

Outros artigos

Tipos de conhecimento e suas relações com a resolução de problemas em ciências: orientações para a prática

JOAN JOSEP SOLAZ-PORTOLÉS

jjsolpor@yahoo.es

IES Benaguasil / Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED) em Valência

VICENTE SANJOSÉ LÓPEZ

vicente.sanjose@uv.es

ERI-Polibienestar / Universidade de Valência, Espanha

RESUMO:

Este artigo dá uma panorâmica geral da investigação sobre tipos de conhecimento envolvidos na resolução de problemas e sobre o modo como estes tipos de conhecimento afectam o desempenho dos respectivos autores. Alguns dos tipos de conhecimento analisados são os relativos às competências declarativas, procedimentais, esquemáticas, estratégicas, situacionais, metacognitivas e de tradução de problemas. Com base nesta análise, são sugeridas orientações para melhorar o ensino da resolução de problemas.

PALAVRAS-CHAVE:

Educação científica, Resolução de problemas, Tipos de conhecimento, Medidas didácticas.

INTRODUÇÃO

A resolução de problemas desempenha um papel crucial no currículo das ciências da maior parte dos países (Gabel & Bunce, 1994; Heyworth, 1999; Lorenzo, 2005). No entanto, é recorrente o reconhecimento de que os alunos não conseguem aplicar em contextos do dia a dia o conhecimento que adquirem na escola. Este facto parece aplicar-se sobretudo às aulas de ciências (Friege & Lind, 2006), o que justifica que a melhoria das competências de resolução de problemas continue a ser um dos principais objectivos dos professores de ciências e dos investigadores de educação científica.

Investigadores como Beyer (1984) e DeBono (1983) descobriram que o domínio de competências gerais de resolução de problemas não distingue os bons e os maus solucionadores de problemas, mas também concluíram que o conhecimento do contexto é o factor crítico dessa competência. Por isso, a investigação actual defende que a resolução de problemas é um processo situacional e contextualizado que depende das estruturas profundas do conhecimento e da experiência (Palumbo, 1990). Para atingir a competência de resolução de problemas em ciências, é preciso satisfazer duas condições (Lee *et al.*, 2001): que essa competência seja trabalhada no ensino das ciências e que se observem as dificuldades que os alunos enfrentam nesse processo para encontrar formas de os ajudar a ultrapassá-las. A literatura sugere que o sucesso nesta matéria depende de uma combinação de conhecimento científico com conhecimento de estratégias de resolução de problemas e com aspectos atitudinais (Jonassen, 2000; O'Neil & Schacter, 1999).

Este artigo tem um triplo objectivo: a) Apresentar genericamente alguns tipos de conhecimento envolvidos na resolução de problemas em ciências; b) mostrar como estes tipos de conhecimento intervêm no desempenho

dos sujeitos; e c) sugerir algumas orientações para a sala de aula que tornem mais eficaz a resolução de problemas.

TIPOS DE CONHECIMENTO QUE INTERVÊM NA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS EM CIÊNCIAS: UMA VISÃO GERAL

O conhecimento necessário para resolver problemas num domínio complexo é composto por muitos princípios, exemplos, pormenores técnicos, generalizações, heurísticas, além de outras peças de informação relevante (Stevens & Palacio-Cayetano, 2003). O desenvolvimento de uma base de conhecimento é importante tanto em termos extensivos como em termos da sua organização estrutural. Para que o conhecimento seja útil, não só os alunos terão de ser capazes de a ele aceder e de o aplicar, como também terão de possuir uma base de conhecimento prévia. É ingénuo quem defende o contrário ou quem considera que bastará ir buscá-lo a outras fontes (Dawson, 1993).

Para caracterizar os objectivos das ciências e os resultados de aprendizagem dos alunos, Shavelson, Ruiz-Primo e Wiley (2005) propõem um esquema conceptual que inclui o conhecimento declarativo (saber, conteúdo disciplinar: factos, definições e descrições), o conhecimento procedimental (saber fazer, regras/sequências de produção), o conhecimento esquemático (saber porquê, princípios/esquemas) e o conhecimento estratégico (saber quando, onde e como se aplica o nosso conhecimento, estratégias/heurísticas disciplinares). Li e Shavelson (2001) começaram por identificar métodos de avaliação para cada combinação entre tipo de conhecimento e característica (extensão — quanto? —, estrutura — como está organizado? — e outros), mas, embora seja possível distingui-los conceptualmente, na prática isso não

é possível e os métodos de avaliação não são perfeitamente compatíveis com os tipos de conhecimento e as características. Por exemplo, para medir a extensão do conhecimento declarativo, o teste de escolha múltipla e as perguntas de resposta curta são fiáveis e eficientes, em termos de tempo e custos. Para medir a estrutura do conhecimento declarativo, os mapas conceptuais e cognitivos fornecem informação válida sobre a estrutura conceptual (Ruiz-Primo & Shavelson, 1996a). Para medir o conhecimento procedimental, são necessárias avaliações de desempenho e não de papel e lápis (Ruiz-Primo & Shavelson, 1996b). Sadler (1998) deu provas da validade de testes múltiplos para medir o conhecimento esquemático. O conhecimento estratégico é muito raramente sujeito a uma avaliação directa, é preferentemente incluído na avaliação dos outros tipos de conhecimento (Shavelson *et al.*, 2005).

Ferguson-Hessler e de Jong (1990) identificaram quatro tipos essenciais de conhecimento para o conteúdo de uma base adequada à resolução de problemas:

1. Conhecimento situacional sobre situações que tipicamente ocorrem num determinado domínio. O conhecimento de situações problemáticas permite filtrar aspectos relevantes do enunciado do problema.
2. O conhecimento declarativo, também chamado de conceptual, é o conhecimento estático sobre factos e princípios que se aplicam a um determinado domínio.
3. O conhecimento procedimental é um tipo de conhecimento que contém acções ou manipulações válidas para um determinado domínio. O conhecimento procedimental existe a par do declarativo na memória dos solucionadores de problemas.
4. O conhecimento estratégico ajuda o aluno a organizar o processo de resolução de problemas, mostrando-lhe os estádios que deve percorrer para atingir a solução.

Mais tarde, estes actores descreveram diferentes aspectos de qualidade comuns a todos os tipos de conhecimento. Em causa está a organização hierárquica (superficial vs. profundamente enraizada), estrutura interna (elementos isolados de conhecimento vs. conhecimento bem estruturado e interligado), nível de automação (declarativo vs. compilado) e nível de abstracção (coloquial vs. formal) (de Jong & Ferguson-Hessler, 1996).

Na perspectiva cognitiva de Anderson, as componentes de conhecimento necessárias para resolver problemas podem ser genericamente agrupadas em competências de conhecimento factuais (declarativas), argumentativas (procedimentais), e reguladoras (metacognitivas) e todas desempenham papéis complementares (Anderson, 1980). De acordo com o trabalho de O'Neil e Schacter (1999), para se ser um bom solucionador de problemas, tem de se saber alguma coisa (conhecimento do conteúdo), possuir truques intelectuais

(estratégias de resolução de problemas), ser capaz de planear e monitorizar o percurso para a resolução do problema (metacognição) e estar motivado para o fazer. Um artigo de Richard E. Mayer (1998) analisa o papel que as competências cognitivas, metacognitivas e motivacionais desempenham na resolução de problema e conclui que todos estes três tipos de competências são necessários para o sucesso da resolução de problemas em meio académico.

EFEITOS DOS TIPOS DE CONHECIMENTO EM ALUNOS QUE RESOLVEM PROBLEMAS EM CIÊNCIAS

De acordo com os estudos de Kempa (Kempa, 1991; Kempa & Nicholls, 1983) há uma relação directa entre as dificuldades de resolução de problemas e a estrutura cognitiva (estrutura da memória de longo prazo). Estas dificuldades estão muitas vezes relacionadas com um ou mais dos seguintes factores:

1. Ausência de elementos de conhecimento com origem na estrutura de memória do aluno.
2. Presença nessa estrutura de conexões e relações erradas ou incorrectas entre elementos do conhecimento.
3. Ausência de conexões essenciais entre elementos de conhecimento.
4. Presença de elementos de conhecimento falsos ou irrelevantes.

De acordo com a teoria de Ausubel (Ausubel *et al.*, 1978), se os alunos têm de incorporar significativamente novos conhecimentos na estrutura de conhecimento existente, então esperar-se-ia ver relações entre conhecimento conceptual depois do processo de ensino e avaliação (Pendley *et al.*, 1994). De facto, descobriu-se que o conhecimento conceptual (declarativo) é um excelente indiciador de desempenho na resolução de problemas (Friege & Lind, 2006; Solaz-Portolés & Sanjosé, 2006).

Por outro lado, o desempenho especializado parece depender da capacidade de organização do conhecimento sobre o domínio em questão. Os especialistas têm uma ampla base de conhecimento que é organizada em estruturas elaboradas e integradas, enquanto que os principiantes tendem a possuir menos conhecimento do domínio e a organizá-lo de forma menos coerente (Zajchowski & Martin, 1993). O modo como o conhecimento é organizado pode dar acesso optimizado à memória de longo prazo. No caso dos especialistas, as fronteiras entre memória de longo prazo e memória de trabalho tornam-se de tal forma fluídas que a sua capacidade da memória de trabalho é consideravelmente superior à dos principiantes (Ericsson & Kintsch, 1995).

A investigação sobre resolução de problemas tem mostrado que a variável psicométrica da memória de trabalho pode em determinados casos ser preditiva do desempenho dos alunos (Johnstone *et al.*, 1993; Niaz & Loggie, 1993; Tsaparlis *et al.*, 1998). Um modelo interessante de resolução de problemas é o de Johnstone — El-Banna (Johnstone & El-Banna, 1986), que simultaneamente se baseia na teoria da memória de trabalho e na teoria do espaço-M (M-space) de Pascual-Leone. Segundo este modelo, qualquer aluno tem probabilidade de ser bem sucedido na resolução de um problema, se este tiver uma exigência-M (M-demand) (Z) inferior ou igual à sua capacidade de memória de trabalho (X) (isto é, $Z \leq X$, os autores aproximaram o valor Z do número de passos da resolução do problema para os alunos com menos talento, mas que acabam por ter sucesso), embora falhe por falta de informação ou evocação, e tem probabilidade de não ter sucesso se se verificar que $Z > X$, a menos que possua estratégias que lhe permitam reduzir o valor de Z de forma a ficar menor que X. Para estudar as condições de validade (Tsaparlis, 1998), o funcionamento e a própria validação (Tsaparlis & Angelopoulos, 2000) do modelo de Johnstone — El-Banna, foram utilizados problemas simples.

Dois estudos de Lee e colaboradores (Lee, 1985; Lee *et al.*, 1996) demonstraram que o sucesso na resolução de problemas está associado a variáveis cognitivas: conhecimento prévio, relação conceptual, associação de ideias, capacidade de tradução de problemas e experiência de trabalho com problemas. A relação conceptual mede a capacidade de estabelecer relações entre conceitos envolvidos na resolução de problemas. A associação de ideias mede a capacidade de associar ideias, conceitos, palavras, diagramas ou equações, recorrendo a pistas presentes nos enunciados dos problemas. A capacidade de tradução de problemas mede a capacidade de compreensão, análise, interpretação e definição de um dado problema. Experiência prévia na resolução de problemas é uma medida da experiência anterior na resolução de problemas similares. Numa extensão dos dois estudos anteriores (Lee *et al.*, 2001), os autores investigaram o efeito das mesmas variáveis (excepto a experiência prévia de resolução de problemas) na resolução de outro tipo de problemas, nomeadamente de diferentes tópicos e níveis. Os resultados destes estudos são consistentes com os anteriores e ligam o sucesso da resolução de problemas à tradução adequada do enunciado e à relevância da relação entre o enunciado e o conhecimento.

Friege e Lind (2006) concluíram que o conhecimento conceptual e o conhecimento do esquema de problema são excelentes indiciadores de desempenho na resolução de problemas. O esquema de problema é o resultado de uma combinação de conhecimento situacional, procedimental e conceptual. Os esquemas de problema correspondem a um tipo de conhecimento de

nível elevado, caracterizado por conhecimento profundo e inter-relacionado. A análise de pormenor revela que o conhecimento conceptual é mais típico dos praticantes com mais dificuldades (principiantes), enquanto que o conhecimento de esquema de problema é mais frequente nos mais competentes (especialistas).

Camacho e Good (1989) descreveram as diferenças de comportamento entre principiantes e especialistas no processo de resolução de problemas. A abordagem ao problema por praticantes de sucesso caracteriza-se por análise cuidada e raciocínio sobre a tarefa, uso de conceitos e princípios relacionados para justificar as respostas, verificações frequentes da consistência das respostas e suas justificações e melhor qualidade de conhecimento procedimental e estratégico. Os sujeitos menos sucedidos revelaram muitas lacunas de conhecimento e equívocos.

De Jong e Ferguson-Hessler (1986) descobriram que os praticantes fracos organizam o conhecimento de forma superficial, enquanto que os bons praticantes o fazem de acordo com esquemas de problema, em que cada um contem a totalidade das categorias de conhecimento — declarativo, procedimental e situacional — necessárias à resolução de determinado tipo de problemas. Numa experiência posterior (Ferguson-Hessler & de Jong, 1990), estes autores reuniram informação sobre diferenças nos processos de estudo entre alunos com bom desempenho na resolução de problemas e aqueles que o não têm. Revelou-se não haver diferença entre bons e maus praticantes quanto ao número de processos de estudo avaliados, tendo-se concluído que ambos os grupos estudavam de uma forma igualmente activa. Mas diferiam quanto ao tipo de processos avaliados: os bons alunos aplicavam mais processos profundos e menos processos superficiais. Os praticantes mais fracos prestam mais atenção ao conhecimento declarativo, enquanto que os bons tendem a centrar-se no conhecimento procedimental e situacional.

Actualmente, cada vez mais investigadores se dedicam ao conceito de metacognição, a auto-regulação do comportamento cognitivo. Há vários estudos que analisam a relação entre competências metacognitivas e resultados académicos (Leal, 1987; Pintrich & DeGroot, 1990; Pokay & Blumendeld, 1990), embora uma das suas limitações seja o facto de se basearem em relatórios de auto-avaliação dos próprios alunos acerca das estratégias metacognitivas que usam. O estudo de Otero, Campanario e Hopkins (1992) desenvolve um instrumento de medida da capacidade de monitorização da compreensão metacognitiva (CMA) que se não baseia inteiramente em relatórios dos próprios actores. Os resultados deste estudo indicam que a CMA está significativamente relacionada com o sucesso académico expresso em classificações. No artigo de Horak (1990) há uma chamada de atenção para as interacções entre o estilo cognitivo dos alunos (dependência/independência de campo) e o seu

uso de heurísticas de resolução de problemas e processos metacognitivos.

Os resultados do trabalho desenvolvido por Artz e Armour-Thomas (1992) apontam para a importância dos processos metacognitivos na resolução de problemas em Matemática e em situação de pequeno grupo. A interação contínua entre comportamentos cognitivos e metacognitivos surge como condição necessária ao sucesso na resolução de problemas e ao envolvimento máximo dos alunos. O estudo de Teong (2003) também demonstra, na mesma linha, o efeito do treino de metacognição na resolução de problemas em Matemática. Os alunos do grupo experimental que desenvolveram a capacidade de avaliar quando tomar decisões metacognitivas e de as executar, revelaram mais destreza na resolução de problemas de palavras do que os do grupo de controlo. Longo, Anderson e Wicht (2002) usaram um estudo experimental baseado em entrevistas para testar a eficácia de uma nova geração de representação de conhecimento e de estratégias metacognitivas de aprendizagem, chamada pensamento visual em rede (VTN). Nos itens do teste que tinham como critério a resolução de problemas, os alunos que usaram estratégias de VTN tiveram um resultado médio bastante superior ao dos alunos que usaram a estratégia de escrita na aprendizagem das ciências. Para ter uma visão geral das características das estratégias inovadoras de ensino no âmbito da resolução de problemas, Taconis, Fergusson-Hessler and Broekkamp (2001) fizeram uma análise de alguns artigos publicados entre 1985 e 1995 em revistas internacionais de elevada qualidade, contendo descrições de investigação experimental sobre a eficácia de uma ampla variedade de estratégias de ensino para a resolução de problemas em ciências. Quanto a condições de aprendizagem, conclui-se que a prática de *feedback* imediato e o fornecimento aos alunos de orientações e de critérios para avaliar o seu próprio processo de resolução de problemas e correspondentes produtos constituem pré-requisitos importantes para a aquisição de competências de resolução de problemas. Apesar disso, Abdullah (2006) verificou que apenas um número muito reduzido de estudos presta especial atenção ao papel que as competências de metacognição podem desempenhar em Física. Este investigador dedicou-se a estudar padrões de resolução de problemas nesta disciplina na perspectiva da metacognição.

ORIENTAÇÕES PARA A PRÁTICA

A competência de resolução de problemas depende da efectiva interacção dos tipos de conhecimento acima descritos. Com base na abordagem genérica apresentada neste artigo, sugerem-se abaixo algumas medidas didácticas que poderão ajudar os professores:

1. Antes de propor problemas para resolução, é conveniente que os alunos tenham uma compreensão conceptual da matéria, em vez de a obterem através da prática. Uma educação científica válida deverá integrar o processo de aquisição e de aplicação de conhecimento conceptual. Uma das técnicas que os professores podem usar para ajudar os seus alunos a organizar a sua compreensão de um tópico é o mapa de conceitos (Pendley *et al.*, 1994). A introdução do mapa de conceitos ajuda muitas vezes os alunos a compreender os conceitos e as relações entre eles (Novak & Gowin, 1984).
2. O conhecimento declarativo predomina nos textos didácticos, enquanto que o conhecimento procedimental e situacional é mais implícito e tem de ser deduzido muitas vezes por processamento profundo. Estimular processos de estudo profundos e específicos (ex., explicar, relacionar, e confrontar) pode incentivar os alunos a mudar hábitos de aprendizagem (Ferguson-Hessler & de Jong, 1990).
3. Os métodos e estratégias tradicionais do ensino das ciências não são compatíveis com metas de aprendizagem conceptual e competências cognitivas de nível elevado (Zoller *et al.*, 1995). Um dos principais objectivos da educação científica deveria ser a aplicação de práticas de ensino conducentes ao desenvolvimento de competências de raciocínio científico: trabalho de laboratório, ciência baseada em perguntas, simulações em computador, análise quantitativa de dados, construção de explicações, pensamento crítico e tomada de decisão. Está provado que a melhoria da capacidade de raciocínio decorre de processos prolongados de ensino e traduz-se em ganhos de longo prazo nos resultados de ciências (Shayer & Adey, 1993).
4. Incentivar a compreensão qualitativa dos problemas, em vez de apenas usar procedimentos numéricos (Neto & Valente, 1997). Começar com perguntas que podem ser baseadas em texto ou diagramas, mas cuja resposta exija que se evoquem conceitos subjacentes de teorias básicas das ciências. Poder-se-ia recorrer a discussões qualitativas enquanto os problemas estão a ser resolvidos no quadro ou a incentivar os alunos a trabalhar em conjunto na resolução de problemas, pedindo-lhes que deduzam procedimentos genéricos em vez de soluções matemáticas.
5. Proporcionar aos alunos experiências contínuas e prolongadas de resolução de problemas diversificados. Há sempre três variáveis associadas a qualquer problema: os dados fornecidos, o método a ser usado e o objectivo a alcançar (Johnstone, 1993). Logo que os alunos consigam apreender e compreender os procedimentos dos problemas básicos (evocação de algoritmos), deverão ser levados a exercitar outro tipo de problemas, por exemplo, problemas com os quais não estão familiarizados e que exigem para a sua

resolução não só a aplicação de conhecimento conceptual, mas também competências de análise e síntese, relação e avaliação. Proporcione-lhes a prática de estratégias semelhantes de resolução de problemas em contextos múltiplos para facilitar a generalização.

6. Forneça elementos de metacognição, como por exemplo informação sobre a existência de tipos de conhecimento funcional e sobre a função de esquemas de problemas. Use a heurística da resolução de problemas e actividades metacognitivas. Explique o papel das competências de metacognição nos passos de resolução de problemas. As competências de metacognição podem aplicar-se nos passos de planeamento, reflexão (monitorização do progresso), verificação (verificação de resultados) e interpretação da resolução de problemas (Abdullah, 2006).
7. É importante que o professor saiba que se pode alterar o M-demand (exigência mental) de um item (problema) sem alterar a sua estrutura lógica. Assim se pode promover o sucesso do aluno, diminuindo o conjunto de informação necessária ao processamento, isto é, evitar a sobrecarga da memória de trabalho (Níaz, 1987). Johnstone, Hogg e Ziane (1993) provam que um problema de física pode ser apresentado de forma a reduzir o ruído de entrada no sistema de processamento e conseqüentemente melhorar as possibilidades de sucesso de todos os alunos e em especial dos alunos dependentes de campo. Segundo estes autores, uma apresentação que combine texto com diagrama pode ser uma forma de reduzir a sobrecarga da memória.
8. Sweller, van Merriënboer e Paas (1998) defendem que, perante problemas sem objectivo, os alunos apenas têm de reter o estado de problema e um qualquer passo de resolução de problemas que lhe seja aplicável, assim reduzindo a carga cognitiva. Estes mesmos autores corroboram que o fornecimento de exemplos trabalhados revelou ser outra forma eficaz de reduzir a carga cognitiva externa. Verificou-se que os exemplos trabalhados com anotações sobre aspectos cruciais eram úteis para aplicação de esquemas na resolução de problemas (Cooper & Sweller, 1987).
9. O uso de representações externas com símbolos e objectos para ilustrar o conhecimento e a estrutura desse conhecimento pode promover o processamento cognitivo complexo durante a resolução de

problemas (Solaz-Portolés & Sanjosé, 2007). Estas representações externas podem ajudar o aluno a elaborar o enunciado do problema, transformar o seu estatuto de ambigüidade numa condição explícita, evitar trabalho cognitivo desnecessário e criar soluções possíveis (Scaife & Rogers, 1996). Larkin (1989) defende que a representação externa apoia a resolução humana de problemas pela redução da sua complexidade e da sobrecarga mental que lhe está associada. Além disso, Bauer e Johnson-Laird (1993) mostraram que os diagramas ajudam os alunos a resolver problemas com mais eficiência e eficácia.

Dois metodologias de ensino que demonstraram ser eficazes para a capacidade de resolver problemas são a Heurística para a Resolução de Problemas (Lorenzo, 2005) e o Método de Modelação (Malone, 2006). A Heurística para a Resolução de Problemas visa dotar os alunos de um processo organizado e sistemático de abordagem dos problemas e ajudá-los a compreender os passos envolvidos na sua resolução (ferramenta metacognitiva). Recorrendo ao raciocínio lógico, esta abordagem leva os alunos a fazerem uma representação qualitativa da solução do problema, antes de iniciarem os cálculos através uma *estratégia de regressão (backwards strategy)* que assim compreende uma ferramenta cognitiva. Possíveis aplicações da heurística na sala de aula incluem o seu uso na avaliação formativa, para identificar e ultrapassar as concepções alternativas dos alunos, resolvendo problemas num ambiente cooperativo, e para reduzir a diferença de género em ciências. O sucesso do Método de Modelação é a estruturação do conhecimento de Física, de forma a deixar de corresponder a uma lista de equações que é preciso memorizar, para passar a ser um corpo coerente de conhecimento organizado num conjunto de modelos. Os modelos contêm uma série de representações distintas que permitem que os alunos apliquem o conhecimento de forma flexível em situações diversas e verifiquem a coerência interna dos modelos desenvolvidos. Esta flexibilidade advém do facto de os alunos associarem a cada modelo um conjunto de representações que são simultaneamente algébricas e gráficas. A coerência interna dos modelos desenvolvidos é testada quando os alunos demonstram que, qualquer que seja a representação utilizada, ocorre sempre a mesma predição.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDULLAH, F. A. P. B. (2006). *The pattern of Physics problem-solving from the perspective of metacognition*. Master dissertation, University of Cambridge. Consultado em Janeiro de 2007 em <http://people.pwf.cam.ac.uk/kst24/ResearchStudents/Abdullah-2006metacognition.pdf>
- ANDERSON, J. D. (1980). *Cognitive psychology and its implications*. San Francisco: W. H. Freeman.
- ARTZ, A. F. & ARMOUR-THOMAS, E. (1992). Development of a cognitive-metacognitive framework for protocol analysis of mathematical problem solving in small groups. *Cognition and Instruction*, 9, pp. 137-175.
- AUSUBEL, D.; NOVAK, J. & HANESIAN, H. (1978). *Educational Psychology: A cognitive view*. 2nd Edition. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- BAUER, M. I. & JOHNSON-LAIRD, P. N. (1993). How diagrams can improve reasoning. *Psychological Science*, 4, pp. 372-378.
- BEYER, B. (1984). Improving thinking skills-practical approaches. *Phi Delta Kappan*, 65, pp. 556-560.
- CAMACHO, M. & GOOD, R. (1989). Problem solving and chemical equilibrium: Successful versus unsuccessful performance. *Journal of Research in Science Teaching*, 26, pp. 251-272.
- COOPER, G. A. & SWELLER, J. (1987). The effects of schema acquisition and rule automation on mathematical problem-solving transfer. *Cognition Science*, 13, pp. 145-182.
- DAWSON, D. (1993). Chemistry in concept. *Education in Chemistry*, 30, pp. 73-75.
- DEBONO, E. (1983). The direct teaching of thinking as a skill. *Phi Delta Kappan*, 64, pp. 703-708.
- DE JONG, T. & FERGUSON-HESSLER, M. G. H. (1986). Cognitive structure of good and poor novice problems in physics. *Journal of Educational psychology*, 78, pp. 279-288.
- DE JONG, T. & FERGUSON-HESSLER, M. G. H. (1996). Types and qualities of knowledge. *Educational Psychologist*, 31, pp. 105-113.
- ERICSSON, K. A. & KINTSCH, W. (1995). Long-term working memory. *Psychological review*, 102, pp. 211-245.
- FERGUSON-HESSLER, M. G. M. & DE JONG, T. (1990). Studying physics texts: differences in study processes between good and poor performers. *Cognition and Instruction*, 7, pp. 41-54.
- FRIEGE, G. & LIND G. (2006). Types and qualities of knowledge and their relation to problem solving in physics. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 4, pp. 437-465.
- GABEL, D. L. & BUNCE, D. M. (1994). Research on problem solving: Chemistry. In D. L. GABEL (ed.), *Handbook of research on science teaching and learning. A project of the National Science Teachers Association*. New York: Macmillan, pp. 301-326.
- HEYWORTH, R. M. (1999). Procedural and Conceptual Knowledge of expert and novice students for the solving of a basic problem in chemistry. *International Journal of Science Education*, 21, pp. 195-211.
- HORAK, V. M. (1990). Students' cognitive styles and their use of problem solving heuristics and metacognitive processes. Paper presented at the *Annual Meeting of the National Council of Teachers of Mathematics*. Salt Lake City, UT.
- JOHNSTONE, A. H. (1993). Introduction. In C. WOOD & R. SLEET (eds.), *Creative problem solving in Chemistry*. London: The royal Society of Chemistry, pp. IV-VI.
- JOHNSTONE, A. H. & EL-BANNA, H. (1986). Capacities, demands and processes — a predictive model for science education. *Education in Chemistry*, 23, pp. 80-84.
- JOHNSTONE, A. H.; HOGG, W. R. & ZIANE, M. (1993). A working memory applied to physics problem solving. *International Journal of Science Education*, 15, pp. 663-672.
- JONASSEN, D. (2000). Toward a design theory of problem-solving. *Educational Technology: Research and Development*, 48, pp. 63-85.
- KEMPA, R. F. (1991). Students' learning difficulties in science. Causes and possible remedies. *Enseñanza de las Ciencias*, 9, pp. 119-128.
- KEMPA, R. F. & NICHOLLS, C. (1983). Problem-solving ability and cognitive structure — an exploratory investigation. *European Journal of Science Education*, 5, pp. 171-184.
- LARKIN, J. H. (1989). Display based problem solving. In D. KLAHR & K. KOTOVSKY (eds.), *Complex information processing: The impact of Herbert A. Simon*. Boston, MA: MIT Press, pp. 319-341.
- LEAL, L. (1987). Investigation of the relation between metamemory and university students' examination performance. *Journal of Educational Psychology*, 79, pp. 35-40.
- LEE, K. W. L. (1985). Cognitive variables in problem solving in chemistry. *Research in Science Education*, 15, pp. 43-50.
- LEE, K. W. L.; GOH, N. K.; CHIA, L. S. & CHIN, C. (1996). Cognitive variables in problem solving in chemistry: A revisited study. *Science Education*, 80, pp. 691-710.
- LEE, K. W. L.; TANG, W.; GOH, N. & CHIA, L. (2001). The predicting role of cognitive variables in problem solving in mole concept. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 2, 3, pp. 285-301.
- LI, M. & SHAVELSON, R. J. (2001). Examining the links between science achievement and assessment. *Annual meeting of the American Educational Research Association*, Seattle, WA.
- LONGO, P. J.; ANDERSON, O. R. & WICHT, P. (2002). Visual Thinking Networking promotes problem solving

- achievement for 9th Grade earth science students. *Electronic Journal of Science Education*, 7, 1. Article seven. Consultado em Novembro de 2006 em <http://unr.edu/homepage/jcannon/ejse/ejse.html>
- LORENZO, M. (2005). The development, implementation, and evaluation of a problem solving heuristic. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 3, pp. 33-58.
- MALONE, K. (2006). The convergence of knowledge organization, problem-solving behavior, and metacognition research with the Modeling Method of physics instruction — Part I. *Journal of Physics Teacher Education Online*, 4, 1, pp. 14-26. Consultado em Janeiro de 2007 em <http://www.phy.ilstu.edu/jppteo>
- MAYER, R. E. (1998). Cognitive, metacognitive, and motivational aspects of problem-solving. *Instructional Science*, 26, pp. 49-63.
- NETO, A. & VALENTE, M. (1997). Problem solving in physics: Towards a metacognitively developed approach. Paper presented at *Annual Meeting (70th) of the National Association for Research in Science Teaching*, Oak Brook, Il, March 21-24.
- NÍAZ, M. (1987). Relation between M-space of students and M-demand of different items of general chemistry and its interpretation based upon the neo-Piagetian theory of Pascual-Leone. *Journal of Chemical Education*, 64, pp. 502-505.
- NÍAZ, M. & LOGGIE, R. H. (1993). Working memory, mental capacity, and science education: Towards an understanding of the “working memory overload hypothesis”. *Oxford Review of Education*, 19, pp. 511-525.
- NOVAK, J. D. & GOWIN, D. (1984). *Learning how to learn*. New York: Cambridge University Press.
- O'NEIL, H. F. & SCHACTER, J. (1999). *Test specifications for problem solving assessment*. Consultado em Março de 2007 em <http://www.cse.edu/Reports/TECH463.pdf>
- OTERO, J.; CAMPANARIO, J. M. & HOPKINS, K. D. (1992). The relationship between academic achievement and metacognitive comprehension monitoring ability of Spanish secondary school students. *Educational and Psychological Measurement*, 52, pp. 419-430.
- PALUMBO, D. (1990). Programming language/problem solving research: A review of relevant issues. *Review of Educational Research*, 60, pp. 65-89.
- PENDLEY, B. D.; BRETZ, R. L. & NOVAK, J. D. (1994). Concept map as a tool to assess learning in chemistry. *Journal of Chemical Education*, 71, pp. 9-15.
- PINTRICH, P. R. & DEGROOT, E. V. (1990). Motivational and self-regulated learning components of classroom academic performance. *Journal of Educational Psychology*, 82, pp. 33-40.
- POKAY, P. & BLUMENFELD, P. C. (1990). Predicting achievement early and late in the semester: The role of motivation and use of learning strategies. *Journal of Educational Psychology*, 82, pp. 41-50.
- RUIZ-PRIMO, M. A. & SHAVELSON, R. J. (1996a). Problems and issues in the use of concept maps in science assessment. *Journal of Research in Science Teaching*, 33, pp. 569-600.
- RUIZ-PRIMO, M. A. & SHAVELSON, R. J. (1996b). Rhetoric and reality in science performance assessments: An update. *Journal of Research in Science Teaching*, 33, pp. 1045-1063.
- SADLER, P. M. (1998). Psychometric models of students conceptions in science: Reconciling qualitative studies and distractor-driven assessment instruments. *Journal of Research in Science Teaching*, 35, pp. 265-296.
- SCAIFE, M. & ROGERS, Y. (1996). External cognition: How do graphical representations work? *International Journal of Human-Computer Studies*, 45, pp. 185-213.
- SHAVELSON, R. J.; RUIZ-PRIMO, M. A. & WILEY, E. W. (2005). Windows into the mind. *Higher Education*, 49, pp. 413-430.
- SHAYER, M. & ADEY, P. (1993). Accelerating the development of formal thinking in middle and high school students. IV: Three years after a two-year intervention. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, pp. 351-366.
- SOLAZ-PORTOLÉS, J. J. & SANJOSÉ, V. (2006). ¿Podemos predecir el rendimiento de nuestros alumnos en la resolución de problemas? *Revista de Educación*, 339, pp. 693-710. Consultado em Janeiro de 2007 em <http://www.revistaeducacion.mec.es>
- SOLAZ-PORTOLÉS, J. J. & SANJOSÉ, V. (2007). Representations in problem solving in science: Directions for practice. *Asia-Pacific-Forum on Science Learning and Teaching*, 8, 2, Article 4. Consultado em Janeiro de 2008 em <http://www.ied.edu.hk/apfslt>
- STEVENS, R. & PALACIO-CAYETANO, J. (2003). Design and performance frameworks for constructing problem-solving simulations. *Cell Biology Education*, 2, pp. 162-179.
- SWELLER, J.; VAN MERRIENBOER, J. J. & PASS, F. G. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10, pp. 251-296.
- TACONIS, R.; FERGUSON-HESSLER, M. G. M. & BROEKKAMP, H. (2001). Teaching science problem solving: An overview of experimental work. *Journal of Research in Science Teaching*, 38, pp. 442-468.
- TEONG, S. K. (2003). The effect of metacognitive training on mathematical word-problem solving. *Journal of Computer Assisted Learning*, 19, pp. 46-55.
- TSAPARLIS, G. (1998). Dimensional analysis and predictive models in problem solving. *International Journal of Science Education*, 20, pp. 335-350.
- TSAPARLIS, G. & ANGELOPOULOS, V. (2000). A model of problem solving: Its operation, validity, and usefulness in the case of organic-synthesis problems. *Science Education*, 84, pp. 131-153.

- TSAPARLIS, G.; KOUSATHANA, M. & NÍAZ, M. (1998). Molecular-equilibrium problems: manipulation of logical structure and M-demand, and their effect on student performance. *Science Education*, 82, pp. 437-454.
- ZAJCHOWSKI, R. & MARTIN, J. (1993). Differences in the problem solving of stronger and weaker novices in physics: knowledge, strategies, or knowledge structure. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, pp. 459-470.
- ZOLLER, U.; LUBEZKY, A. ; NAKHLEH, M. B. ; TESSIER, B. & DORI, Y.J. (1995). Success on algorithmic and LOCS vs. conceptual chemistry exam questions. *Journal of Chemical Education*, 72, pp. 987-989.

Tradução de Filomena Matos

