seja, há uma relação dialética e cíclica entre a conceitualização e a resolução de problemas. Para Vergnaud, a problematização vai muito além da abstração de regularidades do mundo observável. Problemas são teóricos e práticos, não meramente empíricos, mesmo para crianças pequenas. Quando uma classe de problemas é resolvida por um indivíduo (o que significa que ela ou ele desenvolve um esquema eficiente para lidar com todos ou quase todos os problemas dessa classe), o caráter problemático dessa classe específica desaparece (ibid.). Mas essa competência desenvolvida pelo indivíduo o habilita a reconhecer ou considerar novos problemas para si mesmo; trata-se então, de um processo cíclico.

Vergnaud chama de “ilusão pedagógica” (1983 b, p. 173) a atitude dos professores que crêem que o ensino, de Física digamos, consiste na apresentação organizada, clara, rigorosa, das teorias formais e que quando isso é bem feito os alunos aprendem. Trata-se de uma ilusão porque, segundo ele, é através de situações de resolução de problemas que os conceitos se desenvolvem no aluno e as situações de resolução de problemas que tornam os conceitos significativos para os alunos podem estar, pelo menos inicialmente, muito distantes do formalismo apresentado pelo professor. Mas, apesar disso, tais situações são essenciais para o desenvolvimento de conceitos. Quer dizer, ao mesmo tempo que as situações formais são necessárias é preciso levar em consideração que o aluno pode estar ainda muito longe delas. (1983 b, p. 172).

Novamente podemos estabelecer um certo paralelo entre as teorias de Ausubel e Vergnaud. A aprendizagem receptiva de Ausubel poderia ser interpretada como a ilusão pedagógica de Vergnaud, mas não é assim. Ausubel, certamente defenderia a apresentação organizada, clara, rigorosa das teoria formais, porém, desde que fossem potencialmente significativas o que implicaria que o aprendiz tivesse o conhecimento prévio adequado e se dispusesse a aprender. Isso estaria de acordo com a postura de Vergnaud no sentido de que o domínio de situações prévias é importante para o domínio de situações novas. Acrescente-se a isso que, para Ausubel, a resolução de problemas, em particular de situações problemáticas novas e não familiares que requeiram máxima transformação do conhecimento adquirido, é a principal evidência da aprendizagem significativa (Ausubel et al., 1980).

¹ Lembremos que um campo conceitual é, em primeiro lugar, um conjunto de situações (1998, p. 141; 1990, p. 5), cujo domínio requer o domínio de vários conceitos de naturezas distintas.

A teoria de Vergnaud parece ser, então, um bom referencial para análise das dificuldades dos alunos na resolução de problemas em ciências e, conseqüentemente, da conceitualização em ciências. Tais dificuldades poderiam, por exemplo, ser examinadas em termos de invariantes operatórios, quer dizer, em termos de quais os conceitos e teoremas-em-ação que os estudantes estariam usando na resolução de problemas e de quão distantes estariam dos conceitos e teoremas científicos adequados à resolução do problema em pauta.

Representações²

No triplete C (S, I, R) que define conceito (p. 4 deste trabalho), Vergnaud dizia que S (o conjunto de situações que dão sentido ao conceito) é a realidade e (I, R) a representação dessa realidade que pode ser considerada como dois aspectos interagentes do pensamento, o significado (I) e o significante (R).

Isso sugere que, inicialmente, Vergnaud usava o termo representação como sendo o de um sistema simbólico que significaria algo para o sujeito: um sistema de signos e uma sintaxe, ou operações sobre elementos do sistema. Para ele, conceitos e símbolos eram duas faces da mesma moeda e devia-se sempre dar atenção ao uso que os alunos faziam dos símbolos à luz do uso que faziam dos conceitos. Quer dizer, a habilidade em resolver situações em linguagem natural seria o melhor critério para aquisição de conceitos, mas, por outro lado, a simbolização ajudaria nisso (1982, p. 57). Assim como há problemas mais facilmente resolvíveis do que outros, ou procedimentos mais fáceis do que outros, haveria representações simbólicas mais potentes do que outras; equações, por exemplo, seriam mais potentes que diagramas de Euler-Venn. Todavia, tais equações deveriam representar situações significativas.

Porém, em outro trabalho, mais recente (1998, p. 173), Vergnaud fala em teorias de representações e diz que, para ser útil, uma teoria dessas deve conter a idéia de que as representações ofereçam possibilidades de inferência, i.e., que elas nos tornem capazes de antecipar eventos futuros e gerar condutas para chegar a algum efeito positivo ou evitar algum efeito negativo.

Diz ele (op. cit, p. 174) que temos representações computáveis para gestos e ações sobre o mundo físico, bem como para comportamentos verbais e para interações sociais. Tais representações podem ser corretas ou erradas, vagas ou precisas, explícitas ou totalmente implícitas; em qualquer caso, elas funcionam como substitutos computáveis da realidade e, portanto, são feitas de teoremas-em-ação, proposições tidas como verdadeiras.

A construção do conhecimento consiste, então, na progressiva construção de representações mentais que são homomórficas à realidade para alguns aspectos e para outros não (1990, p. 22). Por um lado, a representação é ativa, pragmática e operacional, por outro, é discursiva, teórica e simbólica (ibid.). Mas há importantes lacunas entre o que está representado na mente de um indivíduo e o significado usual das palavras e outros signos, pois sistemas lingüísticos e semióticos não têm por finalidade expressar exatamente o que cada indivíduo tem em mente quando enfrenta uma situação, selecionando e processando a informação (1998, p. 176). Para Vergnaud, a relação entre situações e esquemas é a fonte primária da representação, mas sua teoria afasta-se muito da visão de que um objeto pode ser representado mentalmente de maneira não ambígua através de

² A ponte entre a teoria de Vergnaud e a teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird feita nesta seção está bem mais elaborada no trabalho “Além da detecção de modelos mentais dos estudantes. Uma proposta representacional integradora”, de Ileana Greca e Marco Antonio Moreira.

símbolos. Por maior que seja (e é grande) o papel dos símbolos no pensamento, o conhecimento não é, em essência, simbólico. O reconhecimento de invariantes em ação e percepção, e a progressiva construção de objetos e predicados de nível mais alto, são aspectos mais essenciais do conhecimento. (op. cit., p. 177).

Podemos, então, fazer uma ponte entre os significados mais recentes de representação na teoria de Vergnaud e a teoria, também recente, dos modelos mentais (Johnson-Laird, 1983; Moreira, 1996). Dizer que temos representações computáveis para gestos e ações sobre o mundo físico, para comportamentos verbais e para interações sociais, e que tais representações -- que podem ser corretas ou erradas, vagas ou precisas, explícitas ou (principalmente) implícitas -- permitem fazer inferências é, praticamente, dizer que tais representações são modelos mentais. Johnson-Laird define modelos mentais como análogos estruturais de estados de coisas do mundo. São instrumentos de compreensão e inferência. Quando nos defrontamos com uma situação nova, construímos um modelo mental para entendê-la, descrevê-la e prever o que vai acontecer. Este modelo pode ser correto ou não (no sentido de que suas previsões não são corretas cientificamente), pode ser vago, confuso, incompleto, mas é, sobretudo, funcional para seus construtor e pode ser modificado recursivamente até atingir tal funcionalidade.

Modelos mentais podem ser basicamente proposicionais, i.e., constituídos principalmente de proposições, ou basicamente imagísticos, ou seja, construídos predominantemente com imagens, ou, ainda, híbridos, quer dizer, formados por proposições e imagens (Greca e Moreira, 1997). Então, as proposições constituintes dos modelos mentais podem ser interpretadas como teoremas-em-ação de Vergnaud. Como ele mesmo diz, as representações funcionam como substitutos computáveis da realidade e, portanto, são feitas de teoremas-em-ação. Com o progressivo domínio de um campo conceitual, os teoremas-em-ação (grandemente implícitos) vão se aproximando de teoremas científicos (proposições explícitas). Analogamente, à medida que o sujeito adquire mais conhecimentos científicos seus modelos mentais aproximam-se (no sentido de que permitem dar significados cientificamente aceitos) dos modelos científicos.

Pode-se, assim, dizer que os modelos mentais de Johnson-Laird contêm aquilo que Vergnaud chama de teoremas-em-ação, ou seja proposições tidas como verdadeiras sobre o real. Mas esta aparente compatibilidade entre as duas teorias pode ir além, pois os conceitos-em-ação de Vergnaud também podem integrar modelos mentais. Conceitos-em-ação são objetos, predicados, ou categorias de pensamento, tidos como pertinentes, relevantes, à situação. Analogamente, segundo o princípio do construtivismo (Johnson-Laird, 1983, p. 398), um modelo mental é construído a partir de sinais ("tokens") dispostos em uma estrutura particular para representar em certo estado de coisas (isto é, uma certa situação). Se interpretássemos esses sinais ("tokens") como objetos, predicados ou categorias de pensamento pertinentes, dir-se-ia que os modelos mentais contêm também conceitos-em-ação.

Contudo, é importante não confundir modelos mentais com esquemas de assimilação. Para Vergnaud, os invariantes operatórios (teoremas e conceitos-em-ação) são componentes essenciais dos esquemas e acabamos de dizer que os modelos mentais contêm proposições e sinais ("tokens") que podem ser interpretados como invariantes operatórios, mas, ainda assim, modelos mentais e esquemas são construtos distintos. Modelo mental é instrumento de compreensão, construído no momento da compreensão e descartável se for alcançada (para o construtor) a funcionalidade desejada (ou seja, a compreensão, mesmo que não compartilhada cientificamente). Esquema de assimilação é, segundo Vergnaud, a organização invariante do comportamento para uma determinada classe de situações. Portanto, esquemas de assimilação são mais estáveis; o sujeito constrói determinado esquema e o utiliza para assimilar uma certa classe de situações, ou seja, usa sempre o mesmo esquema para cada situação dessa classe. Mas frente a uma situação nova, é preciso acomodar, ou seja, construir um novo esquema de assimilação e é exatamente aí que parece

encaixar bem a idéia de modelo mental: para compreender uma nova situação o sujeito constrói, inicialmente, um modelo mental (que, como foi dito, pode conter invariantes operatórios), não um esquema de assimilação. Na medida em que a nova situação deixa de ser nova e passa a ser rotineira, o modelo mental evolui para esquema de assimilação, quer dizer, se estabiliza. Mas isso não quer dizer que todo modelo mental venha a se transformar em esquema de assimilação. Modelos mentais são recursivos, o que significa que vão sendo construídos e modificados quase que simultaneamente até que se tornem funcionais quando, então, podem ser descartados ou, talvez, “guardados” até que se tornem esquemas de assimilação. Trata-se, ao que parece, de um bom assunto para pesquisar.

Pesquisa

Como último tópico deste texto, abordar-se-á a pesquisa em ensino de ciências no referencial da teoria dos campos conceituais. Vejamos primeiramente, no entanto, o que diz Vergnaud sobre a pesquisa em campos conceituais.

Segundo ele (1988, p. 149), a abordagem canônica ao estudo de um campo conceitual envolve identificar e classificar situações e, então, coletar dados sobre procedimentos e outras maneiras através das quais os estudantes expressam seu raciocínio. Um ciclo de pesquisa inicia com a identificação de níveis de objetos, relações e teoremas-em-ação. O ciclo continua, então com o delineamento de situações e materiais e sua experimentação com alunos, completando-se com a construção de representações simbólicas através da observação e análise dos diferentes fenômenos que ocorrem (ibid.). Começa, então, um segundo ciclo para melhorar o primeiro e, assim, sucessivamente. O estudo do domínio de certos campos conceituais é um programa de longo prazo que dificilmente pode ser feito por um pesquisador isolado ou, mesmo, por um grupo de pesquisa isolado.

Portanto, o primeiro passo para estudar o progressivo domínio de um campo conceitual por parte do aluno é identificar e classificar situações. Mas isso envolve duas idéias principais: diversidade e história. Ou seja, existe uma grande variedade de situações em um dado campo conceitual e as aprendizagens dos alunos são moldadas pelas situações com as quais se depararam e progressivamente dominaram, particularmente as primeiras suscetíveis de dar sentido aos conceitos e procedimentos que lhes queremos ensinar (1990, p. 150). A combinação dessas duas idéias dificulta o trabalho do pesquisador em ensino porque a primeira o dirige para a análise, para a decomposição em elementos simples e para as possíveis combinações de situações, enquanto que a segunda o orienta para a busca de situações funcionais quase sempre compostas de várias relações, cuja importância relativa está largamente ligada à frequência com que são encontradas (ibid.).

Em outras palavras, o estudo psicogenético da aquisição de um campo conceitual implica a análise, em termos relacionais e hierárquicos, das diferentes classes de problemas que podem ser propostos aos alunos. Implica também o estudo dos distintos procedimentos e representações simbólicas que o aprendiz utiliza (1982, p. 40). Em relação às representações, Vergnaud diz (1994, p. 43) que é uma tarefa essencial, teórica e empírica, dos pesquisadores entender por que uma certa representação simbólica particular pode ser útil, e sob quais condições, e quando e por que pode ser proveitosamente substituída por outra mais abstrata e geral.

Embora Vergnaud e vários pesquisadores que trabalham sob o referencial de sua teoria tenham se dedicado principalmente à pesquisa em educação matemática e, em particular, ao estudo dos campos conceituais das estruturas aditivas e multiplicativas, essa abordagem à pesquisa certamente se aplica ao ensino de ciências, ou à educação em ciências se preferirmos esta terminologia. Na resolução de problemas, por exemplo, pode-se analisar as dificuldades dos alunos

em termos de invariantes operatórios. Quer dizer, os alunos muitas vezes resolvem problemas usando conhecimentos-em-ação que podem até conduzi-los à uma solução satisfatória para uma certa situação, mas que não funcionam para outra situação ligeiramente diferente da primeira porque tais conhecimentos não são científicos e tampouco constituem um esquema de assimilação que pode ser aplicado a uma classe de situações. Por outro lado, tais conhecimentos-em-ação — que são largamente implícitos — podem ser precursores na aquisição de conceitos científicos e, portanto, devem ser identificados, i.e., pesquisados. Os trabalhos de Sousa (2001) e de Sousa e Fávero (2002) no qual a resolução de problemas em Física foi investigada em uma situação de interlocução entre um especialista e um novato, é um exemplo nessa direção. Costa e Moreira (2002) e Escudero e Moreira (2002) também estão trabalhando em resolução de problemas em Física e procurando interpretar as dificuldades dos alunos na construção de modelos mentais do enunciado à luz de aspectos da teoria dos campos conceituais.

O estudo da aprendizagem de conceitos físicos também pode ser feito no referencial teórico de Vergnaud. Para ele, são as situações que dão sentido ao conceito, os invariantes operatórios que constituem seu significado, e as representações simbólicas o seu significante. Portanto, como sugere Vergnaud, é preciso identificar e classificar situações adequadas à aprendizagem de determinado conceito, pesquisar os invariantes operatórios usados pelos alunos e procurar entender como, por que, e quando uma certa representação simbólica pode ajudar na conceitualização. O trabalho de Lemeignan e Weil-Barais (1994) é talvez pioneiro nessa linha. As pesquisas de Stipcich e Moreira (2002) sobre o conceito de interação e de Moreira e Sousa (2002) a respeito do conceito de potencial elétrico estão usando o referencial de Vergnaud para interpretar as dificuldades dos alunos na aprendizagem significativa desses conceitos.

Obviamente, a teoria dos campos conceituais pode também ser usada como referente teórico em pesquisas sobre mudança conceitual. De um modo geral, pode-se dizer que essa teoria é potencialmente útil na análise das dificuldades dos alunos na resolução de problemas em ciências, na aprendizagem de conceitos científicos e na mudança conceitual. Uma vez identificadas tais dificuldades, essa mesma teoria pode ajudar no delineamento de estratégias, ou melhor, na seleção de situações instrucionais que possam ajudar na progressiva superação de tais dificuldades ou, em outras palavras, no progressivo (e lento) domínio do(s) campo(s) conceitual(is) envolvido(s). Esse domínio progressivo implica capacidade de resolver problemas, conceitualização e mudança (evolução) conceitual.

Não tão óbvia é a possibilidade de investigar questões como a modelagem mental no referencial de Vergnaud, porém uma vez aceita a compatibilidade, aludida na seção anterior, entre a teoria dos modelos mentais e a teoria dos campos conceituais, tal possibilidade decorre naturalmente. Enfim, a potencialidade do uso da teoria de Vergnaud na pesquisa e ensino de ciências parece ser grande. Nesta seção foram apenas aventadas possibilidades e referidos alguns estudos.

Conclusão

Este trabalho teve por objetivo descrever a teoria dos campos conceituais de Gérard Vergnaud, particularmente para uma audiência de professores e pesquisadores em ensino de ciências. Essa teoria é bastante conhecida na área da educação matemática, porém relativamente pouco no campo da educação em ciências e justamente por isso foi objeto deste texto.

Trata-se de uma teoria de base piagetiana, mas que afasta-se bastante de Piaget ao tomar como referência o próprio conteúdo do conhecimento e a análise conceitual do progressivo domínio desse conhecimento, bem como ao ocupar-se do estudo do desenvolvimento cognitivo do sujeito-

em-situação ao invés de operações lógicas gerais, de estruturas gerais do pensamento. Ao fazer isso, a teoria de Vergnaud apresenta um grande potencial para descrever, analisar e interpretar aquilo que se passa em sala de aula na aprendizagem de matemática e ciências. Provavelmente, esse tipo de teoria é o de maior utilidade para fundamentar o ensino e a pesquisa em ensino nessa área.

Além de descrever a teoria, propriamente dita, procurou-se neste texto estabelecer elos com a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel (outra “teoria de sala de aula”) e com a recente teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird, assim como destacar implicações para o ensino e para a pesquisa em ensino de ciências.

Bibliografia

- Ausubel, D.P., Novak, J.D. e Hanesian, H. (1980). *Psicologia educacional*. Rio de Janeiro: Interamericana.
- Barais, A.W. and Vergnaud, G. (1990). Students' conceptions in physics and mathematics: biases and helps. In Caverni, J.P., Fabre, J.M. and Gonzalez, M. (Eds.). (1990). *Cognitive biases*. North Holland: Elsevier Science Publishers. pp. 69-84.
- Costa, S.S.C. e Moreira, M.A. (2002). Modelos mentais e resolução de problemas em Física. Projeto em andamento.
- Escudero, C. e Moreira, M.A. (2002). Inferencias y modelos mentales: um estudio en resolución de problemas acerca de los primeros contenidos de Física abordados em el aula por estudiantes de nivel médio. Projeto de pesquisa em andamento.
- Franchi, A. (1999). Considerações sobre a teoria dos campos conceituais. In Alcântara Machado, S.D. et al. (1999). *Educação Matemática: uma introdução*. São Paulo. EDUC. pp. 155-195.
- Greca, I.M. and Moreira, M.A. (1997). The kinds of mental representations — models, propositions and images — used by college physics students regarding the concept of field. *International Journal of Science Education*, 19(6): 711-724.
- Johnson-Laird, P. (1993). *Mental models*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Lemeignan, G. and Weil-Barais, A. (1994). A developmental approach to cognitive change in mechanics. *International Journal of Science Education*, 16(1): 99-120.
- Moreira, M.A. (1996). Modelos mentais. *Investigações em Ensino de Ciências*. 1(3):193-232.
- Moreira, M.A. (1999a). *Teorias de aprendizagem*. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária.
- Moreira, M.A. (1999b). *Aprendizagem significativa*. Brasília: Editora da UnB.
- Moreira, M.A. e Sousa, C.M.S.G. (2002). Dificuldades de alunos de Física Geral com o conceito de potencial elétrico. Projeto de pesquisa em andamento.
- Sousa, C.M.S.G. (2001). *A resolução de problemas e o ensino de Física: uma análise psicológica*. Tese de doutoramento. Instituto de Psicologia, Universidade de Brasília.
- Sousa, C.M.S.G. e Fávero, M.H. (2002). Um estudo sobre resolução de problemas em Física em situação de interlocução entre um especialista e um novato. Submetido ao VIII EPEF.
- Stipcich, M.S. e Moreira, M.A. (2002). El significado del concepto de interacción en estudiantes de nivel polimodal. Projeto de pesquisa em andamento.
- Vergnaud, G. (1982). A classification of cognitive tasks and operations of thought involved in addition and subtraction problems. In Carpenter, T., Moser, J. & Romberg, T. (1982). *Addition and subtraction. A cognitive perspective*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum. pp. 39-59.
- Vergnaud, G. (1983a). *Quelques problèmes théoriques de la didactique a propos d'un exemple: les structures additives*. Atelier International d'Eté: Recherche en Didactique de la Physique. La Londe les Maures, França, 26 de junho a 13 de julho.
- Vergnaud, G. (1983b). Multiplicative structures. In Lesh, R. and Landau, M. (Eds.) *Acquisition of Mathematics Concepts and Processes*. New York: Academic Press Inc. pp. 127-174.
- Vergnaud, G. (1987). Problem solving and concept development in the learning of mathematics. E.A.R.L.I. Second Meeting. Tübingen.

- Vergnaud, G. (1988). Multiplicative structures. In Hiebert, H. and Behr, M (Eds.). *Research Agenda in Mathematics Education*. Number Concepts and Operations in the Middle Grades. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum. pp. 141-161.
- Vergnaud, G. (1990). La théorie des champs conceptuels. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 10 (23): 133-170.
- Vergnaud, G. et al. (1990). Epistemology and psychology of mathematics education. In Nesher, P. & Kilpatrick, J. (Eds.) *Mathematics and cognition: A research synthesis by International Group for the Psychology of Mathematics Education*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Vergnaud, G. (1993). Teoria dos campos conceituais. In Nasser, L. (Ed.) Anais do 1º Seminário Internacional de Educação Matemática do Rio de Janeiro. p. 1-26.
- Vergnaud, G. (1994). Multiplicative conceptual field: what and why? In Guershon, H. and Confrey, J. (1994). (Eds.) *The development of multiplicative reasoning in the learning of mathematics*. Albany, N.Y.: State University of New York Press. pp. 41-59.
- Vergnaud, G. (1996a). Education: the best part of Piaget's heritage. *Swiss Journal of Psychology*, 55(2/3): 112-118.
- Vergnaud, G. (1996b). A trama dos campos conceituais na construção dos conhecimentos. *Revista do GEMPA*, Porto Alegre, Nº 4: 9-19.
- Vergnaud, G. (1996c). Algunas ideas fundamentales de Piaget en torno a la didáctica. *Perspectivas*, 26(10): 195-207.
- Vergnaud, G. (1997). The nature of mathematical concepts. In Nunes, T. & Bryant, P. (Eds.) *Learning and teaching mathematics, an international perspective*. Hove (East Sussex), Psychology Press Ltd.
- Vergnaud, G. (1998). A comprehensive theory of representation for mathematics education. *Journal of Mathematical Behavior*, 17(2): 167-181.

Recebido em 15.04.2002

Aceito em 28.05.2002