

## ATUALIZAÇÃO DA PESQUISA EM RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS: INFORMAÇÕES RELEVANTES PARA O ENSINO DE FÍSICA

**Sayonara Salvador Cabral da Costa** [sayonara@puccrs.br]

*Faculdade de Física – PUCRS – Caixa Postal, 1429.*

*Campus Central, 90619-900, Porto Alegre, RS – Brasil.*

**Marco Antonio Moreira** (moreira@if.ufrgs.br)

*Instituto de Física – UFRGS – Caixa Postal, 15051.*

*Campus do Vale, 91501-970, Porto Alegre, RS – Brasil.*

### Resumo

Apresenta-se uma análise de um levantamento bibliográfico de artigos publicados sobre investigações em resolução de problemas, entre 1995 e 2004, abrangendo periódicos tradicionais em publicação de pesquisa nas áreas de ciências e matemática. Os resultados desta análise identificam vários fatores cognitivos, metodológicos e estratégicos que devem ser conhecidos tanto por professores em serviço, como em formação.

**Palavras-chave:** revisão bibliográfica; resolução de problemas; ensino de ciências e matemática.

### Introdução

As atividades de resolução de problemas constituem-se em uma das áreas mais investigadas quando se fala em pesquisa em ensino de Ciências e Matemática, seja pela reconhecida importância que assume nestes domínios do conhecimento, envolvendo funções mentais superiores, como, também, pelas dificuldades que os indivíduos, em geral, demonstram ao realizá-las.

Em função de ambos os aspectos, foi realizado um levantamento, dentro de um projeto maior, de pesquisas em resolução de problemas (R.P.) em alguns dos periódicos mais importantes de divulgação de pesquisa em ensino, e nos períodos indicados a seguir: *Journal of Research in Science Teaching* (1995-2004), *International Journal of Science Education* (1995-2004), *Science Education* (1995-2004), *Enseñanza de las Ciencias* (1995-2004), *Investigações em Ensino de Ciências* (1996-2004), *Cognition and Instruction* (1995-2004), *Learning and Instruction* (1998-2004), *Research in Science & Technological Education* (1997-2004), *Revista Brasileira de Ensino de Física* (1995-2004), *Caderno Catarinense de Ensino de Física* (1995-2001), *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* (2002-2004), *Revista de Enseñanza de la Física* (1995-2001), *Revista Brasileira de Pesquisa em Ensino de Ciências* (2001-2002), *Physics Education* (1995-1998; 2001-2004) e *American Journal of Physics* (1995-2004). Além desses, outros periódicos e obras foram consultadas para gerar as informações, que serão analisadas neste documento.

Os trabalhos (N = 201) foram classificados segundo quatro categorias que já haviam sido utilizadas pelos autores em trabalhos anteriores: 1) *trabalhos que relacionam e diferenciam a tarefa de R.P., feita por novatos e especialistas*; 2) *trabalhos que, de alguma maneira, propõem uma metodologia didática em R.P.*; 3) *trabalhos que enfocam fatores que influenciam na R.P.*; 4) *trabalhos que se ocupam de estratégias para R.P.*

Urge ressaltar que estas categorias mantêm a característica de não serem mutuamente exclusivas, havendo artigos que podem se enquadrar em mais de uma.

Optou-se por analisar em cada trabalho: I) identificação do(s) autor(es), área de conhecimento enfocada, país de origem dos autores e ano de publicação; II) objetivo(s) do artigo; III) base teórica; IV) sujeitos envolvidos no trabalho; V) metodologia e fatores investigados; VI) conclusões e fatores relevantes.

Nesta oportunidade, enfatizar-se-á os resultados obtidos com alguns destes itens, que poderão servir de referência para o trabalho diário do professor de ciências e de matemática.

### **Trabalhos que relacionam e diferenciam a tarefa de R.P., feita por novatos e especialistas**

Estudos comparando *diferenças entre novatos* (geralmente estudantes) e *especialistas* (geralmente um professor ou profissional em área específica) em R.P. representaram apenas 2,5% (N = 5) do total de 201 trabalhos coletados. Comparando com o levantamento anterior (entre, aproximadamente, 1980 a 1994), no qual foram encontrados cerca de 21% (N = 31) do total de 149 trabalhos, percebe-se uma diminuição acentuada, que, supostamente, poder-se-ia atribuir ao esgotamento do enfoque na identificação das diferenças manifestadas por novatos e especialistas em seus desempenhos.

Como metodologia de pesquisa, foram utilizados protocolos verbais, testes de papel e lápis específicos para testar habilidades e programas de computador.

As diferenças entre novatos e especialistas, quando executam tarefas de resolução de problemas, cujos primeiros estudos foram liderados por Larkin (1979; 1981) e Chi et al. (1981), igualmente fundamentados na teoria do Processamento da Informação (Newell e Simon, 1972; Anderson, 1983), continuam a desempenhar um papel fundamental na pesquisa em R.P., não mais tanto para detectar diferenças entre eles, mas como base de referência na busca de aproximar o comportamento de um novato ao de um especialista. Isto pôde ser verificado em muitos dos trabalhos que foram classificados nas outras categorias.

Os resultados dos cinco trabalhos de pesquisa, em geral, reforçam o modelo de representação do conhecimento de Newell & Simon (1972), especificamente, as regras de produção (regras se-então): para desempenhar uma determinada tarefa ou usar uma habilidade específica, a representação do conhecimento envolve um conjunto de regras (produções). Às vezes, conforme VanLehn, (1990, apud Sternberg, 2000, p. 189), as representações humanas do conhecimento podem conter algumas falhas (“bugs”) ocasionais nas instruções para as condições ou para a execução das ações. Da mesma forma, John R. Anderson (1983), com seu modelo integrativo do conhecimento declarativo (“memória declarativa”), do conhecimento procedimental (“memória de produção”) e da memória de trabalho, ou conhecimento ativado disponível para o processamento cognitivo, de capacidade limitada (ACT\* ou “Adaptive Control of Thought”), continua sendo referência teórica de trabalhos envolvendo diferenças entre desempenhos de novatos e especialistas. Apenas um resultado, em um dos trabalhos (Eteläpelto, 2000), sugere uma certa contradição com as teorias recém expostas, nas quais a informação seria manejada através de uma seqüência linear de operações, sujeitando o desenvolvimento das habilidades com a aquisição do conhecimento estratégico e contextual.

Dos trabalhos incluídos nas demais categorias, quatro (Sutherland, 2002; Buteler et al., 2001; Bolton et al., 1997; Touger et al., 1995) apresentam como fundamentação teórica os estudos sobre as diferenças entre novatos e especialistas.

Como conclusão sobre os trabalhos que destacam as diferenças entre os desempenhos de novatos e especialistas, poder-se-ia destacar a necessidade, que os novatos manifestam, de receberem instruções que lhes permitam desenvolver habilidades, sob a mediação de um processo de compreensão e valoração do material a que são expostos. Neste sentido, é fundamental o papel do conteúdo específico ou, como diria Gérard Vergnaud (1990), do campo conceitual deste domínio, para promover progressos no desempenho dos novatos, tanto na resolução de problemas algorítmicos quanto conceituais.

## Trabalhos que propõem uma metodologia didática em resolução de problemas

Os trabalhos anteriormente mencionados, que tratam da diferença de desempenho de especialistas e novatos em situações de resolução de problemas, naturalmente, conduzem a questões do tipo: *como aproximar o comportamento do novato ao do especialista?*

As metodologias didáticas tradicionais para a resolução de problemas retratam o que tem sido feito nos cursos de Ciências e Matemática: de forma cíclica, apresenta-se um conteúdo novo, mostra-se, por exemplificação como ele pode ser usado para resolver problemas e propõe-se aos alunos problemas semelhantes (Neto, 1998).

Para aumentar ainda mais este quadro desalentador, em geral, são-lhes propostos quebra-cabeças com pouco e, muitas vezes, nenhum compromisso com o desenvolvimento da originalidade, criatividade ou pensamento crítico.

Ainda que alguns professores enveredem por caminhos mais propícios à aprendizagem, Garrett (1988) adverte sobre a influência subliminar do currículo oculto, no qual os problemas têm sempre solução, há um só caminho para resolvê-los (o método científico, entre outras visões distorcidas), que podem causar efeitos profundos na atitude dos alunos para com a ciência.

Nesta seleção, foram incluídos os trabalhos que propõem e analisam e avaliam metodologias e tipos de problemas que são usados em instrumentos de avaliação da aprendizagem, totalizando 66 trabalhos, que correspondem à 33% do total pesquisado.

Quanto à fundamentação teórica destes trabalhos, pôde-se observar que, em 50% deles (N = 33), os autores, invariavelmente, citam outros autores e trabalhos diversos, cujos temas relacionam-se com aquele que é discutido, ou apresentam praticamente uma revisão da literatura. Quando efetivamente os trabalhos definiram seus referenciais teóricos, prevaleceu a modelagem relacionada com as teorias de representação (Wells, Hestenes e Swackhamer, 1995), envolvendo a metacognição (Campanário, 2000; Chiu, Chou e Liu, 2002), a interlocução e a dialética (Sousa e Fávero, 2002), totalizando 17 trabalhos. Os outros 16 identificaram-se com a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel (Araújo, Veit, Moreira, 2004) e seus colaboradores, Novak, Hanesian e Gowin (Bagno e Eylon, 1997), além de outras teorias construtivistas baseadas em Piaget e Garcia (Laburu, 2003b), Vygotsky (Ainsworth, Wood e O'Malley, 1998), Vergnaud (Fávero e Sousa, 2001), e também incluindo autores da história e filosofia da Ciência, como Koyré (Laburu, 2003b), Kuhn e Lakatos (Varela Nieto e Martínez Aznar, 1997). Neste grupo, a proposta de Gil Pérez e colaboradores (Becerra Labra, Gras-Martí e Martínez-Torregrosa, 2004), com respeito à resolução de problemas ser tratada como investigação, mereceu um destaque especial (N = 7).

Foram 32 trabalhos, com estudantes e 2, com professores do Ensino Médio; em seguida, o ensino universitário foi contemplado com 17 trabalhos, com estudantes, mais 2, com professores. Com o Ensino Fundamental foram desenvolvidos 9 trabalhos, com alunos e 2, com professores. Finalmente, dois dos trabalhos apresentaram indivíduos em situações profissionais.

Com relação aos temas enfocados nos artigos, reunimo-los em quatro grandes grupos:

- proposta de modelagem, ou seja, descrição representacional (por exemplo, a modelagem esquemática (em Halloun, 1996), privilegiando a estrutura dialético-construtiva, fazendo uso da interlocução, inquirição (Luft, 1999), construção de analogias (Clement, 1998) , para prover uma resolução de problemas combinada com a compreensão conceitual e procedimental; utilização de ferramentas metacognitivas, como mapas conceituais (Gangoso, 1997) e diagramas Vê (Escudero, 1995) – (N = 24);
- proposta de metodologias baseadas em resolução de problemas ou “Problem-based Learning” – “PBL” (van Kampen et al., 2004) onde foram incluídas metodologias que utilizam ambientes computacionais (Reif e Scott, 1999), protocolos de resolução de

problemas (Botton, Keynes e Ross, 1997), simulações (Monaghan e Clement, 1999), atividades de laboratório (Laburu, 2003b), modelos de resolução de problemas, como o “SSCS” Procure-Resolva-Crie-Compartilhe ou “Search-Solve-Create-Share” (Luft, 1999), e a R.P. tratada como investigação (Gil Pérez e Castro, 1997), ou a baseada em análise (Stark et al., 2002) – (N = 23);

- avaliação do ensino de R.P., incluindo a avaliação da própria atividade (Nigro, 1995), por parte dos alunos que a praticam (Capon e Kuhn, 2004) e do professor que a propõe (Perren, Bottani e Odetti, 2004) e avalia o seu resultado, além do uso das respostas para diagnosticar dificuldades de aprendizagem dos alunos (Dufresne, Leonard e Gerace, 2002) – (N = 10);
- proposta de atividades específicas de resolução de problemas, envolvendo formatos diferenciados (Lin e Lehman, 1999), diferentes soluções de um mesmo problema (Stewart e Rudolph, 2001), classificações de problemas (Medeiros, 2001), problemas “reais” e problemas desafiadores (Aczel e Solomon 1999), – (N = 9).

A metodologia de pesquisa que foi empregada dividiu-se, de forma mais ou menos equilibrada, em análise quantitativa e qualitativa, sendo que, em alguns trabalhos, ambas foram utilizadas. A análise quantitativa foi realizada sobre resultados de testes impressos, preferencialmente de conteúdo específico, mas também de habilidades cognitivas em geral; a análise qualitativa, na maioria dos casos, valeu-se de entrevistas, protocolos verbais de resolução de problemas – típicos, abertos, “reais” – alguns promovidos por meio de ambientes computacionais ou mesmo impressos.

Uma síntese dos *fatores relevantes/resultados* destes trabalhos destaca a necessidade de o professor integrar uma mudança da prática docente com a proposta de resolução de problemas aos alunos: interrelacionar situações-problema com o crescimento conceitual e de habilidades de procedimentos.

Ainda que o professor domine o conteúdo que pretende desenvolver com seus alunos, a competência de seu ensino estará comprometida com o fato de ele conhecer ou não as concepções prévias de seus alunos e as dificuldades que eles enfrentam em virtude do distanciamento entre os “esquemas” requeridos e os que eles dispõem; a prática única de “exercícios de fixação”, concebidos como problemas-tipo, não favorece a aprendizagem significativa, ainda mais porque, muitas vezes, estes problemas não são realmente ensinados, mas são mostradas as soluções já feitas.

Cada atitude ou proposta do professor não pode prescindir da sua respectiva avaliação; esta deve ser contínua. Por exemplo, prover múltiplas visões para resolver problemas de Física, pode promover a habilidade de resolver problemas ou incentivar a reflexão em alguns grupos, mas, por outro lado, outros grupos podem mostrar-se inaptos para abordar diferentes aspectos de um mesmo problema, ou mesmo de visualizar caminhos diferentes de aprender Física.

As dificuldades manifestadas pelos alunos na resolução de problemas científicos, do tipo *ajuste de dados ou conceituais* parecem ser análogas; a responsabilidade do professor, como guia na tarefa de resolver problemas, dá-lhe subsídio para agir de forma gradativa, favorecendo a produção autônoma dos alunos e intervindo nas atividades de iniciação, relacionando motivação e concepções prévias, nas atividades de construção e manejo, durante a fase de desenvolvimento do problema, e, de síntese, avaliando a aprendizagem e explicitando novos problemas.

Para promover mudanças cognitivas e de atitude frente a uma situação-problema, os resultados dos artigos recomendam que os professores devem:

- admitir que a dificuldade faz parte do processo de aprendizagem;
- encorajar que os alunos expliquem o problema, idéias e ações e externalizem as não-compreensões – sem esquecer que isso requer tempo;

- propor-lhes situações abertas ou combinações de experiências sociais (discussão – verbalização) e tarefas (modelagem – realimentação);
- abordar, de forma incisiva, fatores metacognitivos de análise da tarefa.

Como conclusão sobre os trabalhos envolvendo metodologias didáticas para a resolução de problemas poder-se-ia acrescentar que esta atualização da revisão da literatura, em relação à realizada no período de 1980 a 1994, onde foram incluídos 37 artigos, apresentou como diferença significativa um número relativamente expressivo de metodologias envolvendo a modelagem mental por meio de atividades de R.P. Os resultados de pesquisa parecem ser favorecidos quando o professor provê situações diferenciadas de R.P., incentiva a interlocução, o debate de idéias, permitindo que sejam explicitadas as concepções prévias e epistemológicas dos alunos e usa a avaliação como instrumento metacognitivo. A principal mensagem parece ser a de conscientizar o professor da sua responsabilidade ao escolher situações-problemas que permitam um desenvolvimento integral do aluno, no que diz respeito à aprendizagem de forma significativa de conceitos, leis e princípios, além de habilidades e capacidades inerentes ao conhecimento do domínio enfocado. A atualização do professor, em relação às pesquisas nessa área, é tão importante quanto dominar o conteúdo com que vai trabalhar com seus alunos.

### **Trabalhos que enfocam fatores que influenciam na resolução de problemas**

Nesta categoria, como no estudo prévio, foi registrada uma concentração maior de trabalhos: 83, correspondendo a 43,3% do total – na pesquisa realizada no período 1980-1994, 38, 2% incluíam-se nesta categoria (N = 57).

Quanto aos temas desenvolvidos pelos autores, reunimo-los em três grandes grupos, ainda que esta seleção não seja rígida, pois alguns trabalhos poderiam pertencer a dois ou mais destes grupos:

- investigações acerca das dificuldades dos alunos referentes à modelar situações em tarefas de resolução de problemas, desde a representação do enunciado do problema, passando pela análise sintática e semântica de compreensão do conteúdo enfocado – envolvendo as concepções dos indivíduos em relação a este conteúdo, o contexto da tarefa, entre outros temas relacionados (N = 39);
- identificação e avaliação dos procedimentos que são usados no processo de resolução de problema, relacionados com o tipo de tarefa (por exemplo, papel e lápis, experimental), as concepções dos alunos e professores sobre a atividade – aspectos epistemológicos e curriculares – classificação e seleção de problemas (quantitativos, qualitativos, etc.), papel dos problemas exemplares resolvidos, dos isomórficos, interesse *versus* compreensão, entre outros (N = 23);
- avaliação da prática de resolver problemas, desde a comparação entre tipos diferentes, os comumente propostos, os abertos, sem dados numéricos, os de laboratório, os ligados a projetos do cotidiano, algorítmicos, conceituais, com ou sem representação pictórica, históricos, envolvendo contexto (individuais, grupais), refletindo teorias sobre a memória, sobre as concepções alternativas e mudanças conceituais (N = 21).

Com respeito à base teórica, novamente encontrou-se um número significativo de trabalhos (N = 30) que apenas citam vários autores, cujos trabalhos têm relação com o tema que é discutido; outros (N = 9) apresentam uma revisão da literatura. Entre aqueles que definem explicitamente o domínio teórico, prevalece a teoria do processamento da informação (N = 30), na qual se incluem estudos sobre modelos mentais – aqui a teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird se destaca com cinco trabalhos – representações mentais em geral (Halloun, diSessa, Nathan, Kintsch, Zhang), modelos neopiagetianos (Pascual-Leone), diferenças entre novatos e especialistas (Chi, Larkin, Clement), Completam a lista os trabalhos correspondentes à teoria dos campos conceituais de Vergnaud (N = 3), à zona de desenvolvimento proximal de Vygotsky (N = 4) e à epistemologia

genética de Piaget (N = 2), à teoria da aprendizagem significativa de Ausubel e Novak (N =2), entre outros. Apenas um trabalho deixou de apresentar este item.

Quanto aos sujeitos envolvidos nas pesquisas, 46% provinham do Ensino Médio (N = 40), 30% eram universitários (N = 26) e 21% com o Nível Fundamental (N =18). Neste cálculo incluem-se trabalhos envolvendo mais de um nível de escolaridade; em alguns (N = 4), não houve citação sobre eles.

Em termos de metodologias empregadas, a análise qualitativa foi a preferida (N = 56), comparando-se com a quantitativa (N = 39); em alguns trabalhos ambas foram utilizadas. Os documentos usados nas análises foram principalmente problemas de papel e lápis (37), incluindo-se testes específicos (9) – de lógica, por exemplo, questionários (13), mapas conceituais (4), análise de enunciados de problemas (1) e de revisão bibliográfica (3). Outras fontes de dados foram os protocolos verbais (13), entrevistas semi-estruturadas (14), ambientes computacionais (4), atividades experimentais (4), relatórios (2), tarefas em grupos (3) e projetos (1),

Quanto aos *resultados e fatores relevantes* destes trabalhos, reunimo-los em quatro conjuntos. O primeiro deles reflete o *status* da tarefa do ponto de vista de quem a realiza:

- os próprios alunos manifestaram opiniões negativas em relação à prática usual de R.P. (Macías e Maturano, 1997); para os de menor rendimento, a atividade reflete “fazer contas”, para os de melhor rendimento, “aplicar fórmulas” (Escudero e Flores, 1996), como um “quebra-cabeça” nem sempre com significado para eles (Costa e Moreira, 2002);
- os próprios alunos reconhecem dificuldades de compreensão do enunciado (em problemas de papel e lápis), carências de conhecimento para aplicar teorias ou estratégias, falta de interesse na atividade, falta de confiança em si mesmos e excessiva exigência dos professores (Oñorbe de Torre, Sánchez e Jiménez, 1996a);
- O segundo conjunto manifesta necessidade de mudanças pedagógicas e metodológicas da parte do professor ao propor atividades de R.P., sintetizadas a seguir:
- lidar com os modelos mentais individuais dos alunos é um processo que exige tempo (Lemeignan e Weil-Barais, 1994); por isso, é preciso prover variedade de situações exigindo abordagem conceitual diversificada (Ferguson e Hegarty, 1995);
- oportunizar a explicitação das concepções (p. ex., conhecimentos-em-ação) que permitam intervenção e interação, à procura de identificação de conexão lógica entre informação disponível e concepção dos alunos (Escudero e Moreira, 2002; Guisasola et al., 2003; Sousa e Fávero, 2002); propor problemas que vão além de reproduzir procedimentos, que permitam que os alunos revisem seus modelos (Langois et al., 1995);
- estar consciente de que a instrução de como resolver problemas deve privilegiar a aprendizagem da natureza dinâmica e cíclica da atividade de R.P. e sua relação com o ensino-aprendizagem (Cobo Lozano, 1996); a atividade de R.P. não é uma atividade monolítica (Reid e Yang, 2002b);
- atentar para crenças epistemológicas que afetam disposições para práticas metacognitivas que relacionam conteúdos e técnicas, e não “chunks” de materiais não relacionados (Elby, 2001);
- enfatizar resolução mais explícita e verbalizada e o papel do professor como interventor das dificuldades manifestadas (Neto e Valente, 2001; Reigosa e Jiménez, 2001);
- promover ferramentas de organização do conteúdo que podem facilitar o resgate de informações para tarefas de R.P. (Moreira e Pinto, 2003);
- desenvolver habilidades gerais e de domínio específico (Gómez, Pozo e Sanz, 1995); para estas últimas, estar atento à estrutura causal dos alunos e às implicações para o conhecimento específico (Oliva, 1999).

O terceiro conjunto apresenta os fatores propriamente ditos apresentados, que representam os obstáculos para a realização plena da tarefa, resumidos a seguir:

- alunos têm dificuldades em explicações hierarquizadas – as mais usadas são as intuitivas (Touger et al., 1995) ou as teleológicas – os fins das situações são usadas como agentes causais para determinar os meios (Southerland et al., 2001);
- a não formação de modelos mentais reflete-se na organização conceitual mais incipiente e R.P. por tentativa-e-erro, justificando a diferença entre novatos e especialistas (Greca e Moreira, 1997); a modelagem exige representação mental de vários tipos de conhecimento ou esquemas sobre a atividade de R.P. (Izsák, 2004; Cavallo, 1996);
- as concepções alternativas fortalecem-se com contextos implícitos relacionados com experiências pessoais (Palmer, 1997); dados apontam para a existência de uma organização estrutural nada simples: uma verdadeira rede hierárquica onde certas estruturas encaixam com outras, com uma ordem que compreende uma variada amplitude de generalidade (Oliva, 1999);
- apesar de os alunos recuperarem leis e princípios em situações problemáticas, não conseguem aplicá-los à situação específica (Coleoni et al., 2001); esta dificuldade pode estar associada à organização do conhecimento em “ilhas” com pouca relação entre si (Reid e Yan, 2002a);
- necessidade de explicar representa grande dificuldade: estudantes com melhor desempenho usam mais estratégias de equações e menos abordagens não sistemáticas (Sebrechts et al., 1996);
- com crianças, as dificuldades manifestadas em “histórias matemáticas”, são atribuídas às complexidades lingüísticas e conceituais; são as palavras chaves que muitas vezes determinam sua resolução exitosa, não a compreensão das mesmas (Fuson e Carroll, 1996); número elevado de conceitos podem sobrecarregar a memória de trabalho (Leblanc e Weber-Russell, 1996);
- reestruturação conceitual está relacionada com muitas variáveis externas, desenvolvidas por meio de processo social e cultural (Vosniadou e Ioannides, 1998);
- nível de desenvolvimento, capacidade funcional mental e habilidades cognitivas refletem bom desempenho em R.P., ao lado de procedimentos hipotético/dedutivo (Niaz, 1996); mesmo problemas com baixo processamento da informação pode ser difícil para alguns alunos; combinado com complexidade lógica crescente, pode tornar-se impraticável (Tsarpalis et al., 1998);
- “erros racionais” apresentados pelos alunos não são causados pelos exemplos resolvidos a que foram expostos (teoria da indução), mas ao conhecimento incompleto que gera generalizações inadequadas (Bem-Zeev, 1995).

O último conjunto trata dos problemas que são propostos, das dificuldades investigadas e sugestões de melhorias na sua apresentação:

- problemas com dados e temas do cotidiano, favorecem a representação (Buteler et al., 2001); dependendo da apresentação de um problema – com gráficos, desenho – os alunos vêem-no como problemas diferentes (Gangoso e Buteler, 2001);
- testes de escolha múltipla ensejam que alunos escolham respostas corretas usando raciocínio errado. Urge combiná-los com respostas abertas que permitam explorar padrões de respostas (Voska e Heikkinen, 2000);
- problemas algorítmicos com baixo processamento da informação podem ser resolvidos facilmente sem que sejam entendidos os conceitos subjacentes (Boujaoude et al., 2004);
- Problemas bem estruturados e mal estruturados (abertos) exigem habilidades diferentes: o conhecimento do domínio e de habilidades de justificativa dão conta dos primeiros; para os últimos ainda são necessárias atitudes científicas e regulação da cognição. (Shin et al., 2003).

Para concluir, novamente relacionando com a pesquisa anterior, pode-se concluir que a novidade nas investigações é o número expressivo de trabalhos na área de identificação das representações dos alunos, refletindo-se na necessidade de os professores levarem-nas em consideração também nas situações de resolução de problemas. Há muito ainda para ser investigado sobre as diversas dificuldades que os alunos enfrentam nas tarefas que lhes são propostas, mas se estas tarefas e suas resoluções representam instrumentos válidos e eficazes para promover o processo de ensino-aprendizagem, as propostas para os professores, de Ayuso, Banet e Abellán (1996) resumem o nosso pensamento:

- i) apresentem problemas “verdadeiros” que evitem a manipulação exclusiva de dados;
- ii) proponham situações que tenham significado para seus alunos;
- iii) aumentem gradativamente a complexidade das situações-problema;
- iv) proponham tarefas que ensejem discussões entre pares;
- v) questionem critérios que relacionem a solução exitosa do problema com a aprendizagem.

### **Trabalhos que tratam de estratégias em resolução de problemas**

Nesta última categoria foram incluídos 47 trabalhos que apresentam estratégias de resolução de problemas, manifestadas por alunos e professores ou propostas por professores e especialistas nas áreas enfocadas, representando 23,4% do total, contra os 19% (N = 28) da pesquisa anterior.

Nestes trabalhos, os objetivos variaram entre: i) propostas de modelos de estratégias por parte de especialistas, entre eles, professores e técnicos, incluindo reflexões sobre a atividade de resolver problemas (N = 25); ii) investigação e análise de diferentes estratégias de resolução de problemas, manifestados por estudantes e professores de diversos níveis escolares (N = 22).

Quanto ao embasamento teórico, foi novamente detectada a tendência de apenas citar autores cujos artigos relacionam-se com o tema enfocado, ou apresentar uma breve revisão bibliográfica (N = 19). Nos demais, prevaleceu a teoria do processamento da informação (N = 19), por meio de diversos representantes (p. ex., Chi et al., 1989; Kintsy, 1983; 1998, Pascual-Leone, 1978), destacando-se a teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird (1983), seguida de propostas heurísticas de resolução de problemas como as de Polya (1945, 1995) – N = 4, e de Gil Pérez e colaboradores (1983) – N = 2. Além disso, dois trabalhos foram subsidiados pelas contribuições de Piaget (1945; citado em Parrat-Dayán, 1998) e um pela teoria dos campos conceituais de Vergnaud (1993).

As estratégias propostas e analisadas nestes trabalhos envolveram estudantes do ensino médio (N = 18) e professores do mesmo nível (N = 3), estudantes universitários (N = 18), estudantes de pós-graduação (N = 3) e professores universitários (N = 2), estudantes do ensino fundamental (N = 6), especialistas e profissionais (N = 3). Alguns dos trabalhos investigaram mais de um destes grupos. Apenas quatro deles não apresentaram este item.

No tocante à metodologia, a análise qualitativa (N = 31) prevaleceu sobre a quantitativa (N = 6). Alguns trabalhos (N = 7) apresentaram as duas análises, outros, nenhuma (N = 3). Nas técnicas empregadas, foram encontradas: i) propostas ou sugestões de modelos de estratégias para a resolução de problemas, incluindo análise e classificação de problemas resolvidos (N = 13); ii) uso de entrevistas – semi-estruturadas, clínicas (piagetianas), “teachback” (N = 13); iii) protocolos verbais de resolução de problemas (N = 7); iv) estratégias assistidas por computadores (N = 5); v) análises de exames habituais, de resolução de problemas de papel e lápis e questionários de opinião para professores e alunos (N = 5); vi) notas de campo individuais e grupais (N = 4).

A análise dos resultados obtidos, neste conjunto de artigos sobre estratégias de R.P., aponta para algumas regularidades que serão descritas a seguir:



- em geral, problemas resolvidos em livros de texto, privilegiam uma apresentação fechada da situação-problema, na qual certos processos básicos da concepção científica de resolver problemas são ignorados ou não são explicitados; é necessário combater a idéia tradicional de que resolver problemas é compartilhar a resposta com o professor ou livro de texto.
- se resolver problemas é, antes de tudo, usar o raciocínio provocado pela busca de uma solução, as estratégias estão subordinadas ao conhecimento prévio e formas de esquemas do conhecimento organizados; neste caso, as principais dificuldades de resolver problemas bem estruturados (como os de papel e lápis, geralmente propostos em livros de texto) são: falta de compreensão dos conceitos envolvidos e conhecimentos necessários, tanto conceituais como procedimentais; sem a construção de uma representação interna para cada situação problemática proposta, fica difícil para o aluno atribuir significado para a tarefa, tanto conceitual como metodológico;
- estratégias de resolução de problemas efetivas em sala de aula requerem contribuições diferenciadas para alunos e professores: os primeiros perguntam, manifestam dúvidas e suas concepções durante a tarefa; os últimos propõem, questionam, sugerem, orientam e geram conclusões conjuntas que favoreçam o aprofundamento e a organização dos procedimentos;
- a atitude do professor é parte fundamental no processo de aprendizagem: em grande escala, as explicações dos professores são responsáveis pelas concepções inadequadas dos alunos; na escolha de situações-problemas diversificadas, que favoreçam a capacidade argumentativa quando a tarefa é grupal, a autonomia, em tarefas individuais, a persistência na busca de soluções criativas, embasadas na compreensão de conceitos e procedimentos relacionados; na proposta de problemas reais, de compreensão funcional, ou em problemas abertos, com resolução em grupos ou valorização da reflexão individual (auto-explicações e metacognição);
- geralmente, instrução de estratégias gerais só se mostram efetivas para o bom desempenho em R.P. se combinadas com situações específicas que facilitem a sua compreensão e permitam uma avaliação reflexiva; o raciocínio competente depende de base de conhecimentos mais rica e diversa que inclui muitas estratégias específicas; finalmente, a prática conduz ao aperfeiçoamento;
- o ensino de estratégias de resolução de problemas e seu complexo envolvimento na produção do conhecimento, exige uma ênfase que deve incluir dimensões epistemológicas, subjetivas, culturais e objetivas;
- os professores podem monitorar as estratégias (conhecimentos-em-ação) dos alunos por meio de problemas de papel e lápis de múltipla escolha, ou textos com controvérsias; nestes casos, a técnica dos protocolos verbais é a recomendada;
- sugestões de estratégias facilitadoras para alunos: i) representar a situação proposta (explicitando o modelo mental): verbalmente (auto-explicação ou para o grupo de trabalho), ou por meio de desenhos – visualização sob diferentes pontos de vista; ii) identificar condições limitadoras (condições de contorno) e suas relações com aspectos do conteúdo – procurar situações isomórficas; ; iii) articular possibilidades de resolução, trabalhando inclusive “para trás”; iv) conjecturar e provar; v) usar raciocínio dedutivo/indutivo – análise de relações inferenciais, por exemplo, cuidados na interpretação da linguagem natural (ambígua) para “se...então”; vi) usar aproximações; determinar condições necessárias e suficientes; vii) analisar os resultados e casos limites; viii) praticar a auto-explicação e a metacognição.
- sugestões de estratégias para professores facilitarem a R.P.: i) atenção no papel de modelo de comportamento e treinador; ii) explicitar que, muitas vezes, um problema tem várias soluções, outras, não há solução; iii) insistir em mais conteúdos nem sempre é o caminho para uma resolução adequada; iv) o professor não é infalível; v) os alunos necessitam de tempo e prática para pensar e usar estratégias que venham facilitar o processo.

Para concluir a análise dos trabalhos que trataram de estratégias para a resolução de problemas, cabe salientar que a única diferença sensível que foi registrada nesta atualização bibliográfica foi a relevância atribuída na construção de modelos mentais como estratégia facilitadora para resolver um problema. Este resultado baseia-se na idéia de que a construção de modelos mentais cada vez mais “robustos” resulta de uma articulação de distintos conceitos e procedimentos que permitem resolução eficiente do problema; portanto, a modelagem conceitual articulada com procedimentos relacionados e coerentes, representa, nesta pesquisa, a estratégia prevalente. Nesse sentido, o acesso às pesquisas e a referenciais teóricos como a teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird (1983) e a dos campos conceituais de Vergnaud (1993) configuram-se como uma necessidade para professores interessados em promover condições que facilitem aos alunos uma aprendizagem significativa.

Como comentário final, esperamos que esta atualização da investigação em resolução de problemas possa servir de subsídio para a reflexão e atuação do professor, de Física, especialmente, sobre a prática do seu trabalho com R.P. em sala-de-aula.

## Referências

ACZEL, J.; SALOMON, J. Variation and selection in two different problem-solving situations. *Research in Science & Technological Education*, Abingdon, v. 17, n. 2, p. 227-238, Nov. 1999.

AINSWORTH, S.; WOOD, D.; O’MALLEY, C. There is more than one way to solve a problem: evaluation a learning environment that supports the development of children’s multiplication skills. *Learning and Instruction*, Oxford, v. 8, n. 2, p. 141-157, April 1998.

ANDERSON, J.R. *The architecture of cognition*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 1983.

ARAÚJO, I. S.; VEIT, E. A; MOREIRA, M. A. Atividades de Modelagem Computacional no Auxílio à Interpretação de Gráficos da Cinemática. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 26, n. 2, p. 179-184, abr./jun. 2004.

AYUSO, E.; BANET, E.; ABELLÁN, T. Introducción a la genética en la enseñanza secundaria y el bachillerato: resolución de problemas o realización de ejercicios? *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 14, n. 2, p. 127-142, Junio 1996.

BAGNO, E.; EYLON, B. S. From problem solving to a knowledge structure: An example from the domain of electromagnetism. *American Journal of Physics*, New York, v. 65, n. 8, p. 726-736, Aug. 1997.

BECERRA LABRA, C.; GRAS-MARTÍ, A.; MARTÍNEZ -TORREGROSA, J. Análisis de la resolución de problemas de Física secundaria y primer curso universitario en Chile. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 22, n. 2, p. 275-286, Junio 2004.

BEN-ZEEV, T. The Nature and Origin of Rational Errors in Arithmetic Thinking: Introduction from Examples and Prior Knowledge. *Cognitive Science*, New Jersey, v. 19, n. 3, p. 341-376, July-September 1995.

BOLTON, J.; KEYNES, M.; ROSS, S. Developing students’ physics problem solving skills. *Physics Education*, Bristol, v. 32, n. 3, p. 176-185, May 1997.

BOUJAOUDE, S.; SALLOUM, S.; ADB-EL-KHALICK, F. Relationships between selective cognitive variables and students’ ability to solve chemistry problems. *International Journal of Science Education*, London, v. 26, n. 1, p. 63-84, Jan. 2004.

BUTELER, L.; GANGOSO, Z.; BRINCONES CALVO, I.; GONZÁLES MARTÍNEZ, M. La resolución de problemas en Física y su representación: un estudio en la escuela media. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 19, n. 2, p. 285-295, Junio 2001.

- CAMPANARIO, J. M. El desarrollo de la metacognición en el aprendizaje de las ciencias: estrategias para el profesor y actividades orientadas al alumno. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 18, n. 3, p. 369-380, noviembre 2000.
- CAPON, N.; KUHN, D. What's So Good About Problem-Based Learning. *Cognition and Instruction*, Mahwah, v. 20, n. 1, p. 61-79, 2004.
- CAVALLO, A. M. L. Meaningful Learning, Reasoning Ability and Students' Understanding and Problem Solving of Topics in Genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, New York, v. 33, n. 6, p. 625-656, Aug. 1996.
- CHI, M. T. H., GLASER, R., REES, E. Expertise in problem solving. In STERNBERG, R. (Ed.). *Advances in the psychology of human intelligence*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum, 1981, v.1.
- CHIU, M.-H.; CHOU, C.-C.; LIU, C.-J. Dynamic Processes of Conceptual Change: Analysis of Constructing Mental Models of Chemical Equilibrium. *Journal of Research in Science Teaching*, New York, v. 39, n. 8, p. 688-712, October 2002.
- CLEMENT, J.J. Expert novice similarities and instruction using analogies. *International Journal of Science Education*, London, v. 20, n. 10, p. 1271-1286, Dec. 1998.
- COBO LOZANO, P. Análisis de las actuaciones de alumnos de 3º de BUP en la resolución de problemas que comparan áreas de figuras geométricas. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 14, n. 2, p. 195-207, Junio 1996.
- COLEONI, E. A.; OTERO, J.C.; GANGOSO, Z.; HAMITY, V.H. La construcción de la Representación en la Resolución de un Problema de Física. *Investigação em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v. 6, n.3, p. 285-298, dez. 2001.
- CONCARI, S.B.; GIORGI, S.M. Los problemas resueltos en textos universitarios de física. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 18, n. 3, p. 381-390, Noviembre 2000.
- COSTA, S.S.C., MOREIRA, M.A. Resolução de problemas I: diferenças entre novatos e especialistas. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v.1, n.2, p. 176-192, 1996.
- COSTA, S.S.C.; MOREIRA, M.A. Resolução de problemas II: propostas de metodologias didáticas. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v.2, n.1, p. 5-26, 1977a.
- COSTA, S.S.C.; MOREIRA, M.A. Resolução de problemas III: fatores que influenciam na resolução de problemas em sala de aula. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v.2, n.2, p. 65-104, 1997b.
- COSTA, S.S.C.; MOREIRA, M.A. Resolução de problemas IV: estratégias para resolução de problemas. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v. 2, n.3, p. 153-184, 1997c.
- COSTA, S.S.C.; MOREIRA, M.A. A Resolução de Problemas Como um Tipo Especial de Aprendizagem Significativa. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 18, n. 3, p. 263-277, dez. 2001.
- COSTA, S.S.C.; MOREIRA, M.A. Conhecimentos-em-ação: um Exemplo em Cinemática de um Corpo Rígido. In: MOREIRA, M.A. (Org.) *A teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, o Ensino de Ciências e a Pesquisa nesta Área*, p. 83-107. Porto Alegre: Instituto de Física, UFRGS, 2004. 107 p.
- COSTA, S.S.C.; MOREIRA, M.A. O Papel da Modelagem Mental dos Enunciados na Resolução de Problemas de Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 24, n.1, p. 61-74, março 2002.
- DUFRESNE, R. J.; LEONARD, W. J.; GERACE, W. Making Sense of Students' Answers to Multiple-choice Questions. *Physics Teacher*, Stony Brooks, v. 40, n. 3, p. 174-180, 2002.
- ELBY, A. Helping physics students learn how to learn. *American Journal of Physics*, New York, v. 69, n. 7, p. 554-564, July 2001.

- ESCUADERO, C. Resolución de Problemas en Física: Herramienta para Reorganizar Significados. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v.12, n. 2, p. 95-106, ago. 1995.
- ESCUADERO, C.; FLORES, S.G. Resolución de problemas en nivel medio: un cambio cognitivo y social. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v.1, n.2, p. 155-175, agosto 1996.
- ESCUADERO, C.; MOREIRA, M. A. Resolución de Problemas de Cinemática en Nivel Medio: Estudio de Algunas Representaciones. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, Porto Alegre, v. 2, n. 3, p. 5-24, set./dez. 2002.
- ETELÄPELTO, A. Contextual and strategic knowledge in the acquisition of design expertise. *Learning and Instruction*, Oxford, v. 10, n. 2, p. 113-136, April 2000.
- FÁVERO, M.H.; SOUSA, C.M.S.G. A Resolução de Problemas em Física: Revisão de Pesquisa, Análise e Proposta Metodológica. *Investigação em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v. 6, n.2, p. 143-196, agosto 2001.
- FERGUSON, E.L.; HEGARTY, M. Learning with Real Machines or Diagrams: Application of knowledge to Real- World Problems. *Cognition and Instruction*, Mahwah, v. 13, n. 1, p. 129-160, 1995.
- FUSON, K.C.; CARROLL, W.M.; Levels in Conceptualizing and Solving Addition and Subtraction Compare Word Problems. *Cognition and Instruction*, Mahwah, v. 14, n. 3, p. 345-371, 1996.
- GANGOSO, Z. El Fracaso en los Cursos de Física. El Mapa Conceptual, Una Alternativa para el Análisis. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 14, n. 1, p. 17-36, abr. 1997.
- GANGOSO, Z.; BUTELER, L. Diferentes enunciados del mismo Problema: Problemas Diferentes? *Investigação em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v. 6, n.3, p. 269-280, dez. 2001.
- GARRETT, R.M. Resolución de problemas y creatividad: Implicaciones para el currículo de ciencias. *Barcelona: Enseñanza de las Ciencias*, v. 6, n. 3, p. 224-230, 1988.
- GIL PÉREZ, D.; CASTRO, V. La resolución de problemas de Física: de los ejercicios de aplicación al tratamiento de situaciones problemáticas. *Revista de Enseñanza de la Física*, Córdoba, v. 10, n. 2, p. 5-20, Octubre 1997.
- GOMEZ, M.-A.; POZO, J.-J.; SANZ, A. Students' Ideas on Conservation of Matter: Effects of Expertise and Context Variables. *Science Education*, New York, v. 79, n. 1, p. 77-93, Jan. 1995.
- GRECA, I. M.; MOREIRA, M. A. The kinds of mental representations – models, propositions and images – used by college physics student regarding the concept of field. *International Journal of Science Education*, London, v. 19, n. 6, p. 711-724, 1997.
- GUISASOLA, J.A.; CEBERIO, M.G.; ALMUDÍ, J.M.G.; ZUBIMENDI, J.M.H.. El Papel de las Hipótesis y los Razonamientos de los Estudiantes Universitarios en Resolución de Problemas en Física. *Investigação em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v. 8, n.3, p. 211-226, dez. 2003.
- HALLOUN. I. Schematic Modeling for Meaningful Learning of Physics. *Journal of Research in Science Teaching*, New York, v. 33, n. 9, p. 1019-1041, Nov. 1996.
- IZSÁK, A. Students' Coordination of Knowledge When Learning to Model Physical Situations. *Cognition and Instruction*, Mahwah, v. 22, n. 1, p. 81-128, 2004.
- JOHNSON-LAIRD, P.N. *Mental Models*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1983.
- LABURÚ, C.E. Problemas Abertos e Seus Problemas no Laboratório de Física: uma Alternativa que Passa pelo Discursivo Multivocal e Univocal. *Investigação em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v. 8, n.3, p. 231-256, dez. 2003b.
- LANGLOIS, F.; GRÉA, J.; VIARD, J. Influencia de la formulación del enunciado y del control didáctico sobre la actividad intelectual de los alumnos en la resolución de problemas. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 13, n. 2, p. 179-191, Junio 1995.

- LARKIN, J.H. Processing information for effective problem solving. *Engineering Education*, dez. 1979, p. 285-288.
- LARKIN, J.H. Enriching formal knowledge: a model to solve textbook physics problems. In ANDERSON, J.R. (Ed.) *Cognitive skills and their acquisition* (p. 331-333). Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates, 1981.
- LEBLANC, M. D.; WEBER-RUSSELL, S. Text Integration and Mathematical Connections: A Computer Model of Arithmetic Word Problem Solving. *Cognitive Science*, New Jersey, v. 20, n. 3, p. 357-407, July-September 1996.
- LEMEIGNAN, G.; WEIL-BARAIS, A. A developmental approach to cognitive change in mechanics. *International Journal of Science Education*. London, v. 16, n. 1, p. 99-120, Jan./ Feb. 1994.
- LIN, X; LEHMAN, J.D. Supporting Learning of Variables Control in a Computer – Based Biology Environment : Effects of Prompting College Students to Reflect on Their Own Thinking. *Journal of Research in Science Teaching*, New York, v. 36, n. 7, p. 837-858, Sept. 1999.
- LUFT, J. A. Teachers' Salient Beliefs about a Problem-Solving Demonstration Classroom In-Service Program. *Journal of Research in Science Teaching*, New York, v. 36, n. 2, p. 141-158, Feb. 1999.
- MACÍAS, A.; MATURANO, C. I. Las estrategias didácticas en clase de Física analizadas desde la perspectiva de los alumnos. *Revista de Enseñanza de la Física*, Córdoba, v. 10, n. 2, p. 21-27, Octubre 1997.
- MEDEIROS, C. F. Modelos mentais e metáforas na resolução de problemas matemáticos verbais. *Ciência e Educação*, Bauru, v. 7, n. 2, p. 209-234, 2001a.
- MEDEIROS, K. M. O contrato didático e a resolução de problemas matemáticos em sala de aula. *Educação Matemática*, São Paulo, ano 8, n. 9, p. 32-39, Abril 2001b.
- MONAGHAN, J.M.; CLEMENT, J. 1999. Use of a computer simulation to develop mental simulations for understanding relative motion concepts. *International Journal of Science Education*, London, v. 21, n. 9, p. 921-944, Sept. 1999.
- MOREIRA, M.A.; PINTO, A.O. Dificuldades dos Alunos na Aprendizagem da Lei de Ampère, à Luz da Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 25 n. 3 p. 317-325, set. 2003.
- NETO, A. J. *Resolução de problemas em Física: Conceitos, processos e novas abordagens*. Lisboa: Instituto de Inovação Educacional, 1998.
- NETO, A. J.; VALENTE, M. O. Disonancias pedagógicas en la resolución de problemas de Física: una propuesta para su superación de raíz vygotskiana. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 19, n. 1, p. 21-30, Marzo 2001.
- NEWELL, A., SIMON, H.A. *Human Problem Solving*. New Jersey: Prentice Hall, 1972.
- NIAZ, M. Reasoning strategies of students in solving chemistry problems as a function of developmental level, functional M – capacity and disembedding ability. *International Journal of Science Education*, London, v. 18, n. 5, p. 525-541, July / Aug. 1996.
- OLIVA, J. M. Structural patterns in students' conceptions in mechanics. *International Journal of Science Education*, London, v. 21, n. 9, p. 903-920, Sept. 1999.
- OÑORBE DE TORRE, A.; SÁNCHEZ JIMÉNEZ, J. M. Dificultades en la enseñanza-aprendizaje de los problemas de física y química I. Opiniones del alumno. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 14, n. 2, p. 165-170, Junio 1996a.
- PALMER, D. The effect of context on students' reasoning about forces. *International Journal of Science Education*, London, v. 19, n. 6, p. 681-696, July 1997.

- PERREN, M. A.; BOTTANI, E. J.; ODETTI, H. S. Problemas cuantitativos y comprensión de conceptos. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 22, n. 1, p. 105-114, Marzo 2004.
- REID, N.; YAN, M. J. Open-ended problem solving in school chemistry: a preliminary investigation. *International Journal of Science Education*, London, v. 24, n. 12, p. 1313-1332, Dec. 2002.
- REID, N.; YANG, M.-F. The solving of problems in chemistry: the more open-ended problems. *Research in Science & Technological Education*, Abingdon, v. 20, n. 1, p. 83-98, May 2002.
- REIF, F.; SCOTT, L. A. Teaching scientific thinking skills: Students and computers coaching each other. *American Journal of Physics*, New York, v. 67, n. 9, p. 819-831, Sept. 1999.
- REIGOSA, C.; JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M.-P. Deciding how to observe and frame events in an open physics problem. *Physics Education*, Bristol, v. 36, n. 2, p. 129-134, March 2001.
- SEBRECHTS, M.M.; ENRIGHT, M.; BENNET, R.E.; MARTIN, K. Using Algebra Word Problems to Assess Quantitative Ability: Attributes, Strategies and Errors. *Cognition and Instruction*, Mahwah, v. 14, n. 3, p. 285-343, 1996.
- SHIN, N.; JONASSEM, D. H.; MCGEE, S. Predictors of Well-Structured and Ill-Structured Problem Solving in an Astronomy Simulation. *Journal of Research in Science Teaching*, New York, v. 40, n. 1, p. 6-33, Jan. 2003.
- SOUSA, C.M.S.G.; FÁVERO, M.H. Análise de uma situação de resolução de problemas de Física, em situação de interlocução entre um especialista e um novato, à luz da teoria dos campos conceituais de Vergnaud. *Investigação em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 31-53, jan. / abr. 2002.
- SOUTHERLAND, S. A.; ABRAMS, E.; CUMMINS, C. L.; ANZELMO, J. Understanding Students' Explanations of Biological Phenomena: Conceptual Frameworks or P-Prims? *Science Education*, New York, v. 85, n. 4, p. 328-348, July 2001.
- STARK, R.; MANDL, H.; GRUBER, H.; RENKL, A. Conditions and effects of example elaboration. *Learning and Instruction*, Oxford, v. 12, n. 1, p. 39-69, Feb. 2002.
- STERNBERG, R.J. *Psicologia Cognitiva*. Porto Alegre: Artes Médicas Sul, 2000.
- STEWART, J.; RUDOLPH, J. L. Considering the Nature of Scientific Problems When Designing Science Curricula. *Science Education*, New York, v. 85, n. 3, p. 207-222, May 2001.
- SUTHERLAND, L. Developing problem solving expertise: the impact of instruction in a question analysis strategy. *Learning and Instruction*, Oxford, v. 12, n. 2, p. 155-187, April 2002.
- TOUGER, J.S.; DUFRESNE, R.J.; GERACE, W.J.; HARDIMAN, P.T.; MESTRE, J.P. How novices physics students deal with explanation? *International Journal of Science Education*, London, v. 17, n. 2, p. 255-269, March / April 1995.
- TSAPARLIS, G.; KOUSATHANA, M.; NIAZ, M. Molecular-Equilibrium Problems: Manipulation of Logical Structure and of M-Demand, and Their Effect on Student Performance. *Science Education*, New York, v. 82, n. 4, p. 437-454, July 1998.
- VAN KAMPEN, P.; BANAHAN, C.; KELLY, M.; MCLOUGHLÉN, E.; O'LEARY, E. Teaching a single physics module through Problem Based Learning in a lecture-based curriculum. *American Journal of Physics*, New York, v. 72, n. 6, p. 829-834, June 2004.
- VARELA NIETO, M. P.; MARTÍNEZ AZNAR, M. M. Una estrategia de cambio conceptual en la enseñanza de la Física: la resolución de problemas como actividad de investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 15, n. 2, p. 173-188, Junio 1997.
- VERGNAUD, G. La théorie des champs conceptuels. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, v.10, n.23, p.133-170, 1990.

VERGNAUD, G. Teoria dos campos conceituais. In Nasser, L. (Ed.) Anais do 1º Seminário Internacional de Educação Matemática do Rio de Janeiro. p. 1-26, 1993.

VOSKA, K. W.; HEIKKINEN, H. W. Identification and Analysis of Student Conceptions Used to Solve Chemical Equilibrium Problems. *Journal of Research in Science Teaching*, New York, v. 37, n. 2, p. 160-176, Feb. 2000.

VOSNIADOU, S.; IOANNIDES, C. From conceptual development to science education: a psychological point of view. *International Journal of Science Education*, London, v. 20, n. 10, p. 1213-1230, Dec. 1998.

WELLS, M.; HESTENES, D.; SWACKHAMER, G. A modeling method for high school physics instruction. *American Journal of Physics*, New York, v. 63, n. 7, p. 606-619, July 1995.