

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE FÍSICA

**MODELOS MENTAIS E
RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS EM FÍSICA**

SAYONARA SALVADOR CABRAL DA COSTA

Tese realizada sob orientação do
Dr. Marco Antonio Moreira em
preenchimento parcial dos
requisitos para obtenção do título de
Doutor em Ciências.

Porto Alegre

2005

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi investigar como fazer os alunos modelarem mentalmente os enunciados de problemas de papel-e-lápis a fim de entendê-los e resolvê-los baseados em procedimentos analíticos e não buscando uma “fórmula”. Foram realizados cinco estudos empíricos com alunos universitários dos cursos de Engenharia e Física da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, cursando a disciplina de Mecânica Geral. Foi utilizada uma metodologia qualitativa baseada em depoimentos verbais (durante aulas exclusivas de problemas e entrevistas semi-estruturadas) e escritos (em testes e exames) durante o período de 1998 e 2004. O trabalho está subsidiado teoricamente pelas teorias dos modelos mentais de Johnson-Laird e dos campos conceituais de Vergnaud, tendo como teoria educacional subjacente, a teoria educacional da aprendizagem significativa de Ausubel. Resultados da pesquisa parecem dar suporte para a hipótese da autora, segundo a qual a representação mental dos enunciados dos problemas, apresentados acompanhados ou não por uma representação pictórica, podem ser facilitados pelo ensino explícito da modelagem física das situações envolvidas. Os conhecimentos-em-ação que os estudantes usam, como se pode inferir de suas soluções verbais e escritas, identificaram algumas características em seus desempenhos que pode ajudar com que os professores entendam os processos que eles usam durante as atividades de resolução de problemas, com possíveis conseqüências para os procedimentos usados pelos professores com relação ao ensino.

ABSTRACT

The objective of this work was to investigate how to make students modeling mentally the statements of paper-and-pencil problems in order to understand and solve them based in analytical procedures rather than just looking for “formulas”. Five empirical studies are presented with undergraduate students majoring in engineering and physics at the Pontificia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. These works were carried out in actual conditions in General Mechanic classes. A qualitative methodology was carried out based on students verbal (during problem solving classes and semi-structured interviews) and written (in quizzes and exams) discourse during the period of time between 1998 and 2004. The results were examined under the Johnson-Laird’s mental models theory and Vergnaud’s conceptual fields theory; both of them are compatible with Ausubel’s educational theory. Research findings seem to support the author’s hypothesis that the mental representation of problem’s statements, presented through linguistic discourse accompanied or not of a pictorial representation might be facilitated by the explicit teaching of the physical modeling of the situation involved in the statement. The knowledge-in-action that students have used in the last studies identified some characteristics in their performance that may help us to understand the processes used by them during the problem solving task with possible consequences for classroom procedures used by teachers.

Para meus pais, “Professor Cabral” (in memoriam) e Emília; ele, pela inspiração do amor pela Física e pelo incentivo à pesquisa científica; ambos, pela educação que me proporcionaram.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Marco Antonio Moreira, pela oportunidade de compartilhar seus conhecimentos científicos, pela paciência por um tempo tão longo, pelo apoio nas horas mais difíceis e, finalmente, pelo fechamento deste trabalho.

À biblioteca do Instituto de Física desta Universidade, especialmente à competente presteza da bibliotecária Zuleika.

A minha família, pela sobrevivência durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus amigos, colegas e familiares que sempre me incentivaram.

ÍNDICE

RESUMO	2
ABSTRACT	3
ÍNDICE.....	6
ÍNDICE DE TABELAS	9
CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Problema de pesquisa – Relato histórico.....	11
1.2 Estrutura da apresentação da tese	14
CAPÍTULO 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1 Dos gregos à psicologia cognitiva: breve análise.....	16
2.2 Das primeiras pesquisas até o modelo oriundo da teoria do processamento da informação: breve relato.....	22
2.3 Teoria do Processamento da Informação.....	24
2.3.1 Problemas de pouco conhecimento	25
2.3.2 Resolução de problemas guiada por esquemas — Diferenças entre especialistas e novatos.....	29

2.4 Modelos Mentais	33
2. 4.1 A teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird.....	34
2.5 Teoria dos Campos Conceituais de Gérard Vergnaud.....	46
CAPÍTULO 3 REVISÃO DA LITERATURA NA ÁREA DE RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS — UMA ATUALIZAÇÃO	53
3.1. Trabalhos que relacionam e diferenciam a tarefa de R.P., feita por novatos e especialistas	54
3.2 Trabalhos que propõem uma metodologia didática em resolução de problemas	56
3.3. Trabalhos que enfocam fatores que influenciam na resolução de problemas	61
3.4 Trabalhos que tratam de estratégias em resolução de problemas.....	68
CAPÍTULO 4 METODOLOGIA DE PESQUISA	73
4.1 Primeira Etapa — Modelagem mental em resolução de problemas: Estudo preliminar....	73
4.3 Terceira Etapa — O Papel da Modelagem mental dos Enunciados na Resolução de Problemas em Física.....	111
Quarta Etapa — Identificação de Conhecimentos-em-ação no Ensino de Física	142
4. 5 Quinta Etapa — “Knowledge-in-action: an example with rigid body motion”	159
CAPÍTULO 5 RESULTADOS DA PESQUISA	195
5.1 Modelagem em Resolução de Problemas: Estudo Preliminar.....	195
5.2 A resolução de problemas como um tipo especial de aprendizagem significativa	196

5.3 O papel da modelagem mental dos enunciados na resolução de problemas em Física....	197
5.4 Identificação de Conhecimentos-em-ação no Ensino de Física	198
5.5 Conhecimentos-em-ação: um exemplo com movimento de um corpo rígido (“Knowledge-in-action: an example with rigid body motion”)	199
CAPÍTULO 6 CONCLUSÕES	201
REFERÊNCIAS	204
APÊNDICE 1 TRABALHOS QUE RELACIONAM E DIFERENCIAM A TAREFA DE R.P., FEITA POR NOVATOS E ESPECIALISTAS.....	228
APÊNDICE 2 TRABALHOS QUE PROPÕEM UMA METODOLOGIA DIDÁTICA EM RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS.....	232
APÊNDICE 3 TRABALHOS QUE ENFOCAM FATORES QUE INFLUENCIAM NA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS.....	270
APÊNDICE 4 TRABALHOS QUE SE OCUPAM DE ESTRATÉGIAS PARA A RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS.....	322

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Procedência e número respectivo de artigos, na categoria <i>Metodologias</i>	57
Tabela 2. Percentagem de áreas de conhecimento enfocadas na categoria <i>Metodologias</i>	57
Tabela 3. Procedência e número respectivo de artigos na categoria <i>Fatores que Afetam a R.P.</i>	62
Tabela 4. Percentagem de conteúdos enfocados em <i>Fatores que Afetam a R.P.</i>	63
Tabela 5. Procedência e número respectivo de artigos sobre <i>Estratégias em R.P.</i>	68
Tabela 6. Percentagem de áreas de conhecimento enfocadas em <i>Estratégias em R.P.</i>	68

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Existe um amplo consenso no planejamento da facilitação da aprendizagem em ciências, particularmente em Física, de que três aspectos são prioritários: aprendizagem de conceitos, resolução de problemas e atividades práticas de laboratório. Por outro lado, há autores que sustentam a impossibilidade de estes aspectos serem tratados em separado (Gil Pérez et al., 1999); outros sugerem que, todos eles, constituem-se facetas de um campo de conhecimentos, que se entrelaçam e se completam (Vergnaud, 1990).

Independentemente de uma ou outra perspectiva, se há um aspecto que *todos* os professores de Física não dispensam é a tarefa de resolução de problemas, em especial a de papel-e-lápis. E porque ela é presente, e porque os professores utilizam-na como principal instrumento de avaliação da aprendizagem, ela é motivo de preocupação entre os professores, justificando a intensa pesquisa nessa área, que é tida como uma das prioritárias na Educação em Ciências e em Matemática.

Aqui também será dado um destaque especial a esta atividade, tal como já havia sido feito anteriormente, na dissertação que precedeu este trabalho de tese.

Como é usual ao final de um trabalho de pesquisa, o autor sugere uma ou mais questões de investigação que, segundo ele, seriam relevantes para dar continuidade à pesquisa recém terminada. Esta foi justamente a origem do estudo que será aqui apresentado: na dissertação de mestrado da autora deste estudo (Costa, 1997), intitulada *Resolução de Problemas e Aprendizagem em Física*, foram abordados alguns procedimentos metodológicos em resolução de problemas, com alunos do Ensino Médio, que produziram resultados favoráveis, em relação às condições de ensino-aprendizagem anteriores a este evento. Embora exitosa, a metodologia empregada revelou que a grande dificuldade dos alunos, em tarefas de resolução de problemas, é a compreensão, a interpretação, ou, em termos mais físicos, a modelagem do enunciado.

Ao contrário do pensamento intuitivo que ainda prevalece entre professores dos níveis médio e superior, provavelmente não é a Matemática — considerada como uma das maiores responsáveis pelos fracassos em resolução de problemas de ciências na década passada (Gil et al., 1991) — que faz com que os alunos vejam nos problemas a maior fonte de dificuldades na

aprendizagem de Física: é na passagem do “enunciado para a fórmula” que os alunos se perdem (Oñorbe de la Torre et al., 1996a; 1996b).

A constatação, por exemplo, que um aluno pode resolver um problema sem saber *realmente* o porquê do uso de determinada estratégia ou do princípio resgatados fizeram com que fossem sugeridas novas investigações, que investissem no aprofundamento sobre o conhecimento da estrutura cognitiva dos indivíduos, durante tarefas de raciocínio, como a resolução de problemas em Física.

Por outro lado, o trabalho diário com grupos diferentes de alunos universitários, evidenciando dificuldades em tarefas de resolução de problemas, muitas vezes inesperadas ou mesmo incompreensíveis, concorria para motivar e ao mesmo tempo desafiar a continuação da pesquisa nesta área.

1.1 Problema de pesquisa - Relato histórico

Na época em que a presente investigação foi projetada, algumas contribuições da Psicologia Cognitiva¹ estavam sendo discutidas pelo grupo de Ensino de Física desta Universidade, resultando em um projeto de pesquisa sobre *Representações Mentais em Aprendizagens de Física — Imagens, Proposições e Modelos Mentais*, tendo como base teórica primordial a teoria dos modelos mentais (Johnson-Laird, 1983; Gentner e Stevens, 1983; Moreira, 1996).

A escolha deste referencial teórico foi praticamente natural, pois parecia um domínio promissor para referendar a investigação sobre a estrutura cognitiva dos estudantes; ao mesmo tempo, resultados de outros trabalhos que estavam sendo realizados (Greca e Moreira, 1996, 1997 e 1998; Lagreca, 1997) serviram para referendar a escolha. Se não fosse por estas razões, ainda haveria a sintonia, ou coerência, com a teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel (Ausubel, Novak e Hanesian, 1980), que havia subsidiado o estudo anterior.

A questão de investigação, então, baseava-se na constatação de que, muitos alunos, especialmente os do nível universitário, agora centro das atenções deste estudo, tinham conhecimentos adequados de derivação e integração, mas, eram incapazes, a partir de um enunciado, de buscar uma derivada ou integral que encaminhasse a solução do problema com

¹ Psicologia Cognitiva foi definida por Neisser, autor de *Cognitive Psychology* (1967, apud Sternberg, 2000), como o estudo da maneira como as pessoas aprendem, estruturam, armazenam e usam o conhecimento.

relativa facilidade. Desta forma, justificava-se porque os alunos sempre querem saber “qual é a fórmula que deve ser aplicada” para resolver um determinado problema e, conseqüentemente, têm uma visão distorcida da Física (e da Ciência, em geral), como um conjunto de equações matemáticas que explicam fenômenos e resolvem problemas.

Naquele momento, o objetivo do trabalho foi determinado no sentido de responder à seguinte questão: *como fazer com que os alunos procedam à modelagem do enunciado de um problema, tanto em termos de modelos conceituais como de modelos mentais², de modo a entendê-lo e a chegar naturalmente aos procedimentos analíticos da solução, ao invés de saírem à cata de fórmulas para resolver uma situação física que lhes é proposta?*

As hipóteses da investigação, relacionadas ao objetivo, eram:

- possivelmente, o desempenho dos alunos na resolução de problemas de Física, tanto no Ensino Médio como no ensino superior, melhoraria acentuadamente na medida que aprendessem a modelar conceitualmente as situações físicas.
- para aprender a modelar, os alunos deveriam ser ensinados explicitamente. Ou seja, para a maioria dos alunos a modelagem conceitual não é espontânea.
- por outro lado, a modelagem mental é espontânea. Haveria, então, algum tipo de relação entre a maneira como o aluno modela mentalmente as situações físicas e a facilidade com que aprende a modelagem conceitual?

Ainda que, na década de 90, a idéia de modelo mental tenha sido facilmente incorporada à pesquisa em ensino de ciências, a definição do que era entendido por modelo mental mostrou-se relativamente vaga e com sentidos variados (Krapas et al., 1997). Nos trabalhos do grupo, foi adotada a visão dos modelos mentais como sendo “estruturas cognitivas idiossincráticas, determinadas e concretas, que sucedem na memória de trabalho do indivíduo que quer compreender, explicar ou predizer uma situação ou processo específico, atuando como análogos estruturais desta situação ou processo” (Greca e Moreira, 2002).

À medida que estudos empíricos estavam acontecendo no grupo, algumas questões foram sendo agregadas à proposta inicial de investigação: antes de ensiná-los a modelar os enunciados dos problemas, era necessário detectar suas representações internas, que poderiam ser entendidas, no contexto recém definido, como modelos mentais. Mas, *em que medida esta investigação diferiria, então, do programa das concepções alternativas?*

² Modelos conceituais, na perspectiva de Norman (1983), como se quer referir aqui, são os modelos da Física, projetados para facilitar a compreensão e o ensino; modelos mentais são análogos estruturais do mundo, que as pessoas usam para representar mentalmente eventos ou objetos.

Por outro lado, o trabalho desenvolvido com os estudantes universitários envolvendo o tema da modelagem mental dos enunciados de problemas, na área específica da mecânica dos corpos rígidos (Costa e Moreira, 1998, 2001, 2002), exigia-lhes o confronto com duas formas diferentes de pensar. A primeira é a maneira física, ou seja, os estudantes pensam em coisas reais, físicas, naturais — eles procuram entender as leis que determinam seu comportamento, por exemplo, na compreensão e projeto de um mecanismo. A segunda é a maneira matemática de pensar. O conceito de corpo rígido, por exemplo, representa um modelo idealizado e simplificado de um objeto físico - aquele que nunca sofre qualquer mudança de tamanho ou forma (Synge e Griffith, 1968). A este modelo é aplicado o raciocínio matemático. O passo seguinte é valer-se das fórmulas que respondem questões de interesse. Mas, ainda há a necessidade de interpretá-las fisicamente, de acordo com o contexto do problema apresentado. Para os especialistas, muitas vezes, a passagem da maneira física de pensar para a matemática, e vice-versa, acontece quase inconscientemente. Para os novatos, por outro lado, estes processos freqüentemente constituem-se em uma fonte de confusão.

De acordo com Larkin (1983), muitas diferenças de desempenhos em resolução de problemas de *especialistas e novatos* podem ser atribuídas ao uso de diferentes representações do problema. Enquanto o novato usa representação ingênua, isto é, objetos que existem no mundo real (blocos, polias, engrenagens) e desenvolvem-na por meio de situações do mundo real, os especialistas vão além desta representação, construindo o que ela chama de uma representação física (op. cit., p. 94), contendo entidades fictícias, imaginadas, como velocidade e freqüência. Desta forma, o especialista tem um segundo modelo mental de uma situação-problema, um modelo com atributos particularmente poderosos (Chi et al., 1981).

Na análise dos desempenhos dos alunos, foi identificado, muitas vezes, um hiato entre os princípios físicos (e / ou intuitivos) que empregam e a linguagem matemática que os representam. É difícil, inclusive, poder distinguir até que ponto poder-se-ia atribuir as dificuldades que os alunos manifestam ao resolver problemas desta área aos conceitos mal elaborados ou à falta de domínio ou compreensão das equações que expressam os princípios relacionados com esses conceitos. Além disso, como dissociar os conhecimentos de Física, principalmente em nível universitário, da compreensão das equações matemáticas que os representam?

Estas questões ensejaram a procura de um referencial mais amplo, que abarcasse possibilidades de responder às indagações que estavam acontecendo. Com este intuito, a teoria dos modelos mentais buscou elementos da *Teoria dos Campos Conceituais* de Vergnaud, (Vergnaud, 1993, 1998; Moreira, 2002), bastante conhecida na área da Educação

Matemática (Vergnaud, 1987, 1990, 1993, 1996a, 1996b). O trinômio, composto pela Física-Matemática-Resolução de Problemas, já exigia, por si mesmo, uma interação entre teorias que tratassem de forma harmônica deste tema. A integração da teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird, primordialmente trabalhando com a compreensão da linguagem, com a teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, originalmente tratando de representações matemáticas, pareceu resultar em um referencial atraente para quem trabalha com resolução de problemas na área da ciência e tecnologia. Esta integração foi proposta originalmente por Greca e Moreira (2002).

Desta forma, embora, essencialmente, o objetivo da investigação continuasse o mesmo, a pesquisa foi sendo desenvolvida por meio de novos caminhos, entre eles, a identificação dos conhecimentos-em-ação que os estudantes utilizam frente a situações-problema e que interferem na modelagem mental da tarefa em si.

1.2 Estrutura da apresentação da tese

Esta tese está estruturada em seis capítulos. Este primeiro capítulo, que apresenta o contexto e o problema de pesquisa, é seguido pelo capítulo que apresenta a fundamentação teórica baseada na teoria dos Modelos Mentais de Philip Johnson-Laird (1983), integrada à teoria dos Campos Conceituais de Gérard Vergnaud (1990; Greca e Moreira, 2002), ambas tendo, como teoria de aprendizagem subjacente, a teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel (1968, Moreira, 2000).

O Capítulo 3 apresenta uma revisão bibliográfica que atualiza a revisão iniciada na dissertação de mestrado sobre resolução de problemas em Ciências e Matemática, dividida em quatro temas, cada um dos quais tendo uma tabela apresentada em apêndice, no final. Nessa etapa foram revisados 201 novos artigos em relação à revisão anterior.

O quarto capítulo apresenta a metodologia de pesquisa, com a descrição das trajetórias metodológicas, na forma de artigos publicados, e o detalhamento dos procedimentos adotados nos estudos empreendidos.

No quinto capítulo serão discutidos os resultados obtidos com os estudos que foram desenvolvidos e as reflexões da pesquisadora quanto aos resultados e à revisão dos fundamentos teóricos gerada por estes resultados.

No capítulo 6, o das conclusões, o trabalho é sintetizado e são destacados os resultados mais significativos da pesquisa, enfocando a contribuição para o conhecimento sobre o tema abordado e para o ensino, seguida de sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Dos gregos à psicologia cognitiva: breve análise

O interesse em estudar as operações requeridas e que parecem fazer da atividade de resolução de problemas uma tarefa tão impopular entre os alunos, fez com que fossem buscadas teorias que estudassem o pensamento e o raciocínio. O objetivo não é apenas descrever diferentes tipos de resolução e de aprendizagem, mas também conhecer como a mente realiza estas operações.

Por séculos, filósofos e psicólogos têm usado uma variedade de metáforas para a mente, por exemplo, como uma folha em branco sobre a qual são feitas impressões; nos últimos 50 anos, novas metáforas foram incorporadas, acompanhando o desenvolvimento de tipos de computadores, e muitos, mas não todos os cientistas cognitivos, adotaram a visão do pensamento com a característica de computação e usam a metáfora computacional para descrever e explicar como as pessoas resolvem problemas e aprendem.

Tentativas de entender a mente remontam aos antigos gregos — Platão e Aristóteles — que tentaram explicar a natureza do conhecimento humano. Para Platão (427 – 347 a.C.), tudo que é visto, ou captado pelos sentidos, é pura aparência. A verdadeira realidade é uma *idéia* ou uma *forma* essencial, que é permanente e imutável. Para ele, o mundo das idéias tinha uma nítida primazia sobre o mundo dos sentidos, este sim, transitório e ilusório (Ponczek, 2002, p. 60). Outros filósofos, como René Descartes (1596 – 1650) e Gottfried Leibniz (1646 – 1716), apesar de terem sistemas próprios de pensamento filosófico (op. cit., p. 94) concordavam que o conhecimento só poderia ser obtido pelo pensamento e raciocínio — posição conhecida como *racionalismo* (Thagard, 2002). Aristóteles (384 – 322 a.C.), por outro lado, abordou o conhecimento em termos de regras — *o silogismo* — que era aprendido a partir da experiência. Esta posição filosófica, posteriormente defendida por John Locke (1632 – 1704), David Hume (1717 – 1776) e outros, é chamada de *empirismo*.

No século XVIII, Immanuel Kant (1724 – 1804) reuniu o racionalismo com o empirismo, reconhecendo que o conhecimento é fruto de uma síntese entre a experiência e o

conceito: “Sem os sentidos não teríamos consciência dos objetos, mas sem o entendimento não poderíamos formar nenhuma concepção do objeto” (Osborne e Edney, 1998).

O estudo da mente permaneceu o centro de interesse da filosofia até o século XIX, quando a psicologia experimental entrou em cena, desenvolvida por Wilhelm Wundt (1832 – 1920) e seus colaboradores, para estudar as operações mentais de forma mais sistemática. Em poucas décadas, porém, a psicologia experimental ficou dominada pelo *behaviorismo* (comportamentalismo), uma tendência que praticamente negava a existência da mente (Thagard, 2002, p. 6). Como um dos fundadores desta escola, em 1913, John B. Watson (1878 – 1958) pregava que a psicologia deveria restringir-se a examinar as relações entre os estímulos observáveis e as respostas comportamentais observáveis. A consciência e as representações mentais foram banidas das discussões científicas; especialmente na América do Norte, o *behaviorismo* dominou o enfoque psicológico ao longo dos anos 1940 e 1950.

Foi com uma publicação de George Miller (1956) que este panorama começou a mudar. Miller sintetizou numerosos estudos que mostravam que a capacidade do pensamento humano é limitada. Por exemplo, a memória de curto prazo é limitada por cerca de sete itens. Ele propôs que as limitações da memória poderiam ser ultrapassadas se a informação fosse recodificada como *chunks*, ou representações mentais que requerem procedimentos mentais para codificar e decodificar a informação (Simon, 1974). Nesta época, John McCarthy, Marvin Minsky, Allen Newell e Herbert Simon, fundaram o campo da *inteligência artificial*. Concomitantemente, Noam Chomsky (1957, 1959) rejeitou a suposição *behaviorista* para a linguagem como um hábito aprendido, rebatendo que a habilidade das pessoas de entender a linguagem era devido a uma gramática mental inata constituída de regras.

Os últimos seis pensadores, que foram recém citados, são considerados os fundadores da *Ciência Cognitiva*, que acabou formada pela soma de campos como: psicologia, inteligência artificial, lingüística, neurociência, antropologia e filosofia. Neste conjunto interdisciplinar, a abordagem teórica mais fértil tem sido a de entender a mente em termos de *representação e computação*.

Do ponto de vista *interno* à Psicologia, o desenvolvimento da Psicologia Cognitiva é justificado basicamente por dois fatores: o fracasso do *behaviorismo* como proposta de cognição humana e o abandono da visão tradicional da ciência, o *positivismo lógico* (que

muito influenciou o *behaviorismo*), pelos filósofos da ciência representados por Khun, Popper, Lakatos, Feyerabend, entre outros (Eysenck e Keane, 1990).

Estes mesmos autores registram que a ênfase dada pelo *behaviorismo* ao fenômeno observável é ainda detectada na Psicologia Cognitiva contemporânea, o que é endossado por Rivière (1987): se por um lado há contrapontos entre a Psicologia Cognitiva e o *behaviorismo*, existem traços de continuidade entre estes dois paradigmas (op. cit. p. 15).

Com relação às diferenças, o autor cita:

- a Psicologia Cognitiva nos oferece a imagem de um sujeito ativo, que não está limitado a responder passivamente aos estímulos do meio; ao contrário, elabora-os significativamente, organizando sua atividade com respeito a planos e estratégias que controlam e guiam sua conduta;
- a Psicologia Cognitiva propõe noções explicativas que pressupõem uma determinação hierárquica e recursiva do comportamento, contra as explicações do *behaviorismo*, em termos de “cadeias” de elementos que o determinam ou o condicionam de forma linear;
- o reducionismo das explicações E–R (estímulo – resposta) se contrapõe com a proliferação de conceitos internos da Psicologia Cognitiva, referidos a estratégias, planos, processos e representações, esquemas e estruturas que organizam as funções do pensamento.

Segundo Rivière (1987, p. 16):

“[...] os traços de continuidade entre os dois paradigmas podem ser identificados, por exemplo, no emprego de modelos explicativos mecanicistas, ainda que varie o tipo de máquina que seja usada como metáfora, e na perspectiva solipsista³ na análise da gênese do comportamento — características que identificam alguns modelos behavioristas com as teorias computacionais mais rigorosas da Psicologia Cognitiva [...]”

Do ponto de vista *externo*, a emergência do cognitivismo sofreu a influência de fatores sociais, históricos e de outras disciplinas científicas. A Psicologia Cognitiva resulta de um *insight* científico, da organização tecnológica e de certos interesses produtivos dominantes

³ Solipsista é aquele que acredita que a única realidade no mundo é o “eu”, a sua mente.

nas sociedades tecnologicamente mais desenvolvidas na segunda metade do século passado. Por isso, os modelos explicativos mais típicos da Psicologia Cognitiva localizam-se no referencial da inteligência artificial; ao mesmo tempo, cresce a reivindicação de uma Ciência Cognitiva, concebida por uns como um saber unitário, e por outros como uma ciência interdisciplinar, da qual a Psicologia Cognitiva constituiria uma disciplina particular (Gardner, 1985).

Apesar das críticas sobre as formulações mais prototípicas da Psicologia Cognitiva, ou seja, as formas de reducionismo subjetivista — a primazia das estruturas e processos do sujeito na explicação do conhecimento — e o reducionismo individualista, Rivière (1987) reconhece que o desenvolvimento da Psicologia Cognitiva trouxe consigo, de mais importante, uma modificação profunda do modelo ou da imagem do sujeito com o qual é feita a psicologia, privilegiando uma compreensão mais profunda do que a que era conhecida sobre as funções superiores e mais complexas do conhecimento — percepção, memória, linguagem e pensamento (op. cit. p. 17).

Rivière (op. cit. p. 14) propõe que o conceito de Psicologia Cognitiva possui limites não definidos e que seus exemplares são desigualmente representativos, e não definidos pelos mesmos atributos. É organizada em torno de certos elementos prototípicos, que são os modelos computacionais e as teorias do processamento da informação, mas tem fronteiras imprecisas em torno de outros exemplares teóricos, como o estruturalismo genético da Escola de Genebra (Piaget) e as idéias sobre a gênese sócio-cultural das funções superiores da Escola de Moscou (Vygotsky).

Para Rivière, o mais geral e comum que pode ser dito sobre a Psicologia Cognitiva é que:

“...remete a explicação da conduta a entidades mentais, a estados, processos e disposições de natureza mental para os quais reclama um nível de discurso próprio, que é distinto daquele que se limita ao estabelecimento de relações entre eventos e condutas externas — característico da psicologia experimental da conduta — e ao que se refere aos processos fisiológicos subjacentes à função mental” (op. cit. p. 21).

Gardner (1985) estabelece uma conceitualização semelhante, também sugerindo uma separação entre o nível mental ou representacional com respeito aos planos fenomênicos (o

plano da consciência), o neurofisiológico (da “máquina”) e o sociocultural. Para a Escola de Moscou, as funções superiores são precisamente o resultado de uma gênese sócio-cultural, o que nega a possibilidade desta separação. Mas, segundo Rivière (1987), a interpretação desta independência do plano cognitivo em relação aos demais deve ser feita no sentido de que trata de expressar o fato de que na conduta se dão certas regularidades que vão além de associações ou razões intencionais conscientes (op. cit. p. 23).

Um outro pressuposto da Psicologia Cognitiva, que contribui para justificar a suposição de um certo grau de autonomia funcional das entidades mentais, refere-se à idéia de que as funções de conhecimento não estão somente determinadas por funções “de baixo para cima” ou “dirigidas por estímulos”, como também, em menor grau, por funções “de cima para baixo” ou “dirigidas conceitualmente”; a maioria das atividades cognitivas apresenta os dois processos atuando simultaneamente (Gardner, 1990).

Rivière (1987) justifica a existência do processo “de cima para baixo” por meio das *formas e níveis de organização* do próprio sujeito frente às variações das energias físicas do meio (p. 26).

Uma definição intencionalmente geral para poder conciliar concepções das distintas “psicologias cognitivas” é a de *arquitetura funcional*, que expressa uma forma de organização do sistema como tal e que, por isso mesmo, estabelece seus limites de competência no funcionamento cognitivo do sujeito (op. cit. p. 31). Uma característica de todos os sub-paradigmas cognitivos é a suposição de que *o agente de conduta não é um organismo vazio, ilimitadamente moldável, senão que se define funcionalmente por uma certa organização, uma determinada estrutura ou arquitetura*. Ainda que o “esquema” desta arquitetura seja diferenciado segundo os marcos teóricos dos modelos cognitivos, a suposição da existência desta estrutura, como um recurso explicativo necessário para dar conta da conduta e das funções do conhecimento, é comum. Desta forma, o conceito de *arquitetura funcional* enriquece e articula o “núcleo duro” (modelos computacionais e teorias de processamento da informação) da Psicologia Cognitiva.

Para concluir esta introdução sobre a Psicologia Cognitiva, é importante retomar que não há uma só Psicologia Cognitiva (em sentido amplo), mas várias. O conhecimento pode ser explicado psicologicamente de várias maneiras, todas elas compartilhando alguns pressupostos mínimos (Rivière, 1991):

- há um nível, pelo menos relativamente autônomo, de explicação da mente, em que o funcionamento desta se entende condicionado por processos e representações do conhecimento;
- a investigação de tais processos e representações não depende do acesso introspectivo. Termos tais como *operação*, *esquema*, *proposição*, *plano*, *imagem mental*, que se referem a processos ou estruturas que acontecem na mente, não se justificam por sua evidência fenomênica à introspecção senão por seu valor para explicar e prever a conduta. Formam parte do vocabulário da Psicologia Cognitiva em sentido amplo.

Para a atividade específica de resolver problemas, a teoria de representação mental deve procurar explicar como as pessoas raciocinam para atingir seus objetivos. Há, pelo menos, três tipos de resolução de problemas para serem explicados: *planejamento*, *tomada de decisão* e *explicação*. Planejar requer que o indivíduo descubra como, a partir de um estado inicial pode chegar a um estado final, passando por vários estados intermediários — é o caso do tipo de exercícios com que os estudantes são confrontados em seus livros-texto ou exames. Nessas questões são-lhes dadas algumas informações e eles necessitam descobrir como calcular a resposta. O estado inicial envolve o que o estudante sabe a respeito da informação na descrição do problema, enquanto o estado final inclui ter uma resposta. O estudante tem de achar uma solução por meio de uma seqüência exitosa de passos.

Mas o que acontece se houver mais de um caminho razoável? Neste caso, os sujeitos precisam tomar uma decisão; esta freqüentemente requer considerações de probabilidade: a decisão deve estar baseada ao mesmo tempo na meta e na estimativa da probabilidade de que as ações levarão a esta meta.

Enquanto no planejamento do problema os sujeitos tentam descobrir como alcançar o objetivo, em uma explicação eles tentam entender porque alguma coisa acontece. O raciocínio dedutivo lógico pode ou não estar presente (Thagard, 1996, p. 31)

A seguir apresentar-se-á algumas informações sobre o desenvolvimento da pesquisa na área de resolução de problemas, ao longo de uma trajetória histórica e crítica até chegar aos referenciais escolhidos para subsidiar este trabalho.

2. 2 Das primeiras pesquisas até o modelo oriundo da teoria do processamento da informação: breve relato

Com a finalidade de estudar o pensamento, os pesquisadores costumam subdividi-lo em três ramos: resolução de problemas, raciocínio e tomada de decisão, apesar de esta divisão não existir de maneira muito clara nos fenômenos psicológicos do dia-a-dia. Pois, como assinalam Johnson-Laird e Byrne (apud Eysenck e Keane, 1990, p. 417), o raciocínio dedutivo é necessário

“ para formular planos; avaliar ações alternativas; determinar as conseqüências de suposições e hipóteses; interpretar e formular instruções, regras e princípios gerais; procurar argumentos e negociações; pesar evidências e acessar dados, decidir entre teorias competitivas e solucionar problemas. Um mundo sem dedução seria um mundo sem ciência, tecnologia, leis, convenções sociais e cultura”.

A concepção de *problema* para Hayes (1980), como a lacuna (“gap”) que separa um estado inicial de um estado desejado, representa, de forma sintética, a amplitude de situações, desde as tarefas consideradas mais simples até as muito complexas.

Os primeiros trabalhos experimentais em resolução de problemas foram feitos no início do século passado pela Escola da Gestalt, a qual já foi referida na primeira parte deste capítulo. Os psicólogos gestálticos enfatizavam a importância do todo como mais do que um conjunto de partes. Nos seus estudos, concentraram-se em tarefas multi-etapas envolvendo problemas de *insight*, *reestruturação e fixação* funcional, segundo Wertheimer (1945 apud Eysenck e Keane, 1990) nos quais as soluções eram relativamente fáceis *desde que* as etapas cruciais e relativamente difíceis fossem ultrapassadas.

Os estudos sobre o *insight* foram feitos tanto com animais (Köhler, em 1927 — macacos e bananas) quanto com pessoas (Maier, em 1931— problema das duas cordas; Duncker, em 1926 e 1945 — problema das velas e pregos; Luchins, em 1942 — problema dos jarros de água; Scheerer, em 1963 — problema dos nove pontos), justificaram-no como um processo especial, envolvendo o pensamento produtivo, que se opunha ao reprodutivo ou ao tratamento linear da informação (Van Lehn, 1989).

Entretanto, as especulações acerca dos processos envolvidos nos *insights* não propiciaram evidências convincentes para entender o seu funcionamento. Por isso, e porque o espírito da pesquisa gestáltica era atraente na obtenção de um resultado e na natureza não associativa do pensamento, a teoria do processamento da informação reviu este tema, algumas décadas mais tarde.

Entre os anos 1950 e 1960 a maioria das investigações tratavam de tarefas que não precisavam de treino ou conhecimento, apenas precisavam conhecer as instruções. Um exemplo clássico foi a “Torre de Hanói”, uma espécie de quebra-cabeça, e seus variantes, todos eles denominados *tarefas de um domínio*. Estes e outros tipos de quebra-cabeças representavam problemas de fraco conhecimento.

O estudo deste tipo de tarefas conduziu à teoria marcante de Allen Newell e Herbert Simon sobre detalhados modelos de resolução de problemas em tarefas de um domínio específico. Com a publicação de *Human Problem Solving* (1972), os autores apresentaram simulações de computadores para modelar não apenas as etapas realizadas pelo sujeitos como os tempos despendidos por cada etapa (“latências”), o movimento dos olhos, entre outras caracterizações.

Só no final dos anos 1970, a atenção foi dirigida para problemas com conteúdo, nos quais conhecimentos específicos eram necessários, como Álgebra, Física, xadrez, Geometria, diagnósticos médicos e programação computacional.

Mas antes, a pesquisa empírica com problemas ricos em conhecimento atendeu as diferenças entre novatos e especialistas: o estudo típico apresentava o mesmo problema para especialistas e novatos e por meio de *protocolos verbais* (pensar em voz alta enquanto resolvem o problema) examinava as diferenças dos dois grupos. Claro que os novatos consideravam o problema razoavelmente difícil, e os especialistas consideravam-no razoavelmente fácil. Pode-se considerar que os especialistas já haviam encontrado um problema semelhante, ou reconhecido como um exemplar de um problema familiar típico, do qual recuperavam a solução padrão da memória e geravam a solução diretamente. Novatos, por outro lado, sem estes conhecimentos, poderiam buscar às cegas por uma solução, assim como os sujeitos das tarefas de fraco-conhecimento. Resumindo, a hipótese era que a especialidade permite o sujeito substituir *reconhecimento* por *busca* (VanLehn, 1989)

Na década de 1970, já haviam sido desenvolvidos programas de computador que modelavam as etapas e “latências” dos sujeitos resolvendo problemas do tipo quebra-cabeças, mas o mesmo não acontecera com relação à resolução de problemas ricos em conteúdo, feita por especialistas. Segundo VanLehn (1989), havia uma limitação tecnológica para isso, que foi superada já na década de 80. Por outro lado, também havia uma razão científica: o comportamento do especialista, quer fosse gerado por pessoas ou por programas, é um produto de seu conhecimento, portanto qualquer explicação deste comportamento deve ter suporte para postular uma certa base de conhecimento. Ainda que o conhecimento do especialista pudesse ser medido, o que interessava era como ele tinha sido obtido, ou seja, a melhor teoria científica de resolução de problema de um especialista é uma teoria de aprendizagem (op. cit. p. 529). Por esta razão, os anos 1980 foram dedicados para a aquisição da especialidade (*expertise*).

A seguir serão detalhados alguns aspectos da teoria de resolução de problemas introduzida por Newell e Simon em *Human Problem Solving* (1972) e que têm dominado o campo de pesquisa nesta área, pela comprovada utilidade para construir análises específicas e modelos da cognição humana.

2.3 Teoria do Processamento da Informação

Esta teoria começa fazendo idealizações, como é comum em Ciências. A primeira delas distingue entre dois tipos de resolução de problemas, os que envolvem aprendizagem e os que não envolvem. Neste contexto, o significado de aprendizagem é de mudança no conhecimento do sujeito, desde que resgatável e potencialmente útil para problemas futuros.

A segunda é considerar o processo de resolução de problemas formado por dois sub-processos: *compreensão* e *busca*. O processo de compreensão é responsável por assimilar o estímulo que é proposto no problema e por produzir estruturas de informação mental que constituem o entendimento do problema pelo sujeito. O processo de busca é responsável por achar ou calcular a solução do problema. Em outras palavras, o processo de compreensão gera a representação interna do problema pela pessoa, enquanto o processo de busca gera a sua solução (VanLehn, 1989)

Estudos feitos com leitura de textos demonstraram que os dois processos não acontecem em seqüência, primeiro a compreensão e depois a busca, mas podem alternar-se e/ou acontecer ao mesmo tempo (Hayes e Simon, 1974; Chi, Glaser e Rees, 1982).

2.3.1 Problemas de pouco conhecimento

Em tarefas cujas instruções requerem pouco conhecimento específico, como os quebra-cabeças já referidos, as mínimas informações requeridas para representá-las são: i) estado inicial do problema, ii) alguns operadores que transformem este estado em outro, iii) algum teste eficiente para determinar se um estado do problema é a solução. Estes são os componentes básicos do *espaço do problema*.

Apesar deste *espaço do problema* constituir-se em uma conseqüência dedutiva do estado inicial, nem sempre os indivíduos estão cientes disto. Por exemplo, um sujeito que resolve um quebra-cabeça pode não saber estimar o número de estados no *espaço do problema* mesmo depois de resolver o problema muitas vezes. Por outro lado, a dificuldade de um problema está correlacionada com o tamanho e a topologia do espaço do problema (Newell e Simon, 1972).

Como ilustração do conceito de um espaço de problema, os espaços de problemas de dois sujeitos são comparados depois de receberem as seguintes instruções:

Três pessoas querem atravessar um rio. Elas acham um barco, mas ele é muito pequeno, só pode carregar 100 kg. As pessoas são chamadas Grande, Média e Pequena. Grande tem 100kg, Média 60kg e Pequena, 40 kg. Como elas podem atravessar o rio? É provável que elas tenham de fazer muitas viagens com o barco (VanLehn, 1989).

Um dos sujeitos foi uma criança de nove anos, que imediatamente perguntou ao pesquisador: “O bote só pode carregar 100 kg?” O investigador respondeu afirmativamente. Na análise de seu protocolo verbal (que não está completo aqui), pode-se afirmar que ela reconheceu os estados inicial e final. Como operadores evidenciados: i) impossibilidade de atravessarem a nado o rio ou usarem outra embarcação; ii) impossibilidade de o barco

conduzir os três ao mesmo tempo (ainda que ela em nenhum momento tivesse expressado verbalmente a relação numérica entre as massas).

O outro sujeito, de sessenta anos, que primeiro entendeu a situação como um problema de aritmética, imediatamente respondeu que deveriam fazer duas viagens, porque o total da massa era 200 kg. Ele gerou um espaço de problema diferente do da criança, ainda que tenha recebido a mesma instrução. Solicitado para descrever as viagens, indicou que Grande faria a primeira e os outros dois fariam a segunda. Indagado como o barco voltaria para buscar os últimos, imaginou um sistema com cordas. Instruído que somente alguém poderia trazer o barco de volta, o sujeito modificou, então o seu espaço do problema, assemelhando-o ao da criança.

Alguns investigadores, como Duncker (1945), já referido no problema na Escola da *Gestalt*, sugeriram que os processos de *insight* são freqüentemente mudanças de espaço do problema.

Por outro lado, nem todos os problemas podem ser facilmente analisados pela teoria do espaço do problema. São os chamados problemas *mal-estruturados* ou *mal-definidos*, contrapondo-se aos *bem-estruturados* ou *bem-definidos*, para os quais a descrição da compreensão do problema produz um espaço de problema, com um estado inicial, um conjunto de operadores e um espaço final. Alguns dos problemas da Escola da Gestalt (Duncker, 1926; Maier, 1931) enquadram-se neste tipo.

Com relação ao segundo processo envolvido na resolução de um problema, a *busca*, os autores sugerem métodos algorítmicos. Um algoritmo é um método ou regra que permite resolver o problema, ainda que ele consuma muito tempo.

No método algorítmico, depois de identificar um estado do problema, o sujeito pode utilizar dois processos colaboradores: i) estratégias de *backup*, que mantêm os estados antigos e usam-nos quando necessários e ii) estratégias de prosseguimento, que escolhem um operador, aplicam-no e avaliam o estado resultante; se houver sucesso, a busca termina, em caso contrário o processo de *backup* é ativado.

Estes dois processos são considerados não-determinísticos porque os procedimentos não especificam como as escolhas são *feitas*. Entretanto, alguns sujeitos parecem aplicar critérios simples, chamados *heurísticas*, que definem o conjunto de operações ou escolhas realizadas.

Um dos mais importantes métodos heurísticos, proposto por Newell e Simon (1972), é a *análise de meio-e-fim*, segundo eles, característico do *novato*:

1. Calcule a diferença entre o estado inicial e o desejado. Estabeleça estas diferenças para atingir o objetivo.
2. Veja quais operadores reduzem esta diferença; se não encontrá-los, desista (neste caso, há possibilidade de o sujeito utilizar outras estratégias, “de trás para frente”); em caso contrário, aplique-o.
3. Repita o procedimento até não haver diferença entre os estados inicial e final (caracterizando um processo “para frente”).

Para as tarefas que envolvem pouco conhecimento, Newell e Simon (1972) admitem que o êxito evolui com a prática. Para explicá-las, são atribuídos alguns mecanismos, os de aprendizagem dirigida pela prática (*practice-driven learning*):

- composição de operadores: que permite pular etapas na resolução do problema (Greeno, 1974);
- ajustamento de operadores com a heurística (VanLehn, 1987);
- *chunking* (Newell e Rosenbloom, 1981), que serve de função tanto de compor quanto ajustar operadores e heurísticas, ambos tratados como produções que lêem e modificam apenas temporariamente a informação estocada na chamada memória de trabalho.

• *mecanismos de procedimentos* aplicáveis somente em modelos como o *ACT* (*Adaptative Control of Thought* —Anderson, 1983) ou *Compreensão* (Hayes e Simon, 1974) que distinguem entre conhecimento *procedimental* e *declarativo*. Tais modelos vêem a mente como análoga a um programa que emprega tanto um conjunto de dados (conhecimento declarativo) e algumas funções para manipulá-los (conhecimento procedimental). Este último é representado como um sistema de produção: quando os sujeitos decodificam o estímulo do problema, é construída uma representação de conhecimento declarativo; a fim de explicar

como os sujeitos resolvem inicialmente um problema, é suposto que eles possuam produções de propósitos gerais que possam ler a representação declarativa e inferir que ações fazer, ou seja, admitem um mecanismo cíclico inicial. Com a prática, os modelos sugerem que sejam gerados procedimentos específicos de tarefa;

- fortalecimento de operadores (Anderson, 1982), diferenciando-os em fortes (exitosos) e fracos (nem tanto);
- regras de indução (Sweller, 1983), ou regras adquiridas pela seqüência de movimentos, gerando um padrão.

Muitos destes mecanismos sofrem certas restrições: uma delas diz respeito às dificuldades de reconhecimento e atribuição de relevância para operadores que são significativos na execução da tarefa; outra, refere-se ao uso de operadores idiossincráticos que, além de ocupar indevidamente espaço na memória de trabalho, ainda gera uma certa “confusão mental”, que se manifesta por meio de predições absurdas dos sujeitos.

Para lidar com estes entraves, a arquitetura de processamento é considerada funcionando à base de metas. Sendo assim, as duas dificuldades podem ser minimizadas pela condição de que os operadores escolhidos sejam aqueles que contribuam diretamente para o sucesso da tarefa.

Exemplos convincentes do efeito da representação do problema são aqueles em que dois problemas apresentam-se equivalentes em forma, mas não em conteúdo — *problemas isomórficos*. Um grande número de estudos foi feito, por exemplo, envolvendo variantes da “Torre de Hanói” (Hayes e Simon, 1974; Kotovsky et al., 1985), substituindo os três suportes e discos por outros objetos, animais e pessoas. Ainda que a equivalência formal (das regras) existisse, a equivalência psicológica não aconteceu, ou seja, algumas regras podem ser aprendidas com mais facilidade do que outras, o que parece contribuir para tornar mais fácil a resolução do problema (Eysenck e Keane, 1990).

Kotovsky et al. (1985) sugeriram que a facilidade de aprender uma regra ou de aplicá-la é provavelmente influenciada por: i) o quanto a regra é consistente com o conhecimento do mundo real; ii) a carga de memória inerente ao problema, ou seja, o quanto a resolução pode ser auxiliada por memória externa; iii) a facilidade de organizar espacialmente a regra ou de imaginá-la.

Tentando explicar os processos cognitivos envolvidos no ato criativo, alguns estudos propuseram que experiências prévias são usadas, indiretamente, por *analogia*. Entende-se por pensamento analógico o pensamento no qual se adapta uma situação conhecida para resolver um problema novo (Thagard, 1996).

Gick e Holyoak (1980, 1983) desenvolveram alguns estudos envolvendo problemas análogos ao “problema da radiação” de Duncker (1945). Os resultados demonstraram que a utilidade da analogia dependia da configuração mental induzida no sujeito que resolvia o problema: se ele não for direcionado para usar a versão original como referência, ele falha em atribuir-lhe relevância; quando os domínios ou contextos dos problemas são mais parecidos, é mais provável que perceba e aplique a resolução por analogia (Sternberg, 2000).

Dedre Gentner (1983) demonstrou que o que importa nas analogias não é a similaridade do conteúdo, mas quão intimamente seus sistemas estruturais de relações se correspondem. Segundo ela, em geral o conteúdo é mais considerado do que a forma (relações estruturais), o que justifica a dificuldade de reconhecer analogia entre o problema da radiação e um outro análogo (“problema militar”).

Keane (1987) defende o modelo de Schank (1982) sobre a recordação, especificamente a noção de *pontos de organização temáticos* — “TOP” ou “Thematic Organization Points” — o qual está inserido na questão da organização da teoria dos *Scripts* (seqüência total de episódios). Neste modelo, um “TOP” é acessado da memória de longo prazo quando o sujeito lembra de alguma coisa, desde que ele esteja procurando por uma situação análoga. Holyoak e Thagard (1995), na mesma linha propõem que existam três restrições básicas para o reconhecimento da analogia: a similaridade, a estrutura e o propósito.

O papel da analogia tem envolvido estudos não só com problemas tipo quebra-cabeças como também com conhecimento específico (por ex., Gentner e Gentner, 1983).

2.3.2 Resolução de problemas guiada por esquemas — Diferenças entre especialistas e novatos

Se um sujeito recebe um conjunto de problemas muitas vezes, eles podem aprender como resolvê-los e cessam de trabalhar a *compreensão* e a *busca*. Ao contrário, eles parecem reconhecer o estímulo como um problema familiar, recuperam um procedimento para o problema e aplicam-no. O conjunto de conhecimento que circunda um problema familiar é chamado *esquema de problema* e sua solução é dita *guiada por esquema*. Este é o caso da chamada *resolução de problemas de rotina*.

O termo “especialista” é usualmente reservado a sujeitos com milhares de horas de experiência. Apesar da haver um relativo consenso, na literatura, com relação a esta definição, o mesmo não acontece com o uso do termo “novato”. Para alguns experimentos, novatos são sujeitos que nada sabem sobre o domínio da tarefa — distinguidos por alguns autores como pré-novatos (VanLehn, 1989); em outros, são estudantes que freqüentaram um ou dois cursos sobre o assunto e foram avaliados com bons resultados.

O estudo das diferenças entre especialistas e novatos em resolução de problemas, do ponto de vista da psicologia, pretende principalmente descobrir a razão pela qual o especialista resolve problemas melhor no seu campo de conhecimento.

Muitos trabalhos foram feitos estudando a resolução de problemas *de rotina*, com problemas de papel e lápis em áreas como Física, Matemática e Engenharia (Larkin et al., 1980, Larkin, 1983; Larkin e Reif, 1979; Reif e Heller, 1981; Simon e Simon, 1978; Chi, et al., 1981; Chi et al., 1982; Clement, 1981; Greeno, 1978): uma situação problemática é proposta por meio de um enunciado e operações matemáticas são requeridas para resolver o problema.

Para explicar os procedimentos evidenciados nestes estudos, supõe-se que um esquema de problema tenha duas partes principais: uma para descrever o problema e outra para descrever soluções. Por outro lado, a resolução de problemas de rotina consiste de três processos: selecionar um esquema, adaptá-lo para o problema em questão, e executar seus procedimentos de solução.

A seleção do esquema freqüentemente aparece quando um esquema particular “dispara” o processo: pode ser alguma frase do enunciado, uma figura que o acompanhe, é

difícil de precisar. Mas parece acontecer cedo durante a percepção do problema, como mostram os resultados com especialistas em resolução de problemas de Física (Chi et al., 1981).

A segunda etapa, adaptá-lo para a situação, corresponde, em linguagem padronizada, preencher as lacunas (*slots*). Em muitas ocasiões, o esquema inicial precisa ser rejeitado em favor de um esquema subordinado. Então a adaptação se mistura com a especialização.

Expertos parecem gerar caracterizações de situações problemáticas que os novatos não fazem, características estas relacionadas com algum tipo de elaboração que não está disponível no texto (Chi et al., 1981, 1982).

Uma vez que o esquema tenha sido selecionado e adaptado, o sujeito deve produzir uma solução para o problema. Nem sempre este processo é trivial, mesmo considerando que o sujeito seja um especialista; o resultado de alguns estudos, por exemplo, Hinsley, Hayes e Simon (1977), salienta que o processo de resolução de problema guiado por esquemas é habitualmente *recursivo*, ou seja, se alguma etapa constitui-se em uma dificuldade para o sujeito, ele recorre a outros esquemas prévios já utilizados com êxito durante a execução da mesma tarefa.

No caso de resolução de problemas que não são rotineiras, a maior fonte de complexidade para os especialistas é quando mais de um esquema é aplicável à situação. Neste caso, eles precisam *escolher*. A seleção de esquema e a sua adaptação são formas de elaboração, como já havia sido mencionado no caso de resolução de problemas de rotina e, portanto, podem ser vistos tanto como processos de compreensão, quanto de busca; quando o sujeito tem dúvida quanto ao esquema a selecionar, é mais útil tratar o esquema de seleção como *busca*. Algumas vezes o esquema escolhido pode mostrar contradição com as condições implícitas do problema, gerando um *impasse*, que implica em rejeição dos esquemas disponíveis e seleção de outros (Brown e VanLehn, 1980), ou combinação de dois ou mais esquemas (Larkin, 1983).

Em um de seus estudos sobre o que distingue os jogadores especialistas e novatos (principiantes) em jogos de xadrez, Chase e Simon (1973) solicitaram-lhes que observassem brevemente o *display* de um tabuleiro de xadrez, com as peças sobre ele; depois, pediram-lhes

que evocassem as posições das peças sobre o tabuleiro. Os especialistas demonstraram desempenhos melhores desde que as posições representassem um jogo real de xadrez; se as peças estivessem distribuídas aleatoriamente, seus desempenhos seriam equivalentes aos dos novatos.

Combinado com o trabalho de de Groot (1965), o resultado do trabalho de Chase e Simon sugeriu que o que diferencia os expertos dos novatos é a *organização (chunking)* e o *uso do conhecimento*, ou seja, seus *esquemas*.

Os esquemas dos especialistas envolvem grandes unidades de conhecimentos (*chunks*) altamente interconectadas que são organizadas de acordo com semelhanças estruturais subjacentes entre as unidades de conhecimento. Em compensação, os esquemas dos principiantes envolvem unidades de conhecimento relativamente pequenas e desconectadas, que são organizadas de acordo com similaridades superficiais (Sternberg, 2000). Esta observação pode ser percebida no modo como especialistas e novatos: a) classificam vários problemas (Chi et al., 1982), b) descrevem a natureza essencial de vários deles (Larkin et al., 1980) e c) determinam e descrevem um método para vários problemas (Chi et al., 1982).

Diferenças entre especialistas e novatos ao resolver problemas de Física foram relacionados por vários estudos (Chi, Feltovich e Glaser, 1981; Heller e Reif, 1984; Larkin, 1983):

- novatos tendem a agrupar problemas que tenham as mesmas características superficiais; gastam menos tempo na representação do problema; trabalham preferencialmente para trás, a partir da informação desconhecida (“o que eu preciso descobrir?”); freqüentemente usam a análise de meio-e-fim.
- especialistas gastam mais tempo na representação do problema (“o que eu sei sobre o problema?”) imaginando combinar com seus esquemas e assim que combinar com eles, executam a tarefa (trabalham para frente); monitoram suas estratégias de resolução com mais cuidado do que os novatos (Schoenfeld, 1983); têm mais conhecimento declarativo e procedimental e este conhecimento é mais organizado, sem falar que muitos aspectos da resolução podem ser comandados por processos automáticos, os quais facilitam a capacidade de resolver problemas em determinada área da especialização.

A área de pesquisa dos expertos e novatos é apenas uma área na qual os pesquisadores têm tentado entender o conhecimento que os sujeitos trazem para as situações-problema. Outra linha de pesquisa tem examinado as formas alternativas em que o conhecimento é acessado e usado. É o caso, já citado, da pesquisa em *analogia* e, antes disso, da pesquisa que reinterpretou os processos relacionados com o *insight* da Escola da Gestalt. Estes dois temas envolvem uma área de investigação mais relacionada com investigações de laboratório. Uma terceira via, entretanto, direcionou-se para a investigação de situações problemáticas relacionadas mais com o cotidiano, nas quais os indivíduos usam suas próprias teorias “ingênuas” ou *intuitivas* para entender o mundo, ou seja, os *modelos mentais* (Gentner e Stevens, 1983, Norman, 1983).

2.4 Modelos Mentais

Modelos mentais são construtos teóricos usados para explicar uma variedade de aspectos do comportamento dos sujeitos, em situações de resolução de problemas específicas. Apesar de o termo *modelo* ser empregado de muitas maneiras diferentes (Krapas et al., 1997), algumas propriedades do mesmo são compartilhadas (Eysenck e Keane, 1990, p. 406):

- Modelos mentais constituem uma compreensão causal de uma pessoa a respeito de um sistema físico e são usados para fazer previsões acerca do comportamento do sistema;
- Eles são incompletos, instáveis e podem ser parcialmente *ad hoc*;
- Estes modelos podem simular o comportamento de um sistema físico e pode ser acompanhados por imaginação visual;
- Eles não são científicos; os sujeitos mantêm padrões de comportamento “supersticiosos” ainda que saibam que não são necessários, porque custa menos esforço físico e mental.

Como uma representação mental, Johnson-Laird (1983) define modelos mentais como um tipo específico de representação analógica; um construto representacional que reflete a estrutura de estados de relações no mundo. Esta não é a mesma concepção de Gentner e Stevens (1983), que caracterizam modelos mentais em termos proposicionais (ainda que seja acompanhado de formação de imagens), não como um formato representacional especial, mas como um construto teórico envolvido na forma pela qual o conhecimento proposicional é organizado (Eysenck e Keane, 1990, p. 407).

Na Física, em particular, a teoria dos modelos mentais têm sido usada na descrição de modelos “ingênuos” sobre fenômenos físicos, que diferem dos modelos científicos — pré-concepções (Clement, 1982; McCloskey, 1983).

Teoricamente, tem havido uma certa confusão sobre como os *modelos mentais* diferem dos *esquemas*, citados anteriormente: os esquemas constituem uma estrutura organizadora do conhecimento que tende a assumir diversas formas quando representa diversos conhecimentos. Como exemplo, os sujeitos têm *esquemas* que lhes permitem fazer conexões causais entre coisas que eles desconheciam que fossem relacionadas. Nestes casos, eles constroem representações do conhecimento chamados *modelos mentais*.

2. 4.1 A teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird

Philip Nicholas Johnson-Laird (1936-) trabalha atualmente no Departamento de Psicologia na Universidade de Princeton, em New Jersey. Sua teoria sobre os modelos mentais é resultado de pesquisas que iniciaram há de mais de 30 anos, conduzidas conjuntamente com outros pesquisadores, como mostra a síntese a seguir (*Johnson –Laird’s Home Page*, 2005).:

- tese de doutorado sobre a prática da linguagem natural, na qual mostrou que a forma das frases tem um efeito considerável no seu significado (1967; 1969);
- parceria com Peter Wason, entre 1969 e 1973, estudando psicologia do raciocínio dedutivo (*Psychology of Reasoning*, 1972), levando-os à conclusão de que os indivíduos cometem erros sistemáticos ao raciocinar e que há um efeito considerável do conteúdo das premissas na forma das conclusões que eles obtêm;
- estudos em psicolingüística, mais precisamente, memória para compreensão; em parceria com George Miller, publica *Language and Perception* (1976), concluindo que os significados léxicos poderiam ser tratados como elementos dos procedimentos executados no processo de compreensão do discurso — desenvolve um programa de computador para modelar certos aspectos desta teoria (*Procedural Semantics*, 1977); uma questão essencial permanece: *em que forma acontece a representação mental do discurso?*

- retorno ao estudo do raciocínio dedutivo e resgate de suposição antiga (*Models of Deduction*, 1975) segundo a qual os indivíduos raciocinariam utilizando três etapas: i) imaginam um estado de relações no qual as premissas são verdadeiras; ii) formulam, se possível, uma conclusão verdadeira no modelo; iii) procuram um modelo alternativo das premissas para as quais a conclusão seria falsa — se não houver, então a conclusão é uma inferência válida a partir das premissas;
- implementação da teoria em programas de computador que faziam deduções de asserções quantificadas uma a uma; o resultado confirmou as expectativas, ou seja, quanto maior o número de modelos que teriam que ser construídos, maior a dificuldade na tarefa (Johnson-Laird e Bara, 1984);
- sugestão de uma resposta para a forma como acontecia a representação mental do discurso: *compreensão é um processo de construção de modelo mental* (Garnham, Oakhill e Johnson-Laird, 1982; Mani e Johnson-Laird, 1982);
- teoria dos modelos mentais (*Mental Models*, 1983), propondo que a compreensão depende do alcance de como as palavras relacionam-se com o mundo (contribuições para “condições de verdade”) e que o raciocínio consiste na manipulação de modelos;
- parceria com Ruth Byrne no desenvolvimento de teoria de raciocínio proposicional baseada em modelos e, também, modelagem computacional da mesma (*Deduction*, 1991);
- parceria com Victoria Bell na aplicação da teoria dos modelos mentais ao raciocínio “modal”, ou seja, o raciocínio sobre o que é possível e o que é necessário — resultados corroboraram teoria dos modelos ao atestar que os indivíduos são mais rápidos e mais acurados em inferir que um evento é possível do que necessário, mas também são mais rápidos e mais acurados em inferir que um evento não é necessário do que não é possível.;
- parceria com Keith Oatley (Universidade de Toronto), nos últimos quinze anos, no desenvolvimento de uma teoria de emoções (1987);
- desenvolvimento, atualmente, de trabalhos com parceiros em várias partes do mundo, sobre tópicos variados, mas relacionados com a teoria dos modelos mentais, como: estratégias que indivíduos ingênuos desenvolvem espontaneamente enquanto resolvem problemas; aplicação da teoria para argumentos informais do dia-a-dia; o papel da memória de trabalho em

inferências, o papel dos modelos mentais na resolução de problemas; estudo como pessoas obsessivas raciocinam, entre outros.

A idéia de que os indivíduos contam com modelos mentais é atribuída originalmente a Kenneth Craik (1914-1945) que, em 1943, sugeriu que a mente constrói modelos (representações na mente) de pequena escala, de situações imaginárias ou reais, e que os usava para antecipar eventos.

Segundo Eysenck e Keane (1991, p. 202) *uma representação é qualquer notação ou conjunto de símbolos que re-presenta (representa outra vez) algum aspecto do mundo externo ou da nossa imaginação, na ausência dele.*

Representações podem ser *externas* ou *internas*. Naturalmente, os psicólogos cognitivos estão interessados principalmente nas representações mentais internas daquilo que os indivíduos conhecem, mas a investigação nas suas representações externas, que podem ser *lingüísticas* (simbólicas) ou *pictóricas* (analógicas), pretende também ajudar nesse sentido.

O uso destes dois tipos de representações depende dos objetos a serem representados: é mais fácil representar um vaso desenhando-o, do que o descrevendo por meio de palavras, mas também é mais fácil descrever com palavras o que é “justiça” do que por meio de um desenho (Sternberg, 2000).

Muitas das características destes dois tipos de representações externas podem ser transportadas para as representações internas ou mentais; em princípio são distinguidos dois tipos de representações internas, as *analógicas* e as *proposicionais*.

As representações *analógicas*, que incluem as imagens visuais, olfativas e auditivas, entre outras, são não-discretas, podem representar coisas implicitamente, têm regras frouxas de combinações e são concretas, ou seja, específicas para o tipo particular do sentido que as evocou (Eisenck e Keane, 1991, p. 206).

As representações *proposicionais* são discretas (individuais), explícitas, organizadas segundo regras e abstratas, no sentido que podem representar informação de qualquer modalidade (ibid.). Estas representações não são frases em uma certa língua, mas são

entidades individuais e abstratas, formuladas em linguagem própria da mente, o “mentalês” (Moreira, 1996).

Entre os psicólogos cognitivos não existe um consenso sobre o caráter dual das representações mentais (Paivio, 1971; Pylyshyn, 1973; Anderson e Bower, 1973; apud Sternberg, 2000). A proposta de Johnson-Laird (1983, 1989), a de considerar um terceiro tipo de representação interna, os *modelos mentais*, representa uma possibilidade de síntese da polêmica *proposições x imagens*.

O modelo de Johnson-Laird para a representação do conhecimento sugere que a representação mental pode assumir qualquer uma das três formas: *proposições*, *imagens* e *modelos mentais*.

Para ele, *proposições* são representações inteiramente abstratas do significado, as quais são verbalmente expressáveis; este critério de expressividade verbal distingue a concepção de proposição de Johnson-Laird da de outros psicólogos cognitivos (Sternberg, 2000, p. 170). *Imagens* são representações muito mais específicas, que mantêm muitos dos aspectos perceptivos de objetos particulares, considerados a partir de um ângulo específico, com os detalhes particulares de uma dada circunstância. *Modelos mentais* são representações analógicas abstratas de conceitos ou de objetos que são, espacial e temporalmente análogos a impressões sensoriais, mas podem ser considerados a partir de qualquer ângulo e que, geralmente, não retêm aspectos distintivos de uma dada instância de um objeto (ibid.).

Para Johnson-Laird (1983), o ponto central da compreensão está na existência de um *modelo de trabalho* na mente de quem compreende. Estes modelos podem ser criados a partir de percepção (sensorial e social) e/ou de experiência interna. Os modelos podem ser completamente analógicos ou parcialmente analógicos e parcialmente proposicionais.

Johnson-Laird considera que a origem dos modelos mentais se deve à evolução da habilidade da percepção dos organismos com sistema nervoso. Nesse sentido, todo o conhecimento de um indivíduo dependerá de sua capacidade de construir modelos mentais (Greca, 2000).

Um experimento de Mani e Johnson-Laird (1982) é relatado em Sternberg (1991): para algumas pessoas foram dadas descrições determinadas para um esboço espacial (indicando uma localização precisa para cada objeto no arranjo espacial); a outras pessoas foram dadas descrições indeterminadas (de localizações ambíguas). Segundo a teoria, os indivíduos do primeiro grupo poderiam formar um modelo mental das descrições determinadas, o que não era possível para os do outro, onde um único modelo não daria conta das inúmeras possibilidades. Os investigadores sugeriram que as pessoas do último grupo pareceram ter representado mentalmente as sentenças originais sobre a descrição indeterminada.

Ainda que a teoria dos modelos mentais esteja sendo aplicada a uma grande amplitude de fenômenos cognitivos, como foi indicado anteriormente, na breve descrição cronológica do campo de pesquisa de Johnson-Laird, as suas aplicações mais conhecidas dizem respeito ao raciocínio.

Para Johnson-Laird, as pessoas usam modelos mentais para raciocinar, ao invés de uma lógica mental. A lógica não faz parte da construção do modelo, mas pode estar presente quando as conclusões são testadas, o que pode promover revisão dos modelos gerados (recursividade). Nessa perspectiva, o raciocínio dedutivo é interpretado mais como uma habilidade prática do que uma habilidade abstrata. A diferença de raciocínio apresentada por *expertos e novatos*, seria atribuída a diferenças de espaço disponível na memória de trabalho para construir e manipular modelos mentais complexos, bem como à persistência de testarem as conclusões — ainda que o conhecimento e a experiência do indivíduo também sejam fatores relevantes. (Hampson e Morris, 1996, apud Moreira, 1996).

Um exemplo das representações ou modelos que um indivíduo pode construir frente a um conjunto de premissas é descrito a seguir (Eysenck e Keane, 1991, p. 441):

A lâmpada está à direita do lápis.

O livro está à esquerda do lápis.

O relógio está na frente do livro.

O vaso está na frente da lâmpada.

Sem o uso da lógica formal é possível construir um modelo mental traduzido pelo arranjo espacial dos objetos:

livro	lápiz	lâmpada
relógio		vaso

Este modelo permite uma nova inferência, simples e não-ambígua de que “o relógio está à esquerda do vaso”. Para refutar este modelo, o indivíduo necessitaria encontrar outro modelo que fosse consistente com as premissas, mas não com a nova inferência.

Quanto mais complicadas as proposições, mais difícil será a construção de um modelo integrado. No próximo exemplo, há a possibilidade de dois modelos distintos para as premissas (Byrne e Johnson-Laird, 1989, apud Eysenck e Keane, 1991):

A lâmpada está à direita do lápis.

O livro está à esquerda da Lâmpada.

O relógio está na frente do livro.

O vaso está na frente do lápis.

<i>livro</i>	<i>lápiz</i>	<i>lâmpada</i>	<i>lápiz</i>	<i>livro</i>	<i>lâmpada</i>
<i>relógio</i>	<i>vaso</i>		<i>vaso</i>	<i>relógio</i>	

Neste caso, a conclusão de que “o relógio está à esquerda do vaso” é inconsistente com o modelo alternativo, em que “o relógio está à direita do vaso”. Então, tem-se que admitir que “não há conclusão válida” para a relação entre as posições do relógio e do vaso.

Da mesma forma, a teoria pode dar conta de resultados de tarefas de raciocínios silogísticos, envolvendo premissas usando os quantificadores universais “todos”, “alguns”, “nenhum” e “somente”: as dificuldades de muitos problemas de raciocínio dedutivo estão relacionadas com o número de modelos mentais necessários para representar adequadamente as premissas do argumento dedutivo; como a memória de trabalho tem capacidade limitada, a necessidade de gerar muitos modelos dificulta a tarefa.

Com o intuito de caracterizar os modelos mentais, distinguindo-os de outras representações mentais, como os esquemas de Piaget (1978), os subsunçores de Ausubel (1968), Johnson-Laird propõe um conjunto de princípios (Johnson-Laird, 1983, p. 398):

1. *princípio da computabilidade*: modelos mentais são computáveis, ou seja, podem ser descritos na forma de procedimentos efetivos (sem ingrediente “misterioso”) que podem ser executados por uma máquina — premissa da Psicologia Cognitiva da mente como um sistema de cômputo;
2. *princípio da finitude*: um modelo mental deve ser finito em tamanho e não pode representar diretamente um domínio infinito — pois o cérebro é um organismo finito;
3. *princípio do construtivismo*: um modelo mental é construído de elementos básicos (“tokens”), organizados em uma certa estrutura para representar um determinado estado de relações — a função primária de um modelo mental é a de representar mentalmente estados de relações;
4. *princípio da economia*: uma descrição de um único estado de relações é representada por um único modelo mental, ainda que ele seja incompleto ou indeterminado — modelos são construídos a partir do discurso; para contornar indeterminações, a mente constrói um modelo mental inicial e o revisa recursivamente, se for o caso (op. cit., p. 408);
5. *princípio da não-indeterminação*: modelos mentais podem representar indeterminações se e somente se seu uso não for computacionalmente intratável — corolário do primeiro princípio (op. cit. p. 409);
6. *princípio da predicabilidade*: um predicado pode ser aplicável a todos os termos aos quais um outro predicado é aplicável, desde que seus alcances de aplicação sejam compatíveis entre si — permite identificar um conceito artificial ou não natural no conteúdo de um modelo mental (op.cit. p. 411);
7. *princípio do inatismo*: todos os primitivos conceituais são inatos. Primitivos conceituais subjazem nossa capacidade de representar o mundo. Também primitivos procedimentais são inatos pois são acionados automaticamente quando um indivíduo constrói um modelo (op. cit. p. 412);
8. *princípio do número finito de primitivos conceituais*: existe um conjunto finito de primitivos conceituais que geram um conjunto correspondente de campos semânticos e outro conjunto finito de “operadores” (conceitos) semânticos que,

em cada campo semântico servem para construir conceitos mais elaborados (op. cit. p. 414);

9. *princípio da identidade estrutural*: as estruturas dos modelos mentais são idênticas às estruturas dos estados de relações do mundo que eles representam (op.cit. p. 419).

Estas características dão conta da *estrutura* e do *conteúdo* dos modelos mentais. Em termos do *conteúdo*, os modelos mentais e as imagens são altamente específicos, mas as representações proposicionais nem tanto: por exemplo, uma representação mental proposicional que estabeleça a relação espacial entre dois objetos como sendo “ao lado de”, sem explicitar “esquerda” ou “direita”. Para uma imagem isso não seria possível (Moreira, 1996, p. 204).

A *natureza* dos modelos mentais, por outro lado, é mais restringida do que seus conteúdos, pois está limitada pela estrutura dos estados de relações do mundo e pelos conceitos que subjazem os significados destas relações e que são limitados pela natureza do aparato humano. O princípio da predicabilidade, por exemplo, explica porque alguns conceitos não são naturais e não aparecem nos modelos mentais; os princípios do inatismo e do número finito de primitivos limitam o conteúdo dos modelos mentais em termos de seus componentes básicos e como eles podem ser organizados.

Com relação aos tipos de modelos mentais, Johnson-Laird (1983, p. 422) distingue entre os *modelos físicos* e os *modelos conceituais*⁴. Os primeiros representam o mundo físico e são derivados da percepção; os modelos *conceituais*, são os modelos que as pessoas têm na cabeça e que representam estados de relações abstratos em relação aos estados de relações físicos, representados pelos modelos físicos.

Para Johnson-Laird, não há uma linha divisória precisa entre percepção e concepção, mas ele acha plausível concordar com Marr (1982, apud Johnson-Laird, 1983, p. 423) e supor que a percepção normalmente produz modelos físicos nos quais cada quadro (“frame”) caracteriza as formas volumétricas dos objetos e as relações espaciais entre eles em termos de

⁴ A definição de *modelo conceitual* de Johnson-Laird não é a mesma de Norman (1983, p.12); para este último, modelos conceituais são modelos precisos, organizados, completos, projetados por especialistas (professores, engenheiros) como instrumento de compreensão e ensino.

um sistema de coordenadas referido aos objetos. O único problema é a causalidade, que é uma relação abstrata, mas parece que o sistema perceptivo é sensível a ela, ou melhor, a pistas dela.

Modelos mentais não derivados da percepção podem ser, em princípio, físicos ou conceituais, mas, em geral, são construídos a partir do discurso, e este requer um modelo conceitual; por não contarem com o referencial do mundo físico, exigem mais do mecanismo de auto-revisão recursiva.

Independentemente de ser um tipo ou outro, o caráter comum e essencial de ambos é derivarem de um número relativamente pequeno de elementos (“tokens”) e de operações recursivas sobre tais elementos e com poder representacional que depende de procedimentos adicionais para construí-los e avaliá-los; as maiores restrições sobre eles decorrem da estrutura percebida ou concebida do mundo, das relações conceituais que governam a ontologia e da necessidade de manter o sistema livre de contradições (op. cit. p. 429).

Quanto à questão metodológica da pesquisa em modelos mentais, é preciso lidar com conhecimentos que são representados internamente. Como fazê-lo? Perguntar ao indivíduo qual é seu modelo mental, se ele pode nem ter consciência de tê-lo? Tentar buscar modelos mentais claros, elegantes, quando as pessoas os têm confusos, incompletos?

A *análise de protocolos verbais* tem sido a metodologia mais usada para investigar a cognição humana. Protocolos verbais são declarações auto-reflexivas feitos pelos sujeitos enquanto realizam uma tarefa (*protocolos concorrentes*) ou quando relatam o que conseguem lembrar após tê-la feito (*protocolos retrospectivos*). Estas verbalizações são consideradas como dados a serem explicados por teorias geradas pelo investigador, talvez na forma de uma simulação computacional.

Estes procedimentos, portanto, não devem ser confundidos com a *introspecção experimental sistemática* de Külpe (início do século XX), discípulo de Wundt (final do século XIX), (Schulz e Schulz, 1995, apud Moreira, 1996). A diferença é destacada por Simon e Kaplan (1989, p. 21): na introspecção, as verbalizações dos sujeitos eram tomadas com um valor nominal, constituindo uma teoria válida sobre seus próprios processos de pensamento.

Esta discussão traz à tona a questão da consciência: os modelos mentais são conscientes? Na ótica de Johnson-Laird, o critério de validade para os resultados das pesquisas é a possibilidade de descrevê-los na forma de procedimentos efetivos que possam ser implementados por computadores, portanto, descritos por alguma teoria prévia. A partir disso, ele assume uma posição *funcionalista*, como Craik (1943) já o fizera, com relação ao problema cérebro-mente: *os fenômenos mentais não dependem de como o cérebro é constituído, mas de como ele está funcionalmente organizado*, ou seja, a mente está para o cérebro assim como o “software” está para o “hardware” (Johnson-Laird, 1983, p. 448).

Sob a ótica funcionalista, Johnson-Laird supõe que *a consciência depende de cálculos do sistema nervoso* (op. cit. p. 450). Neste caso, há a necessidade de um cérebro de certo tamanho e complexidade para dar conta do número de processadores que podem ser postos em ação em uma tarefa. Tanto capacidade quanto a velocidade computacionais são importantes para a consciência.

Uma explicação funcionalista da consciência requer um modelo mental especial, uma vez que a natureza da intencionalidade remete à distinção entre referência e mera correspondência entre um símbolo e a realidade. Três argumentos podem sustentar esta discussão (p. 451):

1. *a mente emprega distintos níveis de organização* — por exemplo, reconhecimento de palavras, e reconhecimento do significado de uma frase que usa estas palavras;
2. *processamento mental, em cada nível leva o contexto em consideração* — o que, de certa forma, é uma extensão do primeiro argumento;
3. *o processamento em diferentes níveis não é autônomo, mas interativo* — por exemplo, o reconhecimento de uma palavra facilitaria o reconhecimento de uma ambigüidade em uma frase.

Em síntese, o processamento mental ocorre em paralelo (p. 452).

Para a organização desta computação paralela, Johnson-Laird imagina a mente funcionando como um sistema híbrido, que se vale, tanto de uma organização centralizada, quanto de outra, distribuída: um processador de alto nível (como um “sistema operacional”) que monitora e controla os objetivos gerais de processadores de níveis mais baixos (“os

programas”) que, por sua vez, monitoram e controlam processadores que operam mais baixo do que eles, e assim por diante em uma hierarquia de processadores paralelos, a qual, no seu nível mais baixo, governa as interações sensoriais e motoras com o mundo externo (Moreira, 1996, p. 227).

Uma das mais importantes funções do “sistema operacional” mental seria o desenvolvimento de novos programas para dar conta de novas situações, visto que a mente humana pode desenvolver e rodar seus próprios “programas” — modelos mentais.

Mas, os “programas” mentais que as pessoas produzem para resolver problemas podem ter falhas (“bug”), de modo que sua implementação poderia produzir configurações anômalas entre os processadores. Nesta situação, poderia emergir uma forma primitiva de consciência no sentido de suprimir este impasse (Johnson-Laird, 1983, p. 464).

Então, do ponto de vista puramente computacional, Johnson-Laird (op. cit. p. 465) argumenta que os conteúdos da consciência são os valores correntes dos parâmetros que governam as computações de alto nível do sistema operacional, o sistema operacional pode receber tais valores de outros processadores, mas não pode inspecionar as operações internas dos mesmos. Analogamente, as pessoas não são conscientes da natureza e dos mecanismos subjacentes às representações mentais. Elas têm consciência do que está representado e se é percebido ou imaginado, mas não da natureza intrínseca da representação.

Como é possível concluir-se até aqui, a teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird tem uma aplicação “natural” para a resolução de problemas. Descrever como os indivíduos resolvem problemas é explicar como eles procuram por uma solução num espaço que pode conter uma infinidade de possíveis soluções (como o *espaço do problema* de Newell e Simon, 1972), entre as quais os indivíduos devem escolher uma. Este espaço usa a noção de representação de um estado de ações e relações, portanto a de um modelo mental.

Por outro lado, Garnham (1997, p.168) observa que, recentemente, a abordagem de modelos mentais para resolução de problemas tem enfatizado mais o uso do conhecimento prévio do que a busca através de um espaço de possibilidades. Mais uma vez a noção de modelo mental é pertinente, uma vez que a tarefa requer a transformação da representação do

mundo em função da incorporação de informações e experiências aos modelos mentais já existentes.

A área de pesquisa que trata de especialistas e novatos tem tentado entender o conhecimento específico que os sujeitos utilizam nas situações-problema, mas o enfoque tem sido bem maior na caracterização geral de procedimentos do que nas dificuldades específicas de conteúdo (Larkin, 1983).

Mas, justamente neste aspecto do conteúdo específico, no caso, de Física, que é representado nos modelos mentais e utilizado em situações de resolução de problemas que se necessita avançar na pesquisa. Se, por um lado, a investigação envolvendo especialistas e novatos tem identificado e tentado entender o conhecimento que os sujeitos trazem para estas situações, por outro, os resultados têm-se mostrado insuficientes para que seja possível avaliar-se todas as variáveis que podem estar interferindo no desempenho de alunos em situações problemáticas, envolvendo conteúdos mais complexos. Pois, se a teoria dos modelos mentais pretende explicar *como* o conhecimento é representado, é preciso investir na resposta de *o que* é representado (Greca e Moreira, 2002), o que vem diretamente ao encontro do objetivo deste trabalho de tese.

O fator mais atrativo da teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird é, sem dúvida, o fato de constituir-se um referencial teórico sólido para interpretar as concepções e os modos de raciocínio dos alunos, fundamentação esta que nem sempre esteve presente ou apresentou-se pouca clara tanto nas pesquisas sobre concepções alternativas, que dominou a década de 1970, como nas da mudança conceitual, que dominou a década de 1980 (Moreira, 1994). Mas isso não é suficiente frente às demandas da pesquisa em ensino de ciências, como demonstram algumas críticas:

- falta de definição das estruturas das teorias de domínio (p. ex., calor, força, dia/noite) e das teorias implícitas dos sujeitos, estas últimas os principais obstáculos para a aprendizagem de conceitos científicos? (Vosniadou, 1994; Vosniadou e Brewer, 1994);
- falta de definição dos processos que monitoram as mudanças de um modelo mental para outro, como nos modelos mentais baseados em Klee e Brown (1983); que pressupostos determinam uma certa escolha? (Gutiérrez, 2000);

- falta de definição, enfim, da estrutura do conhecimento geral dos estudantes — representações proposicionais, imagens, núcleos dos modelos mentais modelos matemáticos, fórmulas, ...? (Greca e Moreira, 2002b).

Estas questões listadas, junto com a necessidade de integrar a aprendizagem de conceitos com a dos modelos matemáticos e seus significados, para ampliar o campo de pesquisa em ensino de ciências (Física), contribuíram para que a teoria dos campos conceituais de Gérard Vergnaud fosse “emparelhada” por Moreira e Greca com a teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird..

Mas, o que vem a ser esta teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud e por que ela foi escolhida para integrar o referencial teórico deste trabalho?

2.5 Teoria dos Campos Conceituais de Gérard Vergnaud

Segundo Moreira (2002), Gérard Vergnaud é diretor de pesquisa do *Centre National de la Recherche Scientifique* (CNRS) da França, discípulo de Piaget (Vergnaud, 1996a, 1996c), em quem se inspira para direcionar seu estudo sobre o funcionamento cognitivo do *sujeito-em-ação*. Segundo Vergnaud, as idéias de *adaptação*, *desequilíbrio* e *reequilíbrio* são fundamentais para a investigação em ensino de Ciências e Matemática, mas considera o conceito de *esquema* marcou profundamente sua teoria (Vergnaud, 1996c, p. 206).

De uma forma sintética, pode-se dizer que a teoria dos campos conceituais é uma teoria cognitivista e neo-piagetiana que pretende subsidiar o estudo do desenvolvimento cognitivo e da aprendizagem de competências complexas (Moreira, 2002; Vergnaud, 1996b).

Por outro lado, Vergnaud também reconhece que sua teoria dos campos conceituais também se assenta no legado de Vygotsky, refletido na importância dada à interação social, à linguagem e à simbolização para o progressivo domínio de um campo conceitual para um indivíduo. Ao professor é atribuída a tarefa árdua de oportunizar situações de forma que seus alunos desenvolvam seus esquemas na zona de desenvolvimento proximal (Vergnaud, 1998, p. 181)

A teoria dos campos conceituais é bastante conhecida dentro do âmbito da pesquisa em Educação Matemática, particularmente das estruturas aditivas e multiplicativas (Vergnaud, 1982; 1983a; 1983b; 1987; 1988; 1994; 1997; 1998; Vergnaud et al., 1990), mas isso não significa que não possa ser transladada para outras, segundo o próprio autor (Vergnaud, 1996a, p. 116).

Vergnaud toma como premissa que o conhecimento está organizado em *campos conceituais* (Moreira, 2002) cujo domínio, por parte do sujeito, ocorre ao longo de um largo 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 uma só vez (1983a, p. 401).

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 (Moreira, 2002, p. 10).

Para Vergnaud (1990), o problema central da cognição é a conceitualização. Em Física, os campos conceituais seriam definidos a partir das dificuldades na conceitualização dos modelos e teorias que explicam e interpretam a realidade e, como tais, são aproximações do real. Assim, existe o campo conceitual da Mecânica Clássica, da Mecânica Quântica, do Eletromagnetismo, com seus princípios, teoremas, procedimentos, situações que podem ser tratados independentemente, o que não exclui uma relação entre os diferentes campos.

Opondo-se à separação entre conhecimento declarativo e procedimental, Vergnaud considera que o fator essencial da dificuldade dos alunos com a resolução de problemas de Matemática (que pode ser estendido à resolução de problemas de Física) encontra-se vinculada não ao tipo de operação que um problema requer por em prática, mas sim às *operações de pensamento* (Franchi, 1999) que os alunos necessitam fazer para estabelecer relações pertinentes com os dados do problema. Ou seja, o comportamento dos alunos é guiado por analogias, metáforas que dependem da conceitualização.

Como assinalam Greca e Moreira (2002a, Moreira, 2002), embora, na literatura, a resolução de problemas seja, muitas vezes, vista como uma nova combinação de ações e regras a partir do conhecimento que se possui (visão da teoria do processamento da informação) e a formação de conceitos como a emergência de novas formas de conceitualizar o mundo, novos objetos e novas propriedades desses objetos, na teoria de Vergnaud esta distinção não existe. São duas faces da mesma moeda, pois não se pode subestimar a parte da representação simbólica e de conceitos presentes na resolução de problemas e a parte da resolução de problemas na formação de conceitos (Vergnaud, 1987).

Então, o que se entende por conceito na teoria dos campos conceituais? Vergnaud os define como um triplete de três conjuntos (1900, p. 145; 1993, p.8), representado por $C = (S, I, R)$, onde S é um conjunto de situações que dão sentido ao conceito. Tais situações formam o *referente* do conceito; I é um conjunto de invariantes (objetos, propriedades e relações) que podem ser reconhecidos pelos sujeitos para analisar e dominar as situações do primeiro conjunto. Constitui o *significado* do conceito; R é um conjunto de representações simbólicas (linguagem natural, gráficos, diagramas, sentenças formais, entre outros) que servem para representar de forma explícita o significado do conceito. Estas representações são o *significante* do conceito.

Outros conceitos-chave na teoria dos campos conceituais são os conceitos de *situação*, *esquema* e *invariante operatório*.

Nesta teoria, *situação* não é uma situação didática, mas sim uma tarefa, sendo que toda situação complexa pode ser entendida como uma combinação de tarefas para as quais é importante conhecer suas naturezas e dificuldades próprias (Vergnaud, 1993, p. 9).

Como já foi citado, as *situações* é que dão sentido ao conceito (Barais e Vergnaud,, 1900, p. 78): um *conceito* torna-se significativo por meio de uma variedade de *situações*, mas o sentido não está nas situações em si, nem nas palavras, nem nos símbolos; o sentido é uma relação do sujeito com a *situação* e com os *significantes* (Vergnaud, 1994). Na verdade, são os *esquemas*, ou seja, 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 o indivíduo (Vergnaud, 1990, p. 158; 1993, p.18).

Vergnaud chama de *esquema* a *organização do comportamento para uma determinada classe de situações* (Vergnaud 1990, p. 136; 1996c, p. 201; 1998, p. 168). Ainda que tenha sido influenciado pelos esquemas de Piaget, (Vergnaud, 1994, p. 53), na sua teoria os esquemas necessariamente se referem a situações. Desta forma a interação *sujeito-objeto* de Piaget seria substituída pela interação *esquema-situação* (Vergnaud, 1996c, p. 203).

Dependendo da classe de situações, o conceito de esquema é diferenciado: para aquelas em que o sujeito dispõe das competências necessárias para o tratamento relativamente imediato da situação, condutas amplamente automatizadas e organizadas por um só esquema são observadas; nas situações em que o sujeito não dispõe, que lhe obriga um tempo de reflexão, hesitações, que podem levá-lo ao sucesso ou ao fracasso, observa-se a sucessiva utilização de vários esquemas que devem ser acomodados, descombinados e recombinaos (Moreira, 2002).

Do ponto de vista teórico, são os esquemas que proporcionam o indispensável vínculo entre a conduta e a representação: a relação entre situações e esquemas é a fonte primária da representação e, portanto, da conceitualização. 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* e *teoremas-em-ação* subjacentes aa sua conduta (Vergnaud, 1996c, p. 201).

Os *invariantes operatórios*, que compreendem os *conceitos-em-ação* e os *teoremas-em-ação* são ingredientes dos esquemas, que dirigem o reconhecimento, por parte do sujeito, dos elementos pertinentes à situação. São eles que constituem a base, implícita ou explícita, que permite obter a informação pertinente e dela *inferir a meta a alcançar as regras de ação adequadas* (os outros ingredientes dos esquemas) (op. cit. p. 202).

Teorema-em-ação é uma proposição considerada como verdadeira sobre o real; conceito-em-ação é uma categoria de pensamento considerada como pertinente. Este conhecimento é principalmente implícito e ainda que o sujeito (aprendiz) tenha dificuldade em expressá-lo, isto não quer dizer que não o possa (ibid). Cabe ao professor o papel fundamental de mediar a explicitação deste conhecimento; só então os *conhecimentos-em-ação* (teoremas e conceitos-em-ação) podem vir a tornarem-se verdadeiros teoremas e conceitos científicos — o caráter do conhecimento muda se for comunicável, debatido e compartilhado (op. cit. p. 204).

A proposta de Greca e Moreira (2002) de integrar os esquemas de Vergnaud com os modelos mentais de Johnson-Laird parte do pressuposto de que os modelos mentais são as representações mediadoras entre a situação e o conhecimento que o sujeito possui: enquanto os esquemas (de Vergnaud) se mantêm como estruturas na memória de longo-prazo, com os teoremas e conceitos-em-ação (que contêm tanto as propriedades do mundo físico como de relações matemáticas), no momento de enfrentar uma situação nova, os sujeitos geram representações (modelos mentais) na memória de curto-prazo, os modelos de trabalho para a resolução da tarefa. Os conhecimentos-em-ação guiam o processo de construção dos modelos mentais, na medida em que determinam os elementos da situação que devem ser representados — e as propriedades que sobre ele podem ser aplicadas. O modelo mental⁵ gerado pode ser resultante de invariantes operatórios de diferentes esquemas que, ao mesmo tempo, podem ser usados pelo sujeito para a compreensão de uma situação e sua ação sobre ela.

Nesta proposta, vale ressaltar que as inferências, consideradas ingredientes dos esquemas seriam atribuições dos modelos, ou seja, não estariam na memória de longo-prazo. De qualquer forma, segundo os autores, a relação entre os modelos mentais e os esquemas é uma relação dialética: quando um sujeito enfrenta uma situação nova, a discordância entre a situação em si e as inferências decorrentes do modelo mental que constrói a partir dos invariantes existentes em seus esquemas, pode levá-lo à modificação dos modelos. A detecção de invariantes nesses modelos mentais levará à construção de esquemas apropriados para a resolução dessas classes de situações, que, então, já não serão novas.

⁵ Esse modelo mental pode ser analógico ou parcialmente analógico e parcialmente proposicional.

Em relação às imagens mentais, que formam parte dos modelos mentais na teoria de Johnson-Laird, os autores sugerem que elas seriam construídas a partir da “leitura” da situação por meio das “lentes” dos conceitos-em-ação do esquema que o sujeito considera apropriado aplicar; eles forneceriam o “espaço” a partir do qual os teoremas-em-ação transformam a própria imagem em um *modelo de trabalho*, que teria a capacidade de fazer inferências que guiariam a ação do sujeito. Desta forma, propõem a articulação de diferentes tipos de representações internas que o sujeito utilizaria para a compreensão do mundo: esquemas, modelos mentais, *scripts*, representações proposicionais, imagens, regras “se...então”, cada uma delas tendo uma função e uma gênese particulares.

Para o ensino de ciências, e particularmente, de Física, a integração, feita por Moreira e Greca, da teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird e dos campos conceituais de Vergnaud pode dar conta do conhecimento prévio dos estudantes que difere do conhecimento científico — as chamadas *concepções alternativas*.

Segundo Vergnaud, estas concepções devem ser consideradas como precursoras de conceitos científicos a serem adquiridos, guiados pelo professor. Isto requer muito tempo e habilidade do professor para permitir o desenvolvimento do sistema dinâmico, que é como ele classifica o sujeito. Inclusive alguns “erros” podem ser atribuídos ao fato de que os sujeitos são deparados com questões que nunca se propuseram antes ou que envolvem valores não usuais das variáveis de uma dada situação.

Suas idéias sobre o papel do conhecimento prévio e sobre as continuidades e rupturas na construção do conhecimento, fazem-no parceiro da teoria da aprendizagem significativa de Ausubel (1968; Ausubel et al., 1980; Moreira, 1999a e b). Para Ausubel, o conhecimento prévio é o fator principal, isolado, que influencia a aquisição de novos conhecimentos.

Moreira (2002, p. 22) acrescenta:

“A aprendizagem significativa se caracteriza pela interação entre o novo conhecimento e o conhecimento prévio. Mas esta interação não é arbitrária, ou seja, o novo conhecimento adquire significado por meio da interação com conhecimentos

prévios especificamente relevantes. Contudo, o efeito do conhecimento prévio na aprendizagem é tão forte que, em certos casos, é preciso romper com ele”

Nesse sentido, o conceito de aprendizagem significativa deve ser entendido como uma interação simétrica, ou de ação recíproca, que junto com outros processos envolvendo ação recíproca, pode levar a uma evolução dos conceitos e teoremas-em-ação associados à idéia de interação para outros progressivamente mais próximos daqueles aceitos cientificamente.

Na visão de Moreira (op. cit.), portanto, as teorias de Vergnaud e Ausubel, seriam complementares, como já havia acontecido com a teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird, cada uma em seu campo de atuação. A teoria da aprendizagem significativa de Ausubel é uma teoria de aprendizagem para a sala de aula, de aquisição de corpos organizados de conhecimento em situação formal de ensino, enquanto tanto as teorias de Vergnaud e de Johnson-Laird são teorias psicológicas do processo de conceitualização do real e da representação desta conceitualização, respectivamente.

Para finalizar, voltando ao tema principal deste trabalho de tese, a resolução de problemas, onde, mais uma vez poder-se-ia corroborar a complementaridade das três teorias citadas, evoca-se o próprio pensamento de Ausubel sobre a resolução de problemas; para ele, a resolução de problemas, em particular de situações problemática novas e não familiares, que requeiram máxima transformação do conhecimento adquirido, é a principal evidência da aprendizagem significativa (Ausubel et al., 1980).

CAPÍTULO 3

REVISÃO DA LITERATURA NA ÁREA DE RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS — UMA ATUALIZAÇÃO

Neste capítulo será apresentada uma atualização da revisão de literatura que fez parte da dissertação de mestrado da autora do presente trabalho (Costa, 1997d).

Naquela oportunidade, foi realizado um levantamento, relativamente extenso, cobrindo a década de 80 até meados da de 90, mais especificamente, até 1994, envolvendo periódicos que publicam artigos sobre pesquisa em ensino de ciências e de matemática.

Daquela época em diante, foi feito novo levantamento, nos periódicos e 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 a documentação, seguida de análise, que será desenvolvida neste capítulo.

Como já havia sido feita uma categorização dos trabalhos encontrados na literatura sobre resolução de problemas (R.P.) (Costa e Moreira, 1996; 1997a; 1997b; 1997c), e não havendo motivos para mudá-la, pelo contrário, o resultado do último levantamento concorreu para referendá-la, optou-se por sua manutenção. Permaneceram, então, as quatro categorias, renovando a pretensão de organizar a diversidade dos temas enfocados e o grande número de trabalhos coletados (N = 201): 1) *trabalhos que relacionam e diferenciam a tarefa de R.P., feita por novatos e especialistas* (Apêndice 1); 2) *trabalhos que, de alguma maneira, propõem uma metodologia didática em R.P.* (Apêndice 2); 3) *trabalhos que enfocam fatores*

que influenciam na R.P. (Apêndice 3); 4) trabalhos que se ocupam de estratégias para R.P. (Apêndice 4).

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

Por outro lado, é conveniente assinalar que outros autores de trabalhos sobre revisão de literatura em R.P. propõem outras classificações, como é o caso de Gangoso (1999), Sousa (2002) e Escudero (2005). No caso de Gangoso (1999), encontra-se a diferenciação entre investigações que tratam *da tarefa, da pessoa que a resolve, do processo em si ou do entorno da tarefa*. Sousa (2002), apesar de usar as mesmas quatro classificações deste trabalho, apresenta exclusivamente artigos cuja área de conhecimento é a Física, destacando o conteúdo específico dos mesmos (mecânica, eletromagnetismo, termodinâmica, etc.). Escudero (2005), por sua vez, apresenta uma retrospectiva histórica da investigação em resolução de problemas, desde a Escola alemã da Gestalt até os dias atuais, referendados pela Psicologia Cognitiva.

Optou-se por apresentar a lista dos trabalhos em termos de: 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; por último, VI) conclusões e fatores relevantes. A ordem de apresentação em cada categoria, das recém citadas, levou em conta a seleção de acordo com os conteúdos ou áreas de conhecimento, em ordem cronológica.

Em continuação, apresentar-se-á cada categoria, com os trabalhos respectivos e comentários que foram julgados pertinentes para caracterizá-los.

3.1. 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 (Apêndice 1). 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.

Quanto aos conteúdos enfocados nesta categoria, identificou-se: Química (2), Psicologia e Física (1), Geografia (1) e “Designer” em Sistema de Informação (1).

Como metodologia de pesquisa, foram utilizados protocolos verbais, testes escritos 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 progressivo domínio do correspondente campo conceitual, para promover progressos no desempenho dos novatos, tanto na resolução de problemas algorítmicos quanto conceituais.

3.2 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 categoria da revisão da literatura, incluiu-se os trabalhos que propõem e analisam metodologias para o desenvolvimento de atividades de resolução de problemas (N = 38) e aqueles que apresentam avaliações de algumas metodologias e de tipos de problemas que são usados em instrumentos de avaliação da aprendizagem (N = 31) — neste cômputo, deve-se levar em conta que alguns dos trabalhos tratam de ambos os temas. No total, são 66 trabalhos, que estão apresentados no Apêndice 2, e que correspondem à 33% do total pesquisado.

Para a análise destes trabalhos, optou-se em reorganizar algumas informações contidas na apresentação dos mesmos, como o país de origem dos autores (Tabela 1) e as áreas de conhecimento enfocadas (Tabela 2), relacionando com o número de trabalhos em cada caso.

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, 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, O'Malley, 1998), Vergnaud (Fávero, 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).

Tabela 1. Procedência e número respectivo de artigos, na categoria Metodologias.

País de origem dos autores	Número de trabalhos (N = 66)
Estados Unidos	20
Espanha	11
Brasil	09
Argentina	07
Reino Unido (Inglaterra e Irlanda)	06
Austrália	03
República Popular da China	02
Taiwan	02
Cuba	02
Israel	02
Venezuela	01
Canadá	01
Bélgica	01
Cingapura	01
Holanda	01
Alemanha	01
França	01
Chile	01

Tabela 2. Percentagem de áreas de conhecimento enfocadas na categoria *Metodologias*.

Área de conhecimento	Percentagem de trabalhos (N = 66)
Física	54,5%
Ciências (Ensino Fundamental)	15,0%
Matemática	9,0%
Biologia	7,6%
Química	6,0%
Tecnologia	3,0%
Matemática e Tecnologia	1,5%
Física e Química	1,5%
Ciência da Terra	1,5%

Observou-se que os trabalhos envolveram, principalmente indivíduos que cursavam o que, aqui no Brasil, chamamos de Ensino Médio: foram 32 trabalhos com estudantes e 2 com professores deste nível; 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, reuniu-se aqueles que foram considerados equivalentes, ou, que no final das contas, investiam no mesmo sentido, resultando em quatro grandes grupos:

- proposta de modelagem, ou seja, descrição representacional (por exemplo, a modelagem esquemática (em Halloun, 1996), privilegiando a estrutura dialético-constructiva, 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, 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, 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 escritos, 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-problema 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.

3.3. Trabalhos que enfocam fatores que influenciam na resolução de problemas

Quando o assunto é *fatores que intervêm na atividade de resolução de problemas*, a experiência com a primeira revisão bibliográfica sugeria que pudessemos registrar uma concentração maior de trabalhos, o que efetivamente aconteceu. Foram catalogados 83

trabalhos classificados neste grupo, correspondendo a 43,3% do total — na pesquisa realizada no período 1980-1994, 38,2% incluíam-se nesta categoria (N = 57).

Na análise dos trabalhos, que estão apresentados no Apêndice 3, optou-se novamente em divulgar alguns dados por meio de tabelas, como a procedência ou país de origem dos autores e o número de trabalhos correspondentes (Tabela 3), além do percentual relativo à área de conhecimento enfocada (Tabela 4).

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 a 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 problemas, 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, os trabalhos registraram:

- 46% com o Ensino Médio (N = 40);
- 30% com o Nível Universitário (N = 26);
- 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.

Tabela 3. Procedência e número respectivo de artigos na categoria *Fatores que Afetam a R.P*

País de origem dos autores	Número de trabalhos (N = 83)
Estados Unidos	23
Espanha	15
Argentina	10
Brasil	07
Reino Unido	05
Taiwan	05
Grécia	04
Venezuela	04
Israel	03
Austrália	03
França	03
Alemanha	02
México	02
Canadá	02
Holanda	02
Portugal	01
Líbano	01
Cingapura	01
Coréia do Sul	01
África do Sul	01

Tabela 4. Percentagem de conteúdos enfocados em *Fatores que Afetam a R.P.*

Área de conhecimento	Percentagem de trabalhos (N = 83)
Física	31,3%
Química	20,5%
Matemática	18,0%
Biologia	8,4%
Ciências (Ensino Fundamental)	8,4%
Física e Química	4,8%
Investigação em R.P.	2,4%
Astronomia	1,2%
Física e Matemática	1,2%
Química e Matemática	1,2%
Geografia Física	1,2%
Ciências da Terra	1,2%

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, 2004); 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, e que foram resumidamente listados :

- 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-chave 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/dedutivos (Niaz, 1996); mesmo problemas com baixo processamento da informação podem ser difíceis para alguns alunos; combinado com complexidade lógica crescente, a tarefa 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 que esta complementa, pode-se concluir que o avanço nas investigações tem conduzido a um número expressivo de trabalhos na área de identificação das representações dos alunos e da 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.

3.4 Trabalhos que tratam de estratégias em resolução de problemas

Nesta última categoria foram incluídos 47 trabalhos (Apêndice 4) 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. Na pesquisa anterior, de 1980- 1994, foram encontrados 28 trabalhos, correspondente a cerca de 19% do total.

As tabelas 5 e 6 apresentam, respectivamente, o país de procedência dos autores com número respectivo de artigos e a percentagem dos conteúdos enfocados nesta classificação.

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, manifestadas 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).

Tabela 5. Procedência e número respectivo de artigos sobre *Estratégias em R.P.*

País de origem dos autores	Número de trabalhos (N = 47)
Brasil	09
Estados Unidos	09
Argentina	07
Espanha	05
Austrália	05
Canadá	04
Cingapura	03
Reino Unido	02
Holanda	02
Colômbia	01
Alemanha	01
Venezuela	01
Israel	01
Cuba	01

Tabela 6. Percentagem de áreas de conhecimento enfocadas em *Estratégias em R.P.*

Área de conhecimento	Percentagem de trabalhos (N = 47)
Física	32,0%
Matemática	17,0%
Biologia	12,8%
Química	12,8%
Tecnologia	10,6%
Ciências (Ensino Fundamental)	6,3%
Físico-química	4,2%
Física e Matemática	2,1%
Geografia Física	2,1%

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*⁶ (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,

⁶ Teachback é uma técnica de aquisição de conhecimento onde há a interlocução entre dois sujeitos: o aprendiz e o especialista; o especialista explica um procedimento para o novato e este tem de explicar de volta para o especialista.

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-problema 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, a instrução de estratégias gerais só se mostra efetiva para o bom desempenho em R.P. se combinada 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) não esquecer o papel de “modelo de referência” para os alunos quando resolver um problema; 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 à 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 mental 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.

Para finalizar este capítulo, reitera-se que a intenção foi promover uma atualização da literatura na área de resolução de problemas, nos últimos 10 anos, que, se não foi completa, foi pelo menos extensa, envolvendo vários periódicos nacionais e estrangeiros, que publicam artigos sobre pesquisa em ensino de ciências e matemática.

A análise destes artigos enseja uma reflexão por parte dos professores que se valem desta atividade quase diariamente em suas salas-de-aula. Como já foi dito anteriormente neste capítulo, é fundamental que este número elevado de investigações (N = 201) seja conhecido pelos professores, que não precisam “inventar a roda”, pois há material suficiente para que, pelo menos se evite procedimentos sabidamente inadequados na proposta de situações-problema.

CAPÍTULO 4

METODOLOGIA DE PESQUISA

Neste capítulo serão descritas as trajetórias metodológicas deste trabalho de tese que foram utilizadas em cinco artigos. Estes artigos constituem o próprio capítulo.

Em todos os artigos, os sujeitos foram alunos da autora na disciplina Mecânica Geral, do terceiro semestre dos cursos de Engenharia e Física da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS); os problemas, em geral, são os de papel-e-lápis típicos de final de capítulo de livros-texto.

Para concretizar o estudo empírico, optou-se por uma abordagem qualitativa interpretativa, uma vez que este procedimento mostrava-se pertinente frente aos objetivos enunciados no capítulo 1.

Segundo Erikson (1986, apud Moreira, 1999, p. 24):

“A investigação qualitativa interpretativa tem como característica básica o interesse central na questão dos significados que as pessoas atribuem a eventos e objetos em suas ações e interações dentro de um contexto social, e na elucidação e exposição destes significados pelo investigador”.

4.1 Primeira Etapa — Modelagem mental em resolução de problemas: Estudo preliminar⁷

Na primeira etapa, a questão de pesquisa foi enunciada da seguinte forma: *como o professor pode ajudar os alunos a modelarem o enunciado de um problema, ou seja, a*

⁷ Trabalho publicado nas Atas do VI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (VI EPEF) — CD-ROM. Florianópolis, 26 – 30 outubro, 11 p., 1998.

desenvolverem e aplicarem conhecimento em Física, de modo a entendê-lo e chegar naturalmente aos procedimentos analíticos da solução, ao invés de saírem à cata de fórmulas para resolver uma situação física que não entendem?

A metodologia da autora, nesta disciplina, incluía, além das aulas expositivas, sessões exclusivas de resolução de problemas em pequenos grupos — no máximo quatro alunos por grupo — nas quais eles trabalhavam assistidos pela professora. Durante estas aulas, era possível observar o comportamento dos alunos durante a execução da tarefa, no sentido de quanto eles mostravam autonomia, interesse, sucesso ou não.

Os resultados das anotações com relação aos comportamentos recém citados, integrados com os de desempenho na primeira avaliação escrita, ensejaram que fossem escolhidos alguns alunos para serem entrevistados — optou-se por aqueles cujos aproveitamentos tinham se destacado positivamente em relação aos demais.

Procedeu-se às entrevistas individuais, com oito alunos, com duração entre 30 e 60 minutos para cada aluno. Estas entrevistas foram audiogravadas. Foi solicitado aos alunos que descrevessem, o mais minuciosamente possível, como tinham procedido para resolver alguns problemas — que constaram na 2ª avaliação, envolvendo o tema “movimento de um corpo rígido”. Desta forma, o objetivo efetivo da pesquisa nesta etapa passou a ser a investigação do tipo de abordagem (modelagem mental?) dos alunos, relativamente, bem sucedidos em resolução de problemas, desde a leitura do enunciado, até a resolução final.

As entrevistas foram realizadas cerca de uma semana após a realização da avaliação; os alunos tiveram vistas à prova para que pudessem justificar os procedimentos adotados; as provas ainda não haviam sido corrigidas.

Os depoimentos foram posteriormente transcritos e então comentados à luz da teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird.

O artigo que segue descreve mais detalhadamente estas questões.

MODELAGEM EM RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS: ESTUDO PRELIMINAR⁸

Costa, Sayonara Salvador Cabral / PUC-RS

Marco Antonio Moreira / UFRGS

Apresentação:

Os instrumentos de avaliação que costumamos utilizar nos nossos cursos de graduação em Física geralmente privilegiam a resolução de problemas. É através desta atividade, na maior parte das vezes, que temos acesso aos modelos conceituais⁹ que os alunos elaboram a partir dos modelos conceituais ensinados por professores. A análise dos resultados desta atividade nos inclina atribuir à Matemática a responsabilidade pelas dificuldades que os alunos apresentam. Mas um aspecto que não pode ser deixado em segundo plano é a dificuldade que os alunos enfrentam quando têm que passar do enunciado do problema para a ação de resolvê-lo. Isto justifica porque os alunos querem sempre saber “qual a fórmula que deve ser aplicada” para resolver determinado problema, o que acarreta uma representação social da Física como uma ciência de fórmulas matemáticas que explicam fenômenos e resolvem problemas.

A atividade de resolver problemas em física (e em outras áreas) tem sido objeto de interesse de um número considerável de pesquisadores, apoiados por diversos referenciais teóricos (Costa e Moreira, 1996; 1997a ; 1997b; 1997c). Mesmo assim, constatamos a necessidade de avançar nesta área (Costa, 1997) e para isso escolhemos a Teoria Dos Modelos Mentais de Johnson-Laird (1983) para servir de subsídio ao estudo que estamos apresentando. Do nosso ponto de vista, esta teoria oferece um respaldo teórico que vem ao encontro das nossas indagações referentes ao tema resolução de problemas visando a aprendizagem em física..

Objetivos

⁸ Trabalho apresentado no VI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (VI EPEF), realizado em Florianópolis, Santa Catarina, 26 – 30 de outubro de 1998.

⁹ Modelos conceituais são os modelos da Física, projetados para facilitar a compreensão e o ensino.

O objetivo deste trabalho é investigar como os professores podem ajudar os alunos a modelarem¹⁰ o enunciado de um problema, tanto em termos de modelos conceituais como de modelos mentais¹¹ de modo a entendê-lo e a chegar naturalmente aos procedimentos analíticos da solução, ao invés de saírem à cata de fórmulas para resolver uma situação física que não entendem.

Nossas hipóteses de trabalho são: i) possivelmente, o desempenho dos alunos na resolução de problemas de física melhorará acentuadamente na medida que aprenderem a modelar conceitualmente as situações físicas; ii) para aprender a modelar, os alunos têm que ser ensinados explicitamente, ou seja, para a maioria dos alunos a abordagem conceitual não é espontânea; iii) por outro lado, a modelagem mental é espontânea. Haverá, então, algum tipo de relação entre a maneira como o aluno modela mentalmente as situações físicas e a facilidade com que aprende a modelagem conceitual?

Fundamentação teórica

A teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird (1983), concernente à Ciência Cognitiva da linguagem e da inferência, se propõe, entre outros aspectos, a resolver o problema da lógica mental e explicar a natureza das representações mentais e como elas relacionam a linguagem com o mundo. A idéia central desta teoria é que os seres humanos constroem modelos mentais do mundo e fazem isto empregando processos mentais tácitos.

Uma das crenças básicas desta teoria refere-se à organização funcional dos processos mentais, que pode ser caracterizada em termos de procedimentos efetivos desde que a habilidade da mente em construir modelos de trabalho seja um processo computacional. Aliás, o argumento no qual a construção dos modelos mentais, a comunicação de seus conteúdos e o raciocínio com base em tais representações são processos computacionais é a base desta teoria. Para a teoria do processamento da informação, a mente humana funciona essencialmente como um sistema que recebe e processa a informação.

O papel central dos modelos mentais na psicologia do raciocínio é explicar os processos mentais que ocorrem na inferência dedutiva – incluindo o reconhecimento de

¹⁰ Modelagem é uma atividade sistemática para desenvolver e aplicar o conhecimento em Física ou qualquer outra ciência.

palavras, a caracterização da estrutura sintática, a interpretação semântica das sentenças, o processo de raciocínio e a compreensão consciente da conclusão. Por outro lado, a tese de Johnson-Laird é que o raciocínio acontece sem o recurso de uma lógica mental com regras formais de inferência. Na representação dos eventos descritos por premissas, testes revelam que o modelo gerado é baseado no significado das premissas e também em inferências implícitas de um conhecimento geral.

Neste sentido, os modelos mentais construídos pelos alunos são determinados por suas teorias implícitas, constituídas por estruturas conceituais, pressupostos epistemológicos e ontológicos. O que os alunos pensam sobre algum tema de ciência não é mais do que a ponta de um “iceberg” oculto de suas teorias implícitas. (Pozo, 1996).

Neste ponto é necessário diferenciarmos modelos conceituais dos modelos mentais da teoria de Johnson-Laird. Gentner e Stevens (1983) definem modelos conceituais como instrumentos, ferramentas para a compreensão ou para o ensino de sistemas físicos. O professor, por sua vez, emprega seus modelos mentais para projetar os modelos conceituais. Estes serão utilizados para levar o aprendiz a construir modelos mentais consistentes com estes modelos conceituais, que, por outro lado, devem ser consistentes com os modelos físicos modelados (Moreira, 1997). Neste caso, os modelos conceituais devem ser acessíveis à aprendizagem, além de funcionais e utilizáveis (Norman, apud Gentner e Stevens, 1983).

Já os modelos mentais podem ser deficientes em vários aspectos. Apresentam-se confusos, incompletos e instáveis. Eles são limitados por fatores tais como o conhecimento e a experiência prévia dos indivíduos com os sistemas físicos similares e pela própria estrutura do sistema de informação humana.

Então, na questão referente à modelagem, o professor e/ou pesquisador deve estar atentos para procurar entendê-los como eles são.

Ancorado nesta teoria, descrevemos a seguir o trabalho que foi desenvolvido para começar a investigar como os professores podem ajudar os alunos a modelarem os enunciados

¹¹ Modelos mentais são análogos estruturais do mundo que as pessoas usam para representar mentalmente eventos e objetos.

dos problemas que lhes são propostos, visando uma aprendizagem mais significativa - na concepção de Ausubel (1980).

Metodologia

Para iniciarmos este estudo, convidamos alguns alunos (8 em um total de 37) da disciplina Mecânica Geral do 3o semestre dos cursos de Engenharia, Física e Química da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), do segundo semestre de 1997. Esta disciplina aborda preferencialmente a mecânica de corpos rígidos e possui uma carga horária de 6 horas-aula por semana. A turma escolhida para este trabalho tinha a carga horária distribuídas em dois encontros semanais de 3 horas-aula cada. Estes indivíduos eram alunos de um dos autores deste trabalho.

A metodologia empregada nesta disciplina incluía, além das aulas expositivas, sessões exclusivas de resolução de problemas, em pequenos grupos, de preferência - no máximo quatro alunos por grupo - onde os alunos trabalhavam assistidos pelo professor. Durante estas aulas pudemos observar o comportamento dos alunos durante a execução da tarefa, no sentido de quanto eles tinham autonomia e sucesso no andamento dos problemas que lhes haviam sido propostos. Desta observação, aliada ao desempenho na primeira verificação escrita de conhecimento, ocorrida após um mês de aulas, decidimos entrevistar alguns alunos e optamos por aqueles cujos aproveitamentos tinham se destacado positivamente em relação aos demais.

Este procedimento tinha como objetivo investigar como os alunos conseguiam avançar na resolução dos problemas propostos, que tipo de procedimento empregavam desde a leitura do enunciado; a importância atribuída às figuras, quando elas estavam presentes no problema, no sentido se elas os ajudavam ou não na modelagem do sistema físico; e como lidavam com o formalismo matemático, se atribuíam-lhe ou não um significado.

Apostávamos que pudéssemos obter algumas informações sobre os modelos mentais dos alunos ao resolver questões de situações problemáticas específicas relativas a temas trabalhados nas aulas. Segundo Vosniadou (1994), muitos modelos mentais são criados no momento de atividades de resolução de problemas. Também é possível que alguns modelos

mentais, ou partes deles, que foram úteis uma vez, sejam armazenados como estruturas separadas e recuperados na memória de longo prazo quando necessário.

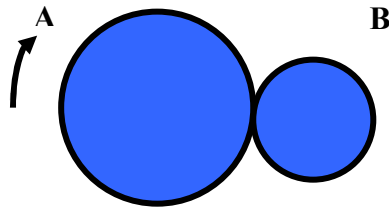
Halloun (1996) propõe que, apesar de tácitos, os modelos mentais podem ser investigados indiretamente, através dos modelos conceituais que a pessoa externaliza de maneira verbal, simbólica ou pictórica ao se comunicar com outra pessoa. Além disso, supõe que os modelos conceituais podem evoluir sob um ensino adequado.

Estes alunos foram informados sobre o trabalho que estávamos desenvolvendo e aceitaram submeterem-se a entrevistas gravadas onde eles descreveriam o mais minuciosamente possível, como tinham procedido para resolver os problemas que constavam na segunda avaliação do semestre, envolvendo o tema “movimento de um corpo rígido”.

Os depoimentos dos alunos sobre a avaliação referida foram realizados em momentos posteriores à realização da mesma. Durante a entrevista individual nós lhes entregávamos a prova, ainda não corrigida, e eles expunham os processos que os levaram a realizá-la daquele modo. À seguir relataremos os comentários dos alunos relativos a duas das quatro questões formuladas no instrumento de avaliação.

1a questão:

O disco A, de 200 mm de raio, mostrado na fig. abaixo, parte do repouso e gira com uma aceleração angular constante $\alpha_A = 2 \text{ rad/s}^2$. a) Obtenha as equações da velocidade e posição que, junto com a aceleração, traduzem o movimento deste disco; b) Quanto tempo é necessário para que o mesmo complete 10 revoluções? c) Se o disco A está em contato com o disco B, de 150 mm de raio, e não ocorre deslizamento entre ambos, determine os módulos da velocidade e da aceleração angulares de B no instante em que A completa 10 revoluções.



Aluno 1: "Eu leio o problema por partes - olho a figura, tento imaginar como a engrenagem funciona, o que acontece, volto ao texto; imagino também a velocidade do disco A... Geralmente eu traduzo o problema pelos detalhes do enunciado - sempre tem detalhes a considerar - no caso, é dito que não há deslizamento, o que era uma condição importante para a resolução do problema.

Em geral, primeiro eu escrevo os dados; no item (a) pedia as equações da velocidade e posição e eu sabia como obtê-las e com elas achar o tempo. Quanto a que tipo de velocidade, angular ou linear estava sendo pedida, me fixo nas unidades dos dados do problema (revoluções, rad/s) para identificar com qual vou trabalhar. Da mesma forma, diferencio a aceleração angular e tangencial pelas unidades. Este procedimento me facilita resolver problemas de Física desde o 2o grau.

Para resolver este problema, não foi importante recordar o problema semelhante trabalhado em aula, simplesmente eu entendi a situação proposta, sabia como "atacá-la" e fui em frente. Se eu tivesse "trancado", talvez tentasse buscar ajuda em outros problemas que fossem parecidos."

Aparentemente o modelo conceitual do modelo físico da questão proposta "funcionou". As condições de contorno foram consideradas, acrescentando-se um conhecimento (ou estratégia) implícito(a) de identificar grandezas pelas suas unidades.

Aluno 2 : "Eu li o problema, anotei os dados que constavam no enunciado mas não estavam na figura. Separei as perguntas solicitadas em cada item e fiz um esquema que

envolveu os dados e as perguntas. No caso deste problema, o problema similar trabalhado em aula favoreceu a resolução: o raciocínio usado foi semelhante, apesar do procedimento para resolvê-lo ter sido diferente do utilizado em aula. A informação de que não havia escorregamento entre os discos foi identificada como relevante; em compensação não fiquei em dúvida, como outros colegas, quanto à determinação das equações da velocidade e da posição serem angulares e não lineares, uma vez que o movimento dos discos era de rotação.”

Esta aluna acrescenta a informação de ter identificado o tipo de movimento que justificará, em parte, a direção tomada como estratégia de solução.

Aluno 3 : “Enquanto eu leio o enunciado, fui imaginando como as respostas vão surgir; enquanto eu estiver entendendo e imaginando estas respostas, eu continuo a leitura. Depois eu confiro a figura e vejo se ela é clara e coerente com o enunciado. Neste caso, eu me dei conta que o disco B girava no sentido anti-horário para satisfazer a condição do problema de não haver deslizamento. Acho que fui influenciado pelo raciocínio do problema da lista que lembrava, pelo menos graficamente este problema da prova. Não tive dificuldade de resolvê-lo.”

A interpretação do problema e do sistema físico permitem que o modelo físico seja selecionado e possibilite a construção de um modelo conceitual matemático compatível.

Aluno 4 : “Vou lendo e anotando os dados, no caso a aceleração. Faço a leitura e já vou botando a fórmula”. Identifiquei este problema com um outro parecido de uma das listas. Não havendo deslizamento entre os discos, a velocidade tangencial é a mesma no ponto de contato entre eles. O desenho chamou a atenção por me lembrar de outro exercício parecido. Eu não costumo desenhar ou representar o problema, mas o fato de ter a figura facilita muito a sua compreensão. Eu leio, releio, olho a figura e com a lembrança de problemas parecidos, das fórmulas, eu vejo o que posso fazer para achar o que não tenho. Nem me passou pela cabeça que a equação da velocidade deveria ser a angular, nem pensei nesta possibilidade.”

Este aluno parece trabalhar mais com modelos matemáticos circunscritos a certas condições – no caso, de não haver escorregamento entre os discos.

Aluno 5 : “Leio o problema e vou anotando os dados, sem me preocupar com a figura. Faço parte por parte. Quando vem a pergunta, aí é que eu vou olhar para a figura. Vejo o que está sendo pedido, aí costumo anotar. Tento resolver em seqüência o que está sendo pedido. O fato da aceleração angular ser constante chamou-me a atenção: pelas aulas sabia como encaminhar a solução, por integração vou obter a velocidade e a posição. Tinha que saber interpretar o que eram aquelas 10 revoluções. Usei a discussão com o professor em aula sobre o significado de não haver deslizamento entre dois pontos. Tentei entender a situação física imaginando o sentido de rotação do segundo disco. Por ter estudado e trabalhado bem a matéria estava convicto que o encaminhamento era correto.”

Parece que o modelo físico “rodou” bem.

Aluno 6 : “Primeiro leio a pergunta: tinha a aceleração angular e as informações. Escrevo as equações pedidas. Integrei duas vezes e substituí os dados da rotação. Quando olhei a prova me animei pois tinha três problemas parecidos com outros trabalhados em aula. As figuras ajudaram nesta comparação e na resolução. Nesta questão um dado relevante eram as 10 revoluções. Cada problema tem a sua preocupação, mas também entra o que se relaciona com ele em problemas parecidos. A escolha do caminho a seguir foi rápida pelas lembranças das aulas e destes problemas. Não sabia, isto sim, que a velocidade tinha que ser a angular. Posso dizer que fui na onda para resolver este tipo de problema. Eu me lembrava que uma das velocidades era igual, não sabia se era a linear ou a angular.”

O aluno reconhece que “foi na onda” para resolver este tipo de problema. O esquema matemático necessário foi facilmente identificado e acessado pela evocação de problemas semelhantes.

Aluno 7 : “Foi parecido com o feito em aula, principalmente o enunciado. Leio todo o problema, depois leio novamente e faço uma figura, esquema das informações que acho importantes – que estão sendo dadas. A figura eu sempre olho depois da primeira leitura. Se eu conseguir entendê-la, não preciso fazer a segunda. A lembrança do problema semelhante feito em aula me fez escolher um caminho sem dificuldades. Costumo representar problemas através de figuras quando elas não são explícitas.”

O problema semelhante já conhecido ajudou na resolução do atual.

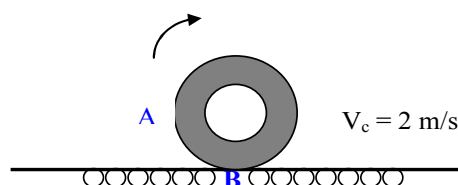
Aluno 8: “Dois discos, dois raios diferentes, dá a aceleração angular de um, coloca os dois em contato, sem deslizamento. Já sei de cara que eu posso resolver este problema pelas relações que eu sei que existem: a integração me permite calcular a velocidade angular; 10 rotações – esta condição na equação da posição me dará a resposta. Tento abrir o problema para que ele não fique mascarado, ou seja, quero ver como o sistema funciona, não quero decorar os procedimentos para resolver problemas deste tipo. Se deslizesse em relação ao outro, eu saberia que estariam envolvidas mais variáveis. Desta forma, uma polia grande está girando em contato com uma pequena, que faz mais arcos. Às vezes é errado analisar o dia-a-dia com a Física – sempre tem “pega-ratão” que a gente não sabe e a gente cai. Comparando com a roda de uma bicicleta, dá para imaginar que sem deslizamento as velocidades lineares eram iguais e as angulares não.”

Este aluno tenta “rodar” o sistema físico, mas usa estratégias ou macetes que lhe ajuda na execução do problema. A lembrança de outros problemas facilitou a resolução.

Com relação à segunda questão:

2a questão:

O cilindro abaixo gira livremente, no sentido indicado na figura, com velocidade angular $\omega = 15 \text{ rad/s}$ sobre a superfície de uma correia transportadora que se desloca a 2 m/s . Supondo que não ocorra deslizamento entre o cilindro e a correia, a) determine a velocidade do ponto A do cilindro (use o método da translação e rotação); b) localize graficamente o centro instantâneo de rotação e explique o seu significado. Considere que o raio do cilindro seja 10 cm .



Aluno 1 : Na leitura e interpretação deste problema tive dificuldades. Desta vez não tive a atenção suficiente com os dados, o que não é comum, pois sempre procuro ver os detalhes. Desta vez, relatei este problema com o da correia, feito em aula, e tomando-o como referência, resolvi como aquele. Mas os detalhes eram diferentes e por isso não concluí bem o desenvolvimento. Fiz todo o problema considerando uma situação que não era apropriada. Neste problema a interpretação foi decisiva.

Nesta questão a interpretação ficou comprometida. Os dados não foram percebidos como indicadores de diferenças entre a questão formulada e um problema semelhante.

Aluno 2 : O procedimento inicial foi o mesmo do anterior: enquanto lia o problema, anotava os dados e esquematizava as perguntas contidas nos itens. Também redesenhei a figura para aproximá-la do meu esquema e da resolução. Escolhi "naturalmente" o centro instantâneo de rotação (CIR) no ponto de contato do cilindro com a correia, pois todos os problemas discutidos em aula apontavam para isto. Por esta razão, as minhas respostas aos itens ficaram comprometidas. O interessante foi que ignorei a interpretação feita no problema anterior quanto ao não deslizamento do cilindro em relação à correia no ponto de contato: acho que na minha cabeça o ponto de contato seria sempre o CIR, sob quaisquer condições.

Nesta situação a aluna redefine o problema baseada numa perspectiva equivocada sobre a localização do centro instantâneo de rotação (CIR), baseada numa generalização em face das experiências desenvolvidas em aula. O problema semelhante aqui mascarou dados relevantes do problema proposto – como o movimento da correia.

Aluno 3 : “A situação semelhante tratada numa das listas de problemas também deve ter me influenciado pois de cara interpretei que o CIR estava localizado em B, que era o ponto de velocidade zero nos problemas feitos em aula. Não me dei conta da relação de movimento entre B e a correia, o que fez com que eu não resolvesse corretamente o problema; se não fosse por isso, eu saberia como fazê-lo.”

A não compreensão do sistema físico e suas relações invalidaram a sua resolução.

Aluno 4 : “Não ocorre deslizamento entre o disco e a correia, isto eu relacionei com o problema anterior, mas eu não entendia bem como a correia poderia movimentar-se naquele sentido e o disco girar no sentido indicado. Um problema da lista que lembrava a situação deste não ajudou muito: a velocidade de rotação (aqui o aluno queria se referir à aceleração) era para a esquerda e a polia ia para a direita. Conclusão: não sabia para qual dos lados a polia ia. Também esta velocidade V_c eu interpretei como a velocidade do ponto C, centro da polia. Quanto à interpretação do centro instantâneo de rotação, achei que fosse para descrever o método para determiná-lo.”

Na falta de um referencial ou problema semelhante, o sistema físico teve sua análise comprometida. Inclusive com alterações nos dados do problema.

Aluno 5 : “Não precisei anotar os dados porque já estavam explícitos na figura. Encontrei dificuldade de desenvolver o problema por causa da velocidade da correia. Em aula a correia era fixa; não havíamos discutido nenhum caso em que a correia não estivesse em repouso. Não relacionei o fato de a polia não deslizar em relação à correia com o primeiro problema. O problema feito em aula me botou na cabeça que o ponto de contato tinha sempre velocidade nula. Como o ponto O só se transladava, calcularia a velocidade dele e depois a do ponto A. Quanto ao centro instantâneo de rotação, o CIR, sabia que deveria encontrá-lo traçando retas perpendiculares às velocidades dos pontos e que seu significado era ser naquele instante o centro de rotação.”

A dificuldade de identificar a relação entre a velocidade da correia e do ponto B do cilindro aliada a uma generalização equivocada prejudicaram a resolução da questão proposta.

Aluno 6 : “Li o problema até o fim e depois analisei a figura. Ficou claro o que estava acontecendo, só que não levei em conta o não deslizamento e a consequência disso. Por isso o meu raciocínio foi direcionado para outro lado. Aliás, este problema lembrava o da engrenagem feito em aula. Na parte teórica, sabia que a velocidade do centro instantâneo de rotação era zero e que a velocidade do ponto era perpendicular à sua posição. Interpretei a

velocidade V_c como a velocidade do cilindro – li como se fosse um cilindro. Com isto interpretei mal o enunciado.”

A estratégia de acessar informações de problemas já resolvidos falhou por não considerar as diferenças contextuais entre o sistema físico da prova e os já discutidos em aula.

Aluno 7 : Achei este problema bastante difícil, não reconheci nenhum parecido com algum que tivéssemos trabalhado nas listas. Mas como sugeriste o método de translação e rotação, isto foi uma dica . Interpretei a velocidade de O como $2i$, porque julguei ser V_c a velocidade do centro do disco. Esta interpretação perturbou o desenvolvimento. Sobre o “CIR” , eu sabia como achá-lo, ou, pelo menos, os passos de como achá-lo, mas fui enganado pela minha interpretação equivocada.”

Interpretação equivocada contribuiu para direcionar mal sua resolução.

Aluno 8 : *“Costumo sempre anotar os dados; primeiro leio duas ou três vezes, depois da primeira boto os dados, na segunda tento entender até achar um sinal: agora eu sei o que faço. Gosto igualmente de analisar o resultado final. Desta vez não fiz isto e “rateei”. Sabia que a velocidade era do primeiro quadrante, mas não consegui entender que era perpendicular a direção AB, para então traçar o centro instantâneo de rotação. Inclusive as componentes do raio já estavam prontas na figura, era só identificá-las. Na hora da prova tive dúvidas na direção do produto vetorial $\mathbf{i} \times \mathbf{j}$ ser \mathbf{k} ou $-\mathbf{k}$, mas daí usei um macete que aprendi com o professor de cálculo, uma regra gráfica. O macete facilita a resolução.”*

Macetes são novamente empregados. O “sinal” parece o resultado de um “insight”. Novamente a falta de um problema-referencial mais aproximado não permitiu o desenvolvimento pleno do problema.

Pudemos observar algumas regularidades no depoimento destes alunos que merecem uma reflexão.

A conseqüência da falta de deslizamento entre os discos A e B, de fundamental importância para o desenvolvimento do item c) da primeira questão, foi realmente entendida

ou o seu desenvolvimento foi resultado de um procedimento mecânico baseado na resolução de um outro problema semelhante?

Por que esta mesma condição não foi interpretada da mesma forma na questão 2?

A resposta pode encontrar explicação se considerarmos que em nenhum momento dos exercícios e situações trabalhadas em aula, o movimento de rolamento acontecia sobre uma superfície em movimento. Por outro lado, esta situação impediria que o centro instantâneo de rotação se localizasse no ponto de contato com a superfície, pois o modelo físico impõe que neste ponto a velocidade seja nula.

Isto nos fez concluir que os modelos mentais dos alunos com relação a este modelo físico tenham sofrido restrições talvez provocados pelo próprio professor.

Nersessian (1995) refere-se à dificuldade dos alunos (novatos) em reconhecerem, espontaneamente, a relevância para novas situações de trabalho, do que já foi realizado em problemas prévios. Esta “modelagem genérica” é uma componente significativa da modelagem construtiva praticada por especialistas. Por outro lado, mudar as representações dos novatos requer mais do que rearranjar elementos existentes ou acrescentar novos fatos à estrutura existente. Requer construir novos conceitos e trabalhá-los em novas estruturas. O que não deixa de ser um processo de resolver problemas.

A modelagem construtiva é um processo semântico. Os modelos produzidos são interpretações derivadas de textos, equações, diagramas e quaisquer outras fontes de informação, como as discussões feitas com os colegas e/ou professor, todas sendo processadas nas representações mentais do solucionador do problema.

Para serem capazes de integrarem em uma estrutura coerente os modelos físicos que constituem, em geral, idéias pouco familiares, é necessário dar-lhes múltiplas oportunidades para aplicarem os mesmos conceitos e raciocínios em diferentes contextos para que possam refletir nestas experiências e generalizar a partir delas (McDermott, 1992).

Se considerarmos a teoria do processamento da informação, a memória de curto prazo além de ter uma capacidade limitada com relação à atenção, também tem uma duração

limitada. Certas atividades não realizadas em muito pouco tempo, normalmente são esquecidas ou, pelo menos, são muito difíceis de recuperar. A atenção é o primeiro processo necessário para que o aluno aprenda. Se não dedicamos nossa atenção a algo, é pouco provável que o aprendamos. (Pozo, 1997)

Já a recuperação dos conhecimentos aprendidos depende muito de como foram adquiridos, da organização recebida pela informação no momento da aquisição e das relações com conhecimentos anteriores. Outro aspecto diz respeito à influência do contexto para sua posterior recuperação. Quanto mais parecidas as situações de aquisição e recuperação, mais fácil resultará esta última.

Finalmente, o processo de generalização ou capacidade de usar os resultados adquiridos em situações novas é um processo difícil, que requer que sejam geradas condições de aprendizagem que o favoreçam,

Conclusão

Este trabalho pretende ser um estudo preliminar de um projeto maior, que tem como propósito investigar a modelagem dos alunos em tarefas de resolução de problemas, tendo como fundamentação teórica a teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird. O resultado permitiu que fossem detectadas algumas modelagens construídas pelos alunos em situações de avaliação, e a influência do professor neste processo. O que serviu para uma retomada e reavaliação do processo de ensino, enfocando alguns aspectos que podem contribuir para melhorá-lo:

1. Retomar os conteúdos trabalhados, apresentando mais oportunidades de aplicarem conceitos e raciocínios. Oferecer condições para que aprendam.
2. Uma dificuldade específica na construção de modelos conceituais é a tendência de raciocinar localmente, em lugar de globalmente. Estar ciente disso durante o processo de ensino.
3. Explorar qualitativamente o problema através da inserção de questões conceituais.
4. De preferência, corrigir a prova e devolvê-la no menor tempo possível; o ideal é na aula seguinte à sua realização. Neste momento todos os alunos estão motivados pela sua

discussão, o que permite um maior aproveitamento na revisão e síntese das características do processo envolvendo os conteúdos trabalhados.

A pesquisa tem prosseguido neste semestre e o mesmo aconteceu no anterior. Esperamos que os resultados parciais que estão sendo obtidos corroborem e sejam consistentes com a nossa crença de que é possível intervirmos positivamente no processo de modelagem construídos pelos nossos alunos e desta forma favorecermos a aprendizagem dos modelos físicos.

Referências

- AUSUBEL, D.P., NOVAK, J.D., HANESIAN, H. Psicologia educacional. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.
- BEER, F.P., JOHNSON, E.R. Mecânica Vetorial para Engenheiros – Cinemática e Dinâmica. 5 ed. São Paulo: Editora McGraw-Hill, 1991.
- COSTA, S.S.C. Resolução de problemas e aprendizagem em Física. Porto Alegre: UFRGS, 1997. Dissertação de mestrado.
- COSTA, S.S.C., MOREIRA, M.A. Resolução de Problemas I: diferenças entre novatos e especialistas. Investigações em Ensino de Ciências, v.1, n. 2, p. 176-192, agosto, 1996.
- COSTA, S.S.C., MOREIRA, M.A. Resolução de Problemas II: propostas de metodologia didáticas. Investigações em Ensino de Ciências, n. 2, v.1, março, 1997a.
- 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, n. 2, v. 2, agosto, 1997b.
- COSTA, S.S.C., MOREIRA, M.A. Resolução de problemas IV: estratégias para resolução de problemas. Investigações em Ensino de Ciências, n. 2, v.3, dez., 1997c.
- GENTNER, D., STEVENS, A.L. (Eds.) Mental models. Hillsdale: Lawrence Erlbaum, 1983.
- HIBBELER, R.C. Mecânica – Dinâmica. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1985.
- HALLOUN, I. (1996). Schematic Modeling for meaningful learning of physics. Journal of Research in Science Teaching, n. 33, v. 9, p. 1019-1040, 1996.
- JOHNSON-LAIRD, P.N. Mental Models. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1983.
- McDERMOTT, L.. Como ensinamos y como aprenden los estudiantes: un desajuste? In: IV CONFERENCIA INTERNACIONAL SOBRE ENSEÑANZA DE LA FÍSICA MODERNA. Badajoz, España, julio de 1992.

MOREIRA, M.A. Modelos Mentais. In: ENCONTRO SOBRE TEORIA E PESQUISAS EM ENSINO DE CIÊNCIAS – LINGUAGEM, CULTURA E COGNIÇÃO, Faculdade de Educação da UFMG, Belo Horizonte, 5 a 7 de março de 1997.

NERSESSIAN, N.J. Should physicists preach what they practice? Construtive modeling in doing and learning Physics. Science and Education, n.4, p. 203-226, 1995.

NORMAN, D.A. Some observations on mental models. In: GENTNER, D., STEVENS, A.I. (Eds). Mental Models. Hillsdale: Lawrence Erlbaum, 1983, p. 6-14.

POZO, J.I. (1997). Sobre las relaciones entre el conocimiento cotidiano de los alumnos y el conocimiento científico: del cambio conceptual a la integración jerárquica. A ser publicado em Enseñanza de las ciencias.

VOSNIADOU, S. Capturing and modelling the process of conceptual change. Learning and Instruction, n. 4, v. 1, p. 45-69, 1994.

4.2 Segunda Etapa — A resolução de problemas como um tipo especial de aprendizagem significativa

Esta segunda etapa de estudos empíricos teve como objetivo *mostrar que a modelagem mental de um enunciado é difícil para os alunos, por sua natureza representacional externa, ainda que se utilize o recurso de figuras associadas a esse enunciado; como hipótese de trabalho: sem uma modelagem mental adequada, diferenças aparentemente pequenas entre enunciados de problemas revelam-se grandes obstáculos.*

Foi escolhido um tema, *movimento geral plano*, para ser o pano de fundo desta segunda etapa. Procedeu-se à apresentação e discussão do modelo conceitual¹² que inclui duas formas de encarar o movimento: por meio de translação e rotação ou por meio de uma rotação em torno de um eixo instantâneo de rotação; um modelo misto também é viável.

Nas aulas exclusivas de problemas, já citadas na primeira etapa, era possível interagir-se mais com os alunos, o que gerava uma identificação mais clara das dificuldades que manifestavam frente aos enunciados e estratégias de solução, que eram registradas após as aulas. De posse destes dados, comparou-se a resolução de um determinado tipo de enunciado, envolvendo o tema anterior, em quatro versões, similares na representação externa — todos os enunciados eram acompanhados de uma figura representativa do sistema — que guardava uma certa semelhança entre si. Um deles foi discutido em aula, um outro fez parte da lista de problemas que era feita nas aulas específicas e os outros dois foram propostos em avaliações, ocorridas em semestres diferentes (63 alunos, no total).

Os desempenhos orais e escritos, manifestados na aula de resolução de problemas e somente escrito, na avaliação, constituíram os dados que foram analisados também percentualmente, quanto ao modelo mental possivelmente utilizado. A teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird subsidiou o trabalho juntamente com a teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel.

O artigo completo, a seguir, detalhará estes aspectos.

¹² Modelo conceitual é o modelo da Física, projetado por um especialista (o professor, por exemplo), para facilitar a compreensão ou o ensino.

A RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS COMO UM TIPO ESPECIAL DE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA¹³

Sayonara Salvador Cabral da Costa
Faculdade de Física - PUCRS
Marco Antonio Moreira
Instituto de Física - UFRGS
Porto Alegre - RS

Resumo

Descreve-se um estudo, com estudantes universitários, na área de resolução de problemas relativos ao tema movimento de um corpo rígido, no qual argumenta-se que diferenças aparentemente pequenas no enunciado de problemas podem representar grandes dificuldades para os alunos. A hipótese de trabalho é que tais diferenças não se constituiriam em grandes obstáculos se os sujeitos construíssem modelos mentais das situações problemáticas ao invés de buscarem a solução por similaridade.

Palavras-chave: resolução de problemas; movimento de um corpo rígido; modelos mentais.

I. Introdução

A resolução de problemas em sala de aula é uma habilidade pela qual o indivíduo externaliza o processo construtivo de aprender, de converter em ações, conceitos, proposições e exemplos adquiridos (construídos) através da interação com professores, pares e materiais instrucionais.

A teoria de aprendizagem de David Ausubel, no que diz respeito à atividade de resolução de problemas, atribui-lhe o “status” de “qualquer atividade na qual a representação cognitiva de experiência prévia e os componentes de uma situação problemática apresentada são reorganizados a fim de atingir um determinado objetivo” (Ausubel, 1968, p. 533).

¹³ Trabalho apresentado no III Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa, Peniche, Portugal, 11 a 15 de outubro de 2000 e publicado no Caderno Catarinense de Ensino de Física, v. 18, n. 3, p. 263-277, dez. 2001.

É evidente, sob essa abordagem, que a estrutura cognitiva preexistente desempenha papel preponderante na resolução de problemas, ainda mais levando-se em conta que a busca de solução de qualquer problema envolve uma readaptação do resíduo da experiência prévia frente às demandas da nova situação problemática a ser enfrentada. Se a estrutura cognitiva já possui as subsunções adequadas para permitir a reorganização do conhecimento, a resolução do problema terá cumprido o seu papel para a aprendizagem significativa. Neste sentido, resolver um problema pode ser encarado como um meio para promover tal aprendizagem – por exemplo, o surgimento do “insight”, conforme a concepção de Ausubel, resulta de um processo de clarificação progressiva sobre relações de meio-e-fim fundamentadas na formulação, verificação e rejeição de hipóteses alternativas.

Justamente sob este aspecto, Joseph Novak encara a resolução de problemas como “... um caso especial de aprendizagem significativa” (Novak, 1981, p.108), na medida em que esta tarefa requer incorporação, dessa maneira, da nova informação na estrutura cognitiva do sujeito que a realiza.

Nossas hipóteses de pesquisa em resolução de problemas apóiam e têm reforçado esta concepção (Costa e Moreira, 1996; 1998). Devemos, outrossim, chamar a atenção sobre o que consideramos *problemas* em nosso trabalho. Identificamos como problemas as situações problemáticas de papel e lápis encontradas nos textos de Física com os quais trabalhamos em sala de aula e que se diferenciam de um *exercício* na medida em que exigem muito mais do que memorização e aplicação mecânicas de fórmulas.

Partimos do pressuposto de que os exercícios são importantes uma vez que habitualmente pretendem consolidar determinadas habilidades que serão exigidas em tarefas de resolução de problemas; mas *nosso objetivo é trabalhar com atividades que enfoquem o conhecimento do conteúdo específico, da lógica e de estratégias também específicas da situação apresentada.*

O trabalho, que aqui relatamos e que vem sendo desenvolvido desde o segundo semestre de 1997, dará um destaque especial aos problemas típicos, preconizados por Ausubel como exemplares de uma classe para os quais certos princípios e operações são aplicáveis. Apesar de alguns pesquisadores, como Daniel Gil e Carlos Furió questionarem a eficácia deste tipo de problemas para promover a aprendizagem significativa (Gil e Torregrosa, 1983; Gil et al., 1998), nossa escolha endossa o argumento dado por Zylbersztajn (1998) que os vê segundo uma perspectiva kuhniana (Kuhn, 1994) como componentes da matriz disciplinar que compreende o fazer e ensinar ciências (Moreira e Costa, 1999).

Referindo-se especificamente à Física, Zylbersztajn argumenta (op. cit. p.12) “...estes problemas encontram seu lugar no ensino como um veículo para se ensinar a teoria, por meio de aplicações à “natureza idealizada” de que trata a ciência curricular, sendo instrumentais para familiarizar os estudantes com uma nova linguagem, com procedimentos matemáticos e com formas de raciocínio típicos da profissão, como, por exemplo, a análise dimensional e a aplicação de soluções gerais a casos limites....(além disso) apresentam potencialmente a possibilidade de se fazer uma boa parte do que Daniel Gil apresenta como vantagens dos problemas abertos, por ele defendidos: análise qualitativa da situação física, discussão teórica, verbalização da resolução, análise dos resultados e de casos limites.”

A seguir apresentaremos a linha mestra de nosso trabalho, que envolve a atividade sistemática de alunos universitários para desenvolver e aplicar o conhecimento em Física em tarefas de resolução de problemas, subsidiada pela teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird (1983). Esta teoria e a da Aprendizagem Significativa de Ausubel e Novak (1980; Moreira, 1999) não são incompatíveis; ao contrário, podem ser vistas como complementares, na medida em que acreditamos que a teoria dos Modelos Mentais nos permite avançar em relação à análise fundamentada por esta última.

II. Fundamentação teórica

A teoria dos Modelos Mentais (Johnson-Laird, 1993; Gentner e Stevens, 1983; Moreira, 1996) constitui-se em um novo referencial da Psicologia Cognitiva e tem

arregimentado adeptos na pesquisa em ensino de ciências nesta última década, como demonstra a literatura (e.g., Colinvaux et al., 1998).

Já a pesquisa em resolução de problemas, ao longo das últimas décadas, tem se fundamentado principalmente em teorias de processamento da informação (Costa e Moreira, 1996), o que é de alguma forma compreensível, uma vez que destaca a importância de como o resolvidor processa a informação tanto do seu conhecimento prévio como a que está contida no enunciado do problema. Acompanhando estas pesquisas e outras, em menor número, fundamentadas em Piaget, Ausubel e Vygotsky, pareceu-nos importante investir na questão da compreensão significativa do enunciado.

A compreensão do enunciado depende de diversas variáveis, dentre as quais destacamos a questão das representações: o enunciado é uma representação externa, uma descrição lingüística que pode ou não ser acompanhada por representação pictórica (gráficos, figuras) de uma situação física modelada. O sujeito deve, portanto, ser capaz de dar significado à representação externa do problema, mas para isso ele necessita representá-la também internamente, ou seja, mentalmente, através de imagens, proposições ou modelos mentais.

Modelagem é um termo genérico que envolve, no nosso caso, modelos físicos, conceituais e mentais. Identificamos como *modelo físico* a descrição resultante das proposições da teoria referente a um sistema ou fenômeno físico simplificado e idealizado; *modelo conceitual* é aquele projetado por pesquisadores ou professores para facilitar a compreensão ou o ensino de sistemas físicos; *modelo mental* é um análogo estrutural do sistema físico, ou seja, sua estrutura corresponde à estrutura da situação física modelada.

Ao contrário dos modelos físicos e conceituais, os modelos mentais são representações internas, construtos pessoais não tão precisos ou consistentes como os primeiros, mas devem ser funcionais para o indivíduo que os constrói (Norman, apud. Gentner e Stevens, 1983, p.8).

Ora, a compreensão do enunciado de um problema requer a construção de um modelo mental. Por outro lado, o enunciado é quase sempre formulado através de um discurso linguístico (acompanhado ou não de representações pictóricas como desenhos, gráficos, tabelas, diagramas). Estas proposições lingüísticas contêm indeterminações e ambigüidades que dificultam a construção de modelos mentais. Quando uma pessoa faz uma representação mental de um texto, de acordo com Bransford (apud Garham, 1997, p.154) o processo de construção não está baseado apenas no que está explícito no texto, mas em uma combinação de informações do texto e informações armazenadas na memória (no caso, o conhecimento prévio do sujeito em Física). Quando os enunciados dos problemas envolvem Física, a modelagem mental é agravada pelo fato de ser derivada da compreensão de conteúdos e não da percepção direta de eventos e objetos do mundo. A construção de um modelo mental a partir de enunciados de problemas de Física como os que geralmente propomos aos nossos alunos parece ser uma tarefa nada trivial. Obviamente, entender um enunciado não significa saber resolver o problema que ele apresenta, mas, sem dúvida, não entendê-lo é a primeira condição para não avançarmos no conhecimento que ele poderia gerar.

Segundo Zhang, (1997, p.180), dependendo da informação contida na representação externa, ela pode ser captada, analisada e processada por sistemas perceptivos somente, apesar de que a participação “top-down” do conhecimento conceitual da representação interna pode, em certas circunstâncias, facilitar ou inibir os processos perceptivos.

Zhang e Norman (1994) defendem a abordagem da cognição distribuída, contrariando outros pontos de vista (Greeno e Moore, 1993), na qual a representação de uma tarefa cognitiva é concebida a partir de representações distribuídas, constituindo-se as duas representações, internas e externas, partes indispensáveis. Por representação interna entende-se o conhecimento e sua estrutura na memória, como proposições, produções e esquemas, o próprio modelo mental. A informação nas representações internas têm que ser recuperadas da memória por processos cognitivos, apesar de que algumas características na representação externa, algumas vezes, podem disparar os processos de recuperação.

As representações externas podem ser transformadas em internas pela memorização. Quando as representações externas estão sempre disponíveis, esta internalização não se faz

necessária; no caso da representação externa ser muito complexa, a internalização não ocorrerá (Zhang, 1997, p.181).

Em resolução de problemas, diagramas, figuras, gráficos são protótipos de representação externa. Estudos feitos por Chambers e Reisberg (apud. Zhang, 1997), sobre a relação entre imagens mentais e figuras externas, mostraram que as figuras podem dar ao indivíduo o acesso ao conhecimento e habilidades que não estavam disponíveis nas representações internas. Em problemas que envolvem principalmente figuras, como no caso deste trabalho, Larkin e Simon (1997) argumentam que a vantagem das figuras é computacional: podem constituir-se representações melhores não porque contêm mais informações, mas porque a indexação desta informação à representação interna pode suportar processos computacionais mentais eficientes e extremamente úteis.

Nosso objetivo é mostrar que a modelagem mental de um enunciado é difícil para os alunos, por sua natureza representacional externa, ainda que utilizemos o recurso de figuras associadas a esse enunciado; sem um modelo mental adequado, diferenças aparentemente pequenas entre problemas (problemas que guardam similaridades aparentes) podem representar sérios obstáculos. Acreditamos que podemos contornar estas dificuldades inerentes ao discurso escrito e gráfico provendo ao aluno condições necessárias para a modelagem envolvendo o domínio conceitual e procedimental do conteúdo específico.

III. Metodologia

O estudo que estamos apresentando foi realizado com alunos do primeiro autor, na disciplina de Mecânica Geral, do 3º semestre dos cursos de Engenharia e Física da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS). Esta disciplina aborda preferencialmente a mecânica de corpos rígidos, onde o formalismo matemático é bastante exigido. A carga horária semanal é de 6 horas-aula. As turmas com as quais trabalhamos tinham dois encontros semanais de 3 horas-aula cada.

A metodologia empregada nesta disciplina, desde algum tempo (Costa e Moreira, 1998), inclui, além das aulas expositivas, onde o conteúdo é exaustivamente discutido e exemplificado em situações práticas, sessões exclusivas de resolução de problemas, em

pequenos grupos, de dois a quatro alunos, assistidos pelo professor. Durante estas aulas, pode-se interagir bastante com os alunos e identificar melhor suas dificuldades, dúvidas e posicionamentos frente aos enunciados dos problemas e às estratégias de solução. Os problemas propostos são retirados dos livros-textos que compõem a bibliografia indicada, sendo, portanto, considerados problemas típicos .

Para a pesquisa propriamente dita, empregamos a análise qualitativa de observações e anotações subseqüentes de comentários, manifestações de dúvidas e perguntas em geral, formulados pelos alunos nestas aulas específicas de resolução de problemas, além da análise das verificações de avaliação (individuais) que lhes foram propostas.

Estas verificações de aprendizagem foram concebidas propondo problemas envolvendo situações que para os alunos fossem *aparentemente* similares às desenvolvidas em sala de aula. A questão da similaridade foi assim tratada: os problemas escolhidos *lembravam* outros, mas apresentavam pequenos desvios, que pudessem representar ao mesmo tempo quase que situações novas, mas contendo excertos que evocassem aspectos já discutidos. A proposta de Ausubel de evitar a “simulação da aprendizagem significativa” e formular problemas de uma maneira nova e não familiar (Moreira, 1999, p.156), foi contemplada em certa medida.

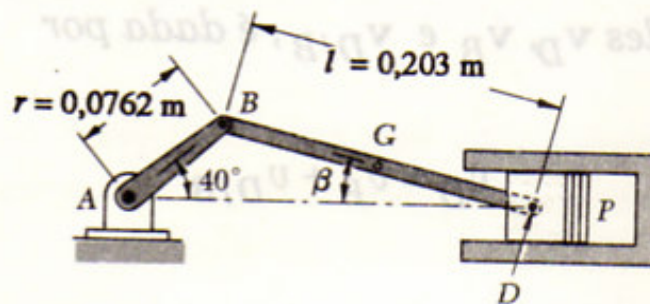
Para ilustrar nossa abordagem escolhemos como tema o movimento de um corpo rígido, especialmente, o *movimento geral plano*. Os modelos físicos que descrevem este movimento, tratam-no como uma combinação de movimentos de translação e rotação ou como uma rotação pura em torno de um eixo instantâneo de rotação.

Na apresentação destes modelos, foram discutidos alguns exemplos que os evidenciavam. Entre eles, escolhemos um problema, chamado neste trabalho de *Problema 1*, que guarda uma similaridade com outros três, um deles proposto na lista de problemas, e que identificaremos por *Problema 2*, e os outros dois (*Problema 3* e *Problema 4*), incluídos nas avaliações individuais em dois semestres diferentes, respectivamente, 1º/1998 e 1º / 2000. A similaridade referida diz respeito principalmente à representação externa incluindo o

enunciado e as figuras que o acompanham, como pode-se ver na apresentação destes problemas, feita logo a seguir.

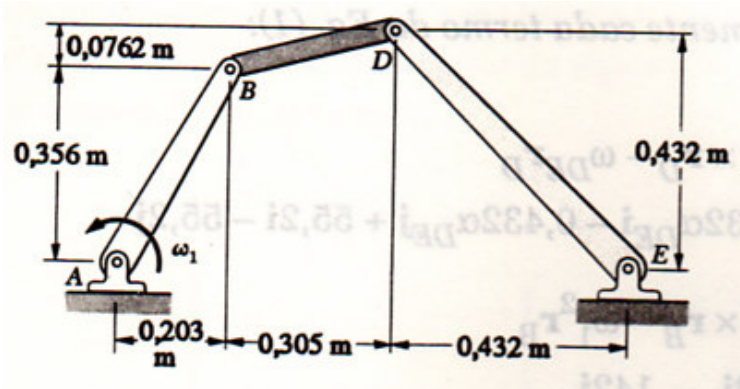
Problema 1 (Beer e Johnston, 1991, p.425)

No sistema motor esboçado na figura, a manivela AB possui uma velocidade angular constante de 2000 rpm, no sentido horário. Determinar para a posição indicada na figura: a) a velocidade angular da biela BD ; b) a velocidade do pistão P .



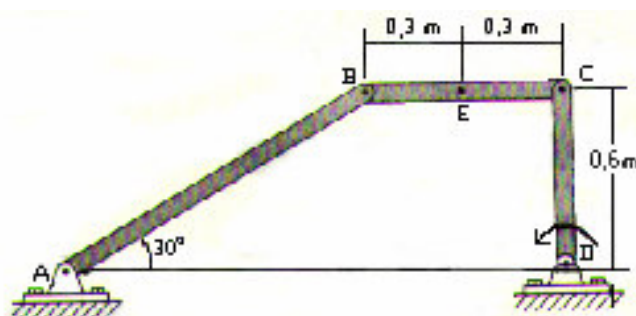
Problema 2 (Beer e Johnston, 1991, p. 453)

O sistema articulado $ABCD$ se movimenta no plano vertical. Sabendo que a manivela AB gira no sentido anti-horário com velocidade angular constante de 20 rad/s, determine as velocidades e acelerações angulares da barra BC e da manivela CD , para a configuração indicada no esquema.



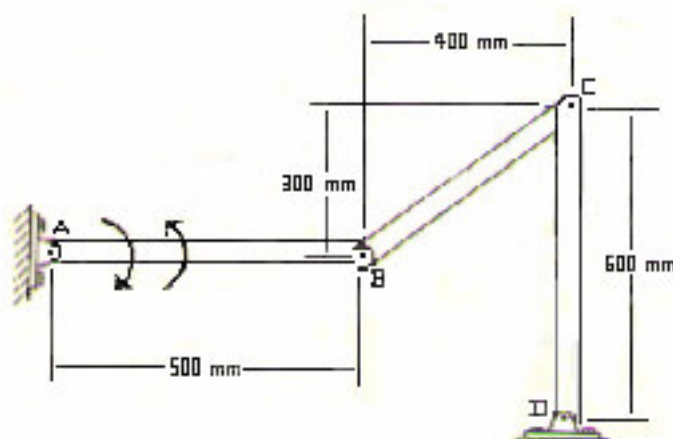
Problema 3 (inspirado em Hibbeler, 1985, p. 274)

Na figura abaixo, sabe-se que a velocidade da barra CD é $\omega_{CD} = 6 \text{ rad/s}$, relativa ao sentido indicado. a) Classifique os movimentos da cada parte do sistema entre translação, rotação e geral. Justifique sua escolha; b) Localize graficamente o centro instantâneo de rotação (CIR) para a barra BC e explique o seu significado; Determine: c) a velocidade angular da barra AB e d) a velocidade do ponto E na barra BC, ambas no instante indicado



Problema 4 (inspirado em Beer e Johnston, 1985, p. 431)

No instante mostrado na figura, a manivela guia AB, do mecanismo de quatro articulações, gira no sentido horário com velocidade $4,0 \text{ rad/s}$. a) Classifique o movimento de cada parte do mecanismo; b) Localize graficamente o centro instantâneo de rotação (CIR) da barra BC e interprete o seu significado; c) Determine as velocidades angulares das barras BC e CD.



Nos quatro casos, a representação externa é constituída por uma representação sentencial e uma diagramática. Acreditamos que a apresentação diagramática dos enunciados favorece o reconhecimento do problema como uma versão de outro conhecido, uma vez que as proposições contidas nos enunciados não incluem todos os elementos que podem desencadear esta identificação. Esta característica pode ser considerada como a maior diferença nos dois tipos de representação externa. Se a descrição do problema fosse dada somente através de proposições, todos os elementos deveriam ser construídos explicitamente (ou talvez em parte por algum processo imagístico interno).

As representações sentenciais nos quatro problemas apresentam informações semelhantes que só adquirem significado para a situação específica depois de serem decodificadas e articuladas ao diagrama, que também deve ser significativamente interpretado.

Queremos deixar bem claro que os problemas aqui apresentados foram escolhidos pela similaridade das suas representações externas . Em outras palavras, eles não foram os únicos problemas que abordaram o conteúdo *movimento geral de um corpo rígido*.

A discussão do Problema 1 aconteceu na seguinte ordem:

1) a figura foi decodificada através da identificação do movimento do sistema como um todo;

2) antes de integrar os elementos informados no enunciado, discutiu-se o tipo de movimento de cada parte do sistema;

3) a leitura e interpretação do enunciado foi feita, destacando-se a diferença entre a simples identificação dos dados, comparada com a quantidade de informação contida nos mesmos.

Aqui, as representações internas, ou seja, os modelos mentais ou proposições ou imagens, são especialmente requeridos. Consideramos este processo condição necessária para a execução da tarefa de resolução do problema. Para Chi et al. (1989), por exemplo, o desempenho dos indivíduos em resolver problemas dependem, muito mais da forma como eles representaram o conhecimento do que da eficiência com que converteram-no em habilidades, segundo a teoria ACT (“Adaptive control of thought”) de John Anderson (1983).

Voltando-se à figura, discutiu-se as condições para utilizar-se os modelos físicos a fim de atingir-se as metas do problema. Neste ponto, foi enfatizada a relevância da existência de pontos comuns a partes da engrenagem – através do movimento de rotação da manivela AB poder-se-ia calcular a velocidade do ponto B, que também pertence à biela BD. Por outro lado, o ponto D é comum à biela e tem a mesma velocidade do pistão P.

A partir destes pontos comuns, procedeu-se à descrição de uma estratégia possível, prevista pelo modelo, incluindo sua representação matemática. Deste estágio em diante, novas estratégias foram requeridas, agora para “rodar” o modelo físico, incluindo conhecimentos em álgebra vetorial.

Nesta etapa, outros caminhos alternativos foram sugeridos para a resolução de prob. 1, mas não concretizados, todos baseados na interpretação do modelo físico de rotação e translação para movimento geral de um corpo rígido. Cada um destes caminhos apresentava uma certa dificuldade com respeito ao formalismo matemático e/ou gráfico. Optamos por escolher uma estratégia mais simples, segundo nosso critério, e que poderia ser generalizada mais facilmente para novas situações.

Como se pode ver até aqui, este tipo de problema requer que o aluno construa um modelo mental que inclua, além do domínio conceitual e procedimental, conhecimentos inerentes ao formalismo matemático.

É importante que seja dito que a discussão deste problema (discussão no sentido de examinar questionando) foi feita por um longo período (equivalente a mais de uma hora-aula), com diversas interrupções ocasionadas por dúvidas de um ou vários alunos.

O Problema 2, incluído na lista de problemas, gerou uma reação quase que coletiva. Foram poucos os grupos (cerca de 4 em 12) que tiveram a iniciativa e independência para iniciar o problema. A maioria não percebeu a similaridade com o Problema 1, nem que este novo problema trazia uma vantagem em relação ao anterior: as coordenadas dos pontos “comuns” eram conhecidas. Em contrapartida, mesmo sem solicitar-se no problema, os diversos grupos manifestaram terem reconhecido os tipos de movimentos das partes, inclusive justificando-os. A diferença maior que este problema apresentava em relação ao anterior era que, neste caso, a velocidade de um dos pontos comuns das partes da engrenagem estava comprometida com uma das incógnitas. Aqui estava a pequena GRANDE diferença que permitia que avançássemos em relação ao domínio do conteúdo: a mesma estratégia de solução poderia ser novamente utilizada, desde que adaptada às novas dificuldades para concretizá-la.

Por outro lado, este problema tratava da questão envolvendo a aceleração das partes do sistema. O modelo físico precisava ser recuperado. Mesmo que a estratégia fosse a mesma já usada para a velocidade, i) a identificação do modelo físico referente à aceleração requer maior comprometimento com a capacidade da memória de trabalho no resgate do modelo conceitual (ou mental) na memória de longo prazo (e. g., cada movimento, em princípio, contribui com duas componentes de aceleração) e, ii) o “método” matemático necessariamente terá no seu bojo novos elementos que deverão aumentar sua complexidade.

Estes dois problemas foram, mais tarde, analisados pelo professor segundo um modelo físico alternativo de interpretação do movimento geral: o da *rotação pura em torno de um eixo instantâneo*.

Por este modelo, a resolução do problema, em termos analíticos, é simplificada, desde que o aluno tenha uma representação interna adequada do conhecimento requerido (de preferência, um modelo mental) e domine relações envolvendo geometria plana. Esta última

condição é, às vezes, determinante para que o sujeito abandone este modelo, preferindo o primeiro, que envolve translação e rotação combinadas.

Sobre este tema, a escolha dos alunos por um ou outro modelo parece estar em consonância com o poder computacional das regras de inferência para uma tarefa particular. Um bom modo de adquirir habilidades em qualquer domínio pode ser atribuído à aquisição gradual de procedimentos de inferência de domínio específico, incluindo ações e condições evocadas (Larkin, Simon, 1987, p.81).

É competência do aluno, examinando problemas resolvidos, exemplos, trabalhando nos problemas, ou de outra maneira, criar regras de “condição-ação” para enfrentar novos problemas. (Simon, 1979). Pode-se pensar nestas regras baseadas em um modelo mental ou outra representação interna. Nesse sentido, parece que os alunos sentem-se mais à vontade com um dos modelos físicos, ou, como eles preferem, um “método” para resolver os problemas.

Alguns alunos conseguem integrar os modelos conceituais e perceber que isto pode facilitar a resolução dos problemas. Nos problemas que foram apresentados nas avaliações individuais (prob. 3 e 4), este procedimento foi implicitamente encorajado. Nos dois casos, foi solicitado que os alunos encontrassem graficamente o centro instantâneo de rotação (CIR) para a parte do sistema que efetuava um movimento geral (não com estas palavras....). Como era de se esperar, visto que a atividade em aulas de problemas já evidenciava uma tendência de escolha quase que “definitiva” de modelo, os resultados das percentagens de alunos versus modelo conceitual escolhido resultaram em frações maiores para um modelo específico, e uma fração bem menor para modelos “híbridos”. Uma fração maior do que esta última foi indexada para alunos que não cumpriram a tarefa até o ponto de fazerem esta escolha, razão pela qual foram classificados em “não fizeram a tarefa”. A tabela 1 abaixo retrata estes números:

Tabela 1. Percentagens de alunos, por grupo trabalhado, em relação à escolha de modelo físico para subsidiar a resolução de problema

Grupo \ Modelo	Translação/rotação	Rotação	Misto	Não fizeram
I/98 (N=43)	37,2%	25,6%	16,3%	20,9%
I/2000 (N=30)	26,7%	36,7%	6,6%	30%

inversão na percentagem de alunos quanto à escolha do modelo físico para resolver os problemas pode ser atribuída às condições específicas da representação externa (enunciado acompanhado por figuras) dos mesmos. No primeiro deles (prob.3), a localização do centro instantâneo de rotação (C.I.R.) apresenta uma leve complexidade em relação à mesma tarefa pedida no prob.4, uma vez que, no primeiro, as direções das velocidades dos pontos B e C não são tão aparentes quanto no segundo. Por outro lado, uma vez identificado o C.I.R. nos dois casos, a escolha do modelo físico tratando o movimento geral como rotação pura era mais previsível no prob.4, pela facilidade geométrica enfocada na situação da figura que representava o instante analisado no problema. Acreditamos que talvez isto explique a diferença entre a percentagem na escolha do modelo híbrido para os dois períodos da pesquisa.

IV. Conclusão

Pode-se afirmar que existe um certo consenso entre os educadores que os alunos deveriam saber resolver problemas uma vez que lhes fossem apresentados exemplos “parecidos” com os solicitados. Outros ainda consideram que a resolução deste tipo de problemas não promove a aprendizagem significativa , uma vez que seriam considerados exercícios de fixação de algumas regras já discutidas em outra oportunidade. Neste trabalho, que dá seguimento a outro sobre modelagem em resolução de problemas (Costa e Moreira, 1998), pretendemos refutar esta crença apresentando um relato de observações geradas por alunos de um curso universitário. Através da proposta de problemas similares a exemplos resolvidos, pudemos constatar que uma aparente pequena diferença no enunciado dos problemas resulta em significativas mudanças relativas ao encaminhamento de sua resolução. Nossa hipótese de trabalho sugere a necessidade de o aluno representar internamente cada situação problemática que lhe é proposta, no sentido de resgatar seus conhecimentos que lhe

permitam elaborar um caminho para a interpretação, reavaliação e desenvolvimento da mesma. Cremos que a presença de um modelo mental na tarefa de resolução de problemas é condição necessária para buscar a aprendizagem significativa. Escolhemos problemas típicos de finais de capítulos para corroborar outra hipótese, a de que estes problemas podem ser incorporados aos problemas que promovem a aprendizagem significativa. Tudo depende de como eles são trabalhados.

Quando nos referimos à resolução de problemas como um tipo especial de aprendizagem significativa, esta do ponto de vista de Ausubel e Novak (Ausubel, Novak e Hanesian, 1980), e utilizamos como fundamentação teórica a teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird (1983; Moreira, 1996), pretendemos dizer que, na nossa concepção, a aprendizagem obtida através da resolução de problemas será tanto mais significativa quanto maior for a capacidade em modelar. Segundo Halloun (1996), a Física é uma ciência de modelos e a modelagem é uma atividade sistemática dos físicos para construir e aplicar o conhecimento científico.

Na literatura, encontramos controvérsias sobre generalizações induzidas de exemplos. Há duas tendências (Chi et al., 1989): 1) teorias baseadas em uma abordagem de similaridades – consideram que as generalizações são desenvolvidas por induzirem um princípio a partir de múltiplos exemplos (a teoria ACT de Anderson, 1983, é um exemplo); 2) teorias baseadas em um enfoque de explicações – consideram que a generalização pode ser obtida de um ou poucos exemplos.

Nossa conclusão defende a segunda corrente baseada na convicção formulada a partir da experiência, que só é possível ao indivíduo construir explicações se ele possui a compreensão da teoria de domínio, o que significa dizer que ele possui um modelo mental compatível com o modelo consensual científico.

O trabalho aqui apresentado foi feito com alunos universitários, enfocando um conteúdo específico para os cursos de Engenharia e Física. Isto significa que a argumentação em favor da inserção deste tipo de exercício/problema, típicos dos livros especializados, não

pode ser generalizada para cursos de ensino médio e fundamental, nos quais os objetivos, no que diz respeito ao ensino de Física / Ciências, não são exatamente os mesmos de um curso universitário. De qualquer forma, a reflexão que propomos, extraída do estudo específico que fizemos, pode ser endereçada a todos os professores, independente do nível em que trabalham.

V. Referências

- ANDERSON, J.R.(1983). The architecture of cognition. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- AUSUBEL, D.P. (1968). Educational psychology: a cognitive view. New York: Holt, Rineheart and Winston.
- AUSUBEL, D.P., Novak, J.D., Hanesian, H.(1980). Psicologia Educacional. Rio de Janeiro: Interamericana
- BEER, F.P., JOHNSTON, E.R. (1991). Mecânica Vetorial para Engenheiros – Cinemática e Dinâmica (5 ed). São Paulo: Editora McGraw-Hill.
- CHI, M.T.H., BASSOK, M., LEWIS, M.W., REIMANN, P. e GLASER, R. (1989). Self-explanations: how students study and use examples in learning to solve problems. Cognitive Science, v. 13, n.2, p. 145-294.
- COLINVAUX, D. (org.)(1998). Modelos e educação em ciências. Rio de Janeiro: Ravil
- COSTA, S.S.C.(1996). Resolução de problemas e aprendizagem em Física. Dissertação de mestrado. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- COSTA, S.S.C. e MOREIRA, M.A.(1998). Modelagem em resolução de problemas: estudo preliminar. Atas do VI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. Florianópolis (CD-ROM), 26 a 30 de outubro, 11 p.
- FLORES CAMACHO, F. e GALLEGOS CAZARES, L. (1998). Partial Possible Models: an approach to interpret student's physical representation. Science Education, v. 82, p. 15-29.
- GARNHAM, A.(1997). Representing information in mental models. In: CONWAY, M. A.(Ed.) Cognitive models of memory. Cambridge, MA: The MIT Press.
- GENTNER, D., STEVENS, A.L.(Eds.)(1983). Mental models. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum .
- GIL PÉREZ, D., MARTÍNEZ TORREGROSA, J., SENENT PÉREZ, F. (1988). El fracaso en la resolución de problemas de Física: una investigación orientada por nuevos supuestos. Enseñanza da las Ciencias, v. 6, n.2, p. 131-146.

- GIL PÉREZ, D., TORREGROSA J. (1983). A model for problem solving in accordance with scientific methodology. European Journal of Science Education, v. 5, n.4, p. 447-455.
- GREENO, J.G. e MOORE, M.J. (1993). Situativity and symbols (Response do Vera e Simon). Cognitive Science, v. 17, p. 49-59.
- HALLOUN, I. (1996). Schematic-modeling for meaningful learning of physics. Journal of Research in Science Teaching, v. 33, n.9, p. 1019-1040.
- HIBBELER, R.C. (1985). Mecânica – Dinâmica. Rio de Janeiro: Editora Campus.
- _____ (1999). Mecânica- Dinâmica. (8 ed.). Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.
- JOHNSON-LAIRD, P.N.(1983). Mental models. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- KUHN, T.S.(1994). A estrutura das revoluções científicas, 3ª edição em português. São Paulo: Editora Perspectiva.
- LARKIN, J.H., SIMON, H.A. (1987). Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words. Cognitive Science, v. 11, p. 65-99.
- MERIAM, J.L., KRAIGE, L.G.(1999). Mecânica - Dinâmica. (4 ed.). Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.
- MOREIRA, M.A.(1996). Modelos mentais. Investigações em Ensino de Ciências. Porto Alegre, v. 1, n. 3, p. 193-232.
- MOREIRA, M.A. (1999). Aprendizagem significativa. Brasília, Editora da UnB.
- MOREIRA, M.A., COSTA, S.S.C.(1999). Pesquisa em resolução de problemas em Física: uma visão contemporânea. In: I Escuela de verano sobre investigación en enseñanza de las ciencias. Actas. Universidad de Burgos, p. 53 –82.
- NERSESSIAN, N.J. (1995). Should physicists preach what they practice? Constructive modeling in doing and learning physics. Science and Education, v. 4, p. 203-226.
- NOVAK, J.D.(1981). Uma teoria de educação. São Paulo: Pioneira. Tradução de M.A. Moreira do original A theory of education, Ithaca: Cornell University Press.
- SIMON, H.A. (1979). Problem solving and education. In :TUMA, D., REIF, F. (Eds.). Problem solving and education: issues in teaching and research. Hillsdale, N. J.: Lawrence Erlbaum.
- VANLEHN, K (1998). Analogy events: how examples are used during problem solving. Cognitive Science, v. 22, n. 3, p. 347-388.
- VOSNIADOU, S. (1994). Capturing and modelling the process of conceptual change. Learning and Instruction, v. 4, n. 1, p. 45-69.

ZHANG, J. (1997). The nature of external representation in problem solving. Cognitive Science, v. 21, n. 2, p. 179-217.

ZHANG, J., NORMAN, D.A.(1994). Representations in distributed cognitive tasks. Cognitive Science, v. 18, p. 87-122.

ZYLBERSZTAJN, A.(1998). Resolução de problemas: uma perspectiva kuhniana. In: VI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Atas (CD-ROM). Florianópolis, 26 a 30 de outubro, 14 p.

4.3 Terceira Etapa — O Papel da Modelagem mental dos Enunciados na Resolução de Problemas em Física

Nesta terceira etapa, o objetivo era *identificar algumas características de dificuldades manifestadas por um número considerável de alunos (N = 161) no desenvolvimento da atividade de resolução de problemas.*

Novamente foram utilizados os resultados das observações nas aulas específicas para resolver problemas e nos desempenhos de provas escritas individuais.

Foi feito um levantamento dos desempenhos dos alunos ao longo de cinco semestres consecutivos, destacando-se os procedimentos mais freqüentes, tanto do ponto de vista da análise qualitativa, à luz da teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird, quanto da freqüência de ocorrência.

O fato de a pesquisa desenvolver-se por um período relativamente longo, permitiu trabalhar-se com os resultados parciais de cada semestre, revisando e acentuando discussões com novos grupos sobre os temas que já haviam suscitado muitas dúvidas e equívocos por parte dos alunos.

Maiores detalhes deste estudo o próprio artigo que segue poderá esclarecer.

**O PAPEL DA MODELAGEM MENTAL DOS ENUNCIADOS
NA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS EM FÍSICA¹⁴**
(The role of mental modelling of the statements in Physics problem solving)

Sayonara Salvador Cabral da Costa
Faculdade de Física, PUCRS
Av. Ipiranga, 6681
90619-900 Porto Alegre, RS, Brasil
sayonara@puccrs.br

Marco Antonio Moreira
Instituto de Física, UFRGS
Caixa Postal 15051, Campus do Vale
91501-970 Porto Alegre, RS, Brasil
moreira@if.ufrgs.br

Este trabalho, fundamentado na Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird (1983, 1996), dá continuidade ao nosso projeto sobre modelagem mental em resolução de problemas (Costa e Moreira, 1998), enfocando a dificuldade que alunos de Mecânica Geral, disciplina do currículo básico dos cursos de Engenharia e Física da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, apresentam para modelar mentalmente o enunciado do problema. Foi usada uma metodologia qualitativa baseada nos depoimentos verbais (durante aulas específicas de resolução de problemas) e escritos (nas verificações de aprendizagem), de alunos das turmas de um dos autores, durante o período 1o semestre de 1998 a 1o semestre de 2000. O tema abordado foi Cinemática de um ponto material. Os resultados parecem corroborar nossa hipótese de que a representação mental do enunciado de um problema, apresentado através de um discurso lingüístico, acompanhado ou não de representação pictórica, pode ser favorecida pelo ensino explícito da modelagem física das situações enfocadas no enunciado.

This paper, based on Johnson-Laird's mental models theory (1983, 1996), is a sort of progress report of our project on mental modeling in problem solving, focusing on the difficulties that students of General Mechanics, a subject of the basic curriculum of engineering courses of the Catholic University of Rio Grande do Sul, present to mentally model the statement of the problem. A qualitative methodology was used based on students verbal (during problem solving classes) and written (in quizzes and exams) discourse, during

the period of time between the first semester of 1998 and the first semester of 2000. The topic was Kinematic of a material particle. Research findings seem to support our hypothesis that the mental representation of the statement of a problem, present through linguistic discourse, accompanied or not of a pictorial representation, might be facilitated by the explicit teaching of the physical modeling of the situations involved in that statement.

I - Introdução

A prática, difundida entre professores de Física (ao lado de outras disciplinas dos currículos de formação acadêmica), de privilegiar a atividade de resolução de problemas, é incontestável. Parece-nos, entretanto, que a justificativa, se nos fosse facultado consultar os professores, não seria tão consensual, ainda que todos apresentassem alguma razão para legitimar o seu uso.

Para nós, a atividade de resolver problemas é intrínseca ao processo de ensino-aprendizagem, podendo, inclusive, ser concebida como meio e/ou fim do mesmo. Para começar, consideramos um problema como uma situação na qual um indivíduo, uma vez tendo-a reconhecida como tal, necessita utilizar processos envolvendo reflexão, raciocínio e tomadas de decisões para seguir um caminho na busca de solucioná-la. Não acabamos de sintetizar o processo de aprendizagem? Pois aprender não é tomar conhecimento de alguma coisa, retê-la na memória, tornar-se apto ou capaz de alguma coisa, em consequência de estudo, observação, experiência, discernimento? Aprender requer uma atitude de confronto com um problema para o qual não se tem, mas busca-se a resposta.

Nosso interesse em resolução de problemas tem nos ensejado uma relativa atualização a respeito de pesquisas desenvolvidas sobre o tema (Costa e Moreira, 1996; 1997a; 1997b; 1997c; Moreira e Costa, 2000). Desde 1997, estamos investigando a questão da modelagem mental dos enunciados dos problemas. Este trabalho dá seqüência a outros, sobre o mesmo tema (Costa e Moreira, 1998; 2000), na medida em que pretende investigar algumas dificuldades inerentes ao processo de resolução de problemas (ou à aprendizagem de Física),

¹⁴ Este artigo foi publicado na Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 24, n. 1, março 2002.

mais especificamente a questão da interpretação dos enunciados dos problemas, envolvendo um domínio específico. Nosso objetivo

- identificar algumas características de dificuldades manifestadas por um número considerável de indivíduos no desenvolvimento da atividade de resolução de problemas;
- apresentar justificativas que possam corroborar a nossa hipótese de que é possível ensinar-se, no sentido de ajudar, a modelagem mental das situações representadas nos enunciados dos problemas.

Neste artigo desenvolvemos o primeiro objetivo que, na nossa opinião, pode constituir-se em um dos subsídios para o desenvolvimento de atividades de ensino visando facilitar a modelagem mental para os alunos.

A seguir, faremos algumas considerações sobre o tema da modelagem mental, tendo como referência a teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird (1983). A metodologia utilizada, os resultados obtidos e a análise dos mesmos dará continuidade a este relato; por último, apresentaremos a conclusão, que reunirá comentários sobre possíveis inferências logradas a partir da conjugação da teoria disponível e resultados encontrados.

II. Fundamentação teórica

Modelos mentais são representações internas construídas pelas pessoas para captar o mundo exterior. Seres humanos entendem o mundo construindo modelos mentais, isto é, “modelos de trabalho” que predizem e explicam eventos.

O processamento da linguagem é um dos mais importantes domínios da aplicação da teoria de Modelos Mentais. O principal foco de atenção tem sido em como os modelos mentais são construídos quando os indivíduos entendem o que lêem ou o que é dito a eles.

Nesse sentido, duas questões de pesquisa têm sido dominantes: i) o que é representado e ii) o uso da memória de curto-prazo (ou memória de trabalho) na construção do modelo mental.

Um princípio básico da Teoria dos Modelos Mentais considera que as representações mentais do conteúdo de textos são similares em forma às representações derivadas da percepção do mundo. Para Bransford (apud Garnham, 1997, p.154), a compreensão é um processo construtivo não só a partir do que está explícito no texto, mas da combinação desta com a informação armazenada na memória. Sob este aspecto, pode-se dizer que, ao construir o significado do texto, o indivíduo desenvolve um processo interpretativo.

O processo mental que dá coerência a esta interpretação é chamado inferência. Johnson-Laird (1983) considera dois tipos de inferências: i) as explícitas, que exigem um esforço consciente e deliberado para integrar a informação – como os que ocorrem durante os processos dedutivos presentes nas atividades científicas e ii) as implícitas, que sustentam os processos mais comuns e cotidianos de julgamentos como a compreensão do discurso, exigindo um conhecimento consciente mais superficial. A interação em sala de aula através da linguagem implica a geração e avaliação de inferências explícitas e implícitas entre as partes envolvidas.

Para compreender as premissas são usados vários procedimentos semânticos que permitem construir os modelos mentais. Construído o modelo mental de uma sentença, ele pode ser revisado, dependendo de novas informações. Nesse sentido, ele é provisório. Uma fonte de erro neste processo está relacionada com a conotação das palavras contidas nas premissas, que podem estar fora do alcance do indivíduo: os modelos mentais de uma pessoa estão limitados por fatores tais como seu conhecimento e sua experiência prévia com a terminologia utilizada, além da própria estrutura do sistema de processamento da informação, (Norman, 1983). Este último ponto será discutido a seguir.

O segundo domínio de aplicação da teoria dos Modelos Mentais está relacionado com o pensamento e o raciocínio. Neste âmbito, o enfoque é dado tanto para as representações presentes nestas atividades como para os processos que manipulam estas representações na

memória de curto-prazo. Inclusive, a quantidade requerida de processamento e armazenamento nesta memória tem sido usada para explicar a dificuldade relativa de problemas aparentemente similares. Equívocos podem ser atribuídos à limitação da memória de trabalho – quanto mais modelos mentais se necessite para um problema que exige raciocínio, mais difícil ele resultará.

Estes modelos podem ser considerados como os tijolos na construção do conhecimento, mas eles só podem ser adequadamente utilizados se forem “manuseados” pelo raciocínio.

A Teoria dos Modelos Mentais pretende dar conta do raciocínio em geral, incluindo a inferência na compreensão da linguagem, o raciocínio indutivo e, é claro, o dedutivo (incluindo o raciocínio silogístico). Segundo Johnson-Laird (apud Garnham, 1997, p.167), uma inferência indutiva é compatível com somente um dos modelos mentais construídos das premissas. Esta característica traz dificuldades para o indivíduo quando ele precisa escolher um modelo entre todos os compatíveis com as premissas. Por isso, alguns princípios vão reger o processo de indução: especificidade, parcimônia, uso de conhecimento prévio e disponibilidade de resgatar a informação da memória.

Como pode-se ver até aqui, a Teoria dos Modelos Mentais tem uma aplicação “natural” para a resolução de problemas. Descrever como os indivíduos resolvem problemas é explicar como eles procuram por uma solução num espaço que pode conter uma infinidade de possíveis soluções (como proposto originalmente por Newell e Simon, 1972). Este espaço usa a noção de representação de um estado de ações, portanto a de um modelo mental.

Recentemente (Garnham, 1997, p.168), a abordagem de modelos mentais para resolução de problemas tem enfatizado o uso do conhecimento prévio mais do que a busca através de um espaço de possibilidades. Mais uma vez a noção de modelo mental é pertinente, uma vez que a tarefa requer a transformação da representação do mundo em função da incorporação de informações e experiências aos modelos mentais já existentes.

Continuaremos este trabalho descrevendo a metodologia empregada, seguida da apresentação e análise dos resultados obtidos, confrontando-os com a Teoria dos Modelos Mentais.

III. Metodologia

Prosseguindo com a pesquisa envolvendo os alunos da disciplina de Mecânica Geral, do currículo básico dos cursos de Engenharia e Física da PUCRS, descreveremos, nesta oportunidade, o trabalho desenvolvido com as turmas de um dos autores, no período entre 1º semestre de 1998 e 1º semestre de 2000. O conteúdo que será objeto de análise é o do Movimento de um ponto material, desenvolvido no período de um mês, com seis horas de aulas semanais, divididas em dois encontros de três horas. Destes, cinco foram de apresentação e discussão do conteúdo, intercalados por dois exclusivos de resolução de problemas, culminando com um para revisão geral do tema e outro para a avaliação individual ou “prova” final sobre o conteúdo trabalhado. No total, foram utilizados 9 encontros.

Nossa metodologia de trabalho foi a análise qualitativa das manifestações verbais e escritas dos alunos durante as tarefas de resolução de problemas. Nas aulas exclusivas para esta atividade, os alunos, em cada semestre, recebiam uma lista de problemas. Trabalhando em pequenos grupos, de dois a quatro alunos (ver tabela 1), podiam solicitar a intervenção do professor para discutir a interpretação e/ou a abordagem de/a um determinado problema - ainda que alguns alunos, mais reservados, preferissem trabalhar e consultar individualmente o professor.

Na aula de revisão, os alunos tinham a oportunidade de manifestar individualmente suas dúvidas quanto a aspectos do conteúdo, referendados ou não por seus pares, veiculado ou não nos problemas propostos, além de solicitarem ajuda especificamente na resolução de alguns problemas. O professor aproveitava o momento para fazer uma abordagem “holística” do tema estudado, organizando e justificando seu desenvolvimento e os procedimentos requeridos na resolução de problemas. Ao final das aulas de resolução de problemas e da de

revisão, perguntas e comentários dos alunos eram anotados. Os desempenhos nas avaliações individuais escritas acrescentaram dados sobre a “dinâmica” do processo.

TABELA 1. Dados sobre número de alunos e grupos aproximados no período da pesquisa

Semestre	I/1998	II/1998	I/1999	II/1999	I/2000
Nº aproximado de grupos nas aulas de R.P.	12	7	9	10	9
Nº de alunos na verificação de aprendizagem	47	23	35	40	35

A maioria dos problemas propostos eram oriundos da bibliografia indicada na primeira aula de cada semestre. Entre eles, Beer e Johnston (1991), Hibbeler (1985, 1999), Meriam e Kraige (1999) e Fonseca (1964). Os problemas eram escolhidos sob o critério de abrangerem uma gama considerável de situações em que as duas principais classes de conhecimento fossem requeridas: o declarativo ou figurativo e o procedimental ou operativo (Sternberg, 2000, p.151).

O conhecimento declarativo consiste em conhecer “fatos”. Por exemplo, que $\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$

é a expressão que nos permite calcular a velocidade instantânea e que ela significa a derivada da posição em relação ao tempo. O conhecimento operativo ou procedimental, por sua vez, envolve conhecer a fonte do conhecimento declarativo – como se sabe que $\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$

é a expressão da velocidade instantânea? – e a capacidade de usar, aplicar, transformar ou reconhecer a relevância do conhecimento declarativo em situações novas e não familiares (Arons, 1990).

No nosso entendimento, as atividades propostas contribuíam para o desenvolvimento desta capacidade, conjugando o raciocínio dedutivo e indutivo com a interpretação da observação e experiências pessoais. Concordamos com Zylbersztajn (1998) no que diz

respeito à atividade de resolver problemas: “Estamos tratando com um processo concomitante e interdependente: ao mesmo tempo que a teoria é necessária para a resolução de problemas, ela também se refina e se aprofunda por meio da resolução de problemas, e o mesmo pode-se dizer dos procedimentos”.

As modificações ocorridas na listagem dos problemas apresentados, no período da pesquisa, foram mínimas. Apenas dois deles foram substituídos com o propósito de expandir a apresentação de situações inéditas ou diferenciadas em formato das já trabalhadas em exemplos.

A primeira aula de problemas propunha situações envolvendo movimento em uma dimensão, apresentando-as através de funções matemáticas representando a posição, ou velocidade, ou aceleração (q.v. Anexo). O objetivo desta atividade é o domínio das relações entre as grandezas cinemáticas fundamentais e destas com outras secundárias, assim como os procedimentos para desenvolvê-las em conformidade com as condições específicas (condições de contorno) em cada problema. As situações apresentadas requerem que os alunos conjuguem o domínio dos conceitos em cinemática, presumivelmente já trabalhados em disciplinas anteriores, com o cálculo diferencial e integral e álgebra vetorial, também considerados como pré-requisito.

A segunda aula de problemas abordou o movimento plano e tridimensional de um ponto. O objetivo permanecia o mesmo, ou seja o de dominar as relações entre as grandezas cinemáticas e os procedimentos para desenvolvê-las, em consonância com as condições específicas em cada problema. Esperava-se, outrossim, que os processos desenvolvidos em uma dimensão fossem generalizados para duas e três dimensões, utilizando-se diferentes coordenadas (cartesianas, polares, intrínsecas). Entretanto, o sucesso desta atividade está condicionado também à concepção do que seja um vetor, do caráter vetorial das grandezas cinemáticas fundamentais, associado a procedimentos específicos para abordá-la. A análise deste tema, pela sua extensão, será objeto de um próximo trabalho.

Apesar de trabalharmos ao longo do período da pesquisa com os resultados parciais de cada semestre, e cada vez insistir na discussão de temas polêmicos ou que haviam suscitado muitos equívocos e dúvidas nos semestres anteriores, verificamos uma grande resistência a mudar este quadro com muitos alunos, que manifestavam os mesmos embaraços já detectados anteriormente.

O que os indivíduos pensam, os conhecimentos que eles trazem para uma tarefa cognitiva provê as estruturas de esquemas interpretativos que permitem raciocinar e levar adiante a resolução de problemas. Estas crenças, esquemas individuais de raciocínio, não são construções puramente individuais, são compartilhadas por uma “cultura social.” (Resnick, 1994, p. 477). A forma como os grupos de alunos desenvolveram as atividades ao longo dos semestres reflete uma abordagem relativamente constante na questão de resolver problemas: um trabalho quase mecânico.

Esta constatação serviu para ratificar nossa hipótese de trabalho de que a interpretação deste tipo de problemas não é tarefa fácil para os alunos; a falta de uma modelagem mental adequada gera obstáculos de níveis diversos, todos concorrendo para a inviabilidade da solução dos problemas. Neste trabalho apresentaremos algumas regularidades, manifestadas pelos alunos ao resolverem problemas de uma lista e uma questão da prova escrita de avaliação, que reforçam nosso ponto de vista.

Apresentação/ análise dos resultados

Problema 1 – Lista 1

O movimento de um ponto material é descrito pela função $x = t^4 - 3t^3 + t$, onde x é dado em metros e t em segundos. Determinar a posição, a velocidade e a aceleração quando $t = 2s$.

Apesar de ser considerado por nós o problema mais simples, praticamente um “exercício”, que ensejaria o uso das relações entre posição, velocidade e aceleração, surpreendemo-nos com algumas reações de alunos (repetidas em todos (!) os semestres).

Um número expressivo de alunos (tabela 2) tentou “integrar” a função horária da posição para descrever a velocidade – na discussão com eles, este procedimento evidenciou que não haviam identificado a informação do problema – a função horária da posição. As relações $v = \frac{dx}{dt}$ e $a = \frac{dv}{dt}$ foram “lembradas”, escritas inclusive, mas os alunos não souberam como utilizá-las; parece que o significado delas não foi apreendido. Por outro lado, este foi o primeiro problema que teriam que resolver sozinhos, e esta aula sucedeu outra na qual discutiu-se e exemplificou-se alguns movimentos descritos através de suas acelerações. Nestes casos, para obter-se a velocidade instantânea necessitava-se integrar a função da aceleração. Consideramos que este fato corroborava nossa suposição acima grifada, ou seja, no nosso entendimento, os alunos não representaram internamente, em termos de um modelo mental da situação, as informações contidas no enunciado e reagiram de forma mecânica, seguindo os últimos procedimentos utilizados nos exemplos. Portanto, o primeiro requisito para representar internamente o enunciado falhou. A falta do reconhecimento e do domínio do formalismo matemático necessário para realizar a tarefa – registrado por escrito, sem demonstrar que tenha sido compreendido - inviabilizaram o processo. Uma pergunta feita por um aluno, mesmo depois de havermos discutido com o seu grupo, que apresentara dificuldades com este problema, retrata bem o que estamos querendo dizer: “Para calcular a posição quando $t = 2s$, então é só substituir na função de x ?”

TABELA 2. Dados sobre número de alunos presentes na primeira aula de resolução de problemas e com dificuldades no problema 1, por semestre.

Semestre	I/1998	II/1998	I/1999	II/1999	I/2000
Nº aproximado de alunos presentes na aulas de R.P.	41	22	32	35	31
Nº de alunos que expressaram dificuldades no problema 1	5 (12%)	3 (23%)	4 (12,5%)	4 (11,5%)	4 (13%)

Problema 2 – Lista 1

A relação $x = t^3 - 12t^2 + 45t + 18$ (S.I.), representa a posição de um ponto material em função do tempo. Determinar: a) o instante para o qual a velocidade se anula; b) a posição, a aceleração e a distância percorrida ao fim de 5s.

A experiência do problema anterior e a discussão que provocou parecem ter surtido efeito pois, neste caso, não se verificaram as dificuldades manifestadas no primeiro problema. “Quando os indivíduos movem-se de uma situação para outra, carregam histórias de experiências prévias com eles. São histórias de formas de agir... situações similares experimentadas “transferem” conhecimento, nem sempre o correto....” (ibid., p.490). Por outro lado, o significado da relação apresentada no enunciado era explícito. Mesmo sem podermos avaliar individualmente as causas, aqui os alunos usaram corretamente as relações entre a posição, a velocidade e a aceleração instantâneas, bem como souberam calcular o instante em que a velocidade se anulava. Em compensação, TODOS os que tiveram dúvidas (tabela 3), revelaram-nas em algum destes aspectos:

- Como calcular a distância percorrida?
- Por que analisar os deslocamentos parciais?
- Por que somar os módulos das integrais?

Tabela 3. Percentagem de alunos que manifestaram dificuldades no problema 2, por semestre.

Semestre	I/1998	II/1998	I/1999	II/1999	I/2000
	22% (9 alunos)	23% (5 alunos)	25% (8 alunos)	20% (7 alunos)	16% (5 alunos)

Estas questões parecem evidenciar a não modelagem mental do conceito de distância e, conseqüentemente, das possíveis estratégias para obtê-la, como calcular a integral da função velocidade em relação ao tempo, levando em consideração a mudança no sentido da velocidade. Se o significado da integração fosse entendido, facilitaria a compreensão da estratégia utilizada no cálculo da distância, reforçando, inclusive, o conceito desta. No caso de um movimento unidimensional, o aluno poderia determinar esta distância calculando a posição máxima atingida, o que permitiria obter o comprimento percorrido no intervalo de tempo considerado. O fracasso nesta tarefa já foi identificado por Gil Pérez et al. (1988), justamente creditando-o à falta de uma análise mais profunda da questão proposta.

Antevendo a dificuldade com o conceito e cálculo da distância percorrida, propusemos esta atividade em outro problema, impondo uma nova abordagem:

Problema 3 – Lista 1

Uma partícula se move ao longo de uma linha horizontal tal que sua velocidade é dada por $v = (3t^2 - 6t)$ m/s, onde t é o tempo em segundos. Se a partícula está inicialmente localizada na origem 0, determine: a) a distância percorrida desde $t = 0$ até $t = 3,5$ s; b) a velocidade média e escalar (modular) média durante o mesmo intervalo de tempo; c) a aceleração instantânea em $t = 3,5$ s. Interprete todos os resultados com suas próprias palavras.

Neste problema, o aluno deveria tomar decisões sem que estivessem presentes no enunciado orientações explícitas: precisava investigar se havia inversão do sentido do movimento no intervalo de tempo escolhido para determinar a distância percorrida; só então ele teria condições de resolvê-lo. Com este procedimento ele evidenciaria a compreensão do modelo físico/conceitual apropriado. Foi mais fácil reconhecerem esta estratégia do que calcular os valores das velocidades médias, cujas definições estavam esquecidas (ver tabela 4). A inclusão de questões interpretativas dos resultados numéricos teve um resultado inesperado: raríssimos foram os alunos que pediram ajuda para discutir este item em todos os semestres avaliados! Uma observação que deve ser feita é que este tipo de item não tinha a sua resposta no final dos problemas da lista, como os outros com respostas numéricas. Desconhecemos se algum aluno, individualmente, tenha completado a solução do problema respondendo esta questão fora das aulas. Aparentemente eles consideravam-na “feita”, pois quando diferentes grupos eram indagados se tinham dúvidas, respondiam negativamente. No primeiro semestre desta pesquisa não demos muita importância para este comportamento, mas

fomos surpreendidos pelo mesmo procedimento dos alunos nos semestres seguintes. Mesmo este tema, o da interpretação ser discutido nas aulas teóricas, persistiu esta reação.

TABELA 4. Número de alunos (ou grupos) que manifestaram dificuldades em cada semestre

Dificuldade \ Semestre	I/1998	II/1998	I/1999	II/1999	I/2000
Investigar mudança de sentido do movimento.	7,3% (3 alunos)	9% (2 alunos)	6% (2 alunos)	9% (3 alunos)	3% (1 aluno)
Calcular a distância percorrida no intervalo considerado.	12% (5 alunos)	14% (3 alunos)	9% (3 alunos)	11% (4 alunos)	10% (3 alunos)
Calcular as velocidades médias.	17% (7 alunos)	18% (4 alunos)	16% (5 alunos)	11% (4 alunos)	6,5% (2 alunos) 1
Interpretar com palavras os resultados numéricos.	2% (1 aluno)	4% (1 aluno)	0% nenhum	0% nenhum	3% (1 aluno)

A interpretação, “com as próprias palavras do aluno”, suscita uma discussão particular, pois envolve a relação entre a linguagem falada habitualmente e a aceita cientificamente. Por um lado, o aluno não gosta de se expressar, por outro, o desenvolvimento e uso da linguagem desempenham um papel fundamental no ensino e aprendizagem. No que se refere à ciência, um dos aspectos que nos chama mais a atenção é a definição operacional de conceitos básicos.

As palavras adquirem significado através da experiência compartilhada. Segundo Arons (1990), “[palavras](...) são metáforas, extraídas do discurso do dia-a-dia, para o qual damos um significado profundamente alterado(...)”. Os alunos não percebem isso a não ser que lhes apontemos explicitamente. Por isso é tão importante que os encorajemos a interpretar verbalmente os resultados numéricos e gráficos que eles obtêm.

Alguns exemplos de situações evidenciadas durante o período da pesquisa podem ajudar a reforçar esta tese. É o caso do desempenho de muitos alunos na questão seguinte,

proposta na verificação de avaliação em I/1998 e repetida com pequenas variações em II/1999 e I/2000:

Questão de prova – 1º semestre de 1998 e de 2000 e 2º de 1999

O movimento de um ponto material é definido pela relação $x = 2t^3 - 40t^2 + 200t - 50$, em unidades do S.I.. a) Exatamente, qual é a informação que esta equação nos fornece? ; b) Determine o(s) instante(s) em que a velocidade do ponto se anula. (fisicamente falando, o que está acontecendo ao movimento do ponto neste(s) momento(s)? Faça um comentário que justifique a sua resposta; c) Determine a posição, a aceleração e a distância percorrida pelo ponto ao fim de 5s. Interprete cada um destes resultados obtidos, ou graficamente, ou através de palavras.

- os conceitos de posição, deslocamento, trajetória e distância percorrida são freqüentemente confundidos pelos alunos. Foi o que aconteceu nas respostas para o item a). Por exemplo:

“Esta equação nos fornece a trajetória¹⁵ em um certo tempo, não é a distância percorrida” (ALUNO 4 – 1998)

“Ela nos determina o caminho de x em função do tempo, ou seja, para cada tempo teremos uma posição diferente em nosso gráfico” (ALUNO 13-1998)

“Informa que a distância que um ponto material percorre é uma função do tempo, ou seja, a cada tempo existe uma distância diferente.” (ALUNO 33-1998)

Nossa interpretação às respostas destes alunos não deixa de constituir-se em modelos mentais do que nós presumimos que eles tenham entendido. Segundo Johnson-Laird (1990), a linguagem nos capacita para ter experiência do mundo e para comunicar certas concepções abstratas do mesmo. Um modelo mental representa o estado de coisas concretas a que se refere uma oração; lembrando que a comunicação humana depende de intenções, o significado de um comentário pode estar fora do alcance do ouvinte. De qualquer forma, a

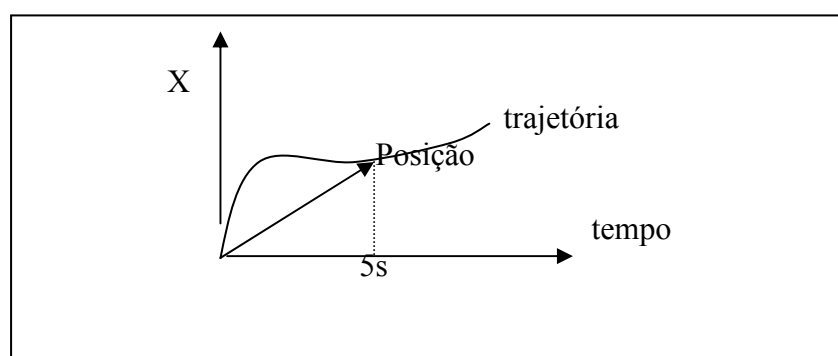
¹⁵ Todos os grifos nas respostas dos alunos são de nossa autoria.

terminologia aceita cientificamente não coincide com a utilizada pelos alunos. Esta observação vale igualmente para os próximos desempenhos.

- a representação gráfica equivocada dos movimentos, objeto de estudo da literatura (p. ex. McDermott et al., 1986), foi retratada nos gráficos posição versus tempo, concebidos como a representação da trajetória do ponto.

“[a equação dada]...nos informa a forma do movimento, que neste caso é uma parábola de terceiro grau...”(ALUNO 35-1999)

“No instante $t = 5s$, a posição do ponto é 200m em relação ao seu ponto de partida. Por exemplo: (ALUNO 28-1998)



- Apesar de a maioria dos alunos identificar corretamente a função $x(t)$, a noção de instante (inicial, final, qualquer) é confundida com a de intervalo de tempo:

“ A equação nos dá a posição que um móvel está em um certo intervalo de tempo.” (MLW-2000)

“Esta equação quer dizer a posição que o objeto se encontra em cada intervalo de tempo. (ALUNO 21-1999)

- A interpretação dos símbolos usados para designar as grandezas também mostra-se ambígua: na função horária da posição, há uma tendência “natural” de interpretar x como distância e t como tempo de duração. Na determinação da posição do ponto após 5s (item c):

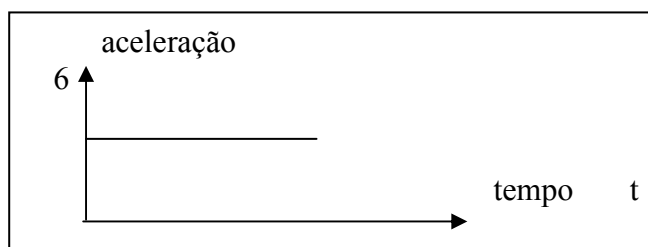
$$“ x (t = 5s) = 2. 5^3 - 40.5^2 + 200.5 - 50 = 200m$$

O ponto se encontra na distância de 200 m no instante de 5s.” (ALUNO 1-1998)

Este resultado indica que foi percorrido 200 m em 5s. (aluno 20-1998)

- Os conceitos de velocidade média e instantânea são confundidos; o mesmo acontece com a aceleração. Quando interpretam a velocidade instantânea fazem-no assim: “...o ponto anda tantos metros por segundo...”. Trowbridge e McDermott (1980) já assinalavam a dificuldade de interpretar a velocidade (e, neste caso, também a aceleração) instantânea “...como um número, referindo-se a um único instante é uma barreira conceitual para muitos alunos” (p.1024). Os alunos tendem a utilizar muito a expressão “velocidade por tempo “ para caracterizar a aceleração ou, “mudança de velocidade sobre tempo”. Nesta última, sobre é usado no sentido de durante muito mais do que de razão, sem a percepção explícita da conexão com a unidade do intervalo de tempo. Alguns exemplos sobre a interpretação da aceleração em $t = 5s$, dos poucos alunos que tentaram fazê-la:

“O ponto está sendo acelerado 6 m/s/s”¹⁶. Graficamente, isto significa (ALUNO 3-1999):



¹⁶ Este valor para a aceleração é o correto, de acordo com a função apresentada na primeira verificação em 1999/II.

“Sua aceleração é de 6 m/s neste segundo”. (ALUNO7-1999)

“Significa que no instante escolhido, a velocidade do ponto aumenta 6m/s a cada segundo”. (ALUNO 16-1999)

Nos três semestres, a maioria dos alunos simplesmente calculou a aceleração (tabela 5). Os que interpretaram-na, o fizeram como se a aceleração permanecesse constante no movimento, ou não conseguiram se expressar adequadamente, como mostra os exemplos acima. Estes resultados corroboram o trabalho de Trowbridge e McDermott (ibid.), no qual um aluno se manifesta sobre este tema da seguinte forma: “... para a velocidade ser calculada deve haver um intervalo de tempo. Para um instante os objetos não têm velocidade, só uma localização”. Em Trowbridge e McDermott (1981) e Rosenquist e McDermott (1987) este tema é revisto, mas, no que diz respeito à aceleração instantânea, só é focado o movimento com aceleração constante.

- Condições para inversão no sentido do movimento são confundidas: termos como pára ou atinge o repouso momentaneamente, são expressões que devem ser evitadas neste caso, pois os alunos interpretam-nas como “permanece assim por um intervalo de tempo e assim a aceleração só pode ser zero”.

A condição concomitante de velocidade nula e aceleração não nula não é sequer assinalada pelos alunos como relevante na inversão do sentido do movimento.

“Para tempos em 3,3s e 10s a velocidade se anula, ou seja, o ponto pára o seu movimento naqueles instantes.” (ALUNO 35-1998)

“Isto significa que o objeto nos instantes 3,3s e 10s está parado, sem movimento em qualquer direção.” (ARF-2000)

O registro das ambigüidades encontradas nas questões interpretativas do problema pode ser considerado um indicativo da dificuldade de os alunos expressarem suas concepções explicitamente. Por outro lado, estas questões constituem-se em um meio de avaliarmos as

representações mentais dos alunos. Na primeira versão deste problema (1º semestre de 1998), cerca de 14 alunos, num total de 47, interpretaram a função no enunciado como representando a distância percorrida, enquanto 13 analisaram o instante em que a velocidade se anulava como se o movimento se interrompesse a partir daí, sem relacionar com a aceleração. Esta constatação ajudou-nos a discutir o fato nos semestres seguintes, tanto nas apresentações em aula como nas aulas específicas de problemas. Mesmo assim, estas concepções continuaram acontecendo. A tabela 5 acrescenta outros dados sobre o desempenho dos alunos nesta questão, nos três semestres envolvidos.

Tabela 5. Desempenho insatisfatório nas questões interpretativas em cada semestre

Questões interpretativas	Semestre		
	I/1998	II/1999	I/2000
Significado da equação $x = f(t)$	10,6%	12,5%	3%
Significado físico no instante em que $v = 0$: interpretação incorreta não interpretaram	28% 15%	25% 5%	15% 0%
Interpretação dos resultados numéricos: <u>Posição</u> : incorreta não interpretaram	25,5% 21%	30% 27,5%	6% 46%
<u>Aceleração</u> : incorreta não interpretaram	19% 79%	30% 65%	11% 86%
<u>Distância percorrida</u> : incorreta não interpretaram	21% 17%	27,5% 17,5%	9% 60%

“Não interpretaram” significa que as respostas numéricas não foram traduzidas em palavras ou outro tipo de representação, como diagramas. Por exemplo, uma resposta típica desta classificação para a interpretação do valor numérico da distância percorrida:

“29 m é a distância percorrida ao fim de 3s”. (Aluno 1 – 1999)

Como se vê, o aluno simplesmente repetiu a informação que se pedia, não explicou o que significava aquele resultado numérico para o movimento. Um exemplo de expressão incorreta para a mesma “distância percorrida” é a resposta de outro aluno:

“... 2 9m foi o que o ponto se deslocou em 3s.” (Aluno 45 – 1998)

Aqui o deslocamento é tratado como distância percorrida. Novamente podemos pensar que talvez o aluno tenha se expressado mal, utilizado deslocamento para representar o comprimento do que foi percorrido. Mas a diferença é destacada em aulas de Física, e ele está sendo avaliado sob este ponto de vista.

Muitas investigações encontradas na literatura refletem o hiato entre os “conceitos intuitivos” e os modelos conceituais apresentados pelos livros e em sala de aula (e.g., Trowbridge e McDermott, apud Arons, 1990, p. 38). Devemos estar cientes que por mais lucidez que empreguemos em nossas apresentações, por mais que propusemos atividades variadas de resolução de problemas, isso não revelará o verdadeiro estado de compreensão e raciocínio dos nossos alunos. Também a compreensão dos alunos do que significa interpretar, explicar ou justificar algum fato é diferente da que esperaríamos; uma característica evidenciada pelas suas respostas é a superficialidade, o que pode estar evidenciando ou uma fragilidade de seus modelos mentais ou um despreparo de lidar com este tipo de exigência - que aliás poderia ser confirmado pela reação nas aulas em que a interpretação escrita (problema 3) ou gráfica (problema 6) foi requerida e eles não se manifestaram. No nível deste curso, voltado para a aplicação de modelos físicos e matemáticos, poderíamos esperar que a questão conceitual estivesse resolvida, levando-se em conta a experiência em disciplinas anteriores de Física. Em princípio, o formalismo matemático aplicado e sua interpretação é que poderiam gerar maiores obstáculos à construção de um modelo mental que representasse e permitisse buscar uma solução para os problemas propostos - ainda que os conceitos e aplicações deste formalismo já tenham sido explorados em disciplinas específicas de Matemática.

Os demais problemas propostos na lista 1 (q.v. Anexo) apresentaram reações onde o aspecto mais dissonante da resolução correta foi a não observância das condições de contorno do problema (ou limites de integração das integrais). À medida que o número de integrais aumenta, parece que há uma tendência de generalização com respeito a estas condições: o fato de a maioria dos problemas envolver informações sobre as condições cinemáticas iniciais ($t = 0$), provoca uma falta de atenção do leitor, um relaxamento nos dados determinantes, fazendo

com que o problema proposto seja mal identificado e, desta forma, tenha a sua resolução inviabilizada.

Na nossa opinião, este é o caso típico de erro devido à sobrecarga da memória de trabalho: muitas informações relevantes que devem ser consideradas, ao lado de estratégias, não menos importantes que devem ser executadas.

Na mesma linha de raciocínio, situações mais concretas parecem favorecer a modelagem mental. No problema 5, os alunos, em geral, demonstraram saber como as informações os levariam ao objetivo almejado. As dificuldades aconteceram no desenvolvimento da estratégia, principalmente no cálculo da integral – como um dos movimentos era uniformemente variado, era fácil a obtenção da função horária da posição, o que não acontecia para o outro, cuja operação, apesar de conhecida, não foi reconhecida por muitos; o uso indevido dos limites de integração também foi manifestado. Percebe-se que muitos alunos ainda insistem em ignorar a importância das condições específicas do problema; neste ponto a modelagem mental não é completa. Esta aparente relutância em não considerá-las relevantes pode ser atribuída igualmente a uma “economia cognitiva”, característica dos modelos mentais construídos pelos indivíduos ao reconhecerem uma tarefa, que provoca o fracasso quando muitos elementos de abstração são requeridos. Isto poderia justificar a relativa dificuldade com a interpretação do problema 6, onde a principal informação estava no final do enunciado, o que fez com que alguns alunos quase não a reconhecessem, devido à quantidade de informações contida no mesmo. Novamente a representação gráfica, que ensejaria uma discussão sobre o comportamento do movimento, foi menosprezada pelos alunos. A não observância de um mesmo sistema de unidades para as grandezas foi motivo de erro. Este problema foi incluído a partir do 2º semestre de 1999.

No problema 7, os limites de integração no cálculo da distância percorrida foram utilizados indevidamente pois, ao invés de levarem em conta o intervalo de tempo até o momento em que a aceleração se anulava, consideraram-no até o momento em que a velocidade se anulava. A representação incorreta de alguns alunos poderia ser atribuída a alguma ambigüidade do enunciado, mas nossa hipótese é que a condição de velocidade nula tenha sido confundida com a de aceleração nula – dois momentos distintos do movimento.

No problema 8, nem todos se deram conta que bastava encontrar a relação entre a velocidade e a posição para responder às duas perguntas. Achavam que para calcular a posição deveriam “integrar” novamente, como era “hábito” fazer em outras ocasiões. Esta falta de atenção à totalidade do enunciado denota uma leitura descompromissada com a interpretação do que lêem.

A condição apresentada no problema 9 é inusitada: a velocidade é representada como uma função do deslocamento. Os alunos deveriam ultrapassar o conhecimento requerido até então, ser criativos, resgatando uma condição que tinha sido explorada em aulas teóricas em um contexto diferente, ou seja, “a regra da cadeia”: precisariam avançar no uso da derivada de uma função cuja variável de integração não era explícita. Uma vez ultrapassada esta “barreira”, o procedimento seguinte não apresentou dúvidas. Mas, sem este discernimento inicial da situação apresentada, com seus conceitos e procedimentos inerentes, a resolução estaria inviabilizada (é importante lembrar que resolução é entendida como o processo que se inicia pela clarificação do enunciado, sua relação com um conhecimento prévio que possibilite seu desenvolvimento). Como esta questão não chegava a ser realizada em aula, por uma questão de tempo, era a última da lista, muitos eram os alunos que pediam ajuda para resolvê-la, individualmente, ou no máximo em duplas, pela mesma razão: não conseguiam atinar o “gatilho” para a sua resolução.

A tabela 6 apresenta um resumo das dificuldades que os alunos manifestaram na aula de resolução de problemas para os problemas 4 a 9 e a percentagem de consultas ao professor em cada semestre.

Estas dificuldades, manifestadas periodicamente, nos incitam a refletir sobre os processos mentais individuais e em grupos. Em média, os grupos chegavam a fazer em aula até os problemas 5 ou 6. Estes tiveram a oportunidade de serem “negociados” em cada grupo, ou seja, alguém propunha uma solução e os outros seguiam-na ou não, tinham a chance de contestar ou concordar. Cada dúvida manifestada em um grupo poderia ser interpretada,

aproximadamente, como de todos os alunos do grupo? Nas tabelas, apresentamos a proporção do número de vezes em que as perguntas foram feitas ao professor, sem computar quantos alunos compunham o grupo de onde ela provinha. Por outro lado, o leitor poderia pensar que talvez os alunos desdenhassem a tarefa proposta pelo professor, mas isso com certeza não aconteceu. Os grupos, mesmo os alunos isolados que preferiam trabalhar assim, empenharam-se efetivamente e fazia parte do processo buscarem o professor para resolver as dúvidas que não dirimiam entre si. Quanto aos problemas que não concluíam em aula, tinham a liberdade de consultar o professor nas aulas seguintes. Nestes casos a consulta era mais particular (isto já foi comentado para a questão 9), nos finais das aulas, atraindo muitas vezes outros colegas que tinham também enfrentado dificuldades para resolvê-lo – este registro foi incluído na tabela anterior.

Tabela 6. Dificuldades manifestadas por alunos (grupos) nos problemas 4 a 9 da Lista 1.

	I/98	II/98	I/99	II/99	I/00
Total de alunos	41	22	32	35	31
Observância das condições de contorno: (problema 4)	12% (5 alunos)	14% (3 alunos)	12,5% (4 alunos)	8,6% (3 alunos)	6,5% (2 alunos)
(problema 7)	12% (5 alunos)	14% (3 alunos)	9,5% (3 alunos)	8,6% (3 alunos)	6,5% (2 alunos)
e cálculo das integrais (problema 5)	7,3% (3 alunos)	9% (2 alunos)	9,5% (3 alunos)	8,6% (3 alunos)	3,2% (1 aluno)
Representação do enunciado (problema 6)	-	-	-	20% (7 alunos)	13% (4 alunos)
Cálculo da posição (problema 8)	12% (5 alunos)	14% (3 alunos)	9,3% (3 alunos)	8,6% (3 alunos)	6,5% (2 alunos)
“Gatilho” para resolver o problema 9	29% (12 alunos)	23% (5 alunos)	25% (8 alunos)	23% (8 alunos)	16% (5 alunos)

V Conclusões

Neste trabalho procuramos identificar e analisar algumas dificuldades relativas à interpretação de enunciados de problemas de Física, especificamente sobre Cinemática de um ponto material, do ponto de vista da Teoria dos Modelos Mentais. Estas dificuldades constituem-se na primeira barreira para o bom desempenho na tarefa de resolvê-los e, neste caso específico, tem sido registrada numa sucessão de 5 semestres letivos, para grupos diferentes de uma mesma disciplina.

A tendência dos alunos em resolver problemas, como os apresentados neste trabalho, é o de resolver um “quebra-cabeça”, um jogo com suas “ferramentas” disponíveis (nem sempre com significado para eles) para serem utilizadas numa situação específica. No momento que este “jogo” exige que eles precisem tomar decisões mais profundas, raciocinar, descrever caminhos ou interpretar dados e resultados, as suas representações internas são requeridas e sua exteriorização nos permite fazer algumas inferências sobre a compreensão que está sendo atribuída ao problema que desenvolvem.

Em vários momentos deste trabalho, foram identificadas como uma das barreiras para a representação de um problema as “concepções alternativas”, objetos de estudo em ensino de ciências, especialmente entre 1970 e 1980. Segundo Moreira (1996), os modelos mentais nos permitem entender porque estas concepções são tão resistentes a mudanças: estes modelos são pessoais e funcionais para o indivíduo que os construiu, então modificá-los – no sentido de uma modificação total de uma concepção para outra – não será tarefa trivial. Vosniadou (1994) propõe uma conceituação mais ampla para esta mudança conceitual, como um enriquecimento de modelos prévios e, somente em caso extremo, uma revisão completa destes modelos.

De particular significação para este tema é a maneira como os indivíduos organizam, representam e finalmente utilizam seus conhecimentos. Não há dúvida de que muitas deficiências em solução de problemas podem ser atribuídas à fragilidade de alguns conceitos necessários à tarefa. No caso específico em que os alunos optam por um caminho equivocado, parece-nos que houve falta de “controle”, ou seja, os alunos “conheciam” os recursos mas a

fragilidade da interpretação e reconhecimento das informações disponíveis levaram-nos a alocá-los indevidamente. Este “controle” inclui decisões executivas sobre planejamento, avaliação, monitoramento e ordenação. Este último aspecto, junto com o conhecimento sobre cognição e as “crenças” do indivíduo, constituem o que usualmente se chama metacognição. Schoenfeld (1985) refere-se ao “sistema de crenças” como a visão do mundo matemático do indivíduo. No nosso caso, incluiríamos também a visão do mundo físico. .

As crenças constituem o conhecimento subjetivo do indivíduo (isto é, não necessariamente correto do ponto de vista científico) a respeito do conteúdo e das tarefas particulares relacionadas. Parece que as crenças modelam atitudes e emoções e dirigem as decisões tomadas durante a atividade matemática na resolução de problemas.

Uma vez superados estes erros envolvendo falta de atenção na leitura, identificação da situação proposta no enunciado, aspectos relevantes e informações que permitem recorrer a modelos que possam solucionar o problema, é necessário uma análise para construir o conhecimento sobre cada estratégia utilizada. Se visamos a aprendizagem significativa um caminho é o ensino da construção para estas representações – a modelagem.

Segundo Moreira (1996, p.201), os modelos mentais das pessoas podem ser deficientes em vários aspectos, talvez incluindo elementos desnecessários, errôneos ou contraditórios. No ensino, os professores utilizam modelos conceituais e esperam que o aluno construa modelos mentais consistentes com eles que, por sua vez devem ser consistentes com os modelos físicos modelados. Este modelos conceituais são os construídos, projetados pelos professores, encontrados nos livros, para facilitar a compreensão de um modelo físico, como os que são tratados nos problemas.

Nossa proposta é de encorajar os alunos a interpretar mentalmente e expressar verbalmente as tarefas que lhes são propostas, assim como os resultados numéricos e gráficos que obtêm das mesmas. Um aspecto lingüístico crucial para se entender o raciocínio científico é a explicação, em oposição ao uso de termos técnicos isolados. Dizer que a inversão do sentido de um movimento ocorre sempre que a velocidade se anula não significa que

estejamos conscientes do que se passa no movimento: precisamos entender em que condições isso é possível. Esta circunstância envolve a questão da inferência e explicação científicas. Outro aspecto não menos importante é a linguagem matemática.

Segundo o físico, historiador e filósofo da ciência, Pierre Duhem (1949, apud, Carey e Spelke, 1994), os cientistas não constroem diretamente do senso comum a compreensão dos fenômenos físicos, mas transladam a linguagem da experiência ordinária para uma descrição matemática do mundo; então eles procuram generalizações e regularidades nesta descrição matemática. Estas generalizações, traduzidas para a linguagem dos objetos do dia a dia, constituirão as leis físicas. O que os cientistas fazem é criar mapeamentos entre a Física e a Matemática. Nersessian (1992) exemplifica este mapeamento entre domínios de conhecimento com os trabalhos de Maxwell e Galileu, em que o raciocínio e compreensão se fazem por meio da construção de modelos mentais de fenômenos reais ou imaginários. Da mesma forma, podemos esperar que nossos alunos ultrapassem os núcleos de seus sistemas prévios de conhecimento por meio de mapeamento de diferentes domínios de conhecimento.

Perguntas em forma deliberadamente socráticas podem ajudar nesta tarefa. Como já foi comentado e justificado anteriormente, respostas claras e explicações lúcidas da parte do professor não são suficientes para mudanças nas concepções dos alunos, e beneficiarão a aprendizagem deles menos do que o confronto com contradições e inconsistências que levariam a modificar recursivamente seus modelos mentais.

A presença de concepções semelhantes envolvendo um número significativo de indivíduos nos impulsiona para continuarmos esta pesquisa sobre o papel da modelagem mental na interpretação dos enunciados de problemas de Física. Esta questão, da reincidência de atitudes por parte dos alunos frente aos enunciados dos problemas, ao longo de 5 semestres consecutivos, é um desafio para nosso trabalho na tentativa de reverter este quadro.

Como afirma Moreira (1996, p.230) sobre a Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird :

“Possivelmente, este é um referencial promissor, porém mais difícil metodologicamente. A idéia de que as pessoas, ou os alunos no caso, constroem modelos mentais do mundo, i. e., “re-presentam” internamente o mundo externo é atraente. O problema é que é difícil investigar tais modelos. Os modelos mentais das pessoas, ao invés de serem precisos, consistentes e completos, como os modelos científicos, são, simplesmente, funcionais. Na pesquisa, ao invés de buscar modelos mentais claros e elegantes, teremos que entender os modelos confusos, “poluídos”, incompletos, instáveis que os alunos realmente têm. E isso é difícil!”

Pesquisas paralelas, enfocando a resolução de problemas aparentemente semelhantes (Costa e Moreira, 2000), têm acrescentado informações relevantes neste sentido. Acreditamos que exista num caminho viável, que inclui uma reformulação no processo de ensino, envolvendo a modelagem dos enunciados dos problemas de Física, com o objetivo de obtermos melhores desempenhos na aprendizagem. Para isso, temos insistido que nossos alunos desenvolvam uma análise crítica dos enunciados dos problemas que lhes são propostos, abordando conteúdos específicos trabalhados em aula. Este procedimento tem ajudado a detectar fatores que dificultam a tarefa de resolução de problemas e ao mesmo tempo auxiliado a corroborar nossa hipótese de que é possível ajudá-los a modelar mentalmente as situações representadas nos enunciados dos problemas. Uma proposta com este objetivo está nos nossos planos para um próximo trabalho.

Referências

- ARONS, A.B. (1990). *A guide to introductory physics teaching*. New York: John Wiley & Sons.
- BEER, F.P., JOHNSTON, E.R. (1991). *Mecânica Vetorial para Engenheiros – Cinemática e Dinâmica (5 ed)*. São Paulo: Editora McGraw-Hill).
- CAREY, S., SPELKE, E. (1994). Domain-specific knowledge and conceptual change. In: GELMAN, S.A., HIRSCHFELD, L.A. (Eds.) *Mapping the mind – Domain Specificity in Cognition and Culture*. Cambridge: University Press, p. 474-493, 1994.

- COSTA, S.S.C., MOREIRA, M.A. (1996). Resolução de problemas I: diferenças entre novatos e especialistas. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v.1, n.2, p. 176-192.
- _____ (1977a). Resolução de problemas II: propostas de metodologias didáticas. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v.2, n.1, p. 5-26.
- _____ (1997b). 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.
- _____ (1997c). Resolução de problemas IV: estratégias para resolução de problemas. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v. 2, n.3, p. 153-184.
- _____ (1998). Modelagem em resolução de problemas: estudo preliminar. Atas do VI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (CD-ROM). Florianópolis, 26 a 30 de outubro, 11 p.
- _____ (2000). A resolução de problemas como um tipo especial de aprendizagem significativa. Atas do III Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa, Peniche, 11 a 15 de setembro, p. 243-252.
- FONSECA, A. (1964). *Dinâmica*. Rio de Janeiro: Editora Livros técnicos e Científicos.
- GARNHAM, A. (1997). Representing information in mental models. In: CONWAY, M.A.(ed.). *Cognitive Models of Memory* (1997). Cambridge, MA: The MIT Press.
- GIL PÉREZ, D., MARTÍNEZ TORREGROSA, J., SENENT PÉREZ, F. (1988). El fracaso en la resolución de problemas de física: una investigación orientada por nuevos supuestos. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 6, n. 2, p. 131-146.
- GRECA, I.M., MOREIRA, M.A. (2000). Mental Models, conceptual models, and modelling. *International Journal of Science Education*, v. 22, n. 1, p. 1-11.
- HIBBELER, R.C. (1985). *Mecânica – Dinâmica*. Rio de Janeiro: Editora Campus.
- _____ (1999). *Mecânica - Dinâmica*. (8 ed.). Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.
- JOHNSON-LAIRD, P.N. (1983). *Mental models*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- JOHNSON-LAIRD, P.N. (1990). *El ordenador y la mente – Introducción a la Ciencia Cognitiva*. Barcelona: Ediciones Paidós.
- McDERMOTT, L., ROSENQUIST, M.L., VAN ZEE, E.H.(1987). Student difficulties in connecting graphs and physics: Examples from kinematics. *American Journal of Physics*, v. 55, n. 6, p. 503- 513.
- MERIAM, J.L., KRAIGE, L.G. (1999). *Mecânica - Dinâmica*. (4 ed.). Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.

- MOREIRA, M.A. (1996). Modelos Mentais. Investigações em Ensino de Ciências. Porto Alegre, v. 1, n. 3, p. 193-232.
- MOREIRA, M.A., COSTA, S.S.C. (2000). Pesquisa em resolução de problemas em Física: uma visão contemporânea. In: MOREIRA, M.A., SAHELICES, C.C., VILLAGRÁ, J. M. (orgs.), I Escuela de verano sobre Investigación en Enseñanza de las Ciencias, Actas, p. 53-82.
- NERSESSIAN, N.J. (1992). How Do Scientists Think? Capturing the Dynamics of Conceptual Change in Science. In: GIERE, R.N. (Ed.). Minnesota Studies in the Philosophy of Science, v. XV. Minneapolis: Minnesota Press.
- NEWELL, A., SIMON, H.A (1972). Human problem solving. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall.
- NORMAN, D.A Some observations on mental models. (1983). In: GENTNER, D., STEVENS, A.L. (Eds.). Mental models. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, p. 7-14.
- RESNICK, L.B. (1994). Situated rationalism: Biological and social preparation for learning. In: GELMAN, S.A., HIRSCHFELD, L.A. (Eds.) Mapping the mind – Domain Specificity in Cognition and Culture. Cambridge: University Press, p. 474-493, 1994.
- ROSENQUIST, M.L., McDERMOTT, L.C. (1987). A conceptual approach to teaching kinematics. American Journal of Physics, v. 55, n.5, p. 407-412.
- SCHOENFELD, A.H. (1985). Mathematical problem solving. Orlando: Academic Press.
- STERNBERG, R.J. (1996). Psicologia Cognitiva. Porto Alegre, Artes Médicas Sul (2000). Tradução de Cognitive psychology, Holt, Rinehart and Winston.
- TROWBRIDGE, D.E., McDERMOTT, L. (1980). Investigation of student understanding of the concept of velocity in one dimension. American Journal of Physics, v. 48, n. 12, p. 1020 - 1028.
- _____ (1981). Investigation of student understanding of the concept of acceleration in one dimension. American Journal of Physics, v. 49, n. 3, p. 242-253.
- VOSNIADOU, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. Learning and Instruction, v. 4, p. 45-69.
- ZYLBERSZTAJN, A.(1998). Resolução de problemas: uma perspectiva kuhniana. In: VI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Atas (CD-ROM). Florianópolis, 26 a 30 de outubro, 14 p.

VI Anexo

LISTA 1

1. O movimento de um ponto material é definido pela relação $x = t^4 - 3t^3 + t$, onde x é expresso em metros e t em segundos. Determinar a posição, a velocidade e a aceleração quando $t = 2s$. Resp.: - 6m, - 3 m/s, 12 m/s²

2. A relação $x = t^3 - 12t^2 + 45t + 18$ (S.I.), representa a posição de um ponto material em função do tempo. Determinar: a) o instante para o qual a velocidade se anula; b) a posição, a aceleração e a distância percorrida ao fim de 5s. Resp.: a) 3 e 5s; b) 68 m, 6 m/s², 58 m

3. Uma partícula se move ao longo de uma linha horizontal tal que sua velocidade é dada por $v = (3t^2 - 6t)$ m/s, onde t é o tempo em segundos. Se a partícula está inicialmente localizada na origem 0, determine: a) a distância percorrida desde $t = 0$ até $t = 3,5s$; b) a velocidade média e escalar (modular) média durante o mesmo intervalo de tempo; c) a aceleração instantânea em $t = 3,5s$. Interprete todos os resultados com suas próprias palavras.

Resp.: a) 14,1m; b) 1,7 m/s e 4,0 m/s; c) 15 m/s²

4. A aceleração de um ponto material é diretamente proporcional ao tempo t ($a = kt$, onde k é uma constante). No instante inicial ($t = 0$), sua velocidade é -5 m/s e sua aceleração é nula. Sabendo-se que $v = 0$ e $x = 10$ m quando $t = 2s$, escrever as equações que caracterizam o movimento. Resp: $a = \frac{5}{2}t$; $v = -5 + \frac{5}{4}t^2$; $x = \frac{50}{3} - 5t + \frac{5}{12}t^3$

5. No mesmo instante, dois automóveis A e B, partem do repouso de uma linha de largada. O primeiro possui uma aceleração constante $a_A = 8$ m/s², enquanto o segundo possui uma aceleração $a_B = \sqrt{2}t^3$ m/s², onde t é medido em segundos. Determine a distância entre os automóveis quando A alcança uma velocidade de 120 km/h. Resp.: cerca de 35m

6. Um cargueiro move-se a uma velocidade de 8 nós (por curiosidade, 1 nó = 1 milha marítima/hora = 1,852 km/h) quando seus motores são repentinamente parados. Se o cargueiro demora 10 min para reduzir sua velocidade para 4 nós, obtenha as expressões da distância s , em milhas marítimas, percorrida pelo navio e de sua velocidade v , em nós, em função do tempo t durante este intervalo. Represente-as também através de gráficos.. A desaceleração do navio é proporcional ao quadrado da sua velocidade, ou seja, $a = -kv^2$.
 Resp.: $v = 8 / (1+6t)$; $s = 4/3 \ln(1+6t)$

7. O movimento de um ponto material é dado pela função horária da posição: $x = 2t^3 - 15t^2 + 24t + 4$ (S.I.). Determine: a) o instante em que a velocidade se anula; b) a posição e a distância total percorrida até quando a aceleração se anula. Resp.: a) 1s e 4s; b) 1,5 m e 24,5m

8. A aceleração de um ponto material é $a = -k/x$. Determinou-se experimentalmente que $v = 3\text{m/s}$ e $a = -1,2 \text{ m/s}^2$, quando $x = 500 \text{ mm}$. Obter a) a velocidade quando $x = 750 \text{ mm}$ e b) a posição do ponto para a qual a sua velocidade é nula. Resp.: a) $\pm 2,92 \text{ m/s}$; b) 904 m.

9. A velocidade de uma partícula que atravessa um líquido para baixo é medida em função de seu deslocamento s por $v = (125-s) \text{ mm/s}$, onde s é dado em mm. Determine: a) a aceleração da partícula quando ela está localizada a 100mm a partir da sua posição original; b) a distância que a partícula percorre até parar; c) o tempo necessário para ela parar. Resp.: a) -25 mm/s^2 ; b) 125mm; c) ∞

Quarta Etapa — Identificação de Conhecimentos-em-ação no Ensino de Física¹⁷

A reincidência de resultados não satisfatórios, ao longo de cinco semestres, a superposição de dois modelos, um físico e o outro matemático nas tarefas analisadas na última etapa mostraram a necessidade de agregar-se outro referencial, pois os modelos mentais, sozinhos, não explicavam de forma clara as dificuldades conceituais que estavam sendo diagnosticadas. Por isso, nesta etapa, a teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud foram agregadas para embasar o estudo, cuja pretensão foi *apresentar algumas tendências conceituais manifestadas por um grupo de alunos em situações de resolução de problemas, no primeiro semestre de 2001, envolvendo o movimento de corpos rígidos, que, por sua vez, permitiram que fossem detectados alguns invariantes cognitivos.*

Dentre as tarefas propostas foi abordada, em uma delas, a interpretação das condições físicas fundamentais para a compreensão e escolha de alternativas de solução, ou seja, questões conceituais. Os problemas faziam parte da avaliação parcial do tema cinemática de um corpo rígido; na semana seguinte à prova procedeu-se a entrevistas, que foram audiogravadas, com duração entre meia a uma hora para cada aluno. De um grupo de 28 alunos, 12 disponibilizaram horários e aceitaram o convite para participar desta pesquisa.

O objetivo das entrevistas era investigar a modelagem mental que estava por trás das concepções que os alunos manifestavam acerca das condições físicas que especificavam o problema, após a discussão sobre o tema, feita em algumas aulas, onde várias situações-problema foram enfocadas. Foram escolhidos dois problemas, retirados de um dos livros, indicados pelo professor para acompanhamento da disciplina (Hibbeler, 1999), modificando-se o enfoque original além de acrescentar-se questões de interpretação e de operações físicas.

¹⁷ Trabalho publicado nas Atas do IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (IV ENPEC) — CD-ROM. Bauru, São Paulo, 25 – 29 novembro, 11 p., 2003.

Os resultados foram contrastados com os de outro grupo de alunos, do primeiro semestre de 2003, composto de 18 alunos; estes últimos não foram entrevistados, mas foi-lhes solicitado que resolvessem os mesmos problemas, cujos resultados escritos foram comparados com o grupo de 2001. Em seqüência, o artigo completo permitirá esclarecer mais detalhadamente.

IDENTIFICAÇÃO DE CONHECIMENTOS-EM-AÇÃO NA APRENDIZAGEM DE FÍSICA¹⁸

Sayonara Salvador Cabral da Costa
Faculdade de Física - PUCRS
90619-900 Porto Alegre, RS
sayonara@pucrs.br

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

Resumo

A partir dos resultados de desempenho em resolução de problemas, e de entrevistas, de um grupo de alunos de um dos autores foram identificados alguns conceitos e teoremas-em-ação que geraram uma interpretação equivocada pela maioria dos 12 alunos universitários entrevistados. Em função desta investigação, procedeu-se a uma alteração na apresentação dos conteúdos para um novo grupo, sob a hipótese de que a modelagem mental construída pelos alunos carecia de elementos de causa e efeito que fossem assimilados e, ao mesmo tempo, significativos para eles; foram-lhes propostas, então, as mesmas situações-problemas. A comparação nas performances dos dois grupos é apresentada e discutida, tendo como referencial a teoria dos campos conceituais de Vergnaud.

Introdução

Resolução de problemas tem sido uma das metodologias mais usadas para diagnosticar algumas dificuldades conceituais de alunos em várias áreas do conhecimento científico, especialmente em Física e particularmente no campo da mecânica (Costa e Moreira, 1996;1997). Geralmente, as concepções identificadas revelam-se bastante distanciadas daquelas aceitas cientificamente.

A extensa literatura sobre resolução de problemas, desde os anos 80, tem mostrado trabalhos com diferentes tipos de problemas de papel e lápis — fechados (Larkin et al., 1980), problemas-questões (Clement, 1983), abertos (Gil Pérez et al., 1988; Langois et al., 1995), entre outros - com abordagens e objetivos variados (Costa e Moreira, 1998; Moreira e Costa, 1999).

Neste trabalho serão discutidos problemas típicos, considerados exemplares (Zilberstajn, 1998), constantes nos livros-texto, nos quais os alunos foram solicitados a interpretar partes do enunciado, que estabeleciam condições específicas para a situação descrita. Se, por um lado, os alunos apresentam relativa dificuldade em resolver este tipo de problemas, por outro, nos deparamos com situações em que estes mesmos problemas são resolvidos (pelo menos como requerido pelos enunciados) sem que tenham uma compreensão adequada do contexto que é pano de fundo dos mesmos.

Quando os alunos são questionados sobre situações físicas, eles geralmente são capazes de produzir explicações e podem freqüentemente fazer previsões sobre a evolução de tais situações. Aparentemente eles estão usando modelos, mas, ao contrário dos modelos científicos, seus modelos são implícitos, são representações mentais que, em muitos casos, têm o que Vergnaud (1996) denomina conhecimentos-em-ação, ou seja, conhecimentos tácitos que permitem ao sujeito interagir com o seu meio.

Na visão de Barais e Vergnaud (1990), estas concepções dos alunos podem ser consideradas como tendências quando elas conduzem a respostas sistemáticas que diferem das que estão sendo ensinadas (p.70).

Pretende-se, neste trabalho, *apresentar algumas dessas tendências manifestadas por um grupo de alunos em situações de resolução de problemas, no primeiro semestre de 2001, envolvendo o movimento de corpos rígidos, que, por sua vez, permitiram que fossem detectados alguns invariantes cognitivos.*

¹⁸ Trabalho apresentado no IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (IV ENPEC), realizado em Bauru, São Paulo, 25 – 29 de novembro de 2003.

No entanto, identificar o hiato entre os invariantes cognitivos e os modelos físicos não é suficiente, é preciso que estas tendências e regularidades de pensamento, concebidos como precursores do conhecimento, sejam utilizadas como instrumentos para uma intervenção abalizada. Nesse sentido nos reportamos ao papel do professor-pesquisador como construtor das condições favoráveis de promover a mudança da representação interna do aluno em representação externa, explícita, consonante com a aceita cientificamente.

Uma vez detectado o que se inferiu ser invariantes cognitivos (ou operacionais, i.e., do sujeito agindo sobre o meio), aventamos, então, a hipótese de que a interpretação atribuída às situações propostas não contemplava um modelo mental de causa e efeito, o que fragilizava as inferências para a tarefa proposta. Isso poderia ser resultado do contexto imposto pelo programa da disciplina, estabelecendo que os alunos em primeiro lugar estudem a cinemática de um ponto e de um corpo rígido e só depois a dinâmica, tanto do ponto quanto do corpo rígido. Em outras palavras, os alunos são orientados a descrever os movimentos, lidar com os modelos físicos apresentados preferencialmente no formato matemático, sem relacioná-los com os agentes responsáveis por gerarem tais movimentos.

Portanto, a análise desses resultados levou-nos a adotar uma estratégia de discussão do movimento de um corpo rígido privilegiando as causas, ao invés de simplesmente descrevê-los, como usualmente era feito, seguindo-se o roteiro estabelecido pelo programa da disciplina. Como *segundo objetivo deste trabalho, apresenta-se os resultados obtidos com outro grupo (2003), sob o efeito desta nova abordagem, contrastado com os conhecimentos-em-ação identificados no primeiro grupo.*

Fundamentação Teórica

A teoria dos campos conceituais de Gérard Vergnaud (1990; 1996; 1998), de base piagetiana, mas desenvolvida igualmente sob o legado de Vygotsky, ocupa-se do estudo de desenvolvimento cognitivo do sujeito-em-situação, o que lhe confere um grande potencial

para descrever, analisar e interpretar aquilo que se passa em sala de aula na aprendizagem de matemática e ciências (Moreira, 2002).

O conceito de situação empregado por Vergnaud é o de tarefa. Os processos cognitivos e as respostas dos sujeitos são função das situações com as quais são confrontados; um conceito torna-se significativo através de uma variedade de situações, uma vez que o conhecimento dos alunos é moldado pelas situações que encontram e progressivamente dominam (op. cit.).

Segundo Vergnaud et al. (1990), uma grande parte do conhecimento de um indivíduo é somente implícito: operações são efetuadas com a ajuda de invariantes (categorias, relações e entidades de níveis mais altos) sem que o indivíduo expresse ou mesmo seja capaz de expressar estes invariantes. Isso é especialmente visível quando o indivíduo resolve um problema, escolhendo, muitas vezes, a estratégia adequada mas sem ser capaz de mencionar as razões para isso. A análise cognitiva de tais comportamentos revela, freqüentemente, a existência de conceitos e proposições fortemente implícitos, os chamados conceitos e teoremas-em-ação, de uma forma mais abrangente, denominados de *invariantes operacionais*.

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*" (Vergnaud, 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 (Vergnaud, 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. (Vergnaud, 1996, p. 202; 1998, p. 167).

Contudo, tal conhecimento não pode ser chamado de conceitual, uma vez que o conhecimento conceitual é necessariamente explícito (p.20). As palavras e outros símbolos, as

sentenças e outras expressões simbólicas são instrumentos cognitivos para a transformação de invariantes operacionais implícitos em conceitos e teoremas científicos.

As concepções dos estudantes podem ser entendidas como estruturas assimiladoras que entram em conflito com os modelos conceituais ensinados nas escolas (Barais e Vergnaud, 1990, p.70). Particularmente na Física, as representações mentais, ao mesmo tempo sobre entidades físicas e para compreensão de um fenômeno, constituem causas de dificuldades em enfrentar estas concepções.

Em situações de resolução de problemas em Física, muitos dos erros cometidos são responsabilizados pela tendência de os estudantes atribuírem o mesmo significado em contextos diferentes. Esta tendência cognitiva, que conduz a respostas sistemáticas diferentes das que se espera do ponto de vista científico, são explicadas por um processo de pensamento que preserva os elos associativos que pertencem a um elemento particular, mas que é percebido como um invariante (op. cit, p. 72).

Em termos de ensino, isso significa que os estudantes devem ter acesso a uma variedade de situações-problema que lhes permita generalizar significados, mas também reconhecer os limites de validade de cada um. Neste aspecto, as situações escolhidas são responsáveis pelo significado dado a um conceito e o professor desempenha um papel fundamental ao escolhê-las, ainda que esteja consciente que diferentes indivíduos constroem diferentes representações mentais de uma situação (Lemeignan e Barais, 1994).

Na construção do conhecimento, os indivíduos desenvolvem concepções ao interagir com o meio — os resultados dão conta das situações práticas da vida. Em situações abstratas, os "erros" resultam do enfrentamento a perguntas que nunca se fizeram ou que envolvem condições não usuais para a situação. Segundo Moreno Marimón (1988), ao construir seu modelo de compreensão, o sujeito organiza particularmente os dados que seleciona e elabora, a partir de uma situação específica, o significado que lhes atribui e as implicações que serão derivadas desta atribuição.

No ensino de Física, um obstáculo de fundamental importância vem do fato de muitos professores tratarem de conceitos científicos como entidades prontas, sem perceber que eles têm de ser construídos pelos estudantes como ferramentas funcionais que os permitirão lidar com diferentes situações.

Os invariantes operacionais do indivíduo organizam de um modo particular os dados aos quais ele atribui significado. Cada sujeito manifesta uma maneira de interpretar as impressões que objetos e fenômenos do mundo exterior lhe causam. Em muitas ocasiões, os dados selecionados e elaborados de uma situação particular podem ser precisamente aqueles que são fundamentais para uma explicação adequada da situação ou fenômeno em questão; por outro lado, a não consideração de alguns dados não implica em desconhecê-los, mas podem ter sido negligenciados por não serem representativos do fenômeno a considerar, na avaliação do indivíduo. Além disso, nos modelos gerados pelos indivíduos, figuram dados que são produtos de inferência - nem sempre pertinentes - das situações analisadas.

De qualquer modo, pode-se considerar que as concepções dos indivíduos, ou seja, os conceitos e procedimentos que eles utilizam nas situações-problema (em termos de Vergnaud), constituem-se em precursores de conceitos a serem construídos. A ativação dos precursores é uma etapa inicial em direção a um processo de generalização que deve ser guiado: a história do homem não credita que ele possa acessar processos de pensamento a não ser que seja ensinado para fazê-lo (Barais e Vergnaud, 1990).

Tendo por perspectiva a teoria dos campos conceituais de Vergnaud, cujos excertos foram aqui apresentados, descreve-se, em seqüência, os procedimentos que caracterizam a investigação realizada.

Metodologia e Análise dos resultados

Prosseguindo na investigação acerca da atividade de resolver problemas tendo-se por referencial a teoria dos campos conceituais de Vergnaud (Costa e Moreira, 2003), oportunizaram-se situações de resolução de problemas para alunos universitários de um dos

autores, na disciplina Mecânica Geral. Os alunos pertencem aos cursos de Física e Engenharia da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS) e os dados foram obtidos no primeiro semestre de 2001.

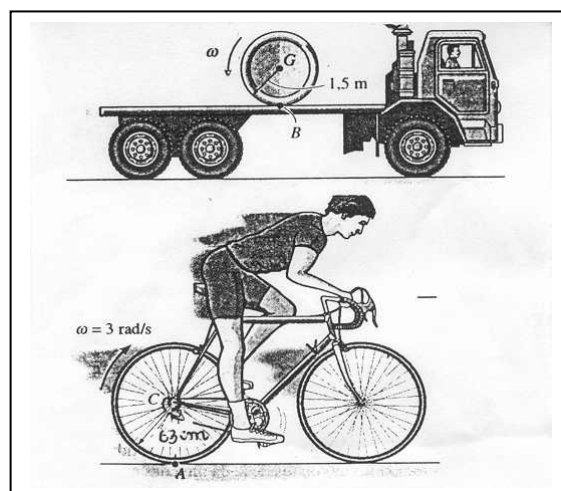
Dentre as tarefas propostas foi abordada, em uma delas, a interpretação das condições físicas fundamentais para a compreensão e escolha de alternativas de solução. Os problemas referidos constituíram as questões de avaliação parcial do tema cinemática de um corpo rígido; na semana seguinte à prova procedeu-se a entrevistas, que foram gravadas, com duração entre meia a uma hora para cada aluno. De um grupo de 28 alunos, 12 disponibilizaram horários e aceitaram o convite para participar desta pesquisa.

O objetivo das entrevistas era investigar a modelagem mental que estava por trás das concepções que os alunos manifestavam acerca das condições físicas que especificavam o problema, após a discussão sobre o tema feita em algumas aulas, onde várias situações-problema foram enfocadas. Foram escolhidos dois problemas, retirados de um dos livros, indicados pelo professor para acompanhamento da disciplina (Hibbeler, 1999), modificando-se o enfoque original além de acrescentar-se questões de interpretação e de operações físicas. O resultado é mostrado a seguir:

Analise as duas situações a seguir e responda ao que é solicitado.

I. No instante mostrado na figura, o caminhão se move para a direita a 8 m/s. A tubulação sobre ele não desliza em B; por outro lado, neste momento seu centro G é visto como estacionário por um observador no solo.

II. A bicicleta ao lado tem uma velocidade $v = 1,2$ m/s para a direita e, nesse mesmo instante, sua roda traseira tem uma velocidade angular $\omega = 3$ rad/s, correspondente ao sentido horário indicado, causando um deslizamento no ponto de contato A.



a) Podemos considerar os movimentos da tubulação e das rodas da bicicleta como movimento geral? Justifique.

- b) *Uma vez que a velocidade da bicicleta é dada como 1,2 m/s para a direita, é possível afirmarmos que todos os pontos da bicicleta, incluindo as rodas, movimentam-se com esta velocidade? Explique.*
- c) *Que diferença ocasiona as informações sublinhadas nos dois enunciados para a descrição física do movimento de cada objeto? Determine as velocidades de B (situação I) e A (situação II).*
- d) *Localize o centro instantâneo de rotação (CIR) para cada situação.*

As entrevistas, conjugadas com o desempenho escrito da prova, revelaram algumas regularidades nas suas análises, algumas das quais serão aqui relatadas e que repercutiram principalmente nas respostas aos itens a) e c):

1. A instantaneidade é um conceito difícil de ser apreendido pelos alunos; em geral, eles transferem a situação momentânea para uma situação permanente (no tempo).

"Não consigo imaginar o instante; instante para mim é uma foto: tudo parado."
(aluna 5)

*"Interpretei que no primeiro seria rotação porque o centro G é estacionário, seria como uma roda do caminhão, como se passasse um eixo ali no centro. Como ele está **sempre** [grifo nosso] com o mesmo movimento seria rotação, o G parado sem translação. O caminhão estaria se transladando."* (aluno 7)

Esta concepção, ainda que já tenha sido razoavelmente explorada em alguns trabalhos de pesquisa (Arons, 1990; Costa e Moreira, 2002) mostrou-se de alguma forma decisiva para

a escolha do tipo de movimento da tubulação na figura da situação I, por exemplo. O item d) foi prejudicado também pela dificuldade de reconhecer instante de intervalo de tempo.

2. A não diferenciação entre movimento de um ponto e movimento do corpo como um todo resulta na compreensão equivocada dos movimentos descritos.

" Quando vi o ω , primeiramente, pensei que estava rolando em cima do caminhão, mas depois este ponto, G, é fixo, ele está parado, então ele não pode se movimentar, se não ele estaria girando. Eu vejo como este ω aqui contradiz o resto " (aluno 2)

" Aqui fala que no ponto B não há deslizamento, é, o ponto G é estacionário, então o cilindro não se move, aí fica parado." (aluno 6)

Esta dificuldade já havia sido detectada numa investigação anterior (Costa e Moreira, 2003), com outro enfoque; então, além de corroborar o referido trabalho, contribuiu para uma interpretação inadequada dos movimentos sugeridos nos enunciados.

3. Os alunos, em geral, manifestaram entender a palavra deslizamento como sinônimo de movimento ou como sinônimo de translação. Alguns manifestaram uma relação entre deslizamento e movimento geral (porque o associam com a necessidade de haver translação). Novamente é identificada a dificuldade de diferenciar, só que, no caso atual, conceitos.

"O ponto B não desliza, tende a acompanhar o caminhão, o ponto B vai ter sempre a mesma velocidade do caminhão, como ele está em inércia, ele não se translada".
(aluno 9)

"Ao mesmo tempo que roda em torno de um eixo, ela está transladando; no caso da bicicleta ela roda porque ocorre deslizamento no ponto A; no caso da caminhão, por

mais que não haja deslizamento, ela se translada porque o caminhão leva ele"...não desliza significa que por si só não se translada". (aluno 10)

A linguagem natural, efetivamente, resulta às vezes imprecisa, especialmente do ponto de vista do indivíduo. A linguagem científica requer precisão, mas também é construída pelo indivíduo, que organiza seus conceitos de uma forma que não é fixa, nem hierarquizada ou racional. Para a mente de uma pessoa, uma palavra não evoca um único significado, correspondendo a um conceito determinado, mas um conjunto de conhecimentos ligados a este conceito. (Leal, 1998).

Durante as entrevistas, alguns alunos referiram-se ao uso de, na linguagem deles, "macetes", outros "regras", oriundos das aulas, das experiências diárias, de certos problemas resolvidos, do discurso empregado pelo professor e pelos pares, blocos de informação adjetivados por um aluno como "fixos" — o que foi interpretado como seus conceitos e teoremas-em-ação. Pensou-se que estes conhecimentos-em-ação, identificados neste grupo e não diferente dos resultados de outras investigações anteriores, poderiam significar uma modelagem mental desprovida de elementos mais significativos que pudessem embasar inferências mais abalizadas; em outras palavras inferiu-se que faltavam elementos que propiciassem relações de causa e efeito para a construção de seus esquemas, uma vez que gravavam-nos a partir de descrições de características e "detalhes" dos movimentos que poderiam significar pouco para eles ou mesmo contribuir para a impossibilidade de generalizar conceitos e procedimentos a partir das situações- tarefas enfrentadas.

Como alternativa viável, pensou-se em promover a discussão da dinâmica de um ponto e do corpo rígido antes da cinemática de um corpo rígido. O papel da força de atrito estático e cinético foi apresentado, exemplificado, inclusive desmistificando a crença de muitos alunos que acreditam que a força de atrito sobre o corpo, cujo movimento pretende-se estudar, seja *sempre* contrária ao sentido do seu movimento — este é um teorema-em-ação bastante difundido entre os estudantes de nível médio e superior. O papel da força de atrito no movimento de rolamento foi também discutido, podendo envolver rolamento sem e com deslizamento, estando presentes, respectivamente, o atrito estático e o cinético, diferenciando da situação onde podemos atribuir translação de um corpo sob a ação de atrito estático ou com

a participação do cinético. Esta discussão foi embasada por situações-problema que destacassem os pontos que queríamos enfatizar, algumas discutidas em aula, outras propostas para os alunos resolverem individualmente ou em pequenos grupos.

Outro ponto discutido foi a questão da instantaneidade da situação utilizando exemplos que envolviam forças e movimento. Aproveitamos movimentos conhecidos, como o de um pára-quedista, o qual apresenta acelerações variáveis a cada instante em função da força de atrito dependente da velocidade.

Após esta discussão, procedemos ao estudo das características do movimento de um corpo rígido. Para a avaliação, escolhemos os mesmos problemas que geraram o primeiro estudo. Isso foi realizado no primeiro semestre deste ano (2003) com um grupo de 18 alunos. Neste caso não houve entrevistas, baseamo-nos apenas nos registros escritos de suas provas. Destes 18, três alunos não responderam a questão, 9 mostraram uma evolução em relação aos primeiros estudos e 6 mantiveram algumas características identificadas anteriormente, como interpretar deslizamento como sinônimo de translação ou mesmo de movimento. Reconhecemos que este aspecto não foi devidamente trabalhado, de modo que a surpresa inicial foi substituída pela constatação de que a linguagem realmente é um fator decisivo para a construção dos conhecimentos do indivíduo.

Algumas manifestações consideradas satisfatórias:

Sobre o significado do ponto de contato com a superfície deslizar ou não:

" No caso da tubulação, como não desliza, no ponto B (é onde tem contato naquele momento com o plano horizontal) a velocidade é zero em relação ao plano horizontal; já no caso da roda, sua velocidade não é zero, porque desliza no ponto A, logo sua velocidade é diferente que a do plano horizontal ($v = 0$) com o qual está em contato."
(aluno I)

" Para a tubulação, se a tubulação deslizesse em B, o observador não veria o centro G estacionário; para a bicicleta, se não estivesse deslizando, a velocidade da bicicleta seria maior." (aluno II)

" I) Quer dizer que ela rola sobre o caminhão sem deslizar, ou seja, no ponto B temos que ($v_{\text{Caminhão}} = v_B$) mesmas velocidades lineares; II) no ponto de contato A ocorre que ($v_A \neq v_{\text{ponto periférico da roda}}$), ou seja, a roda patina e se ela patina nesse instante não podemos fazer como ponto de referência (CIR) para o movimento como no caso anterior tínhamos G." (aluno III)

Nestes três exemplos, representativos dos demais, nota-se que nos dois últimos os alunos manifestam uma compreensão do significado de o ponto de contato com a superfície deslizar ou não que lhes permitiu inferir além do que foi apresentado pelo aluno I. Já o próximo aluno revela, o que assinalou-se anteriormente, como uma compreensão ambígua do que se entende por deslizamento nestas situações.

"Significa, no caso da tubulação, que o ponto B é de **velocidade nula** [grifo nosso - não estabelece o referencial] no instante demonstrado e portanto a tubulação possui movimento somente de rotação, enquanto o caminhão possui translação somente (exceto suas rodas). O fato da roda da bicicleta deslizar indica que ela possui movimento de translação e rotação juntos, ou seja, movimento geral." (aluno XV)

" Os dois movimentos são geral. Mesmo a tubulação não deslizando em B, o caminhão faz com que ela translate para a direita e ela também está em rotação no sentido de ω , portanto, movimento geral. O mesmo acontece com a roda, que rola em relação a C e **translada por deslizar no ponto A**. [grifo nosso] (aluno XI)

Vê-se que ainda o conceito de deslizamento como sinônimo de translação é confundido e, como conseqüência, reflete-se na descrição e classificação dos movimentos da tubulação e da bicicleta. Entende-se que a dificuldade do conceito de instantaneidade também é responsável por esta interpretação inadequada.

Quanto aos demais itens, verificou-se que houve coerência em relação às concepções discutidas aqui, ou seja, os alunos que apresentaram suas concepções equivocadas nos itens discutidos, levaram-nas para os demais.

Conclusões

Neste trabalho, apresentou-se alguns conhecimento-em-ação, como definidos por Vergnaud na sua teoria dos campos conceituais, de estudantes universitários e alunos de um dos autores na disciplina Mecânica Geral no ano de 2001, tendo como tema o movimento dos corpos rígidos. Identificamos: 1) que os alunos interpretaram a descrição instantânea de um movimento como condição permanente; 2) que a descrição do movimento de um ponto é traduzida como a do corpo rígido como um todo; 3) a multiplicidade de interpretações equivocadas para o conceito de deslizamento — "deslizar significa transladar-se"; "para o corpo rolar, ele deve deslizar", entre outras conseqüências. A identificação e a perseverança destes invariantes operatórios foram decisivos para que se buscasse uma forma de reverter a situação. Optou-se por modificar o programa da disciplina, invertendo a ordem de discussão dos conteúdos, baseando-se na hipótese que a descrição simples dos movimentos não permitia uma interpretação adequada das situações-tarefa que lhes eram propostas. Por isso, antecipou-se a abordagem da dinâmica de um ponto e do corpo rígido, onde as causas de determinados movimentos foram enfocadas. Especificamente, abordamos o papel da força de atrito estático e cinético, identificando o teorema-em-ação dos alunos que prevê esta força ter sempre sentido contrário ao movimento que o corpo apresenta. Isso está sendo concretizado neste ano de 2003. No primeiro semestre, repetimos a avaliação realizada em 2001 e obtivemos um resultado razoavelmente favorável, se levarmos em conta que 50% de todo o grupo (N= 18) conseguiram manifestar-se de acordo com os modelos científicos, enquanto, no primeiro grupo (N= 12), todos apresentaram, em algum aspecto, as tendências registradas anteriormente.

Um aspecto que devemos revisar é o da linguagem utilizada e indevidamente interpretada, como foi discutido anteriormente com a palavra deslizamento. O próprio

Vergnaud (1996) sugere um caminho para isso, propondo que se exponha o problema dos significados atribuídos às palavras para ser debatido — uma proposição explícita pode ser debatida, uma proposição tida por verdadeira de maneira totalmente implícita, não. Assim, o caráter do conhecimento muda se é comunicável, debatido e compartilhado (p. 204).

Neste semestre vamos prosseguir neste caminho, procurando identificar nos esquemas dos alunos os invariantes operatórios que nos permitam talvez ratificar algumas conquistas e, quem sabe, promover outras.

Referências bibliográficas

ARONS, A.B. *A guide to introductory physics teaching*. New York: John Wiley & Sons, 1990.

BARAIS, A. W., VERGNAUD, G. Students' conceptions in physics and mathematics: biases and helps. In CAVERNI, J.P., FABRE, J.M., GONZALEZ, M. (Eds.). *Cognitive biases*. North Holland: Elsevier Science Publishers, p. 69-84, 1990.

CLEMENT, M. Naive Theories of Motion. In: GENTNER, D., STEVENS, A.L. (Eds.) *Mental Models*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum, 1988, p. 299-324.

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 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, 1997.

COSTA, S.S.C., MOREIRA, M. A. Modelagem em resolução de problemas: estudo preliminar. *Atas do VI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (CD-ROM)*. Florianópolis, 26 a 30 de outubro, 11 p, 1998.

COSTA, S.S.C., MOREIRA, M.A. O papel da modelagem mental dos enunciados na resolução de problemas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 24, n. 1, p. 61-74, mar. 2002.

COSTA, S.S.C., MOREIRA, M.A. Conhecimentos-em-ação: um exemplo em cinemática de um corpo rígido. Artigo enviado para publicação, 2003.

GIL PÉREZ, D., MARTÍNEZ TORREGROSA, J., SENENT PÉREZ, F. El fracaso en la solución de problemas de física: una investigación orientada por nuevos supuestos. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v.6, n.2, p. 131-146, jun. 1988.

HIBBELER, R.C. . *Mecânica – Dinâmica* (8 ed.). Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos , 1999.

LANGOIS, 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. 174-191, jun. 1995.

LARKIN, J.H., McDERMOTT, J. SIMON, D.P., SIMON, H.A. Expert and novice performance in solving physics problems. *Science*, Washington, n. 208, v. 4450, p.1335-1342, Jun. 1980.

LEAL, A.. Teorías del significado en el lenguaje. In: MORENO M., SASTRE, G., BOVET, M., LEAL, A. *Conocimiento y Cambio*. Barcelona: Paidós, p. 47-61, 1998.

LEMEIGNAN, G., BARAIS, A.W. A developmental approach to cognitive change in mechanics. *International Journal of Science Education*, London, v. 16, n. 1, p. 99-120, Jan./March 1994.

MORENO MARIMÓN, M. Una Teoría del Cambio: los Modelos Organizadores. In: MORENO M., SASTRE, G., BOVET, M., LEAL, A. *Conocimiento y Cambio*. Barcelona: Paidós, p. 63-84, 1998.

MOREIRA, M.A. A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área. Porto Alegre, *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 7, n. 1, 2002.

MOREIRA, M.A., COSTA, S.S.C. Pesquisa em resolução de problemas em Física: uma visão contemporânea. In: *I Escuela de verano sobre investigación en enseñanza de las ciencias. Actas*. Universidad de Burgos, p. 53 –82, 1999.

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.

VERGNAUD, G. Algunas ideas fundamentales de Piaget en torno a la didáctica. *Perspectivas*, v. 26, n. 10, p. 195-207, 1996

VERGNAUD, G. A comprehensive theory of representation for mathematics education. *Journal of Mathematical Behavior*, v.17. n.2, p. 167-18, 1998.

VERGNAUD, G. et al. 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, 1990.

ZYLBERSZTAJN, A. Resolução de problemas: uma perspectiva kuhniana. In: *VI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Atas (CD-ROM)*. Florianópolis, 26 a 30 de outubro, 14 p., 1998

4.5 Quinta Etapa — “Knowledge-in-action: an example with rigid body motion”¹⁹

Nesta última etapa da trajetória metodológica já estava consolidada a possibilidade de integração das teorias de Johnson-Laird e Vergnaud. Desta forma, voltou-se à questão inicial de pesquisa, agora sob um outro enfoque: identificando os conhecimento-em-ação, que seriam manifestações dos modelos mentais, estes, difíceis de investigar. Neste artigo, a questão de pesquisa foi *destacar os conhecimentos-em-ação de alunos universitários frente a uma situação-problema*.

O problema escolhido intencionalmente vinha acompanhado de uma figura, não tinha um desenvolvimento matemático extenso e precisava ser muito bem analisado do ponto de vista conceitual.

A investigação contou com oito alunos, que resolveram o problema por escrito, problema este que constava como uma das questões de avaliação sobre movimento de um corpo rígido; depois foram submetidos a entrevistas audiogravadas.

Como em outras etapas, as entrevistas foram transcritas e os depoimentos foram analisados e comentados.

Novamente, segue o artigo completo que descreve com mais detalhes o trabalho realizado.

¹⁹ Este artigo foi publicado em *Research in Science & Technological Education*, Taylor & Francis Group Ltd.,

Knowledge-in-action: an example with rigid body motion

Sayonara Salvador Cabral da Costa^a and Marco Antonio Moreira^b

^aPontificia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Brasil;

^bUniversidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.

This paper reports the analysis of the resolution of a paper and pencil problem, by eight undergraduate students majoring in engineering (6) and physics (2) at the Pontificia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, in Porto Alegre, Brazil: the problem is about kinetics of a rigid body, and the analysis was done in the light of Johnson-Laird's mental models theory and Vergnaud's conceptual fields theory. The problem solving process has been investigated from the presentation of the problems' variables and the pictures that followed it, up to the resolution itself. This investigation was carried out by analysing the knowledge-in-action that students have used as inferred from their written solutions and from what they said in semi-structured interviews. The findings of this analysis identified some characteristics in their answers and speeches that may help us to understand the processes used by students during the problem solving task with possible consequences for classroom procedures used by teachers.

Introduction

In the recent decades Cognitive Psychology has provided a framework for research on problem solving in several fields of knowledge, focusing on different aspects of this task in different theoretical domains. Among these aspects and theories are (Costa e Moreira, 1996, 1997a, 1997b, 1997c): the information processing theory (Newel; Simon, 1972), Piaget's cognitive development theory (1975;1978), Vygotsky's socio-interaccionism (1991;1993), neo-piagetian theories (Pascual- Leone et al., 1978) and, more recently, the theory of mental models (Johnson-Laird, 1983; Moreira, 1996).

Although this is a very much-studied issue (e.g., VanLehn, 1989; Helgeson, 1994; Sternberg, 2000), there is much work ahead for researchers who are interested in trying to

understand the processes that occur in one's mind when solving a problem of a specific content.

Among the theories encountered over the previous decade of our research and the substantial progress that has been made in the seventies in exploring and explaining the human information processing (Newell and Simon, 1972) based on expert performance deserves to be mentioned.

Most findings came from research (e.g., De Groot, 1965; Chase and Simon, 1973; Larkin et al., 1980; Glaser and Chi, 1988) on chess playing and solving problems in algebra and the explanation for the apparently extraordinary memory phenomena of remarkable chess players is the “chunking” of familiar stimuli. A chunk is any stimulus that become familiar from previous repeated exposure and hence is recognizable as a single unit (Larkin et al., 1980, p. 1336). Brief exposure to a stimulus allows no time to store it in long-term memory; it must be retained in short-term memory or working memory. But short-term memory has a capacity of only seven plus or minus two items or number of chunks— the “magic number” (George A. Miller, 1956, quoted in Larkin et al., 1980.). The difference between experts and novices' chunks is the amount and the organization of the perceptual knowledge measured in chunks or familiar patterns held in long-term memory.

About five years ago we began a project based on the theory of mental models by Johnson-Laird (1983; Moreira, 1996) because we understood that this theory could embrace and justify some of our research questions. This theory is supported by information processing.

With the help of this theory we have carried out studies with some undergraduate students involving the theme of mental modelling the statement of physics problems, specifically in the field of rigid bodies motion (Costa e Moreira, 1998; 2000; 2001; 2002). The specific content of these problems (rigid body motion) demands the student to confront two different ways of thinking. The first one is the theoretical physics' way; students think of real physics things, natural things, they try to understand the laws that determine their

behaviour, for instance, in the understanding and designing of a mechanism. The second one is the mathematics' way of thinking. The concept of a rigid body, for instance, represents a thought and simplified model of a physical object – the one that never suffers any change in size or shape (Synge and Griffith, 1968). Upon this model we apply mathematical reasoning. The next step is to use the formulas that answer questions of interest. But, there still is the need to interpret them from the physics point of view in accordance to the physics problem. For specialists the passage of a physical way of thinking to a mathematical way of thinking, and vice-versa, usually happens almost unconsciously. For beginners, however, these processes constitute a source of confusion greater than we could possibly imagine.

According Larkin (1983), many differences in the problem-solving performance of experts and novices can be related to the use of different problem representations. Novices use a naïve representation, i.e., composed of objects that exist in the real world (blocks, pulleys, gears, wheels) and developed through operators that correspond to developments that occur in real time. Such representation is a runnable model of the real problem situation

Experts, in addition to this naïve representation, are able to construct what Larkin (op. cit., p. 94) calls a physical representation that contains fictitious, imagined entities such as velocity and frequency. Thus, the expert has a second mental model of a problem situation, a model with particularly powerful attributes (Chi et al., 1981).

Beside, analyzing the performance of students, during our investigations, we have identified many times a gap between the physical principles (and/or intuitive ones) that students use and the mathematics language that is used to represent them. But it is difficult for us to distinguish up to what point we could attribute the difficulties that students show, when solving problems in this field, to badly learned concepts or to the lack of mastering or comprehension of the equations that express the principles associated with these concepts. Moreover, how can we separate knowledge of physics, mainly at undergraduate level, from the comprehension of the mathematical equations used to represent it?

For us, these issues echoed in the theory of conceptual fields by Vergnaud (Vergnaud 1993, 1998; Moreira, 2002), which is very well known in the field of mathematics education (Vergnaud, 1987; 1990; 1993; 1996a; 1996b). As a matter of fact, the triad physics-mathematics-problem solving required by itself an interpretation of theories that could deal with it harmonically. The integration of Vergnaud's theory, originally dealing with mathematical representations and Johnson Laird's theory (1983) primarily dealing with language comprehension looks to us as a promising framework for those that do research on problem solving in science and technology; this integration was originally proposed by Greca and Moreira (2002). We believe that such integrated framework might provide a more fruitful view on problem solving and also on expert versus novices differences, in classroom situations than Miller's chunks and Larkin's representations.

Our objective in this paper is to present the results of the performance analysis of eight undergraduate students when solving a physics problem in the field of kinetics of rigid bodies, focusing on their knowledge-in-action as defined in the theory of conceptual fields by Vergnaud (1993, 1996a, 1998; Moreira, 2002) associating these results with the mental modelling implied in this activity, from the point of view of Johnson-Laird (1983; Moreira, 1996).

Theoretical Basis

According to Johnson-Laird (1983) people reason using mental models, that is, of internal nature in relation to the mind, which are defined as structural analogs of states of affairs in the world. They are built from perceptions and personal experiences and they are subordinated to a system of information processing. These models are usually provisional, not too precise and unstable, but can be quickly changed and suffer evolution as time passes, which is a characteristic associated with its recursivity, having only the basic commitment of being functional for the person who generated them.

The process of understanding speech (written or oral) implies the building of mental models for the described state of things. However, this description is probably produced, at

least partly, from mental models of the author. In other words, there is a dialectic relationship between the speech and mental modelling: speech results from mental models and understanding speech requires mental models. One assumption of this theory is that language representations originated from language and from perception have the same nature (Garnham, 1997). The primary source of mental models' building is perception; however, particularly in formal learning situations, the learner has to build such models mainly from speech. That's the case of the statement of the problems in physics classes: to understand the problematic situation described in the statement of the problem, students have to build mental models from a linguistic discourse, usually complemented by other external representations like figures and graphics that follow the statements.

Mental models hardly ever are explicit and that is the reason why students' answers to the problems proposed to them seem to suggest only a "tip of the iceberg" of its internal representations. Nevertheless, some authors (e.g. Zhang, 1997) believe that much of the internal representation's structure is reflected in the external representations expressed by students when solving a problem, allowing us to learn about the internal process by studying its external representations. That is why the theory of mental models seems to be a good reference for research on problem solving.

On the other hand, it is necessary not to confuse Johnson-Laird's mental models with Piaget's assimilation schemes (1975; 1978), which are also representational structures. Mental models are structures built in the working memory so as to manage new situations, i.e., in order to make inferences and predictions, explanations and descriptions about new situations. Mental models are functional structures for an individual, however they are unstable, not permanent; this means that one doesn't need to store them as they were built only to manage a new situation. Assimilation schemes are structures stored in long-term memory. Vergnaud (1990, p.136; 1993, p.2; 1998, p. 168) defines scheme as the invariable organization of one's behaviour regarding a certain class of situations. This means that when perceiving a problematic situation, as belonging to a certain class of known situations the assimilation schemes will guide one's behaviour. Nevertheless when a situation is perceived as new one has to build mental models from structures, which are present in long-term memory plus the information perceived from the situation. Due to their recursive property initial mental models can generate many other mental models (Johnson-Laird, 1983; Greca and Moreira, 2002).

As a consequence, if we want to study problem solving and more particularly the understanding of instructions in the statements by students we have to take into consideration that they do both, building new mental models (as they perceive a new situation) and using assimilation schemes (as they perceive a problematic situation belonging to a class of known situations) already constructed and stored. However, we cannot dichotomise; cognitive functioning is too complex, any kind of reductionism like “mental models or assimilation schemes” is naïve, even for a problem-solving situation, which is relatively simple. Probably, mental models evolve to assimilation schemes; possibly, mental models and assimilation schemes exist together in certain steps of the problem solving process. It seems to be clear that in the study of this process we have to deal with both structures, mental models and schemes. But are they compatible? Would there be a third kind of structure which would allow an articulation between mental models and assimilation schemes? We believe so, for we have found in Vergnaud’s operational invariants a possible link; such invariants, which are essential ingredients of schemes, could also be part of mental models.

For Greca and Moreira (2002, p.14), the relationship between mental models and schemes is a dialectic one. On one hand the representation of reality from one’s knowledge-in-action determines mental models. On the other hand, the process of "comparison" between the results of these models (explanations, predictions) and the solution, which is the effective result of the situation itself, can generate modifications in the invariants due to inconsistencies between the mental model and the situation or in the search for coherency between one’s thoughts and the data input from the outside world.

Scheme is a fundamental concept for cognitive psychology and didactics. Even easily perceiving that a scheme is composed of action rules and rules of anticipation, it has not always been recognized that schemes are also composed, in an essential way, of operational invariants (theorems-in-action and concepts-in-action), and of inferences in familiar situations. A theorem in action is a proposition considered true about the real; a concept in action is a category of thought considered to be relevant. (Vergnaud, 1996c, p.202). They are the hidden part of concepts and theorems explicitly expressed by learners. A concept-in-action is not a real concept neither a theorem-in-action is a real theorem, (op.cit., p.8), but they are

the operational invariants that build the “bridge” between theory and practice. (Moreira, 2002, p.7). They constitute the conceptual part of the schemes, explicitly or implicit, conscious or unconscious, that will generate more reliable rules of action to approach a situation (Vergnaud, 1994, p.54), and based on them, in new situations, the mental models then generated may produce inferences.

According to Vergnaud (1988, p. 171), one is generally unable to express, in natural language, one's theorems-in-action; the same happens with the explicitation of one's mental models referred to problematic situations presented to him/her. The fact we associate the concept of schemes as defined by Vergnaud to the one of mental models as proposed by Johnson-Laird has allowed us to see more clearly some processes that occur during problem solving.

Vergnaud (1994, p. 204) was inspired by Vygotsky (1991; 1993) in the distinction between daily concepts and scientific concepts. This distinction is very useful in the analysis of the teaching and learning within the classroom. If daily concepts are spontaneously formed along one's experience, remaining implicit, the character of knowledge changes if it is communicated debated and shared (made explicit). Even if the process of making it explicit is hard, it still is necessary for discussing the relevance and validity of knowledge (Vergnaud 1997, p.28). The concept of theorem-in-action is the best tool to describe the development of students' competencies in relation to a very specific knowledge and for scanning relationships among the intuitive knowledge, implicit, and explicit theorems and mathematical symbolism. (Vergnaud, 1988, p.160) Once detected, they can be used for stopping the inappropriate usage of intuitive knowledge, if that is the case for it.

It is very necessary for one's cognitive development that one masters the situation at which one is confronted with. In other words, that one uses one's own procedures starting from a representation that one makes of a certain situation (Franchi, 1999, p.189). On the other hand, we cannot be deceived by the idea that a good presentation of the physical theories (or the mathematical ones) during a class will make students learn. In fact the mastering of knowledge in these sciences develops through problem solving, and this development is slow and might require long periods of time (Vergnaud, 1983). It must be

clear that the problem solving situations that we have referred to are the ones that make concepts meaningful for students; they are essential and must be carefully studied. (op. cit., p.172).

Methodology

This study was carried out with eight students (six majoring in engineering and two in physics) in a class of 35 students which was being taught by one of the authors, in the subject of Vector Mechanics, at the Catholic University of Rio Grande do Sul, Brazil, during the second semester of 2000. The main theme of this discipline is the rigid bodies motion with a relatively extensive literature (for example, Beer and Johnston, 1991; Hibbeler, 1995; 1999; Meriam and Kraige 1999), and is more targeted to engineering.

For data gathering we chose a problem proposed in the second partial exam and after that we interviewed some students (eight) who agreed in taking part of it. The interviews, which were somewhat unstructured, happened one week after the partial exam and were audiotaped. During these interviews students had the opportunity to express verbally how they interpreted the problem's statement, which information they considered to be important and how they reacted in the search of solutions that were required to them.

This subject has six weekly class-hours, which, for the group of interviewees were divided into two three-hour periods. Their previous experiences in solving problems about the chosen theme came from the classes in which the topic had been presented to them, from the examples given by the teacher and from some additional classes exclusively dedicated to problem solving in which they worked in small groups for solving end-of-chapter problems that were on the textbooks, under teacher's guidance.

Next, the selected problem (Hibbeler, 1999, p. 231) and a proposed solution, based on the physics model used for a rigid-body motion, are presented.

A matrix, fixed on a rotating cylinder M , is used to print on cans. Supposing the cans are 200mm apart one from the other, on the conveyor belt, determine the r_A radius of the motor wheel and the r_C radius of the conveyor belt cylinder's in such a way that for each cycle of the matrix it prints the top of one can. How many cans are printed per minute if the cylinder C rotates at the angular velocity $\omega_C = 0,2 \text{ rad/s}$? Note that the belt driving the wheels is crossed.

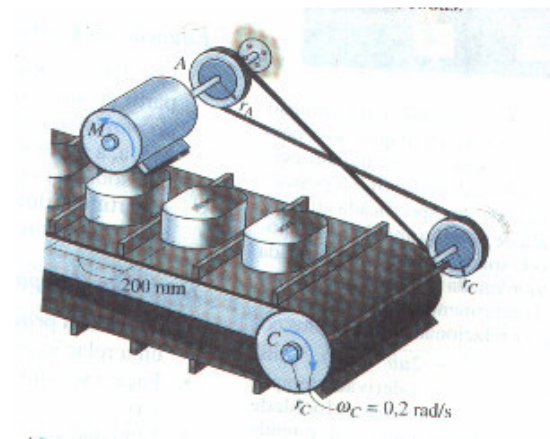


Figure 1. The problem

Firstly it is important to point out that we had intentionally chosen a problem that was complemented by a figure that, in our opinion, would make it easier for students. After reading and analyzing the proposed situation one could deduce that the fundamental aspect of this problem is the synchronicity of the two cylinders' rotation, the one that is part of the matrix and the one that has contact with the conveyor belt. This synchronicity is produced by the belt that passes around both wheels connected to them. The cylinders rotate around their longitudinal axis and these movements are connected by the belt. The fact that the belt is crossed makes each wheel, and consequently their cylinders, rotate in the opposite direction. The latest statement is an assumption that the wheel A and the cylinder M (for matrix) have the same angular speed as they are fixed to the same rotating axis; the same happens with the wheel C and the cylinder C's belt. Supposing the belt doesn't slide in relation to the wheels, it transmits to them the same velocity in peripheral points of the two wheels. The relation between the velocity of these points and the angular speed, being r the radius for each wheel, symbolically expressed as $v = \omega r$, permits the conclusion that the radius is the same for both wheels ($r_A = r_C$).

For calculating the radius, we will resort to the fact that each cycle of the matrix's cylinder prints the top of one can. Since the cans are separated by 200 mm we can say that the distance is the perimeter of the M cylinder's cross section. In mathematical language, $200 \text{ mm} = 2\pi r$. Thus, r_M can be calculated in the following way:

$$r = \frac{200 \text{ mm}}{2\pi} \cong 31.8 \text{ mm}$$

This result is not only the radius of the cylinder M, but also of the wheel A, the wheel C and the cylinder C.

In order to calculate how many cans are printed per minute one may investigate how many rotations of the matrix's cylinder happen in this time interval. As the printing process must be synchronized with the conveyor belt, angular velocity of both cylinders must be the same. So, if $\omega_C = 0.2 \text{ rad/s}$ this means that during each second 0.2 radians is turned, or 12 radians will be turned in one minute.

$$0.2 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = \frac{0.2 \text{rad}}{\frac{1}{60} \text{min}} = 12 \frac{\text{rad}}{\text{min}}$$

At each cycle the matrix rotates 2π radians and prints the can, so the number of printed cans per minute will be:

$$n = \frac{12 \text{rad}}{2\pi \text{rad}} = 1.9 \text{ cans (it prints nearly two cans)}$$

As mentioned before this is one of the possible solutions which uses a scientific model about the rotational motion of a rigid body. This model was presented by the teacher in a class, complemented by some problematic situations that could comprehend its fundamental characteristics like the difference between the angular velocity and the linear velocity, the scalar and vector relationships between them, and among the others. Vergnaud (1987) considers that problem solving and concept development cannot be separated because one reinforces the other, that is, the mental representation of the statement and the concepts present during the process of solving a problem are just as important as solving the problem in the formation of concepts.

In the following pages we will present the results we got with the interviews and students' performance while solving the problem proposed to them, focusing on the identification and analysis of what we consider to be knowledge-in-action (theorems-in-action), according to the theoretical framework of Vergnaud's conceptual fields.

Analysis of the Results

In the interviews, we asked students to describe all they could remember about when they had to face the proposed problem. This one was the first of the four problems regarding kinematics of a rigid body involving both rotation and translation proposed to them in the partial exam. After they had said everything they could say spontaneously their written solutions to these problems were handed back to them so they could review their own solutions.

Student 1: interview

The moment I read this question I couldn't get anything 'cause it was the last question that I had tackled, that's why I didn't finish it, I think you saw there was some stuff missing [the student had left a part of the solution incomplete as it can be seen in her performance records]. That's because usually when I read the first time I am nervous, maybe because that's the beginning of the test, and this way I can't get a thing. But as time goes by, after I have done one question and another, then it starts to clear out, I don't mean it's very hard to understand, after sometime I get to understand it and it's not so hard, at least I didn't think it was very hard... After I had read it once or twice, maybe because I have done other problems, ideas become clearer, but I thought this was the hardest problem in this test. I think the figure helps you see what's happening, if this cylinder goes this way... This problem is a little harder than the problems already known and worked in class, but I think it would not be so much different, I thought of the belts case, that is one of the exercises on the list, which had a bicycle, but it was not exactly the same thing.

According to Vergnaud (1993, p.1), if we intend to measure concretely the adaptive function of knowledge we must preserve a central place for the forms that it takes in one's action. In the classes of situations for which one doesn't have all necessary competencies, one

must comply with some time for exploration and reasoning, hesitations, frustrated attempts, eventually leading one (or not) to success (op cit., p.2).

This student shows a preliminary scheme, in the field of perception, for interpreting what the problem is about and what questions it. For Vergnaud (op. cit; p. 4) these schemes are rescued from a vast repertoire of schemes available and linked to the class of situations that seem related for the situation being studied. Since this relatability is partial and sometimes illusory, hesitation will come up and additional schemes may be outlined, many other schemes might be evoked one after another or even simultaneously, in a new situation for the subject (or at least that one he/she considers new).

The need of many readings, as mentioned by the student, was probably caused by differences in the situation in respect to the ones she had already seen, as well as by the specific questions involved in the problem, which required a different approach regarding problems previously seen by the first student. This might lead to the discovery of new aspects about the situation and occasionally generate new mental models: the figure seem to have caused a negative effect as it was not similar to some previously seen figures, but after being analyzed again and again it seemed to gain its relevancy in the representation of the problem. It seems this was exactly the case: initially the figure seemed like a barrier, then it helped in the comprehension of the problem situation.

[About the crossed belt]: I had read it here that it [the belt] is crossed but I couldn't get a thing. I don't know if it would change anything; I even thought that would have some importance but I couldn't get what it was.

Not recognizing the role played by the belt in the task of printing the cans seems to reveal a greater concern with the parts of the system related to the questions proposed to be answered in the problem; the belt doesn't seem to be relevant, even though it is the crossed belt which allows the inverted motion of the cylinders. This is reinforced by the fact that the

first student, even not realizing the importance of the crossed belt, expresses that there should be synchronicity in the motion of the two cylinders:

When I got started I thought so because it says so here, for each cycle this one goes...[she is referring to the cylinder with a matrix] it puts a stamp on the can. So I thought this way, if this one rotates [cylinder with a matrix], this one [conveyor belt cylinder] has got to rotate, each cycle one completes the other does the same way, that's how I got started in the problem. Then I guessed that if this one goes round once that one also goes, the angular speeds for me would have to be the same, for both, so, this way I have the speed for this one, so I tried to find the radius. I don't know if these radii were equal, I thought they were equal, for me everything was equal...

The student realized that the angular velocity for both cylinders was the same, but she didn't realize that the angular velocities for the cylinder M and for the wheel A were also the same. On the partial exam she wrote that the linear velocities were equal. Here we have a theorem-in-action according to which the linear velocity is attributed to a solid body as a whole. This theorem-in-action probably came up because of the belt present in the problem, that could have made her think of a situation discussed in class in which this condition was satisfied (figure 1) and whose interpretation was mistaken. Apparently we have an example of what Vergnaud calls the interpretation scheme-situation. (Vergnaud 1996c, p. 203).

Comparing the interview of Student 1 with her performance on the exam, we can perceive that on the partial exam she used almost exclusively symbolic (mathematical) language. We attribute this representation for problem solving to the model that students have from problems solved on specialized books or on the blackboard, giving a secondary and not mandatory place for justifications, meanings and the representation of the equations used in their answers (see comment in Figure 2).

From the written representation of the problem we can deduce some theorems-in-action, part of them revealed by symbolic statements (mathematical), some scientifically correct, some not.

I) For each cycle of the matrix : $\theta = 2\pi\text{rad}$. [For each cycle of the matrix it stamps one can: $s = 0.20\text{m}$

II) $s = R\theta$, [so I can calculate the radius of the cylinder with a matrix]; $v = \omega R$, [and it's also possible to calculate the radius].

With regard to the latter, the student showed some uncertainty (indicated by an asterisk in the solution):

“If $v_M = v_A$ and if $\omega_M = \omega_C$ [this one probably came from the fact that both cylinders have to rotate at the same angular speed – which was also said in the interview]”, and further on, “if $v_A = v_C$ ”. Apparently she uses this mathematical relations to represent the problem-situation and try to find out a way to calculate the cylinders' radiuses. But the conditional element “if” portrays the weakness of her concepts and principles involved and which would be anchoring the mathematical statements. The first assumption ($v_M = v_A$), in order to be true should be supported by the fact that the angular velocity of M and A are the same (since two pieces rotating around the same axis have the same angular velocity- and this condition had been already explored previously in the problems worked out in the classroom as well as the equality of their radius. However, the second assumption ($v_A = v_C$), also used to complete the previous one (see exam), was quite obvious since the belt linking both wheels should transmit the same linear velocity to peripheral points of them (this situation was not new for these student, as we have already pointed out).

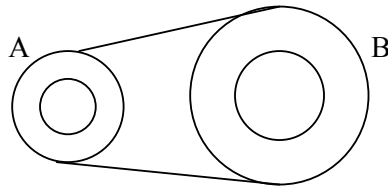


Figure 2. The motion of both pulleys', A and B, connected by a belt that doesn't slide in relation to the pulleys. In this situation it is usual that students write down the relation of velocity of the peripheral points simply as $v_A = v_B$.

$\omega_C = 0.2 \text{ rad/s}$	For each cycle of the matrix: $\theta = 2\pi \text{ rad}$ It stamps one can: $s = 0.20 \text{ m}$
$S = R\theta$	
$0.20 = R \cdot 2\pi$	
$R = \frac{0.20}{2\pi}$	$R_M = 0.031 \text{ m}$
* If $v_M = v_A$	and If $\omega_M = \omega_C$
$\omega_M \cdot r_M = \omega_A \cdot r_A$	$\omega_M = 0.2 \text{ rad/s}$
$\omega_M \cdot 0.031 = \omega_A \cdot r_A$	
$\omega_M \cdot 0.031 = \omega_C \cdot r_C$	
$\omega_M \cdot 0.031 = 0.2 \cdot r_C$	$\rightarrow r_C = 0.031 \text{ m}$
$r_C = \frac{\omega_M \cdot 0.031}{0.2} = 0.15\omega_M$	
* If $v_A = v_C$	$\omega_A \cdot r_A = \omega_C \cdot r_C$
	$\omega_A \cdot r_A = 0.2 \cdot 0.031$
	$\omega_A \cdot r_A = 0.0062$
	$\rightarrow r_A = \frac{0.0062}{\omega_A}$

Figure 3. Student 1: performance on the written problem

Student 2: interview

The matrix M, fixed to a rotating cylinder, is used to stamp on cans. These cans stroll along a conveyor belt as they are stamped. If these cans are 200 mm far one from the other (considering the center, which is the place to

be stamped) on the conveyer belt, determine the radius R , for the motor wheel A = which rotates at the same speed the matrix M rotates. It is fixed at the same axis, isn't it?

During the reading and "simultaneous translation" of the statement the student seems to master the situation proposed using an initial theorem-in-action:

"The wheel and the cylinder have the same angular speed because they are fixed to the same rotating axis."

And the radius r_C for the conveyor belt's cylinder...what happens to it? As they are linked they must have the same linear velocity and as the belt is crossed here they must have the same magnitude but in opposite directions. The radius r_A for the rotating cylinder, so that at each cycle of the matrix it stamps the top of one can. Well, what is going to happen then? At each cycle it will stamp one can. I know this distance and I know that the length of a circle is $2\pi R$. So this circle must have this length. This way I calculate and find the radius.

In this explanation there seem to be some other theorems-in-action concerning the central aspect of the problem: the connection between the motions and the need for synchronicity. They are:

"A crossed belt transmits the same tangential speed to the wheels which it involves" (the tangential speed is conceived as the angular speed; it represents the motion of the entire rotating solid).

"The crossed belt makes the conveyor belt cylinders rotate in opposite directions."

"One cycle of the stamping cylinder is equivalent to $2\pi r$."

"The distance $2\pi r$ is the same distance between two cans. So I can calculate the radius

r_A ".

[What about the r_c ?] I used the angular speed...I know that each second it goes 0.2 rad and I want to know how many cans will be stamped per minute, so I converted this angular velocity, the angular velocity is given in radians per second, so I converted it to revolutions per minute.

Regarding the conveyor belt, I looked the belt's velocity, let me remember, this omega here ends up being that omega there [the student recognizes the equality between the angular velocity of the cylinders M and C: 0.2 rad/s], per minute, then I calculated the tangential speed for the conveyor belt that would be ωR , omega is given, I calculated in rotations per minute, times 200, which is the distance the belt goes on to stamp one can. Then I applied the formula and found that the radii were the same.

Up to this point I thought much about how to achieve the relation. At first it wouldn't necessarily be the same radius. This relation helped me.

The student explicitly shows that, at first, the radii could be different. We should think he has a reason to believe so: this situation might have evoked well-succeeded schemes from other situations in which the belt connected wheels of different radii (as in the situation of figure 1).

Anyhow, he used another theorem-in-action, $v = \omega R$, that added to the fact that “both wheels have the same linear velocity” allowed him to calculate the radius of the cylinder C. This theorem-in-action, that the linear velocity represents the motion of a solid as a whole, didn't come to the point of interfering in the problem's solution but it allows us to analyze a failure in the student's conceptual field.

Even though he knew that the angular speeds were the same he didn't figure out right away about the equality of the radii; he ended up doing the calculations for the belt's motion (that is confirmed in the written partial exam).

Without the picture I wouldn't get to see. I need to analyze the motion. I am more visual, in my own electric engineering course, I need to draw my circuit, I always try to make a drawing, analyzing part by part. I have difficulty without a figure even if there is a statement; I try to draw to solve the problem. Sometimes, I also try to think about the result, not only to calculate it; for instance on this exam I built schemes, I didn't finish one of the problems before going to the next problem, I went up to the fourth problem drawing and making it, the exam was according to what we had seen in class before, in relation to the exercises, of course, it was something more sophisticated to think about. I tried to draw, to begin, to equate and when I had too much doubt I went on to the next problem.

The need to draw and transform in drawings, in figures, the language used in the statements suggests an assimilation scheme which organizes the search of relevant information as a function of the problem to be solved or the goal to achieve, besides regulating the inferences. (Vergnaud, 1993, p.25). Such a scheme contains knowledge-in-action that could be, for example, the beginning analysis focusing on parts, details about the situation and, then, relating them with other parts and finally with the whole; if there is a general coherency, the partial analysis is approved.

The written solution of the problem allows us to confirm the schemes revealed by the student during the interview, including rules of action and anticipations, since these rules generated a number of actions targetting the goal, complemented by his theorems, concepts-in-action and inferences (Vergnaud, 1990).

In this written solution the student states the hypothesis that “the belt doesn't slide in touch with the wheels, giving them the same linear velocity”; this condition suggests us another theorem-in-action being used.

Even if the student has concluded the problem successfully and used the theorem-in-action $v = \omega R$ which associates the motion of the two wheels (and of the two cylinders), his concept of linear velocity, for the motion of a rigid body, needs to be reviewed.

We can also comment about the wrong mathematical language used by the student to represent the wheels rotating in opposite directions, but with “the same linear velocity: $v_A = -v_C$ ”. This is his theorem-in-action to represent, in mathematical language, the fact that the wheels rotate in opposite directions. On the other hand, again we have our interpretation finding support in the fact that he seems to attribute the equality of speeds to the whole wheel and not only to the peripheral points of it which satisfy the problem’s conditions. This kind of reasoning brings back the first part of our discussion about the mental representation of the relation $v = \omega R$.

$200\text{mm} = 0,2\text{m}$

If the distance between the cans is 200 mm and each time the fixed matrix rotates it stamps the top of one can. The length of the circle must be 200 mm.
 We know the length of a circle is $2\pi R$.

So $2\pi r_A = 0.2 \quad \therefore r_A = \frac{0.2}{2\pi} = 3.183 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 31.83 \text{ mm}$

Considering that A and C don't slide in the belt, then: $v_A = -v_C$

$$v_C = \omega_C \cdot r_C \quad v_A = \omega_A \cdot r_A$$

$$v_C = 0.2 r_C \quad v_A = 31.83 \omega_A$$

For C $\rightarrow \omega_C = 0.2 \text{ rad/s} = 12 \text{ rad/min}$

$$1 \text{ turn} - 2\pi$$

$$x - 12 \quad x = \frac{12}{2\pi} = 1.909 \frac{\text{turns}}{\text{min}}$$

$v_C = 1.909 \times 200 = 381.3 \text{ mm/min}$

$$v_C = \omega_C \cdot r_C \quad \therefore r_C = \frac{381.97}{12} = 31.83 \text{ mm}$$

$$r_A = r_C = 31.83 \text{ mm}$$

You have 1.909 cans stamped p/ minute.

Figure 4. Student 2: performance on the partial exam.

Student 3: interview

In this question I thought from the beginning that C would have to rotate with the same speed that M does, otherwise the cans would not go on in the same way... otherwise cans wouldn't be printed, the mechanism wouldn't work.

The problem's representation allows the student to identify the consequences of a crossed belt and at the same time the synchronicity between the motions of both cylinders. He hasn't specified to what velocity he was referring to, though. Two theorems-in-action can be inferred:

- “The belt determines the “rotation order”(direction) of the wheels.”
- “C has to rotate at the same speed that M does so that the mechanism can work.”

For him:

The figure suggests that the radii of the two wheels and the matrix could be the same.

The figure was of great help, even when I couldn't understand I was calculating how long that took, if it...because I found out the number of cans, it was easy to do that per minute, so I saw this 1.9 [number of cans per minute calculated by the student] and here there were 3 [cans], I could calculate the time to go through this and with this time I would be able to find this radius. I would use the linear speed $2\pi R$. I thought this would be a somewhat complicated way to do so.

In a similar way do Student 2, for him the figure was an allied for the understanding of the situation: “...the presence of the picture helped me to develop my reasoning in the search

of a strategy...I knew they were the same, and that the angular speed was that...but I erased...”

Analyzing the student’s written exam we can understand better to what he refers. Maybe he could have had the same success obtained by the second student but some theorems were lacking. We will identify these theorems right after showing his solution in the exam.

Like the first student this one also uses almost exclusively mathematical language. We can infer some theorems-in-action from his problem solving

$$\begin{array}{l}
 v_A = v_C \quad \omega_M = \omega_A \\
 \omega_A \cdot R_A = \omega_C \cdot R_C \\
 \quad = 0.2 \cdot R_C \\
 \\
 1 \text{ rotation} \rightarrow 1 \text{ can} \\
 0.2 \text{ rad} \rightarrow 1 \text{ s} \\
 x \rightarrow 60 \text{ s} \\
 12 \text{ rad} \rightarrow 1 \text{ min} \\
 \\
 1 \text{ turn} \rightarrow 2\pi \text{ rad} \\
 x \rightarrow 12 \text{ rad} \\
 x = 1.9 \text{ rotation/min} \\
 \text{or } 1.9 \text{ cans/min} \\
 \\
 2\pi R = 0.2 \text{ m}; \quad R = \frac{0.2}{2\pi}
 \end{array}$$

Figure 5. Student 3: performance on the written exam.

- “The linear speed of the wheels A and C are the same”. We can assume that he knows v represents the linear velocity. However, the language used (symbolic) doesn’t allow us to infer if he knows exactly what that means: that only the peripheral points of the wheel, in direct contact with the conveyor belt, have got this property.
- “The wheel A and the matrix cylinder have the same speed”. We can assume he refers to the angular velocity, since he used the traditional ω symbol.
- “One rotation allows one can to be printed.”

- “If one rotation implies going round 2π rad (1 rotation = 2π rad) so to turn 12 rad it has to rotate 1.9 times.”
- “One rotation goes $2\pi R$ (1 cycle = $2\pi R$)”.
- “Each rotation is equivalent to 0.2 m”

The doubt shown by the student during the test, if the figure would be considering two equal radii, seems to show that the synchronicity, even having been made explicit by him, was not properly analyzed; it was lacking the inference regarding the equality of angular velocities for both cylinders and their respective built-in wheels and common axis. For the sake of brevity, the performance of the remaining students will be abbreviated, emphasizing only some more important aspects.

For Student 4, we should take note of the following comments:

“The cylinder C rotates at the same speed of the conveyor belt. If it rotates with the same speed of the conveyor, then the wheel C has the same speed of A.”

Here he seems to recognize both objects, conveyor belt and belt as equivalent, assigning them the same function. The speed he refers to is tangential, as he elaborates:

“All wheels have the same speed...tangential... because the angular speed depends of each... wheel’s radius.”

It seems that the situation shown in Figure 2 and in other problems solved in class have induced him to use a wrong theorem-in-action: in addition to assigning the same tangential speed to both wheels, not for some points of them, which are restated on the written exam, as he writes: " $\vec{v}_C = \vec{v}_A = \vec{v}_M$ " and , he does not perceive the relationship between their angular speeds; he also registers: " $\vec{v}_{\text{belt}} = \vec{\omega}_C \cdot \vec{r}_{\text{distance between the cans}}$ ", showing a misinterpretation of the relationship among v , ω , and the radius.

He first assigns a scalar product between $\vec{\omega}$ and \vec{r} ; then he considers r as the distance between the cans and not the distance between the rotating axis and the point where the belt touches the wheel. The concepts assigned to some measures involved really jeopardize his performance.

What is really new, presented by Student 5, is the use of an analogy to represent the situation (Figure 6). He repeated in the interview what he had registered on the written exam.

“The figure’s crossed belt, around both wheels, can be substituted for two wheels rotating and touching each other at just one point.”

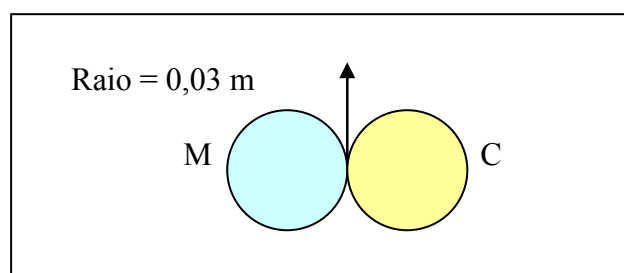


Figure 6. Student 5: analogy of the problem

Although the student does not make it explicit, a theorem-in-action seems to have been used: the cylinder and its attached wheel always have the same angular speed.

“The figure is a bit stunning in the beginning: the anxiety accounts for not knowing what is being asked; [further on]...the figure made it easier for understanding what was going on. The great starting point for me was the understanding of how to do the relation of the belt, that could be used like two wheels, with opposite directions...I drew wheels to simulate and I thought that was easier.”

“As C [the cylinder] goes round it pulls the conveyor belt and the matrix must follow the conveyor belt, this motion can’t be out of synchronicity.”

“The R [matrix cylinder radius] would be the same to the R that moves the conveyor belt...it’s in the figure, that would be another one in which what matters is observation.”

“In the point of contact between the wheels the tangential speed and acceleration are the same.”

During the interview the student justifies not having concluded the resolution of the problem by not having conveniently prepared himself for the exam.

Observing the performance on the exam it seems evident there was a connection missing between the problem representation and the physical principles, including concepts (this is shown by $v = \omega R$) which, together with the motion synchronicity, would solve the problem.

Another student (Student 6) again seems to represent properly the statement and points out the importance of the figure in understanding the problem:

“I understood that I had to find the radius which allows that the motor rotates in relation to this belt, that each time it rotates that should be compatible with its marker, there is a guide, always mark each can passing the conveyor belt.”

[In relation to the crossed belt] This means that it is rotating in the opposite direction in relation to the conveyor belt; one wheel rotating one way and the other one rotating the other way, because they cross each other, so one goes against the other, the conveyor belt is going backwards and the cylinder is going forwards.

This was clear [referring to the statement] and the figure helped showing it. The more you spoke about the belt being crossed maybe you wouldn’t understand how this matrix works and maybe, for someone who

doesn't know how a matrix works, what it does, and the drawing lets it very clear how it works, the cycle that is going to happen and so you can understand what is going on in this exercise.

"I thought [the problem] was easy, it was very practical, all you had to do was to know what was going on and after it was just to apply the formula within a scheme that you had built, get the radius, the angular speed and after that calculate the speed. I thought this problem was very easy.

For this student the resolution was a mere "application of the formula. When he referred to the schemes put into action to make the solution effective he resorted to rules like "if...then":

"I wrote the radii were the same because if they were not the same the speeds wouldn't be the same, I am talking of the angular speed. As the belt is linking both, if the radius of A were bigger it would rotate more, the conveyor belt would go faster in relation to the marker. Cans would have to have a wider distance one from the other."

He wrote on the exam:

"The radiuses are the same because the speeds of the wheels are the same."

The student completed with:

$$v_A = v_C; \quad r_A = r_C; \quad \omega_A = \omega_C$$

$$\text{Perimeter} = 2\pi R \rightarrow R = 31.83 \text{ mm}$$

“So that at each time the matrix rotates it registers a can it is necessary that the wheel’s radiuses be the same, so I’m supposing they have the same angular velocity because their velocity have the same module, I’m talking about the tangential velocity.”

Again we can perceive the tangential speed is considered for the whole object and not for points of this object. On the other hand, the vector characteristic of the angular velocity is not recognized in relation to the tangential velocity.

In the same way as the previous student, Student 7 makes it very clear that the scheme to solve the problems must contain the representation of the proposed situation. She said the following in the interview:

“Firstly I read the statement and quickly take notes of some information it provides you. Then I read it again, calmly, trying to understand perfectly what is going on also with the help of the figure, trying to imagine what happens, the way it rotated, all very clearly, and then on the exam I even wrote what I understood from the problem, what I had imagined. After this I read it again and thought how this printing would happen, how the machine would do, trying to imagine the machine’s movement.

No doubt the figure was very important...it called the attention and enhanced the fact that belt provoked the motion that, certainly, could have been not perceived. The figure really called my attention, mainly here in this section of the cans, more than interpreting the motion itself. I started imagining the motion and then I tried to imagine what would happen for the fact it was crossed, and in my mind I thought each one would rotate to one direction. In this question I got to imagine some things that I couldn’t really solve.”

On the exam she provided evidence of some theorems-in-action:

“The ω_M [of the matrix] must be equal to ω_C [of the conveyor belt] in module; r_A must be equal to r_C the only difference is their rotation direction which is inverted. This happens because the belt linking both wheels is crossed.” That was more or less what I had said; I thought that with this radius r_A is equal to this radius r_C , I thought they would have the same speed.”

“I know there is a relation, when the pulleys are linked by a chain or a rope but during the exam I didn’t get to remember everything, I only got to remember at that moment why it was crossed.”

But the student’s scheme failed to complete the solution of the problem. The linked pulleys situation was vaguely remembered, that is why we could deduce it was not properly understood. Even having recognized the conveyor belt’s motion and the matrix motion were associated the student didn’t have the concrete elements to do so. She confirms this:

“At this matrix here I got lost, trying to imagine what way it would rotate, this way, I guess that’s what I thought. I know I really got a little bit lost at the matrix and I didn’t get to finish because I couldn’t see where I had to use the distance between the cans.”

Student 8, in the interview, again brings up again the issue of the radius length, but this time with a new theorem:

“I understood right away there is a machine, that this machine has two cylinders linked by a belt. It is not explicit in the problem what it’s the cylinder’s radius, it doesn’t say anywhere they have to be different, anyhow you will find one or another but if they are same it gets easier to develop, isn’t it?”

Using a primary assumption he makes some inferences based on some implied theorems-in-action:

Because then the tangential speed will be the same. That's what I found, that's what I was doubtful about. Because you have to find the radius for A and C. But there is nothing saying they can't be the same, this was the source of some doubt, at least for me. The calculation was easier."

The other question was faced by the student without admitting explicitly that the cylinders' motions are synchronized:

"How many cans are printed per minute if the cylinder C rotates at angular speed...at this point you have to transform the angular speed in the speed the conveyor belt will be rotating at. That's only the relation between the speed it rotates and the radius, isn't it?"

Little importance was attributed in the explanation to the fact, registered in the statement, that the belt is crossed

"This part here [crossed belt] I didn't understand for what reason...what would the difference be if it were...?Anyway what called my attention was that if it were not crossed each one would rotate...the rotation's direction would be different, but in terms of speed, as you had to calculate speed...well it didn't concern much to speed, at least for me."

The student refers to the difficulty of solving the problem. It seems that it demanded from his schemes more than the other questions in the exam.

"I started [the exam] with this question, after I went on to the other ones, and this one was the last I did. It was a problem about interpretation, so I let it for the end."

In the exam the student's resolution was very short, and used only mathematical language, what reflected well his objectives (see Figure 7).

$$\begin{aligned}
 S = r\theta &\rightarrow 200 = R_A \cdot 2\pi \\
 \omega_C = 0.2 \text{ rad/s} \times 60 \\
 \\
 100 = \pi \cdot R_A \\
 \omega_C = 12 \text{ rad/min} \\
 \\
 \Rightarrow R_A = 31.83 \text{ mm} = R_C \\
 \frac{12 \text{ rad}}{2\pi} = 1.91 \text{ cans/min}
 \end{aligned}$$

Figure 7. Student 8: performance on the written exam:

Conclusions

During this study we attempted to present an analysis of the written resolution of a problem, performed by undergraduate students, and verbally expressed by them in audiotaped interviews. Together these sources of data allowed us to make better supported inferences about the students' performances in terms of the knowledge-in-action used by them.

According to Vergnaud (1987, p.7) the concepts and theorems in action are essential to understand how problem solving has its basis in a conceptual, or nearly-conceptual, representation of reality. We observed this with the concepts that were part of the conceptual field of the motion of rigid bodies. In order to exist a concept must be made explicit by one or more meanings. But what about the unconscious concepts, those which are not explicit, though are used in one given situation? For Vergnaud (1996a), inspired in Piaget (1975; 1978), the operational constants (invariants) are also the non-explicit part of concepts that students use when are faced with problem situations.

In that sense the result of this analysis allowed us to perceive some regularities in the students' answers that seem to indicate problems in their mental modelling, considering that this modelling is at least partly based on operational invariants related to the proposed

situation. The identification of some of the students' theorems-in-action, like the one about the linear velocity representing the whole body, even if not directly expressed, represented what we could call a bias, leading them to systematic actions that are different from that of the physics model presented in class.

Maybe we could be questioned whether our conclusions could be generalized to other problem solving situations within the same field. Even having presented only analyses of a single situation, we had the opportunity of interacting with students in other circumstances, involving other situations like that one. However, even supposing similar actions were taken, we believe we haven't measured the degree of perception, of consciousness of the knowledge-in-action that students developed. Possibly if we had used meta-cognition tools, during the procedures and also for the concepts involving each problem-situation, including interpretation of the symbolic mathematical language we could have enhanced our results.

On the other hand, with the methodology we used in this study we intended to infer whether students were mentally modelling the situation according to the theory of Johnson-Laird, and articulate this with their schemes as defined by Vergnaud. Nevertheless, we don't want to say that a mental model might be taken for an assimilation scheme. According to Moreira (2002, p.19) a mental model is a tool for understanding, built at the moment understanding occurs and discarded once the desired functionality is achieved (by the builder). Assimilation scheme is, according to Vergnaud, the invariable organization of behaviour for a certain class of situations. This way, assimilation schemes are more steady; one builds a certain scheme and use it to assimilate a certain class of situations, that means, one uses always the same scheme to assimilate a certain class of situations.

From our point of view we had presented students a new situation, which required some actions previously known. In this circumstance the student has to build a new assimilation scheme, that they do by building initially a mental model, which is also made of operational invariants like the ones we tried to present here.

Among these "collective" operations we detected some were coincident with results that had been pointed out by Barais and Vergnaud (1990, p.73):

- Students focus on perceived characteristics (frequently the most visible ones).

We would also add the characteristics which are most associated with the objectives of this task. The presence of a figure seems to reveal this tendency, either by the explicit mentioning of it by some students or by the insinuation interpreted by other students on the sizes of radii, wheels and cylinders.

- The many elements in the situation are essentially described in terms of their properties and functions. This procedure is identified by some in relation to the considerations about the synchronism of the cylinders' motion; for others in the consequences of the crossed belt, resulting in wheels rotating in the opposite direction.
- The event's history, what happens sequentially in time and space is the preferred way to understand the situation.

This kind of understanding or representation is essentially of the "related to events" type instead of the "conceptual" kind of understanding. Almost all students, some more than others, represented the situation with some adequacy, making the mechanism presented in the situation "work", even though some of them couldn't articulate a problem solving procedure.

All of our perceptions could be summarized in only one: the central role that visual perception plays in one's knowledge building. Each field of knowledge is composed of some specific conceptualizations that must be built. The theory of conceptual fields shares the idea of scientific knowledge integration: exactly because one concept does not develop itself alone, neither with just one type of situation and that a situation is not solved with the help of one only concept, it is necessary to study the cognitive development in relatively wide and yet well identified conceptual fields (Vergnaud, 1996a, p.10).

We believe this study can contribute to the research in the teaching of physics in terms of the processes used by students during the problem solving task; to guide didactical strategies teachers must be concerned not only with the choice of problems they will propose to their students but also in regarding the criteria used to evaluate their knowledge construction. As we said in the introduction of this paper, the articulation of mental models, schemes, and operational invariants might provide a fruitful theoretical framework to study problem solving in classroom situations.

References

- BARAIS, A.W., VERGNAUD, G. (1990). Students' conceptions in physics and mathematics: biases and helps. In CAVERNI, J.P., FABRE, J.M., GONZALEZ, M. (Eds.). (1990). Cognitive biases. North Holland: Elsevier Science Publishers, p. 69-84.
- BEER, F.P., JOHNSTON, E.R. (1991). Mecânica Vetorial para Engenheiros – Cinemática e Dinâmica (5 ed). São Paulo: Editora McGraw-Hill.
- CHASE, W.G.; SIMON, H.A. (1973). The mind's eye in chess. In CHASE, W.G. (Ed.) Visual Information processing, p. 215-281. New York: Academic Press.
- 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.
- COSTA, S.S.C., MOREIRA, M.A. (1996). Resolução de problemas I: diferenças entre novatos e especialistas. Investigações em Ensino de Ciências, Porto Alegre, v.1, n.2, p. 176-192.
- _____ (1977a). Resolução de problemas II: propostas de metodologias didáticas. Investigações em Ensino de Ciências, Porto Alegre, v.2, n.1, p. 5-26.
- _____ (1997b). 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.
- _____ (1997c). Resolução de problemas IV: estratégias para resolução de problemas. Investigações em Ensino de Ciências, Porto Alegre, v. 2, n.3, p. 153-184.
- _____ (1998). Modelagem em resolução de problemas: estudo preliminar. Atas do VI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (CD-ROM). Florianópolis, 26 a 30 de outubro, 11 p.
- _____ (2001). A resolução de problemas como um tipo especial de aprendizagem significativa. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v. 18, n.3, p. 263-276.
- _____ (2002). O papel da modelagem mental dos enunciados na resolução de problemas em Física. Revista Brasileira de Ensino em Física, São Paulo, v. 24 , n. 1, p. 61-74.
- DE GROOT, A.D. (1965). Thought and choice in chess. The Hague, Netherlands: Mouton.
- 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. p. 155-195.
- GARNHAM, A.(1997). Representing information in mental models. In: CONWAY, M. A.(Ed.) Cognitive models of memory. Cambridge, MA: The MIT Press.

GLASER, R.; CHI, M.T.H. (1988). Overview. In: CHI, M.T.H.; GLASER, R.; FARR, M. (Eds.). *The nature of expertise*, p. XV- XXXVI. Hillsdale, N.J.: Erlbaum.

GRECA, I.M., MOREIRA, M.A. (2002). Além da detecção de modelos mentais dos estudantes: uma proposta representacional integradora. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v.7, n.1, março 2002.

HELGESON, S. (1994). Research on Problem Solving: Middle School, In GABEL, D. (Ed.) *Handbook of Research in Science Teaching and Learning*. McMillan Publishing Company.

HIBBELER, R.C. (1985). *Mecânica – Dinâmica*. Rio de Janeiro: Editora Campus.

_____ (1995). *Engineering Mechanics - Statics and Dynamics (7th ed.)*. New Jersey: Prentice Hal

_____ (1999). *Mecânica- Dinâmica*. (8 ed.). Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.

JOHNSON-LAIRD, P.N. (1983). *Mental models*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

LARKIN, J. (1983). The role of problem representation in physics. In: GENTNER, D., STEVENS, A.L. *Mental Models*. New Jersey: Lawrence Erlbaum, p. 75-98, 1983.

LARKIN, J., MCDERMOTT, J., SIMON, D.P., SIMON, H.A. (1980). Expert and Novice Performance in Solving Physics Problems. *Science*, v. 208, n. 20, p. 1335-1342.

MERIAM, J.L., KRAIGE, L.G.(1999). *Mecânica - Dinâmica*. (4 ed.). Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.

MOREIRA, M.A. (1996). Modelos Mentais. *Investigações em Ensino de Ciências*. Porto Alegre, v. 1, n. 3, p. 193-232.

MOREIRA, M.A. (2002). A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v. 7, n. 1, março 2002..

NEWELL, A., SIMON, H.A. (1972). *Human Problem Solving*. New Jersey: Prentice Hall.

PASCUAL – LEONE, J. et al. (1978). Piagetian theory and neo-piagetian analysis as psychology guides in education. In: GALLAGHER, J.M.; EASLEY, J.A (Eds.) *Knowledge and development*. New York: Plenum.

PIAGET, J.(1975). A epistemologia genética. In: CIVITA, V. (ed) *Os Pensadores*. São Paulo: Editora Abril S.A. Cultural, p. 127-190.

PIAGET, J.(1978). *La equilibración de las estructuras cognitivas*. México: siglo XXI.

STERNBERG, R. J. (2000). *Psicologia Cognitiva*. Porto Alegre: Artes Médicas Sul.

SYNGE, J.L., GRIFFITH, B.A.(1968). *Mecânica Racional*. Porto Alegre: Editora Globo.

VANLEHN, K. (1989). Problem solving and Cognitive Skill Acquisition. In: POSNER M.I. (Ed.) *Foundations of Cognitive Science*, p. 527-579. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.

VERGNAUD, G. (1983). Multiplicative structures. In LESH, R., LANDAU, M. (Eds.) *Acquisition of Mathematics Concepts and Processes*. New York: Academic Press Inc. p. 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., BEHR, M. (Eds.). *Research Agenda in Mathematics Education. Number Concepts and Operations in the Middle Grades*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum. p. 141-161.

VERGNAUD, G. (1990). La théorie des champs conceptuels. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, v.10 , n.23, p.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. p. 41-59.

VERGNAUD, G. (1996a). Education: the best part of Piaget's heritage. *Swiss Journal of Psychology*, v. 55, n. 2/3, p. 112-118.

VERGNAUD, G. (1996b). A trama dos campos conceituais na construção dos conhecimentos. *Revista do GEEMPA, Porto Alegre*, n. 4, p. 9-19.

VERGNAUD, G. (1996c). Algunas ideas fundamentales de Piaget en torno a la didáctica. *Perspectivas*, v. 26, n. 10, p. 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., p. 5-28.

VERGNAUD G. (1998). A comprehensive theory of representation for mathematics education. *Journal of Mathematical Behavior*, v. 17, n. 2, p. 167-181.

VYGOTSKY, L.S.(1991). *A formação social da mente*. São Paulo: Martins Fontes.

VYGOTSKY, L.S. (1993). *Pensamento e Linguagem*. São Paulo: Martins Fontes.

ZHANG, J.(1997). The nature of external representation in problem solving. *Cognitive Science*, v. 21, n. 2, p. 179-217.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS DA PESQUISA

Neste capítulo serão sintetizados os resultados dos cinco artigos que constituíram o capítulo 4.

5.1 Modelagem em Resolução de Problemas: Estudo Preliminar

Neste primeiro trabalho, em que foram pela primeira vez investigados os procedimentos que os alunos utilizavam para resolver problemas, partia-se da hipótese que pudéssemos investigar a modelagem mental através dos modelos conceituais que os sujeitos externalizam (Halloun, 1996).

Na análise dos resultados das entrevistas com os alunos, pôde-se vislumbrar alguns procedimentos “rotineiros” e outros nem tanto, porque remetiam o pensamento para condições específicas do problema, cujas interpretações guiavam os processos de resolução: um aluno acessou “um problema parecido”, outro buscou um “esquema matemático”; um terceiro valeu-se de uma analogia, entre outros procedimentos.

Entretanto, uma certa regularidade nas respostas dos alunos sobre uma determinada situação parece ter sido provocada pela própria professora, na medida em que ensejou, mesmo sem intenção, que os alunos generalizassem uma concepção equivocada.

Nersessian (1995) adverte sobre a dificuldade dos alunos (novatos) em reconhecerem, espontaneamente, a relevância para novas situações-problemáticas do que foi realizado em problemas prévios.

Confirmando o estudo sobre novatos e especialistas, parece que quanto mais parecidos forem os contextos de problemas trabalhados em aula e a resolver, mais fáceis serão os resgates na memória para sua solução.

Por isso, foram feitas algumas recomendações aos professores, no sentido de contribuir para o processo de modelagem mental, como:

1. retomar os conteúdos trabalhados, oferecendo mais oportunidades de compreensão e aplicação;
2. estar alerta com relação à tendência dos alunos em raciocinar localmente, em lugar de globalmente: isso gera uma dificuldade na construção de modelos mentais;
3. explorar qualitativamente o problema;
4. valer-se da correção da prova (de preferência corrigi-la no menor tempo possível) para aproveitar a motivação dos alunos pela sua discussão.

5.2 A resolução de problemas como um tipo especial de aprendizagem significativa

Neste trabalho, em que foram comparados os desempenhos dos alunos em problemas cujas soluções eram isomórficas, chegou-se à conclusão de que diferenças aparentemente pequenas entre a representação externa de um problema, podem representar sérios obstáculos sem um modelo mental adequado.

Este resultado vai de encontro às crenças de muitos educadores sobre o papel dos *problemas resolvidos*, em sala-de-aula ou em livros-texto em relação ao desempenho dos alunos: há um relativamente forte consenso de que os alunos deveriam saber resolver problemas *parecidos* com os já resolvidos.

De alguma forma este resultado confirma o trabalho de Newell e Simon com *enxadrinhas novatos*, que mostraram dificuldade em lembrar as disposições das peças porque elas não faziam sentido para eles; os alunos (“novatos”) não reconhecem problemas com aspectos similares a outros porque aparentemente não lhes atribuíram um modelo mental que possa sustentar a nova situação.

Na questão dos problemas isomórficos, também objeto de estudo da teoria do processamento da informação, Kotovsky et al. (1985), ainda que tenham trabalhado com

problemas do tipo quebra-cabeças, desenvolveram um modelo que pode ser usado para explicar os resultados deste trabalho: a dificuldade manifestada pelos sujeitos seria justificada porque, frente à alteração na representação externa do problema, os sujeitos buscam um *espaço* (na concepção de Newell e Simon) diferente daquele pretendido; ao invés recorrem a um *espaço do problema* onde vários operadores serão requisitados para reconhecer a nova situação ou contexto, muitos deles inadequados.

Por tudo isso, advoga-se a idéia de que a resolução de problemas será tanto mais *significativa* (na concepção de Ausubel) quanto maior for a capacidade de modelar mentalmente. Isto está relacionado como os indivíduos organizam, representam e utilizam seus conhecimentos.

5.3 O papel da modelagem mental dos enunciados na resolução de problemas em Física

Nesta oportunidade, identificou-se uma tendência em resolver problemas em um conteúdo específico, que se manifestou durante cinco semestres consecutivos. A opção dos alunos em tratar os problemas como quebra-cabeças, sem um raciocínio relacionado com uma representação interna sugere a causa de tantos equívocos.

Segundo Moreira (1996), os modelos mentais permitem entender porque o uso das concepções alternativas, evidenciadas neste estudo, são tão resistentes a mudanças: as concepções alternativas geram conhecimentos-em-ação, estes conhecimentos são pessoais e funcionais para os indivíduos que os constroem, então modificá-los, no sentido de transformá-los em outra concepção, não é tarefa trivial.

Não há dúvidas que muitas deficiências se devem à fragilidade da organização do conhecimento; em alguns casos, os alunos conheciam a estratégia de solução, mas o não reconhecimento das condições de contorno, a falta de atenção, em geral, comprometeram sua solução, levando-os a alocá-los equivocadamente.

Outra conclusão diz respeito à necessidade de fazer o aluno expressar, de alguma forma, as suas concepções, seja verbalmente, seja por escrito. A explicação é uma tarefa árdua

porque requer uma “acomodação” das idéias, uma organização coerente; e os modelos mentais não são assim, são confusos e “poluídos” (Moreira, 1996).

Resta ao professor insistir na prática de modelagem dos problemas.

5.4 Identificação de Conhecimentos-em-ação no Ensino de Física

Neste trabalho, identificou-se alguns conhecimento-em-ação, como definidos por Vergnaud na sua teoria dos campos conceituais, manifestados pelos alunos frente a situações-problema sob o tema *movimento dos corpos rígidos*:

- 1) os alunos interpretaram a descrição instantânea de um movimento como condição permanente;
- 2) a descrição do movimento de um ponto é traduzida como a do corpo rígido como um todo;
- 3) a multiplicidade de interpretações equivocadas para o conceito de deslizamento — "deslizar significa transladar-se"; "para o corpo rolar, ele deve deslizar", entre outras conseqüências.

A identificação e a perseverança destes invariantes operatórios foram decisivos para que se buscasse uma forma de reverter a situação. Optou-se por modificar o programa da disciplina, invertendo a ordem de discussão dos conteúdos, baseando-se na hipótese que a simples descrição dos movimentos não permitia uma interpretação adequada das situações físicas que lhes eram apresentadas. Por isso, antecipou-se a abordagem da dinâmica de um ponto e do corpo rígido, onde as causas de determinados movimentos foram enfocadas. Especificamente, abordamos o papel da força de atrito estático e cinético, identificando o teorema-em-ação dos alunos que prevê esta força ter sempre sentido contrário ao movimento que o corpo apresenta. A mudança mostrou-se satisfatória em relação à situação original.

Um aspecto que devemos revisar é o da linguagem utilizada e indevidamente interpretada, como foi discutido anteriormente com a palavra deslizamento. O próprio Vergnaud (1996) sugere um caminho para isso, propondo que se exponha o problema dos significados atribuídos às palavras para ser debatido — uma proposição explícita pode ser

debatida, uma proposição tida por verdadeira de maneira totalmente implícita, não. Assim, o caráter do conhecimento muda se é comunicável, debatido e compartilhado (p. 204).

5.5 Conhecimentos-em-ação: um exemplo com movimento de um corpo rígido (“Knowledge-in-action: an example with rigid body motion”)

O resultado da análise levada a efeito neste trabalho permitiu que fossem detectadas algumas regularidades nas respostas dos alunos que parecem acusar problemas na modelagem mental, considerando que esta modelagem possa fazer uso de invariantes operatórios relacionados com a situação proposta.

Um teorema-em-ação identificado em todos os oito alunos nesse trabalho foi o de que *“a velocidade linear representa o sólido como um todo”*.

Foi-lhes apresentada uma situação nova, embora já conhecida em outras situações. Entre as operações “coletivas”, pode-se listar:

- tendência a focalizar características mais salientes da figura — raios das rodas “pareciam iguais”;
- descrições dos elementos da figura em termos de suas propriedades e funções — sincronismo dos movimentos dos cilindros; “correia cruzada, sentidos contrários dos movimentos das rodas”;
- compreensão mais “relacionada ao evento” do que do tipo conceitual

Resultados sugerem atenção do professor, tanto para a escolha de situações-problema, quanto como critério para avaliar seus conhecimentos.

Resumindo, pode-se dizer que os resultados destes trabalhos empíricos permitiram uma resposta à questão de pesquisa original que norteou este caminho: se a pergunta era como fazer com que os alunos procedessem à modelagem mental do enunciado do problema a fim de conduzi-los a procedimentos analíticos de solução, a resposta parece ser provendo-lhes situações propícias à aprendizagem, utilizando situações-problema que lhes permitam

vivenciar contextos diferenciados onde seus conhecimentos-em-ação possam ser evidenciados, explicitados, pois eles seriam os ingredientes dos seus modelos mentais.

Quanto às hipóteses referidas no capítulo 1, os resultados confirmam-nas igualmente. Em particular, sobre se haverá uma relação entre a maneira como o aluno modela mentalmente as situações físicas e a facilidade com que aprende a modelagem conceitual, de posse das informações coletadas nas investigações recém descritas, o papel do professor como mediador do processo de aprendizagem por meio de estratégias adequadas pode afetar os modelos mentais mais facilmente do que os conhecimentos-em-ação, mas estes também serão afetados. Toda a cognição está centrada na conceitualização, como diz Vergnaud.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

Como é de praxe em um trabalho científico, no capítulo 1 apresentou-se a natureza do problema e a questão de pesquisa, ambas geradoras e delimitadoras das demais etapas deste trabalho de tese. O problema que se apresentava era desafiador: investir no aprofundamento da estrutura cognitiva de um indivíduo sob tarefa de raciocínio e tomada de decisão, típicas funções de resolução de problemas.

O tema resolução de problemas não era novo para a autora, por essa razão, não houve muita surpresa ao constatar a quantidade de trabalhos sobre este tema publicados na literatura especializada em ciências e matemática. A revisão da literatura exigiu muito tempo e paciência, mas o resultado foi compensador, tendo em vista que a síntese dos artigos pode influenciar outros professores e pesquisadores, assim como a autora foi influenciada por eles.

Mas, se por um lado o tema resolução de problemas já era bem conhecido, o estudo da mente não o era. Congressos, grupos de estudo, cursos, discussões em grupos foram sendo trazidos pelo Grupo de Ensino deste Instituto de Física, (que já tinha formação teórica na psicologia educacional de Ausubel) fazendo, cada vez mais, a Ciência Cognitiva, mais ainda a Psicologia Cognitiva dar conta do referencial teórico dos trabalhos do grupo de estudantes e professores.

Foi assim que a teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird impregnou este trabalho. Apesar de ser um referencial metodologicamente difícil, ele é promissor. Em termos de teoria sobre modelos mentais, a de Johnson-Laird é, até hoje, a mais completa e articulada (Moreira, 1996). Mas, justamente a dificuldade de se revelar os modelos mentais pouco precisos, inconsistentes e instáveis dos alunos, gerou a parceria (Greca e Moreira, 2002; Palmero e Moreira, 2002) entre a teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, com sua interpretação de situação-problemática e da sua relação com a conceitualização, e a dos modelos mentais de Johnson-Laird, ambas subsidiadas na educação pela teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel.

A metodologia adotada nos estudos empíricos foi a qualitativa, dada a natureza do problema, ou seja, se seria possível que os alunos modelassem o enunciado e a resolução dos problemas de Física de papel-e-lápis com que se trabalha em sala-de-aula. Foram gerados cinco trabalhos que, cronologicamente refletiram mudanças no domínio teórico, tanto em termos de metodologias de ensino, como em termos de resultados.

Em princípio cada estudo empírico contribuiu com a sua parcela na aquisição de conhecimento que toda tese deve proporcionar. Começando pelo conhecimento que propiciou à autora, que não se cansa de querer aprender, ainda mais quando o tema seja ensino e aprendizagem de Física.

Mas, com certeza, os resultados que poderiam ser destacados, na opinião da autora, devem-se justamente às evoluções pelas quais o referencial teórico passou: por um lado, a interpretação de *modelo mental* construído para a compreensão porque permite a capacidade explicativa e preditiva ao sujeito, porém só para o momento, sendo descartado assim que sua função acaba e, por outro lado, a do *esquema*, determinante da organização invariante da conduta e, portanto, tendo um caráter de estabilidade que o modelo mental não tem, apesar de este operar recursivamente, permite compreender melhor a cognição humana.

Com relação a isso, os teoremas e conceitos-em-ação revelam um campo promissor de investigação em todas as áreas de ensino de Física e a resolução de problemas é o meio “perfeito” para efetivá-lo. Como professora / pesquisadora, este é um desafio a ser enfrentado a seguir, inclusive com alunos dos ensinos Médio e Fundamental, através das orientações de trabalhos de conclusão do curso de licenciatura em Física.

Justamente o ponto que, em princípio, poderia ser considerado limitador neste trabalho, ou seja, a mesma professora trabalhando e pesquisando na mesma disciplina, pode ser visto como um ponto forte do mesmo, pois a pesquisa qualitativa é interpretativa, o que torna relevante o tempo dedicado ao trabalho neste tema. Uma sugestão no sentido de ampliar o estudo e gerar inferências quanto à generalização do mesmo é buscar a parceria de outros professores, o que já está sendo feito.

Outra questão que pode suscitar uma limitação seria a quase impossibilidade de acompanhar-se a seqüência na aprendizagem da maioria dos alunos que faziam parte das

turmas com as quais os trabalhos empíricos foram feitos, uma vez que a maioria deles são dos cursos da Engenharia. Mas isto pode ser feito com o grupo de alunos do curso de Física, ainda que eles venham a ser assistidos por outros professores, pois há possibilidade de interagir-se com os mesmos.

As implicações para o ensino já foram quase que esgotadas ao longo da tese, na análise da revisão bibliográfica e nesta última discussão. Mas a autora reforça a necessidade imperativa de alunos licenciandos, portanto, ainda em formação, conhecerem estas teorias e os trabalhos já finalizados, divulgados na literatura. Para exemplificar, uma das questões formuladas pela banca fazia menção ao papel das imagens das situações-problemáticas que haviam sido apresentadas para os alunos. Contra a concepção usual, os estudos revelam que o excesso de imagens pode ser prejudicial e mais, que não é sempre que as imagens substituem com vantagens as palavras.

Quanto à possibilidade acenada pelo Ministério da Educação de ampliação e disseminação do *Ensino a Distância*, usando multimídia, a autora acredita que seja viável a proposta de resolução de problemas baseada nos referenciais teóricos assumidos, desde que haja uma interação efetiva do aluno com seus pares e com o professor, seja ela presencial ou através dos meios eletrônicos providos por este tipo de educação.

Finalmente, temos assistido nos últimos tempos uma tendência na investigação em ensino de ciências privilegiando cada vez mais os processos de comunicação envolvidos na aprendizagem. Isto tem caracterizado o sujeito como ser integrado e integrante do contexto em que vive, caracterizando uma perspectiva sociocultural com seus pressupostos epistemológicos fazendo parte dos valores sociais e culturais, permeados de um ambiente extremamente tecnológico. O ensino e aprendizagem de Física necessitam de novos professores, com este espírito elevado, preocupados principalmente em fomentar um “ambiente” educacional, onde se conjuguem a qualidade de sua formação acadêmica, didática e científica, com a preocupação com o indivíduo neste ambiente sociocultural e tecnológico, no qual ele possa construir um conhecimento de qualidade na interação com outros sujeitos.

Esta é a educação que reivindicamos.

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.

ALONSO SANCHEZ, M.; GIL PÉREZ, D.; MARTINEZ-TORREGROSA, J. Actividades de evaluación coherentes con una propuesta de enseñanza de la Física y la Química como interregulación. *Revista de Enseñanza de la Física*, Córdoba, v. 8, n. 2, p. 5-20, Octubre 1995.

ANDERSON, J.R. Acquisition of cognitive skill. *Psychological Review*, v. 89, p. 369-406, 1982.

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.

AUDET, R. H.; ABEGG, G. L. Geographic Information Systems: Implications for Problem Solving. *Journal of Research in Science Teaching*, New York, v. 33, n. 1, p. 21-45, Jan. 1996.

AUSUBEL, D. *Educational psychology: a cognitive view*. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1968.

AUSUBEL, D.P., Novak, J.D., Hanesian, H. *Psicologia Educacional*. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

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.

BAO, L.; REDISH, E. F. Concentration analysis: A quantitative assessment of student states. *American Journal of Physics*, New York, v. 69, n. 7, p. 545-553, July 2001.

BARAIS, A.W.; VERGNAUD, G. Students' conceptions in physics and mathematics: biases and helps. In CAVERNI, J.P.; FABRE, J.M.; GONZALEZ, M. (Eds.). *Cognitive biases*. North Holland: Elsevier Science Publishers, 1990. p. 69-84.

BARBOSA LIMA, M.C.; PESSOA DE CARVALHO, A.M. Ejercicio sobre el “sarilho” en los primeros cursos de la enseñanza básica: análisis de la discusión. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 22, n. 2, p. 313-322. Junio 2004.

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.

BIELACZYK, K.; PIROLI, P.R.; BROWN, A.L. Training in Self-Explanation and Self-Regulating Strategies: Investigating the Effects of Knowledge Acquisition Activities on Problem Solving. *Cognition and Instruction*, Mahwah, v. 13, n. 2, p. 221-252, 1995.

BIEMANS, H. J. A.; DEEL, O. R.; SIMONS, P. R.-J. Differences between successful and less successful students while working with the CONTACT-2 strategy. *Learning and Instruction*, Oxford, v. 11, n. 4-5, p. 265, August-October 2001.

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.

BROERS, N. J. Selection and use of propositional knowledge in statistical problem solving. *Learning and Instruction*, Oxford, v. 12, n. 4, p. 323-344, June 2002.

BROWN, J.S.; VanLEHN, K. Repair theory: A generative theory of bugs in procedural skills. *Cognitive Science*, New Jersey, v. 4, p. 379-426, 1980.

BRUNO, A.; MARTINÓN, A. Procedimientos de resolución de problemas aditivos con números negativos. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v.15, n. 2, p. 249-258, Junio 1997.

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.

BYRNE, R.M.J.; JOHNSON-LAIRD, P.N. Spatial reasoning. *Journal of Memory and Language*, v. 28, p. 564-575, 1989. Apud EYSENCK, M.W.; KEANE, M.T. *Cognitive Psychology: A Student's Handbook*. Hove: Lawrence Erlbaum, 1990.

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.

- CAMPANARIO, J. M.; MOYA, A. Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 17, n. 2, p. 179-192, Junio 1999.
- CAMPANARIO, J. M.; OTERO, J.C. Más allá de las ideas previas como dificultades de aprendizaje: las pautas de pensamiento, las concepciones epistemológicas y las estrategias metacognitivas de los alumnos de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 18, n. 2, p. 155-169, Junio 2000.
- CANDELA, A.. Demonstrations and Problem-Solving Exercises in School Science: Their Transformation within the Mexican Elementary School Classroom. *Science Education*, New York, v. 81, n. 1, p. 497-513, Sept. 1997.
- CAPON, N.; KUHN, D. What's So Good About Problem-Based Learning. *Cognition and Instruction*, Mahwah, v. 20, n. 1, p. 61-79, 2004.
- CARCAVILLA CASTRO, A.; ESCUDERO ESCORZA, T. Los conceptos en la resolución de problemas de Física "bien estructurados". Aspectos identificativos y aspectos formales. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 22, n. 2, p. 213-228, Junio 2004.
- CAUZINILLE-MARMÈCHE, E.; JULO, J. Studies of micro-genetic learning brought about by the comparison and solving of isomorphic arithmetic problems. *Learning and Instruction*, Oxford, v. 8, n. 3, p. 253-269, 1998.
- 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.
- CHANG, C.-Y.; BARUFALDI, J. P. The use of a problem-solving-based instructional model in initiating change in students' achievement and alternative frameworks. *International Journal of Science Education*, London, v. 21, n. 4, p. 373-388, April 1999.
- CHANG, C.-Y.; WENG, Y.-H. An exploratory study on students' problem-solving ability in earth science. *International Journal of Science Education*, London, v. 24, n. 5, p. 441-451, May 2002.
- CHASE, W.G.; SIMON, H.A. The mind's eye in chess. In: CHASE, W.G. (Ed.), *Visual Information processing*. New York: Academic Press, 1973. p. 215-281.
- CHI, M.T.H.; FELTOVICH, P.J.; GLASER, R. Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*, New Jersey, v. 5, n. 2, p. 121-152, 1981.
- CHI, M.T.H.; GLASER, R.; REES, E. Expertise in problem solving. In: STERNBERG, R.J. (Ed.) *Advances in the Psychology of Human Intelligence*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum, 1982. v.1.
- CHIN, C.; CHIA, L.-G. Problem-Based Learning: Using Students' Questions to Drive Knowledge Construction. *Science Education*, New York, v. 88, n. 5, p. 707-727, Sept. 2004.

CHIN, C.; KAYALVIZHI, G. Posing problems for open investigations: what questions do pupils ask? *Research in Science & Technological Education*, Abingdon, v. 20, n. 2, p. 269-287, Nov. 2002.

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.

CHOMSKY, N. A review of B.F. Skinner's verbal behavior. *Language*, v. 35, p. 26-58, 1959.

CHOMSKY, N. *Syntactic structures*. The Hague: Mouton, 1957.

CLEMENT, J. Solving problems with formulas: some limitations. *Engineering Education*, Washington, p. 158-162, Nov. 1981.

CLEMENT, J. Student's preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, v. 50, n. 1, p. 66-71, 1982.

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. Resolução de Problemas e Aprendizagem em Física. Dissertação de mestrado. Porto Alegre: Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997.

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 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. 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. Modelagem em resolução de problemas: estudo preliminar. *Atas do VI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (CD-ROM)*. Florianópolis, 26 a 30 de outubro, 11 p., 1998.

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. A resolução de problemas como um tipo especial de aprendizagem significativa. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 18, n.3, p. 263-276, dez. 2001

COSTA, S.S.C.; MOREIRA, M.A. O papel da modelagem mental dos enunciados na resolução de problemas em Física. *Revista Brasileira de Ensino em Física*, São Paulo, v. 24 , n. 1, p. 61-74, março 2002.

COSTA, S.S.C.; MOREIRA, M.A. Identificação de conhecimentos em ação na Aprendizagem de Física. *Atas do IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (CD-ROM)*, Bauru, São Paulo, 25-29 nov. 2003.

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.

CUDMANI, L. C. La Resolución de Problemas en el Aula. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v.20, n.1, p. 75-85, março 1998.

De GROOT, A.D. *Thought and choice in chess*. The Hague, Netherland: Mouton, 1965.

DE POSADA, J.M. Hacia una teoría sobre las ideas científicas de los alumnos: influencia del contexto. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v.14, n. 3, p. 303-314, Noviembre 1996.

DEFEYTER, M. A.; GERMAN, T. P. Acquiring an understanding of design: evidence from children's insight problem solving. *Cognition*, Amsterdam, v.89, n. 2, p. 133-155, Sept. 2003.

DHILLON, A. S. Individual Differences within Problem-Solving Strategies Used in Physics. *Science Education*, New York, v. 82, n. 3, p. 379-405, June 1998.

DOORNEKAMP, B. G. Designing teaching materials for learning problem solving in technology education. *Research in Science & Technological Education*, Abingdon, v. 19, n. 1, p. 25-38, May 2001.

DORI, Y. J.; HAMEIRI, M. The "Mole Environment" studyware: applying multidimensional analysis to quantitative chemistry problems. *International Journal of Science Education*, London, v. 20, n. 3, p. 317-333, March 1998.

DORI, Y. J.; HAMEIRI, M. Multidimensional Analysis System for Quantitative Chemistry Problems: Symbol, Macro, Micro and Process Aspects. *Journal of Research in Science Teaching*, New York, v. 40, n. 3, p. 278-302, March 2003.

DUFF, A. A Note on the Problem Solving Style Questionnaire: An Alternative to Kolb's Learning Style Inventory? *Educational Psychology*, Basingstoke, V. 24, n. 5, p. 699-709, October 2004.

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.

DUNCKER, K. On problem-solving. *Psychological Monographs*, v. 58 (270), 1945.

EICHLER, M.L.; FAGUNDES, L.C. Conductas cognitivas relacionadas con el análisis de problemas ambientales. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 22, n. 2, p. 287-298, Junio 2004.

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. Los Procedimientos en Resolución de Problemas de Alumnos de 3° Año: Caracterización a Través de Entrevistas. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v.1, n.3, p. 241-256, dez. 1996.

ESCUADERO, C.; MOREIRA, M. A. La V epistemología aplicada a algunos enfoques en resolución de problemas. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 17, n. 1, p. 61-67, Marzo 1999.

ESCUADERO, C.; GONZÁLEZ, S.; GARCIA, M. Resolución de Problemas en el Aula de Física: Un Análisis del Discurso de su Enseñanza y Su Aprendizaje en Nivel Medio. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v. 4, n.3, p. 229-251, dez. 1999.

ESCUADERO, C.; GONZÁLEZ, S. B.; GARCÍA, M. I. Se tiene en cuenta algún criterio cuando se elaboran prácticas de problemas en Física? *Revista de Enseñanza de la Física*, Córdoba, v. 13, n. 2, p. 5-12, Nov. 2000.

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.

ESCUADERO, C.; MOREIRA, M.A.; CABALLERO, C. Teoremas-en-acción en clases de Física Introductoria en Secundaria. In: MOREIRA, M.A. (Org.) *La Teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud, la Enseñanza de las Ciencias y la Investigación en el Área*, p. 93-116. Porto Alegre: Instituto de Física, UFRGS, 2004. 131 p.

ESCUADERO, C.R. Inferencias y modelos mentales: un estudio de resolución de problemas acerca de los primeros contenidos de Física abordados en el aula por estudiantes de nivel medio. *Tesis Doctoral*. Universidad de Burgos, 2005.

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.

EYSENCK, M.W.; KEANE, M.T. *Cognitive Psychology: A Student's Handbook*. Hove: Lawrence Erlbaum, 1990.

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.

FINKEL, E. A. Making Sense of Genetics: Students' Knowledge Use During Problem Solving in a High School Genetics Class. *Journal of Research in Science Teaching*, New York, v. 33, n. 4, p. 345-368, April 1996.

FLORES CAMACHO, F.; GALLEGOS CAZARES, L. Partial Possible Models: An Approach to Interpret Students' Physical Representation. *Science Education*, New York, v. 82, n. 1, p. 15-29, Jan. 1998.

FRANCHI, A. Considerações sobre a teoria dos campos conceituais. In ALCÂNTARA MACHADO, S.D. et al. (1999). *Educação Matemática: uma introdução*. São Paulo: EDUC. 1999. p. 155-195.

FREDERIKSEN, J. R.; WHITE, B. Y.; GUTWILL, J. Dynamic Mental Models in Learning Science: The Importance of Constructing Derivational Linkages Among Models. *Journal of Research in Science Teaching*, New York, v. 36, n. 7, p. 806-836, Sept. 1999.

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. Investigaciones en Resolución de Problemas en Ciencia. *Investigação em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v. 4, n.1, p. 7-50, março 1999.

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.

GARCÍA GARCÍA, J. J. La solución de situaciones problemáticas: una estrategia didáctica para la enseñanza de la química. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 18, n. 1, p. 113-129, Marzo 2000.

GARDNER, H. *The Mind's New Science: A History of the cognitive Revolution*. New York: Basic Book, 1985.

GARNHAM, A. Representing information in mental models. In: CONWAY, M.A.(ed.). *Cognitive Models of Memory* (1997). Cambridge, MA: The MIT Press, 1997.

GENTNER, D. Structure-mapping: A theoretical framework for analogy. *Cognitive Science*, New Jersey, v. 7, p. 155-170, 1983.

GENTNER, D.; GENTNER, D.R. Flowing waters and teeming crowds: Mental models of electricity. In: GENTNER, D; STEVENS, A.L. (Eds.) *Mental Models*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum, 1983. p. 99-129.

GENTNER, D.; STEVENS, A.L. *Mental Models*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum, 1983.

GHEZZI, F. El método de Pólya en la enseñanza de la Física. *Revista Boliviana de Física*, La Paz, n. 7, v. II, p. 71-73, Diciembre 2001.

GICK, M.L.; HOLYOAK, K.J. Analogical problem solving. *Cognitive Psychology*, v. 12, p. 306-355, 1980.

GICK, M.L.; HOLYOAK, K.J. Schema induction and analogical transfer. *Cognitive Psychology*, v. 15, p. 1-38, 1983.

GIL D.; CARRASCOSA, J.; FURIÓ, C.; MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. La Enseñanza de las Ciencias en la Educación Secundaria. Barcelona: I.C.E. Universitat Barcelona – Editorial Horsori, 1991.

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.

GIL PÉREZ, D.; FURIÓ MÁS, C.; VALDÉS, P.; SALINES, P.; MARTINÉZ-TORREGROSA, J.; GUIASOLA, E.; GONZÁLEZ, E.; DUMAS-CANÉ, A.; GOFFARD, M.; PESSOA DE CARVALHO, A. M. Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de papel y lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio? *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 17, n. 2, p. 311-320, Junio 1999.

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.

GRAHAM, T. BERRY J.; A hierarchical model of the development of student understanding of momentum. *International Journal of Science Education*, London, v. 18, n. 1, Jan. / Feb. 1996.

GRECA, I.M.; MOREIRA, M.A. Un estudio piloto sobre representaciones mentales, imágenes y modelos mentales respecto al concepto de campo electromagnético en alumnos de Física General, estudiantes de postgrado y físicos profesionales. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v. 1, n. 1, p. 95-108, abril 1996.

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.

GRECA, I. M.; MOREIRA, M.A. Modelos mentales y aprendizaje de Física en electricidad y magnetismo. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 16, n. 2, p. 289-303, Junio 1998.

GRECA, I.M. Representaciones mentales. In: MOREIRA, M.A.; CABALLERO, C. (Eds.) *Actas Del Programa Internacional de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias (PIDEC)*, Universidade de Burgos, Espana; Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil, v. II, 2000, p. 69-106.

GRECA, I.M.; MOREIRA, M.A. Além da detecção de modelos mentais dos estudantes, uma proposta representacional integradora. *Investigações em Ensino de ciências*, Porto Alegre, v. 7, n. 1, www.if.ufrgs.br/ienci, 2002a.

GRECA, I. M.; MOREIRA, M. A. Mental, Physical and Mathematical Models in the Teaching of Physics. *Science Education*, New York, v. 86, n. 1, p. 106-121, Jan. 2002b.

GREENO, J.G. Hobbits and Orcs: Acquisition of a sequential concept. *Cognitive Psychology*, v. 6, p. 270-292, 1974.

GREENO, J.G. Understanding and procedural knowledge in mathematics instruction. *Educational Psychologist*, Mahwah, v. 12, p. 262-283, 1978.

GUISASOLA ARANZABAL, J.; GARATE, M. C.; GARCÍA, J.M.A.; HERRANZ, J.L.Z. La Enseñanza de Problemas-tipo en el Primer Curso de Ingeniería y el Aprendizaje Significativo de los Conceptos y Principios Fundamentales de la Física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v.19, n. 1, p. 7-28, abril 2002.

GUISASOLA, J.; BARRAGUÉS, J.I. Heurísticas y sesgos de los estudiantes de primer ciclo de universidad en la resolución de problemas de probabilidad. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 20, n. 2, p. 285-302, Junio 2002.

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.

GUSTAFSON, B. J.; ROWELL, P. M. Elementary children's technological problem-solving: selecting an initial course of action. *Research in Science & Technological Education*, Abingdon, v. 16, n. 2, p. 151-163, Nov. 1998.

GUTIÉRREZ, R. Mental models and the fine structure of conceptual change. In: *Proceedings of the International Conference Physics Teacher Education Beyond 2000*, Barcelona: R.Pints & S. Suriqach, CD-Rom, 2000.

HAFNER, R.; STEWART, J. Revising Explanatory Models to Accommodate Anomalous Genetic Phenomena: Problem Solving in the "Context of Discovery". *Science Education*, New York, v. 79, n. 2, p. 111-146, April 1995.

HAGER, P.; SLEET, R.; LOGAN, P.; HOOPER, M. Teaching Critical Thinking in Undergraduate Science Courses. *Science and Education*, Dordrecht, v. 12, n. 3, p. 303-313, April 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.

HALLOUN, I. Schematic Concepts for Schematic Models of the Real World: The Newtonian Concept of Force. *Science Education*, New York, v. 82, n. 2, p. 239-263, April 1998.

HAYES, J.R. *The complete problem solving*. Philadelphia: Franklin Institute, 1980.

HAYES, J.R.; SIMON, H.A. Understanding written problem instructions. In: GREGG, L.W. (Ed.) *Knowledge and Cognition*. Hillsdale, New Jersey: Erlbaum, 1974.

HENDERSON, C.; YERUSHALMI, E.; KUO, V. H.; HELLER, P.; HELLER, K. Grading student problem solutions: The challenge of sending a consistent message. *American Journal of Physics*, New York, v. 72, n. 2, p. 164-169, Feb. 2004.

HEYWORTH, R.M. Procedural and conceptual knowledge of expert and novice students for the solving of a basic problem in chemistry. *International Journal of Science Education*, London, v. 21, n. 2, p. 195-211, Feb. 1999.

HINSLEY, D.A.; HAYES, J.R.; SIMON, H.A. From words to equations, meaning and representation in algebra word problems. In: JUST, M.A. (Ed.) *Cognitive Processes in Comprehension*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum, 1977.

HOLYOAK, K.; THAGARD, P. *Mental Leaps: Analogy in creative thought*. Cambridge: Massachusetts: MIT Press, 1995.

HUDDLE, P. A.; PILLAY, A. E. An In-Depth Study of Misconceptions in Stoichiometry and Chemical Equilibrium at a South Africa University. *Journal of Research in Science Teaching*, New York, v. 33, n. 1, p. 65-77, Jan. 1996.

HUFFMAN, D. Effect of Explicit Problem Solving Instruction on High School Students' Problem Solving Performance and Conceptual Understanding of Physics. *Journal of Research in Science Teaching*, New York, v. 34, n. 6, p. 551-570, Aug. 1997.

HURST, R. W.; MILKENT, M. M. Facilitating Successful Prediction Problem Solving in Biology Through Application of Skill Theory. *Journal of Research in Science Teaching*, New York, v. 33, n. 5, p. 541-552, May 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, S. K.; STEWART, J. Revising and Assessing Explanatory Models in a High School Genetics Class: A Comparison of Unsuccessful and Successful Performance. *Science Education*, New York, v. 86, n. 4, p. 463-480, July 2002.

JOHNSON-LAIRD, P.N. *Mental Models*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1983.

JOHNSON-LAIRD, P.N. Mental Models. In: POSNER, M.I. (Ed.). *Foundations of Cognitive Science*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 1989. p. 469-499.

JOHNSON-LAIRD, PHILIP N. Home Page. Disponível em: <http://webscript.princeton.edu/~psych/PsychSite/~phil.html>. Acessado em 8 setembro 2005.

KEANE, M.T. On retrieving analogues when solving problems. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, v. 39A, p.29-41, 1987.

KLEER, J.; BROWN, J. S. Assumptions and Ambiguities in Mechanistic Mental Models. In: In: GENTNER, D.; STEVENS, A.L. (Eds.). *Mental Models*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum, 1983. p. 155-190.

KOCH, A.; ECKSTEIN, S. G. Skills Needed for Reading Comprehension of Physics Texts and Their Relation to Problem-Solving Ability. *Journal of Research in Science Teaching*, New York, v. 32, n. 6, p. 613-628, Aug. 1995.

KOTOVOSKY, K.; HAYES, J.R.; SIMON, H.A. Why are some problems hard?: Evidence from the tower of Hanói. *Cognitive Psychology*, v. 17, p. 248-294, 1985.

KRAPAS, S; QUEIRÓZ, G.; COLINVAUX, D.; FRANCO, C. Modelos: Uma análise de sentidos na literatura de pesquisa em ensino de ciências. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 2, n. 3, www.if.ufrgs.br/ienci, 1997.

LABURÚ, C.E. Análise de Situações de Controvérsias e Conflitos Cognitivos Através de Uma Leitura Lakatiana (Uma Aplicação na Aprendizagem de Cinemática Angular). *Investigação em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v. 8, n.1, p. 231-256, março 2003a.

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.

LAGRECA, M.C. Tipos de representações mentais utilizadas por estudantes de Física Geral na área de Mecânica Clássica e possíveis modelos mentais nessa área. *Dissertação de mestrado*. Instituto de Física – Universidade Federal do Rio Grande do Sul., 1997.

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*, Washington, p. 285-288, Dec. 1979.

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.

LARKIN, J.H. The role of problem representation in physics. In: GENTNER, D.; STEVENS, A.L. (Eds.). *Mental Models*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum, 1983. p. 75-98.

LARKIN, J.H.; REIF, F. Understanding and teaching problem solving in physics. *European Journal of Science Education*, London, v.1, n. 2, p.191-203. Apr./June 1979.

LARKIN, J.H.; McDERMOTT, J.; SIMON, D.P.; SIMON, H.A. Expert and novice performance in solving physics problems. *Science*, Washington, v. 208, n. 4450, p. 1335-1342, June 1980.

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.

LEE, K. L.; FENSHAM, P.J. A general strategy for solving high school electrochemistry problems. *International Journal of Science Education*, London, v. 18, n. 5, p. 543-555, July / Aug. 1996.

LEE, K.-W. L.; TAN, L.-L.; GOH, N.-K.; CHIA, L.-S.; CHIN, C. Science teachers and problem solving in elementary schools in Singapore. *Research in Science & Technological Education*, Abingdon, v. 18, n. 1, p. 113-126, May 2000.

LEINHARDT, G.; SCHWARZ, B. B. Seeing the Problem: An Explanation from Pólya. *Cognition and Instruction*, Mahwah, v. 15, n. 3, p. 395-434, 1997.

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.

LEONARD, W.J.; GERACE, W.J.; DUFRESNE, R.J. Resolución de problemas basada en el análisis. Hacer del análisis y del razonamiento el foro de la enseñanza de la Física. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 20, n. 3, p. 387-400, Noviembre 2002.

LIN, H.-S.; CHIU, H.-L.; CHOU, C.-Y. Student understanding of the nature of science and their problem-solving strategies. *International Journal of Science Education*, London, v. 26, n. 1, p. 101-112, Jan. 2004.

LIN, H.-S.; HUNG, J.-Y.; HUNG, S.-C. Using the history of science to promote students' problem-solving ability. *International Journal of Science Education*, London, v. 24, n. 5, p. 453-464, May 2002.

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.

LOPES, B.; COSTA, N. Modelo de enseñanza-aprendizaje centrado en la resolución de problemas: fundamentación, presentación e implicaciones educativas. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 14, n. 1, p. 45-61, Marzo 1996.

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.

MAIZTEGUI, A. P. Reflexiones sobre un tema de actualidad: la resolución de problemas en el aula. *Revista de Enseñanza de la Física*, Córdoba, v. 13, n. 1, p. 45-47, Mayo 2000.

MANI, K.; JOHNSON-LAIRD, P. The mental representation of spatial descriptions. *Memory and Cognition*, v.10, n. 2, p. 181-187, 1982. Apud STERNBERG, R.J. *Psicología Cognitiva*. Porto Alegre: ARTMED Editora, 2000.

MARTINÉZ LOSADA, C.; GARCÍA BARROS, S.; MONDELO ALONSO, M.; VEGA

MARCOTE, P. Los problemas de lápiz y papel en la formación de profesores. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 17, n. 2, p. 211-225, Junio 1999.

MARTÍNEZ PONS, J. A. Un problema planteado como actividad de investigación: estudio de las posibles trayectorias para el lanzamiento efectivo de un tiro libre de baloncesto. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 18, n. 1, p. 131-140, Marzo 2000.

MASON, D. S.; SHELL, D. F.; CRAWLEY, F. E. Differences in Problem Solving by Nonscience Majors in Introductory Chemistry on Paired Algorithmic-Conceptual Problems. *Journal of Research in Science Teaching*, New York, v. 34, n. 9, p. 905-923, Nov. 1997.

MASUI, C.; DE CORTE, E. Enhancing learning and problem solving skills: orienting and self-judging, two powerful and trainable learning tools. *Learning and Instruction*, Oxford, v. 9, n. 2, p. 517-542, Dec. 1999.

MATURANO, C.I.; MAZZITELLI, C.A.; MACÍAS, A. Los Estudiantes Verifican la Consistencia Interna de los Textos Científicos o Retienen la Primera Información que Leen? *Investigação em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v. 8, n.1, p. 91-104, março 2003.

McBRIDE, J.W.; BHATTI, M.I.; HANNAN, M.A.; FEINBERG, M. Using an inquiry approach to teach science to secondary school science teacher. *Physics Education*, Bristol, v. 39, n. 5, p. 434-439, Sept. 2004.

McCLOSKEY, M. Naïve Theories of Motion. In: GENTNER, D.; STEVENS, A.L. (Eds.), *Mental Models*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum, 1983. p. 299-324.

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.

MEIRA, L. The Microevolution of Mathematical Representations in Children's Activity. *Cognition and Instruction*, Mahwah, v. 13, n. 2, p. 269-313, 1995.

MESTRE, U. G. Modelo didáctico para la formación de habilidades en la resolución de problemas de Física es estudiantes de Ingeniería. *Revista de Enseñanza de la Física*, Córdoba, v. 14, n. 1, p. 35-44, Marzo 2001.

MILLER, G. A. The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, v. 63, p. 81-96, 1956.

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. Cambio conceptual: critica a modelos actuales y una propuesta a la luz del aprendizaje significativo. In: *II Simposio sobre Investigación en Enseñanza de la Física*,

Buenos Aires, Argentina, 3 al 5 de agosto, *Science and Mathematics Education for the 21 st Century*, Concepción, Chile, 26 sept. al 01 oct., *Taller sobre Innovaciones en Enseñanza de las Ciencias Naturales en la Educación Básica*, Montevideo, Uruguay, 24 al 28 octubre, 1994.

MOREIRA, M.A. Modelos Mentais. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v.1, n. 3, p. 193-232, 1996. Disponível em <http://www.if.ufrgs.br/ienci>.

MOREIRA, M.A. *Teorias de aprendizagem*. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 1999a.

MOREIRA, M.A. *Aprendizagem significativa*. Brasília: Editora da UnB, 1999b.

MOREIRA, M.A. Investigación en enseñanza: aspectos metodológicos. In: MOREIRA, M.A. (Org.) *Bases Teóricas, Metodológicas y Epistemológicas para la Investigación en Enseñanza de las Ciencias (I)*. Programa Internacional de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias. Porto Alegre: Instituto de Física, UFRGS, 1999c. p. 1- 40.

MOREIRA, M.A. La teoría del Aprendizaje Significativo. In: MOREIRA, M.A.; CABALLERO, C. (Eds.) *Actas Del Programa Internacional de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias (PIDEC)*, Universidade de Burgos, España; Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil, v. II, 2000, p. 31-68.

MOREIRA, M.A. A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 7-29, março 2002. Disponível em <http://www.if.ufrgs.br/ienci>.

MOREIRA, M.A.; LAGRECA, M.C.B. Representações Mentais de Alunos em Mecânica Clássica: Três Casos. *Investigação em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v. 3, n.2, p. 83-106, agosto 1998.

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.

NÁPOLES VALDÉS, J. E.; CRUZ RAMÍREZ, M. La resolución de problemas en la escuela. Algunas reflexiones. *Educação Matemática em Revista*, Lajeado, Ano II , n. 2, p. 51-65, Nov. 2000.

NERCESSIAN, N.J. Should Physicists preach what they practice? Construtive modeling in doing and learning physics. *Science and Education*, n. 4, p. 203-226, 1995.

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.

NEUMAN, Y.; SCHWARZ, B. Substituting one mystery for another: the role of self-explanations in solving algebra word-problems. *Learning and Instruction*, Oxford, v. 10, n. 3, p. 203-220, June 2000.

NEWELL, A., ROSENBLUM, P.S. Mechanism of skill acquisition and the law of practice. In: ANDERSON, J.R. (Ed.) *Cognitive Skill and Their Acquisition*. Hillsdale, N.J.: Erlbaum, 1981.

NEWELL, A.; SIMON, H.A. *Human Problem Solving*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1972.

NIAZ, M. Progressive Transitions from Algorithmic to Conceptual Understanding in Student Ability to Solve Chemistry Problems: A Lakatosian Interpretation. *Science Education*, New York, v. 79, n. 1, p. 19-36, Jan. 1995a.

NIAZ, M. Relationship between students performance on conceptual and computational problems of chemical equilibrium. *International Journal of Science Education*, London, v. 17, n. 3, p. 343-355, May / June 1995b.

NIAZ, M. Cognitive Conflict as a Teaching Strategy in Solving Chemistry Problems: A Dialectic-Constructivist Perspective. *Journal of Research in Science Teaching*, New York, v. 32, n. 9, p. 959-970, Nov. 1995c.

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.

NIAZ, M. Facilitating conceptual change in students' understanding of electrochemistry. *International Journal of Science Education*, London, v. 24, n. 4, p. 425-439, April 2002.

NIGRO, R.G. Un modelo de prueba escrita que revela capacidades relacionadas con el proceso de aprendizaje. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 13, n. 3, p. 347-361, Nov. 1995.

NOH, T.; SCHARMANN, L.C. Instructional Influence on a Molecular-Level Pictorial Presentation of Matter on Students' Conceptions and Problem-Solving Ability. *Journal of Research in Science Teaching*, New York, v. 34, n. 2, p. 199-217, Feb. 1997.

NORMAN, D.A. Some observations on mental models. In: GENTNER, D.; STEVENS, A.L. (Eds.) *Mental Models*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum, 1983. p. 6-14.

NORMAN, D.A. Some observations on mental models. In: GENTNER, D; STEVENS, A.L. (Eds.), *Mental Models*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum, 1983. p. 7-14.

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.
- OÑORBE DE TORRE, A.; SÁNCHEZ JIMÉNEZ, J. M. Dificultades en la enseñanza-aprendizaje de los problemas de física y química II. Opiniones del profesor. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 14, n. 3, p. 251-260, Noviembre 1996b.
- OSBORNE, R.; EDNEY, R. *Filosofía para principiantes*: v. I e II. Buenos Aires: Era Naciente, SRL, 1998.
- OTERO, M.R.; PAPINI, C.; ELICHIRIBEHETY, I. Las Representaciones Mentales y la Resolución de un Problema: un Estudio Exploratorio. *Investigação em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v. 3, n.1, p. 47-60, março 1998.
- 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.
- PALMERO, M.L.R.; MOREIRA, M.A. La teoría de los campos conceptuales de Gérard Vergnaud. In: MOREIRA, M.A.; CABALLERO, C. (Eds.) Atas do Programa Internacional de Doutorado em Ensino de Ciências (PIDEC), v. 4, 2002. p. 55-87, 2004.
- PASSMORE, C.; STEWART, J. A Modeling Approach to Teaching Evolutionary Biology in High Schools. *Journal of Research in Science Teaching*, New York, v. 39, n. 3, p. 185-204, March 2002.
- PATON, R.C. On an apparently simple modeling problem in Biology. *International Journal of Science Education*, London, v. 18, n. 1, p. 55-64, Jan./ Feb. 1996.
- PEDUZZI, L.O.Q. Sobre a Resolução de Problemas no Ensino de Física. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 14, n. 3, p. 229-253, dez. 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.
- PETERSON, R. F.; TREAGUST, D. F. Learn to Teach Primary Science Through Problem-Based Learning. *Science Education*, New York, v. 82, n. 2, p. 215-237, April 1998.
- PIAGET, J. *La equilibración de las estructuras cognitivas*. México: Siglo XXI, 1978.
- PIFARRÉ, M.; SANUY, J. La enseñanza de estrategias de resolución de problemas matemáticas en la ESO: un ejemplo concreto. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 19, n. 2, p. 297-308, Junio 2001.

PINE, K. J.; MESSER, D. J. The Effect of Explaining Another's Actions on Children's Implicit Theories of Balance. *Cognition and Instruction*, Mahwah, v. 18, n. 1, p. 35-51, 2000.

PONCZEK, R.I.L. Da Bíblia a Newton: uma visão humanística da Mecânica. In: ROCHA, J.F. (Org.) *Origens e Evolução das Idéias da Física*. Salvador: Editora da Universidade Federal da Bahia, 2002, p. 19 – 35.

POSTIGO, Y.; PÉREZ ECHEVERRÍA, M. P.; SANZ, A. Un estudio acerca de las diferencias de género en la resolución de problemas científicos. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 17, n. 2, p. 247-258, Junio 1999.

POZO, J.I. Más allá del cambio conceptual: el aprendizaje de la ciencia como cambio representacional. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 17, n. 3, p. 513-520, Noviembre 1999.

QUILEZ-PARDO, J.; SOLAZ-PORTOLÉS, J. J. Students' and Teachers' Misapplication of Le Chateliers' Principle: Implications for the Teaching of Chemical Equilibrium. *Journal of Research in Science Teaching*, New York, v. 32, n. 9, p. 939-957, Nov. 1995.

RABINOWITZ, M.; WOOLLEY, K.E. Much Ado about Nothing: The Relation among Computational Skill, Arithmetic Word Problem Comprehension, and Limited Attentional Resources. *Cognition and Instruction*, Mahwah, v. 13, n. 1, p. 51-71, 1995.

RAGOUT de LOZANO, S. Enseñanza de la Física en el Nivel Medio: un Estudio de Caso sobre el Uso de Situaciones muy Idealizadas como ejemplos. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 12, n. 1, p. 32-39, abr. 1995.

RAGOUT DE LOZANO, S.; CARDENAS, M. Some Learning Problems Concerning the Use of Symbolic Language in Physics. *Science and Education*, Dordrecht, v. 11, n. 6, p. 590-599, Nov. 2002.

RAM, A.; NARAYANAN, S.; COX, M. T. Learning to Troubleshoot: Multistrategy Learning of Diagnostic Knowledge for a Real-World Problem-Solving Task. *Cognitive Science*, New Jersey, v. 19, n. 3, p. 289-340, July-September 1995.

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.; HELLER, J.I. Knowledge structure and problem solving in physics. *Educational Psychology*, Mahwah, v. 17, p. 102-127, 1981.

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.

RENKL, A. Worked-out examples: instructional explanations support learning by self-explanations. *Learning and Instruction*, Oxford, v. 12, n. 5, p. 529-556, Oct. 2002.

RENNINGER, K. A.; EWEN, L.; LASHER, A. K. Individual interest as context in expository text and mathematical word problems. *Learning and Instruction*, Oxford, v. 12, n. 4, p. 467-491, Aug. 2002.

RIVIÈRE, A. *El sujeto de la Psicología Cognitiva*. Madrid: Alianza Editorial, 1987.

RIVIÈRE, A. *Objetos con mente*. Madrid: Alianza Editorial, 1991.

ROSHELLE, J. Beyond romantic versus sceptic: a microanalysis of conceptual change in kinematics. *International Journal of Science Education*, London, v. 20, n. 9, p. 1025-1042, Nov. 1998.

ROTH, W.-M. Where Is the Context in Contextual Word Problems?: Mathematical Practices and Products in Grade 8 Students' Answers to Story Problems. *Cognition and Instruction*, Mahwah, v. 14, n. 4, p. 487-527, 1996.

ROWELL, P. M.; GUSTAFSON, B. J.; GUILBERT, S. M. Engineers in elementary classrooms: perceptions of learning to solve technological problems. *Research in Science & Technological Education*, Abingdon, v. 17, n. 1, p. 109-118, May 1999.

ROYER, J. M.; CARLO, M. S.; DUFRESNE, R.; MESTRE, J. The Assessment of Levels of Domain Expertise While Reading. *Cognition and Instruction*, Mahwah, v. 14, n. 3, p. 373-408, 1996.

SÁNCHEZ, N.; ESCUDERO, C.; MASSA, M. Modelos de Situaciones Problemáticas Propuestos en los Textos Escolares de Biología. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, Porto Alegre, v.1, n.1, p. 31-42, jan./abr. 2001.

SCHMIDT, H.-J. Students' Misconceptions: Looking for a Pattern. *Science Education*, New York, v. 81, n. 2, p. 123-135, April 1995.

SCHOENFELD, A.H. Episodes and executive decisions in mathematical problem solving. In: LESH, R.; LANDAU, M. (Eds.), *Acquisition of mathematical concepts and processes*. New York: Academic Press, 1983. p. 345-395.

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.

SEROUSSI, D.-E. Heuristic Hypotheses in Problem Solving: An Example of Conceptual Issues About Scientific Procedures. *Science Education*, New York, v. 79, n. 6, p. 595-609, Nov. 1995.

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.

SIGÜENZA MOLINA, A.F. Formación de modelos mentales en la resolución de problemas de genética. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 18, n. 3, p. 439-450, Noviembre 2000.

SIMON, D.P.; SIMON, H.A. Individual differences in solving physics problems. In: SIEGLER, R.D. (Ed.) *Children's thinking: what develops?* Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum, 1978.

SIMON, H.A. How Big is a chunk? *Science*, Washington DC, v. 183, p. 482-488, February 1974.

SIMON, H.A.; KAPLAN, C.A. Foundations of Cognitive Science. In POSNER, M.J. *Foundations of Cognitive Science* (Ed.). Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 1989. p. 1-47.

SMITH III, J.P. Competent Reasoning with Rational Numbers. *Cognition and Instruction*, Mahwah, v. 13, n. 1, p. 3-50, 1995.

SODERBERG, P.; PRICE, F. An examination of problem-based teaching and learning in population genetics and evolution using EVOLVE, a computer simulation. *International Journal of Science Education*, London, v. 25, n. 1, p. 35-55, Jan 2003.

SOLAZ, J. J.; SANJOSE, V.; VIDAL-ABARCA, E. Influencia del conocimiento previo y de la estructura conceptual de los estudiantes de BUP en la resolución de problemas. *Revista de Enseñanza de la Física*, Córdoba, v. 8, n. 2, p. 21-28, Octubre 1995.

SOUSA, C.M.S.G. A Resolução de Problemas e o Ensino de Física: Uma Análise Psicológica. *Tese de doutorado*. Instituto de Psicologia. Universidade de Brasília, 2001.

SOUSA, C.M.S.G.; MOREIRA, M.A. A Causalidade Piagetiana e os Modelos Mentais: Explicações Sobre o Funcionamento do Giroscópio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo v. 22, n. 2, p. 223-231, junho 2000.

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.

STAVER, J. R.; LUMPE, A. T. Two Investigations of Students' Understanding of the Mole Concept and Its Use in Problem Solving. *Journal of Research in Science Teaching*, New York, v. 32, n. 2, p. 177-193, Feb. 1995.

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.

SWELLER, J. Control mechanism in problem solving. *Memory and Cognition*, v. 11, n. 1, p. 32-40, 1983.

SWELLER, J.; MWANGI, W. Learning to Solve Compare Word Problems: The Effect of Example Format and Generating Self-Explanations. *Cognition and Instruction*, Mahwah, v. 16, n. 2, p. 173-199, 1998.

SYNGE, J.L., GRIFFITH, B.A. *Mecânica Racional*. Porto Alegre: Editora Globo, 1968.

TACONIS, R.; FERGUSON-HESSLER, M. G. M.; BROEKKAMP, H. Teaching Science Problem Solving: An Overview of Experimental Work. *Journal of Research in Science Teaching*, New York, v. 38, n. 4, p. 442-468, April 2001.

TAO, P.-K. Confronting students with multiple solutions to qualitative physics problems. *Physics Education*, Bristol, v. 36, n. 2, p. 135-139, March 2001a.

TAO, P.-K. Developing understanding through confronting varying views: the case of solving qualitative physics problems. *International Journal of Science Education*, London, v. 23, n. 12, p. 1201-1218, Dec. 2001b.

THAGARD, P. *Mind: Introduction to Cognitive Science*. Cambridge, Massachusetts: The Mit Press, 1996.

THOMSON, N.; STEWART, J. Genetics Inquiry: Strategies and Knowledge Geneticists Use in Solving Transmission Genetics Problems. *Science Education*, New York, v. 87, n. 2, p. 161-180, March 2003.

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.; ANGELOPOULOS, V. A Model of Problem solving: Its Operation, Validity, and Usefulness in the Case of Organic-Synthesis Problems. *Science Education*, New York, v. 84, n. 1, p. 131-153, Jan. 2000.

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.

TYTLER, R.; PETERSON, S. From "Try It and See" to Strategic Exploration: Characterizing Young Children's Scientific Reasoning. *Journal of Research in Science Teaching*, New York, v. 41, n. 1, p. 94-118, Jan 2004.

VAN HEUVELEN, A.; MALONEY, D. P. Playing Physics Jeopardy. *American Journal of Physics*, New York, v. 67, n. 3, p. 252-256, March 1999.

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.

VanLEHN, K. Problem Solving and Cognitive Skill Acquisition. In: POSNER, M.J. (Ed) *Foundations of Cognitive Science*, p. 527-579. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 1989.

VanLHEN, K. Learning one subprocedure per lesson. *Artificial Intelligence*, v. 31, n. 1, p. 1-40, 1987.

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.

VENVILLE, G.; ADEY, P.; LARKIN, S. Fostering thinking through science in the early years of schooling. *International Journal of Science Education*, London, v. 25, n. 11, p. 1313-1331, Nov. 2003.

VERGNAUD, G. A classification of cognitive tasks and operations of thought involved in addition and subtraction problems. In CARPENTER, T.; MOSER, J.; ROMBERG, T. *Addition and subtraction. A cognitive perspective*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum. p. 39-59, 1982.

VERGNAUD, G. Quelques problèmes théoriques de la didactique a propos d'un exemple: les structures additives. In: *Atelier International d'Eté: Recherche en Didactique de la Physique*. La Londe les Maures, França, 26 juin - 13 de juillet, 1983a.

VERGNAUD, G. Multiplicative structures. In LESH, R., LANDAU, M. (Eds.) *Acquisition of Mathematics Concepts and Processes*. New York: Academic Press Inc. p. 127-174, 1983b.

VERGNAUD, G. *Problem solving and concept development in the learning of mathematics*. E.A.R.L.I. Second Meeting. Tübingen, 1987.

VERGNAUD, G. Multiplicative structures. In: HIEBERT, H., BEHR, M. (Eds.). *Research Agenda in Mathematics Education. Number Concepts and Operations in the Middle Grades*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum. p. 141-161, 1988.

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.

VERGNAUD, G. Multiplicative conceptual field: what and why? In GUERSHON, H.; CONFREY, J. (1994). (Eds.) *The development of multiplicative reasoning in the learning of mathematics*. Albany, N.Y.: State University of New York Press. p. 41-59, 1994.

VERGNAUD, G. Education: the best part of Piaget's heritage. *Swiss Journal of Psychology*, v. 55, n. 2/3, p. 112-118, 1996a.

VERGNAUD, G. A trama dos campos conceituais na construção dos conhecimentos. *Revista do GEEMPA*, Porto Alegre, n. 4, p. 9-19, 1996b.

VERGNAUD, G. Algunas ideas fundamentales de Piaget en torno a la didáctica. *Perspectivas*, v. 26, n. 10, p. 195-207, 1996c.

VERGNAUD, G. The nature of mathematical concepts. In: NUNES, T., BRYANT, P. (Eds.) *Learning and teaching mathematics, an international perspective*. Hove (East Sussex): Psychology Press Ltd., p. 5-28, 1997.

VERGNAUD G. A comprehensive theory of representation for mathematics education. *Journal of Mathematical Behavior*, v. 17, n. 2, p. 167-181, 1998.

VERGNAUD, G. et al. 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, 1990.

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.

VYE, N. J.; GOLDMAN, S. R.; VOSS, J. F.; HMELO, C.; WILLIAMS, S. Complex Mathematical Problem Solving by Individuals and Dyads. *Cognition and Instruction*, Mahwah, v. 15, n. 4, p. 435-484, 1997.

WATSON, J.B. Psychology as the behaviorist view it. *Psychological Review*, v. 20, p. 158-177, 1913.

WATTERS, J. J.; ENGLISH, L. D. Children's Application of Simultaneous and Successive Processing in Inductive and Reasoning Problems: Implications for Developing Scientific Reasoning Skills. *Journal of Research in Science Teaching*, New York, v. 32, n. 7, p. 699-714, Sept. 1995.

WELCH, M. Analysing the tacit strategies of novice designers. *Research in Science & Technological Education*, Abingdon, v. 17, n. 1, p. 19-34, May 1999.

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.

WELZEL, M.; ROTH, W.-M. Do interviews really assess students' knowledge? *International Journal of Science Education*, London, v. 20, n. 1, p. 25-44, Jan. 1998.

WILLIAMS, A.; WILLIMS, P. J. Problem-based learning: an appropriate methodology for technology education. *Research in Science & Technological Education*, Abingdon, v. 15, n. 1, p. 91-103, May 1997.

WONG, R. M. F.; LAWSON, M. J.; KEEVES, J. The effects of self-explanation training on students' problem solving in high-school mathematics. *Learning and Instruction*, Oxford, v. 12, n. 2, p. 233-262, April 2002.

WYNNE, C. F.; STEWART, J.; PASSMORE, C. High school students' use of meiosis when solving genetics problems. *International Journal of Science Education*, London, v. 23, n. 5, p. 501-515, May 2001.

APÊNDICE 1

**TRABALHOS QUE RELACIONAM E DIFERENCIAM A TAREFA DE R.P.,
FEITA POR NOVATOS E ESPECIALISTAS**

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>1. Mason, D.S., Shell, D.F., Crawley, F.E. Química EUA 1997.</p>	<p>Identificar e descrever as diferenças nos métodos usados por professores e alunos de um curso introdutório de química para resolver problemas conceituais e algorítmicos relacionados.</p>	<p>Citam uma lista extensa de trabalhos publicados sobre novatos e especialistas resolvendo problemas em Química.</p>	<p>Estudantes (N = 180) de um curso introdutório de Química, dos quais vinte (10 homens e 10 mulheres) foram submetidos a entrevistas.</p>	<p>Os dados foram obtidos dos protocolos verbais dos estudantes, em resposta aos processos de resolver problemas relacionados, algorítmicos e conceituais, sobre densidade, estequiometria, ligações e lei dos gases. Dois professores foram usados como especialistas. organizados em gráficos (Shoenfeld, 1987, Woods, 1992) avaliando três variáveis: tempo gasto na R.P., número de transições em um esquema e a taxa destas transições em relação ao tempo. Os alunos foram classificados em quatro categorias de R.P., similares às categorias de Nakhleh (1993): Alto Algorítmico (HÁ) / Alto Conceitual (HC); Alto Algorítmico (HÁ) / Baixo Conceitual (LC); Baixo Algorítmico (LA) / Alto Conceitual (AC) e Baixo Algorítmico / Baixo Conceitual (BC).</p>	<p>Resultados indicam que, à medida que há um desenvolvimento em R.P., menos tempo e menos transições entre episódios de esquema são requeridos. Os problemas algorítmicos requerem mais tempo do que os conceituais; entretanto, mais freqüentemente os alunos resolvem problemas algorítmicos do que os conceituais relacionados — afinal, os problemas conceituais dependem basicamente do conhecimento específico, enquanto os problemas algorítmicos podem eventualmente serem resolvidos por tentativa e erro.</p> <p>Estudantes das categorias HA / HC (os melhores) demonstram mais interesse em entender os conceitos do que calcular soluções.</p> <p>Implicações: os resultados confirmam que é raro um estudante ser classificado como LA / HC; por esta razão, os autores sugerem aos professores que gastem mais tempo aperfeiçoando a base conceitual do que prescrevendo estratégias algorítmicas.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>2. Heyworth, R.M Química, China 1999.</p>	<p>Verificar e comparar o conhecimento procedimental (estratégias usadas e representação do problema) e conhecimento conceitual de alunos classificados como “especialistas” e “novatos” para problemas de análise volumétrica. Também são apresentadas sugestões para melhoria na R.P. e prática de ensino.</p>	<p>Cita trabalhos de vários autores nas áreas de estratégias de R.P., representação de problemas, R.P. e conhecimento conceitual.</p>	<p>Estudantes “especialistas” (N = 6) e “novatos” (N = 6), classificados por um teste, sob o critério de apresentarem ou não erros procedimentais (como, por exemplo, aritméticos) na resolução de um teste convencional em análise volumétrica.</p>	<p>Foram utilizados dois métodos de entrevistas audiogravadas, um usando protocolos verbais e outro utilizando questões de verificação (“probing-questions”), após os alunos indicarem a tarefa concluída. A análise foi qualitativa.</p>	<p>Os dois grupos apresentaram uma representação inicial do problema, identificando palavras-chaves; a partir daí, os “especialistas”, familiarizados com o problema, empregavam um procedimento qualitativo geral, por meio de estratégia “para frente”, construindo uma representação matemática e uma solução numérica. Os “novatos”, após identificarem as palavras-chaves, empregaram uma estratégia de análise de meio-e-fim, guiada por busca de fórmulas. O conhecimento conceitual dos “especialistas” foi coerentemente integrado com a representação matemática, ao contrário do que aconteceu com o dos “novatos”. Mostraram diferenças em três áreas: compreensão conceitual, estratégias de R.P. e uso de uma representação qualitativa.</p> <p>Recomendações:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) ensinar para a compreensão conceitual; b) encorajar identificação de palavras-chaves e pensamento qualitativo; c) considerar estratégias usadas pelos estudantes; d) promover a prática.

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
3. Audet, R.H.; Abegg, G.L. Geografia Física EUA 1996.	Compara comportamentos em R.P. de novatos e especialistas acerca de um programa "Geographic Information Systems" (GIS) chamado "Arc View".	Revisão bibliográfica sobre novatos e especialistas em R.P.	Participaram do estudo 5 professores, 5 estudantes de Ensino Médio e 5 especialistas em GIS.	Protocolos verbais dos participantes, resolvendo problemas, tendo como referência o "Inventário de R.P." (PSI) de Heppner e Peterson (1982) e o "Inventário dos estilos de aprendizagem" (LSI).	Resultados mostraram que os novatos (professores e alunos) apresentam estilos de R.P. como tentativa e erro, questionamento espacial e lógico; estratégias variáveis e idiossincráticas. Em contraste, especialistas em GIS demonstraram maior domínio e tendência consistente com o programa em R.P. É necessário que as novas tecnologias sejam utilizadas em sintonia com o nível dos alunos com que se trabalha; recomendam investigar se que as aplicações do GIS desenvolvem habilidades de R.P. e se podem ser estendidas para situações análogas.

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
4. Royer, J.M.; Carlo, M.S.; Dufresne, R.; Mestre, J. Psicologia e Física EUA 1996.	Avaliar três procedimentos de desenvolvimento de testes, designados para medir diferentes níveis de especialidades de domínios.	Processamento da informação, especialmente a teoria do desenvolvimento de habilidades cognitivas de Anderson (1982, 1983, 1987).	Estudantes da Universidade de Massachusetts (N = 182): 1) curso de Psicologia, incluindo os considerados novatos (N = 85) e os considerados especialistas (N = 35); 2) curso de Física, incluindo novatos (N = 35) e especialistas (N = 17).	Foram administrados testes desenvolvidos pelo autores: SVT (Técnica de Verificação de Sentença), IVT (Técnica de Verificação de Inferência); além de PIT (Técnica de Identificação de Princípios), variante de um trabalho de Hardiman et al., 1989. Análise de variância multivariada (MANOVA) foi utilizada para os dados.	Especialistas executaram as tarefas de cada item em cada teste com superioridade em relação aos novatos; porém, a amplitude de diferenças entre especialistas e novatos foi mínima no teste SVT e máxima no PIT, com diferenças razoáveis no teste IVT. De um modo geral, os resultados corroboraram a teoria, excetuando a interação do item tipo-especialidade com os testes IVT, que não se encaixa na mesma, e a predição em relação ao tipo de itens do PIT, corroborado no domínio da Física mas não da Psicologia e, portanto, diferenciando níveis de especialidade.

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>5. Eteläpelto, A. “Design” - sistemas de informação, Finlândia 2000.</p>	<p>1) Examinar como os diferentes componentes do conhecimento estratégico e contextual são manifestados em soluções sugeridas por “designers” profissionais de sistema de informação e como estas soluções relacionam-se com sua base educacional e experiência profissional.</p> <p>2) Usar uma combinação de comparações entre especialista e novato e métodos longitudinais para analisar os projetos de profissionais em análise de sistema, e novatos, desde o início até o fim de um curso de 7 meses.</p>	<p>Cita autores com trabalhos em R.P. em vários domínios e sobre a atividade específica de projetar (“design”).</p>	<p>Novatos (N = 33): graduandos com três a quatro anos de estudos em Ciência da Computação e “Design” de Sistemas; especialistas (N = 40): egressos do mesmo curso e em serviço em diferentes estabelecimentos.</p>	<p>Todos receberam a tarefa de desenvolver um sistema de informação para microcomputadores sobre o tema “orçamento doméstico” (“housefold finance”); após a conclusão da tarefa, foram entrevistados e audiogravados quanto aos procedimentos utilizados e as origens de suas soluções. Foi utilizada uma análise de conteúdo na avaliação do trabalho.</p>	<p>Novatos enfocam principalmente conhecimento de estratégias de domínio específico, sem aplicar estratégias interativas, envolvendo a compreensão das restrições dos clientes, por exemplo, como fazem os especialistas.</p> <p>Este resultado denota o poder do efeito “dominó”: o tipo de estratégia promovida em contextos educacionais afeta a natureza e a qualidade da especialidade adquirida neste contexto — as implicações desta manifestação devem ser levadas em conta para evitar-se o desenvolvimento de especialidades que ignorem a natureza de conteúdo específico do conhecimento profissional.</p> <p>Contrariando as expectativas, em geral, os sujeitos apresentaram uma variedade de soluções que derruba o modelo linear, em que o desenvolvimento da especialidade está relacionado com a aquisição do conhecimento estratégico e contextual. O fator que particularmente distingue novatos de especialistas é a abrangência de suas soluções.</p>

APÊNDICE 2

TRABALHOS QUE PROPÕEM UMA METODOLOGIA DIDÁTICA EM RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
1. Ragout de, Lozano, S. Física Argentina 1995.	Estudo de caso com a pretensão de conhecer como os alunos percebem o processo ensino-aprendizagem como aplicação de conceitos teóricos e que atitude manifestam quanto ao professor e à disciplina.	Complementação de estudo anterior (Ragout de Lozano e Cárdenas, 1994).	Alunos de 2º ano (idade média de 14 anos) de escola técnica privada.	As fontes de informações foram entrevistas com alunos, materiais de estudo impresso, notas de aula, avaliações e questionários impressos. Os alunos foram entrevistados em cinco oportunidades diferentes, enquanto resolviam exercícios de aplicação dos conceitos e leis da cinemática e estática. Um caso foi examinado por ser representativo dos demais.	Resultados sugerem que o material de instrução empregado é de nível inadequado: apesar de dominar o conteúdo, o professor falhou na metodologia que desprezou o conhecimento prévio dos alunos, suas dificuldades relativas à estrutura cognitiva (conhecimento alijado dos esquemas requeridos), fornecendo-lhes problemas sem significado para os alunos, que resultou em estratégias memorísticas, sem a mediação de um processo de compreensão e de escasso valor funcional.
2. Escudero, C. Física Argentina 1995	Propõe o uso do V de Gowin (1981) como ferramenta para dar significado ao processo de R.P.	Aprendizagem significativa de David Ausubel (1976).	Alunos de colégio de nível médio.	Algumas opiniões de alunos quanto à tarefa de R.P. são apresentadas seguidas de exemplos de resolução de problemas utilizando o V de Gowin para representar a interação entre o domínio conceitual e metodológico, além da relação entre ambos (nível médio e universitário)	A aplicação do V de Gowin como ferramenta, para dar significado a problemas e destacar o domínio atitudinal como integrador dos domínios conceitual e metodológico, oportuniza a reflexão dos professores no sentido de promover uma aprendizagem significativa.

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>3. Wells, M.; Hestenes, D.; Swackhamer, G. Física EUA 1995.</p>	<p>Apresentar novo método de ensino (ciclos de modelagem) e resultados em R. P. comparativos com outras metodologias (inquirição e tradicional).</p>	<p>Ciclo de modelagem de Malcolm Wells (1983), inspirado no Ciclo de aprendizagem de Robert Kaplus (1977).</p>	<p>Alunos de ensino médio (N = 72) em cursos de mecânica.</p>	<p>Foram comparados três grupos de alunos (N = 24, por grupo): um grupo de controle, um grupo com metodologia baseada em inquirição cooperativa (“cooperative inquiry”) e outro baseado em modelagem — cada solução de problema, ou cria um modelo, ou adapta um modelo conhecido ao problema em questão.</p> <p>Os alunos foram submetidos a testes de habilidade em R.P. — 24 questões de exames padrões em mecânica — NSTA- AAPT “American Association of Physics Teacher” (1983) e 16 questões do PSSC “Physical Science Study Committee” e Projeto Harvard.</p>	<p>Uma análise quantitativa resultou na superioridade do método de modelagem em relação aos outros dois, o que pressupõe que: i) uma preparação padrão, (aulas e R.P. tradicionais), não são suficientes para desenvolver um nível elevado de docência; ii) a rotina do ensino não promove a competência de ensinar — ainda que haja preocupação e dedicação do professor pelos seus alunos: iii) o professor deve ser competente e estar engajado em permanente atualização profissional; sua especialidade é um fator crítico para a aprendizagem.</p>
<p>4. Halloun, I. Física EUA 1996.</p>	<p>Proposta de uma abordagem de modelagem esquemática como estrutura epistemológica para instrução em Física.</p>	<p>Revisão da literatura. Apresentação da teoria, com definição de modelo e sua função quanto ao domínio da Física e a organização, além da apresentação do processo de modelagem.</p>	<p>Dois grupos de estudantes libaneses (59 do ensino médio e 28 universitários) participaram da instrução baseada na modelagem esquemática.</p>	<p>Os estudantes secundários não foram comparados com qualquer grupo de controle; os universitários, sim. O procedimento envolveu resolução de problemas paradigmáticos, seguido de uma abordagem dialética e interativa.</p> <p>Validade interna das tutorias foi parcialmente efetivada pela aplicação de pré e pós-teste, constituídos de problemas-paradigmáticos. A análise quantitativa comparou os resultados nos pré e pós-testes.</p>	<p>Resultados apontam para uma validação da modelagem esquemática como estrutura epistemológica para instrução em Física.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>5. Lopes, B.; Costa, N. Física Portugal 1996.</p>	<p>Proposta de um modelo de ensino-aprendizagem centrado em resolução de problemas para Física dos níveis básico e secundário.</p>	<p>Baseia-se na revisão da literatura sobre investigação em R.P., raízes psicológicas envolvendo o processo de ensino-aprendizagem e aspectos epistemológicos da ciência.</p>	<p>O alvo pretende ser o ensino fundamental e médio.</p>	<p>Propõem uma metodologia centrada e resolução de problemas sob quatro princípios orientadores: linguagem, contextualização, problematização e aprimoramento dos conceitos, todos favorecendo o aumento do conhecimento conceitual e procedimental. A avaliação deve ser formativa, com técnicas adequadas à proposta.</p>	<p>A proposta vem a favor da necessidade de integração/mudança da prática docente, em particular com relação à R.P. Isto implica também mudanças na formação de professores, ressaltando-lhes a prática de interrelacionar problemas e problemas-tarefa com o crescimento conceitual dos alunos.</p>
<p>6. Varela Nieto, M.P.; Martínez Aznar, M.M. Física Espanha 1997.</p>	<p>Investigar a mudança conceitual produzida como consequência do trabalho continuado com R.P. abertos.</p>	<p>Construtivismo baseado na R.P. como investigação (Gil Pérez et al., 1991). Cita contribuições de Piaget, Vygotsky, Ausubel, Kuhn e Lakatos.</p>	<p>Grupo experimental constituído por 36 alunos de 3º BUP (16 anos) contra grupo de controle (40 alunos), equiparados por testes estatístico.</p>	<p>Ao grupo experimental, divididos em pequenos grupos, foi proposto um problema de enunciado aberto; o grupo de controle recebeu ensino tradicional. Os dois grupos submeteram-se a um mesmo teste inicial e final; dez meses após, realizaram novo teste. As avaliações consideraram variáveis metodológicas, variáveis de conteúdo e grau de abandono. A análise foi tanto qualitativa como quantitativa.</p>	<p>A mudança conceitual conseguida em mecânica e eletricidade, além de significativa, mostrou-se persistente no tempo e estatisticamente superior a obtida com a metodologia tradicional.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
7. Huffman, D. Física EUA 1997.	Investigar os efeitos de uma instrução em R.P. explícita sobre a compreensão conceitual em Física para estudantes do ensino médio.	Revisão da literatura em R.P.	O estudo foi conduzido em 18 semanas, em uma escola de ensino médio, com um total de 145 estudantes em 8 classes, aleatoriamente escolhidos como grupos de tratamento e de comparação. O tratamento com instrução explícita em R.P. foi influenciado por Reif e Heller (1982).	Desempenho em resolução de problemas tradicionais de livros de textos e nos mais elaborados (Heller e Hollabaugh, 1992), antes e após instrução. Foi feita uma análise (quantitativa) estatística dos resultados.	A instrução explícita em R.P. pode promover algumas melhorias, mas não em todos os aspectos no desempenho dos alunos em R.P. Contrariamente ao que se esperava, não houve diferença na organização da solução por parte dos que receberam instrução; na execução matemática aconteceu o mesmo. Não houve melhoria na compreensão dos conteúdos que estavam sendo trabalhados (leis de Newton).
8. Gil Pérez, D.; Castro, V.P. Física Espanha 1997.	Atualização de uma proposta de reimplementação da tarefa de R.P. de Física; mostrar que a R.P. de papel e lápis e as práticas de laboratório podem ser consideradas a mesma atividade.	Modelo de aprendizagem das ciências como investigação dirigida (Gil et al., 1991).	O público alvo pode ser alunos de educação média ou universitária.	Propõe um conjunto de etapas frente a problemas abertos: representação inicial da situação; formulação de hipóteses fundamentadas; elaboração de diferentes estratégias; possíveis contrastações com os resultados e análise dos mesmos.	Este processo de RP, igual aos da prática de laboratório, dá sentido a perda de distinções entre ambas atividades.

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>9.</p> <p>Bolton, J.; Keynes, M.; Ross, S.</p> <p>Física</p> <p>Reino Unido</p> <p>1997.</p>	<p>Descrição de um protocolo designado para ajudar os estudantes de cursos introdutórios de Física a adquirir habilidades básicas de R.P., em um contexto de educação a distância.</p>	<p>Cita alguns trabalhos envolvendo R.P.: procedimentos de novatos e especialistas, modelos, efeitos de instrução e uso de analogias.</p>	<p>Estudantes (N = 500) de curso introdutório de Física “Discovery Physics” da “Open University”.</p>	<p>O protocolo de R.P. apresentado divide a atividade em 3 estágios: preparação, trabalho e verificação. O curso contém problemas resolvidos na forma de material audiovisual com guias para ajudar os alunos a resolver novos problemas; ao fim de cada tópico são propostas questões de realimentação. Testes no início e fim do curso foram usados para avaliação dos alunos; o curso foi avaliado pelos alunos por meio de um questionário, com comentários.</p>	<p>Os exemplos resolvidos tiveram grande procura (85%), 75% julgaram-nos úteis para ajudá-los na resolução dos novos: 50% ressaltaram a ajuda para iniciar a resolução; 40% para desenvolver o problema; 74% acessaram-nos com o objetivo de preparação para os exames.</p> <p>As dificuldades manifestadas referiam-se aos estágios iniciais dos problemas e à incerteza de decidir que equação usar nos problemas específicos, o que foi contornado pelos autores com a inclusão de ferramentas de cálculo (matemáticas) em uma “janela” especial.</p>
<p>10.</p> <p>Bagno, E.; Eylon, B.-S.</p> <p>Física (eletromagnetismo)</p> <p>Israel</p> <p>1997.</p>	<p>Proposta de um modelo instrucional que integra R.P., compreensão conceitual e construção da estrutura de conhecimento.</p>	<p>Teoria de Aprendizagem de Ausubel, Novak e Gowin.</p>	<p>Alunos de ensino médio (N = 190), já tendo concluído curso de eletricidade e magnetismo.</p>	<p>Questionário escrito revelou carências na interpretação de conhecimento sobre as leis de Maxwell. Proposta, então, de uma estrutura de conhecimento em que os alunos resolvem problemas, refletem sobre os mesmos, conceituam, aplicam e relacionam (através de mapas conceituais). Análise quantitativa comparou os efeitos sob três tratamentos: grupo experimental (auto-instrutivo), controle C1 (auto-instrutivo, mas sem mapas conceituais) e grupo de controle C2 (tradicional).</p>	<p>A abordagem da proposta (grupo experimental) obteve vantagem sobre os outros dois em todos os aspectos: evocação (“recall”), entendimento conceitual e R.P. Um efeito adicional foi reconhecido nos sujeitos do grupo experimental: a aprendizagem de identificar idéias importantes e relações em apresentações de tópicos não familiares.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
11. Gangoso, Z. Física Argentina 1997.	Descreve uma experiência para tentar reverter o rechaço e fracasso de alunos de escola média em curso de Física.	Mapas conceituais da teoria de aprendizagem significativa de Ausubel, Novak e Gowin (Ausubel, Novak e Hanesian, 1978; Gowin, 1981; Novak, 1977; Novak e Gowin, 1984).	Estudantes (N = 39) de 4º ano de bacharelado em Biologia, em aulas de Física.	Trabalho envolveu três etapas: 1) pré-ativa em que os alunos conheceram os mapas conceituais; 2) traçado dos mapas; 3) aplicação dos mapas a enunciados de problemas de Física Uma quarta etapa propôs a construção de um mapa conceitual para um problema de conteúdo diferenciado dos demais.	A conclusão final corroborou análise parcial (depois das 3 etapas) na qual os mapas conceituais, como estratégia isolada, não produziram mudanças no desempenho em R.P. Porém, foram observadas mudanças em outras variáveis curriculares: reflexão sobre o currículo, mudanças na atitude do docente, participação maior dos alunos e revalorização do trabalho em grupo.
12. Clemente, J.J. Física EUA 1998.	Enfoca uma estratégia de avaliação chamada “construção de pontes” (“Bridging”) que tem sido observada tanto em solução de problemas científicos como em matemáticos — analogia espontânea.	Baseado em trabalhos anteriores do próprio autor.	Estudantes de escola secundária em 1º curso de Física — grupo experimental (N = 150) e grupo de controle (N = 55).	Sete aulas foram utilizadas para concretizar a estratégia de “construção de pontes ancoradas” (“Bridging-from-anchors strategy”) em três temas envolvendo leis de Newton. Os dois grupos receberam pré e pós-testes. A intervenção consistiu em apresentar inicialmente um exemplo-âncora e depois uma cadeia de analogias para os temas em questão. O instrumento de avaliação continha 15 questões, as quais pretendiam detectar concepções alternativas comuns em cada uma das três áreas. A análise foi quantitativa.	O grupo experimental teve um desempenho melhor do que o de controle. Estes resultados reforçam a crença de que é possível lidar com concepções alternativas usando métodos de raciocínio não formal. Parece que esta técnica ajuda os alunos a dar sentido sobre o que estudam. O diferencial é que esta técnica foca o processo de R.P. e não o conteúdo da área do problema.

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
13. Halloun, I. Física EUA 1998	Comparar esquemas de estudantes e cientistas em termos de “compatibilidade” e seus respectivos construtos em termos de “comensurabilidade”.	Modelagem esquemática (Halloun, 1996).	Dois grupos de estudantes libaneses, um de escola de ensino médio e outro, universitário.	. Ambos os grupos foram submetidos a pré- e pós-testes, consistindo de problemas paradigmáticos de papel e lápis, antes e depois da intervenção com a modelagem esquemática para a mecânica newtoniana.	Ambos os grupos mostraram evolução significativa no seu desempenho nos pós-teste, quanto à: <ul style="list-style-type: none"> • identificação dos agentes agindo em objetos particulares; • representação gráfica das forças atuantes; • quantificação de força (atentando para a sua natureza vetorial); • organização da solução; • aplicação da solução (com fracassos atribuídos, principalmente, a défices em Matemática). Recomendações: professores de ciências devem propiciar aos alunos que explicitem seus conhecimentos iniciais, para poder guiá-los na busca para resolver quaisquer incomensurabilidades entre seus construtos e sua contraparte científica; os conceitos científicos devem ser desenvolvidos sistematicamente dentro do contexto de modelos básicos, esquemáticos.
14. Cudmani, L.C. Física Argentina 1998	Enquadrar a estratégia de R.P. em aula como um marco teórico que dê significados claros e precisos para o que se entende por “problema” e sua “resolução”.	Apresenta um modelo integrador com o “saber”, “fazer” e “sentir”, baseados em trabalhos já desenvolvidos.	Não há.	Como ação efetiva para tratar a solução de problema como um programa de investigação: i) necessidade de aprofundar a conceituação de leis e princípios físicos; ii) aquisição de técnicas experimentais, tanto para a coleta, quanto para o processamento de dados; iii) uso de critérios científicos de validação para controlar os resultados, do ponto de vista de validação interna e externa.	Mudar atitudes em relação à ciência e, especialmente, à tarefa de R.P. requer tempo; o papel do professor-guia deve ser gradativamente dosado, favorecendo a produção autônoma dos alunos. Caracteriza três categorias geradas na R.P.: 1) atividades de iniciação, relacionando motivação e concepções prévias; 2) atividades de desenvolvimento, construindo e manejando; 3) atividades de síntese, avaliando a aprendizagem e explicitando novos problemas.

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
15. Monaghan, J.M.; Clement, J. Física EUA 1999.	Relatam estudos de caso obtidos por meio de entrevistas clínicas sobre o uso de uma simulação computacional no ensino de movimento relativo em uma dimensão.	Cita diversos trabalhos enfocando o uso de simulações e dificuldades dos alunos no tema movimento relativo.	Três sujeitos de curso introdutório de Física, em escola média de Massachusetts.	Os estudantes foram entrevistados aproximadamente a uma semana do término das aulas. O currículo em movimento relativo incluiu discussão de exemplos, problemas para fazer em casa, exercícios de laboratório, teste e exame; o uso da simulação computacional (Horwitz et al., 1992) aconteceu muitos meses após completar a unidade sobre movimento geral.	i) O conteúdo de movimento geral em uma dimensão foi difícil para os alunos, mesmo após instrução em Física; ii) a interação com a simulação em formato previsão-observação-explicação teve um efeito positivo na habilidade de R.P.; iii) evidências sugerem o uso de imagens mentais no pensamento dos alunos no pós-teste; iv) a visualização dos problemas no pós-teste parecem ter sido facilitados pela memória da simulação computacional.
16. Escudero, C.; Moreira, M.A. Física, Argentina e Brasil 1999.	Apresenta o uso do diagrama V como ferramenta para análise epistemológica de enfoques em resolução de problemas propostos por vários autores.	Vê epistemológico de Gowin (Novak e Gowin). Cita os autores de trabalhos sobre R.P.: Gil Pérez, Contreras, Peduzzi e Watts.	Não há.	Análise de quatro propostas relativas ao processo de R.P: a) alternativa de estratégia (Peduzzi); b) R.P. como investigação (Gil Pérez e colaboradores); contexto social (Contreras); R.P. em ciências e tecnologia (Watts).	Nos quatro enfoques, os autores mostram diferentes interações entre os componentes do pensamento e da atuação, ambos necessários para a produção do conhecimento. Professores e investigadores têm a chance de clarificar a diferença entre as propostas e escolher a que melhor se adapte às situações-problema com as quais pretendem trabalhar.

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>17.</p> <p>Frederiksen, J.R.; White, B.Y. ; Gutwill, J.</p> <p>Física EUA 1999.</p>	<p>a) Apresentam uma teoria de aprendizagem em ciência baseada nas relações conceituais derivadas de múltiplos modelos que representam fenômenos físicos em diferentes níveis de abstração.</p> <p>b) Aplicação da teoria e comparação dos resultados com os de alunos que não a vivenciaram.</p>	<p>Teoria de aprendizagem de Frederiksen e White (1992).</p> <p>Revisão da literatura sobre ensino de Eletricidade.</p>	<p>Estudantes dos níveis 10 e 11 do ensino médio, divididos em: grupo experimental (N = 13) e de controle.</p>	<p>Os alunos foram submetidos a pré-teste de álgebra e de circuitos elétricos. O pós-teste incluiu uma série de testes de papel e lápis e entrevista clínica.. Usaram simulação computacional e trabalharam em duplas nesta atividade. A análise dos resultados foi qualitativa e quantitativa (estatística)</p>	<p>Resultados demonstram a importância de prover condições para que os alunos construam relações derivadas de modelos, tanto quanto ao aspecto de compreensão da teoria dos circuitos como quanto à R.P. do tipo qualitativo e quantitativo.</p>
<p>18.</p> <p>van Heuvelen, A; Maloney, D.P.</p> <p>Física EUA 1999.</p>	<p>Apresenta um novo formato para problemas de Física, provendo uma solução matemática sob várias formas — equações, diagramas, gráficos — como ponto de partida; a partir daí, os alunos são convidados a construir uma representação física (na forma verbal, diagramática, pictórica, escrita) consistente com a proposta inicial.</p>	<p>Citam alguns trabalhos prévios próprios e de outros autores sobre R.P. e representações.</p>	<p>Estudantes do curso de engenharia de um dos autores.</p>	<p>São apresentados exemplos de problemas tipo “Jeopardy”, iniciando com equações, outros, com gráficos, outros, com diagramas e, por último, simulações. Também são comentados os desempenhos positivos dos estudantes que vivenciaram esta forma de abordar problemas em exames tradicionais.</p>	<p>O valor desta proposta é o de ajudar alunos, de qualquer nível escolar, a desenvolver uma nova perspectiva, tanto para o processo de R.P. quanto para o uso de diferentes representações para modelar processos físicos.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
19. Reif, F.; Scott, L. Física (Leis de Newton) EUA 1999.	Apresenta resultados de metodologia computacional (PAL) “Personal Assistants for Learning”, na qual computadores e estudantes instruem-se um ao outro, alternadamente.	Cita diversos trabalhos de vários autores sobre o tema .	Alunos voluntários (N = 45) de um curso introdutório de Física para a carreira de ciências: 15 alunos no grupo experimental (E) , 15 no grupo tutoriado por professor (C1) e 15 em curso regular, sem assessoria especial (C2).	Foram comparados escores de testes e erros.	Cerca de 10% dos grupos E e C1 receberam escores menores do que 65%, contra 50% do C2 que alcançaram escores menores do que 65%. A pequena diferença no desempenho de C1 para o E não é estatisticamente significativa; a favor de E é a não presença de um tutor (humano).
20. Escudero,C.; Gonzáles, S.B.; García, M.I. Física Argentina 2000.	Sistematização da análise de RP em textos de nível médio para servir de base de dados interativa para docentes.	Cita Fenstermacher, (1.989) sobre “bom ensino” e Breiter e Scardamalia, (1.992) sobre análise epistemológica.	Problemas (N = 339) de 11 livros de textos de nível médio, analisados quanto ao tema leis de Newton, pertencentes às bibliotecas das escolas ligadas a projeto da Universidade Nacional de San Juan.	Foram construídas categorias, entre elas, em: 1) nível de formulação ou definição; 2) linguagem em que se expressa a solução; 3) abordagem a concepções alternativas; 4) método de resolução, além de outras.	Os resultados permitiram a geração de cinco tipologias, incluindo as 11 obras. Pretendem os autores, com estas tipologias, contribuir para que os docentes usem-nas como ferramentas para uma maior eficácia na sua tentativa de ensinar, valorizando situações em que os alunos tenham consciência do que fazem e porque o fazem.

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>21. Pine, K.J.; Messer, D.J. Física Inglaterra 2000.</p>	<p>Investigação dos efeitos de duas intervenções no domínio da Física (balança) com crianças que conheciam o processo de usar a balança mas não conseguiam explicá-lo ou tinham uma teoria própria.</p>	<p>Modelo de Redescritção Representacional (RR) de Karmiloff-Smith (1992).</p>	<p>Crianças (N = 100) de escolas infanto-juvenis inglesas, entre 5 e 9 anos.</p>	<p>O grupo foi dividido em dois: aquele em as crianças (N = 53) só faziam “observação” da balança e, outro, em que elas (N = 47) “observavam e explicavam”.</p> <p>Os instrumentos de avaliação foram um pré-teste, a intervenção diferenciada e, por último, um pós-teste, cujos resultados foram classificados por níveis.</p>	<p>De maneira geral, o grupo “observe e explique” prevaleceu sobre o outro, reiterando os efeitos positivos da auto-explicação, particularmente das explicações interpessoais. Isso sugere que uma combinação de experiências sociais (discussão-verbalização) e tarefa (modelagem-realimentação) podem ser necessárias para promover mudanças cognitivas nesse nível.</p>
<p>22. Tao, P.-K. Física República da China 2001a.</p>	<p>Investigar se, confrontando estudantes com várias opções de resolução de problemas, melhora a habilidade nesta atividade, além de desenvolver melhor compreensão dos conceitos e princípios físicos.</p>	<p>Teoria do “dar-se conta” (“Theory of awareness”) baseada em trabalhos de Marton e Booth (1997), Bowden e Marton, 1998 e Marton, 1998.</p>	<p>Estudantes (N = 18) do 6º nível secundário (12º ano) de uma escola de Hong Kong.</p>	<p>O estudo envolveu quatro estágios: pré-teste, “feedback”, pós-teste e entrevistas; nos dois primeiros, os alunos trabalharam em duplas e foram audiogravados; nos dois últimos, trabalharam individualmente. A análise destes instrumentos foi tanto qualitativa quanto quantitativa.</p>	<p>Provendo aos alunos múltiplas visões para resolver problemas de Física, resultou: promoção da habilidade em R.P.; incentivo à reflexão não apenas do objeto do conteúdo, mas da abordagem de aprender Física; a constatação de que os estudantes não estão aptos para abordar diferentes aspectos de um mesmo problema, ou de visualizar caminhos diferentes de aprender Física.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
23. Fávero, M.H.; Souza, C.M.S.G. Física Brasil 2001.	<p>Apresenta uma revisão bibliográfica sobre a pesquisa em R.P. de Física de 70 até 1999, baseada nos principais periódicos da área, a análise desta revisão e uma proposta metodológica.</p>	<p>Teoria dos campos conceituais de Vergnaud (1989 – 1990) e trabalhos sobre metacognição (Allal Saada – Robert, 1992) interlocução (Chabrol e Bromberg, 1999).</p>	<p>Não há.</p>	<p>Não há.</p>	<p>Defendem, para o estudo de R.P., a criação de uma situação de interação segundo uma dimensão de desenvolvimento, que permita intervir nas operações de regulação, ou seja, que permita a revisão, pelo indivíduo, tanto teórico como metodologicamente, de suas ações e produtos.</p>
24. Mestre, U.G. Física, Cuba, 2001.	<p>Propõe um modelo didático para sistematizar as habilidades em resolução de problemas de Física em estudantes de Engenharia.</p>	<p>Fuentes, Pérez e Mestre, 1993; Fuentes e Mestre, 1996.</p>	<p>Estudantes da disciplina Física Geral do curso engenharia mecânica da Universidade de Oriente, Santiago de Cuba.</p>	<p>Propõe a integração de temas de uma disciplina com a estrutura de um “família de problemas”, cada um deles trazendo algum elemento novo que enriqueça ao objeto e ao método de solução: desde problemas muito particulares e simples, até os com graus elevados de complexidade. Exemplifica com Dinâmica de uma partícula. Uma vez resolvidos os problemas sugeridos, há a fase de discussão aberta das soluções, por parte dos estudantes, sendo a função do professor guiar o processo para os aspectos mais polêmicos. Ao final da unidade didática propõe realizar um seminário que integre todos os conteúdos através da discussão do problema do 3º tipo (mais complexos e inclusivos).</p>	<p>A contradição entre o nível de assimilação do sujeito, o qual se alcança com o exercício e o nível de profundidade, que vai revelando-se no objeto de estudo (família de problemas), pode constituir-se na força motriz que facilita a formação e desenvolvimento de habilidades em RP.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>25.</p> <p>Tao, P.-K.</p> <p>Física</p> <p>República Popular da China</p> <p>2001b.</p>	<p>Sugere que os estudantes devem resolver problemas qualitativos que os confronte com múltiplas soluções para ajudá-los a desenvolver compreensão conceitual e estratégias de R.P. robustas.</p>	<p>Na conclusão cita alguns autores que corroboram seu objetivo.</p>	<p>Estudantes de 6º nível (duas turmas, em estudos subseqüentes).</p>	<p>Uma primeira turma resolveu problemas (Leis de Newton e Circuitos elétricos) individualmente, resultando em algumas soluções diferenciadas; de posse destes resultados, outra turma recebeu estes e outros problemas para resolver, em duplas e trabalhando de forma cooperativa, com rendimento aquém do esperado. Foram apresentadas, então, as soluções do grupo anterior e solicitou-se que comparassem com as suas.</p>	<p>A realimentação funcionou bem, destacando três efeitos principais:</p> <ul style="list-style-type: none"> i) realçou a compreensão conceitual dos alunos e aprimorou suas habilidades em R.P.; ii) pode induzir o estudantes a refletir sobre sua própria aprendizagem; iii) qualifica o aluno para enxergar a possibilidade de muitas soluções para um único problema, ou para diferentes maneiras de aprender Física.
<p>26.</p> <p>Sousa, C.M.S.G.;</p> <p>Fávero, M.H.</p> <p>Física</p> <p>Brasil</p> <p>2002.</p>	<p>Proposta de um procedimento de estudo para a R.P. que privilegie as trocas verbais entre um especialista e um novato em relação a um campo conceitual específico.</p>	<p>Teoria dos campos conceituais de Vergnaud (1.990) e trabalho sobre metacognição de Allal e Saada – Robert (1992).</p>	<p>Dois estudantes de curso pré-vestibular (20 e 21 anos).</p>	<p>Cada um dos alunos foi submetido a cinco sessões individuais de R.P. (70 min cada): a 1ª centrou-se na identificação da dificuldade que tinha no tema Eletricidade; nas sessões seguintes, partia-se sempre da noção que o sujeito considerava ter do registro escrito do mesmo. Estas sessões de RP foram audiogravadas. A análise foi qualitativa.</p>	<p>Houve evidência de que a proposta da situação de interlocução e tomada de consciência pode contribuir para obter dados em prol da melhoria de ensino.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>27. Leonard W. J.; Gerace, W.J.; Dufresne, R.J. Física EUA 2002.</p>	<p>Apresentam uma metodologia didática chamada “Resolução de problemas baseada em análise”, projetada para promover tanto a compreensão conceitual quanto a capacidade de resolver problemas eficientemente.</p>	<p>Teoria do processamento da informação.</p>	<p>Citam os sujeitos de trabalhos na literatura sobre concepções alternativas, diferenças entre novatos e especialistas, entre outros.</p>	<p>Para o desenvolvimento, ao mesmo tempo, de habilidades como análise conceitual e resolução de problemas, propõem as etapas:</p> <ul style="list-style-type: none"> i) os estudantes exploram suas idéias prévias para que não interfiram com conceitos científicos; ii) os estudantes aperfeiçoam, conectam e inter-relacionam os conceitos, criando uma rede de idéias que os ajude a compreendê-los e recordá-los; iii) os estudantes aprendem como usar os conceitos para analisar e raciocinar sobre situações comuns; iv) os estudantes desenvolvem habilidades de R.P. baseadas mais intensamente em estratégias similares a dos especialistas — que usam princípios — do que a dos novatos — que usam características superficiais; v) os estudantes organizam e priorizam o seu próprio conhecimento, a fim de que seja particularmente útil para a R.P. e para a análise. 	<p>A proposta pretende superar a falta de compreensão e o baixo desempenho dos alunos em analisar, raciocinar e resolver problemas. Pretende usar a análise e o raciocínio como ponte para a compreensão conceitual profunda e a R.P. eficiente — condições de contorno favoráveis à aprendizagem. Enfim, pretende abandonar a tendência de aprender sem entender.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>28. Dufresne, R.J.; Leonard, W.J.; Gerace, W.J. Física EUA 2002.</p>	<p>Exploram como respostas corretas em testes de múltipla-escolha podem ser falsos indicadores do conhecimento e compreensão dos estudantes.</p>	<p>Citam alguns trabalhos de outros autores relacionados com a proposta do artigo.</p>	<p>Estudantes (N= 1046) da Universidade de Massachusetts: um grupo, de curso introdutório de Física para engenheiros; outro, de curso introdutório de Física para carreiras da área médica (?) (“life-science majors”).</p>	<p>Foi escolhida uma questão do “Force Concept Inventory” (Hestenes, Wells e Swackhamer, 1992) e construídas outras, sobre o mesmo tema, abrangendo aspectos aparentemente diferentes, para provar a compreensão dos estudantes.</p> <p>O estudo foi realizado em 3 semestres consecutivos, sempre no 1º ou 2º dia de aula.</p>	<p>Aproximadamente 69% dos estudantes escolheram a resposta correta para a questão original; mas para as versões alternativas, os índices baixaram para 35% e 36%. Os resultados sugerem que cerca de ¼ dos estudantes realmente entenderam a situação apresentada nesta questão.</p> <p>Este estudo faz um alerta para que as questões de múltipla-escolha não sejam as únicas a avaliar o conhecimento dos estudantes; só através de muitas fontes de informação pode-se ter uma avaliação confiável da compreensão dos alunos em Física.</p>
<p>29. Guisasola, J.A.; Ceberio, M.G.; Almudí, J.M.G.; Zubimendi, J.M.H. Física Espanha 2002.</p>	<p>Analisar as deficiências de ensino para o caso de R.P. de Física, em primeiro curso de Engenharia.</p>	<p>Resolução de problemas como investigação (Gil e Martínez-Torregrosa, 1983; Garret et al., 1990; Goffard, 1990; Furió, Iturbe e Reyes, 1994).</p>	<p>Estudantes (N = 48) de 1º curso de Engenharia.</p>	<p>Ao longo do curso, com duração de 9 meses, foram propostas para fins de análise, as resoluções de 3 problemas: o primeiro, 7 semanas após o início do curso, o segundo, na metade do mesmo e o terceiro, logo após o seu término. Só a análise do segundo foi apresentada neste artigo.</p>	<p>O número de alunos capaz de desenvolver uma estratégia globalmente correta para as situações propostas foi menos do que 15%. Estes resultados sugerem o fracasso do ensino universitário de R.P., concebido como “exercícios de fixação” e baseado em “problemas típicos”, pois não contribui para que os alunos aprendam de forma significativa conceitos, leis e princípios, nem habilidades e capacidades propícias da metodologia científica.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
30. Laburú, C.E. Física Brasil 2003b.	Análise crítica de uma proposta de investigação para as atividades de laboratório (lei de Boyle – Mariotte), originadas de problemas abertos de lápis e papel.	Piaget e Garcia (1984), Koyré (1991) entre outros trabalhos citados que enfatizaram a mudança conceitual subordinada à mudança epistêmica.	Alunos do 2º ano do Ensino Médio (três turmas de 20 alunos), sob o tema: lei de Boyle – Mariotte.	A proposta didática abrange seis momentos, não necessariamente rígidos: 1) Fenômeno; 2) Problema; 3) Hipótese; 4) Plano de Trabalho; 5) Análise; 6) Conclusão. Nas aulas de laboratório de 100 minutos, os alunos, reunidos em grupos, tiveram as suas falas registradas, de onde foram geradas as análises (qualitativas).	O autor sugere que sua proposta pode ser considerada como um estágio intermediário entre o laboratório estilo “livro de receita” e o que incentiva uma autonomia reflexiva e independência de aprendizagem do aluno (Gil Pérez e Castro, 1996).
31. Becerra Labra, C.; Gras-Martí, A; Martínez-Torregrosa, J. Física Chile e Espanha 2004.	Em que medida se ensina a resolver problemas de Física?	Modelo de R.P. de Gil Pérez e Martínez-Torregrosa (1983).	Estudantes chilenos de último ano de ensino secundário (N = 40), de 17 e 18 anos, e de 1º curso universitário (N = 80), de 18 e 19 anos. Professores de secundário (N = 21) e de universitário (N = 10).	Foram utilizados quatro instrumentos: i) análise de críticas manifestadas por professores a um problema resolvido de um texto habitual de Física; ii) análise de resolução didática “ideal”, solicitada a professores, frente a um enunciado que lhes era familiar; iii) análise dos cadernos de apontamentos dos alunos; iv) entrevistas individuais semi-estruturadas com os professores.	Nem resoluções de problemas habituais de papel e lápis são ensinadas: não se ensina a resolver problemas, só se lhes mostram resoluções já feitas. Há uma ausência total de indicadores de um processo de R.P. como uma tarefa aberta.

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
32. Barbosa Lima, M.C.; Carvalho, A.M.P. Física Brasil 2004.	Pretendem analisar se a narrativa pode ser um instrumento de ensino que complementa o que o que se promove através da experimentação.	Citam autores com trabalhos enfocando: a educação infantil (p. ex., Montessori, citada por Vygotsky, 1989); o uso da narrativa no contexto escolar (p. ex., Egan, 1991; Huerta, 1995); o exercício do raciocínio (García e García; Gil Pérez e Castro, 1997).	Trinta estudantes de 2º ano básico (idade média de 8 anos) de escola pública.	Estudo de caso, no qual foram propostas atividades em duas fases: 1) leitura de uma história, distribuída impressa para todos os alunos; 2) proposta do exercício: leitura, compreensão, discussão em grupo, apresentação e discussão das soluções encontradas em cada grupo, relato da atividade através de texto escrito e desenho (estes dois últimos, individualmente). As atividades foram gravadas em vídeo; a transcrição dos diálogos foi analisada qualitativamente.	A proposta ofereceu resultados interessantes e significativos: houve, da parte dos alunos, uma generalização do conceito de máquina; também manifestaram reflexão, indicada pela criação de novas situações, oferecendo oportunidade para apresentar variações do problema original proposto, e novas linhas de raciocínio, além de melhoria no vocabulário de termos usados em aulas de Física.
33. McBride, J.W.; Bhatti, M.I.; Hannan, M.A.; Feinberg, M. Física EUA 2004.	Definir inquirição como estratégia de ensino e apresentar este modelo para professores de Física de escola média, com o objetivo de prepará-los para implementar com sucesso nas suas práticas de ensino.	Cita alguns autores cujos trabalhos versam sobre ensino baseado na inquirição (“inquiry-based teaching”).	Professores de Ciências de escolas secundárias (“middle and high schools”).	Programa para professores de Ciências em serviço — oficinas ministradas por professores de Física sobre atividades de Ciência (Física), baseadas na inquirição. O curso, de 99h distribuídas ao longo do ano, objetivou ensino intensivo em conceitos de Física por meio de métodos de descoberta e atividades práticas (“hands-on”).	O programa existe há oito anos e tem trabalhado com professores de tal forma que os permita aplicar seus conhecimentos com seus alunos. Um resultado imediato é a maior admissão de alunos na universidade e a escolha da ciência como carreira.

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>34. Henderson, C.; Yerushalmi, E.; Kuo, V.H.; Heller, P.; Heller, K. Física EUA 2004.</p>	<p>Examina a prática de valorar (“grading”) resoluções de problemas, refletindo um conflito típico entre objetivos e práticas de avaliação.</p>	<p>Cita trabalhos cujos temas abordam assuntos correlatos ao discutido no artigo</p>	<p>Professores de Física (N = 30) de várias instituições e com funções variáveis.</p>	<p>Entrevistas com duração de 1h a 1,5h foram áudio e videogravadas. Nelas, os professores foram solicitados a resolver um problema. Depois, recebiam a solução de 5 alunos diferentes e era-lhes solicitado que valorassem estas soluções, assumindo que proviam de alunos de cursos introdutórios de Física; em seguida, explicavam a valoração dada. As declarações foram categorizadas e correlacionadas com as valorações de 6 dos 30 professores, todos docentes de universidades de pesquisa.</p>	<p>Os escores entre os professores, individualmente, variaram bastante.</p> <p>Nas justificativas dos professores, três temas foram os mais populares:</p> <ul style="list-style-type: none"> i) professores querem ver o raciocínio para poder decidir se eles entenderam realmente; ii) professores indicam relutância em subtrair pontos da solução de um estudante que podia ser correta, assim como no dever de subtrair pontos de resoluções claramente incorretas; iii) professores tendem a projetar processos de pensamento às soluções dos alunos ainda que estes não tenham explicitado os processos de pensamento. <p>Menos de 40% dos professores incentivam seus alunos a explicar seu raciocínio; por outra parte, os estudantes receiam expor seu raciocínio porque consideram perigoso para sua avaliação.</p> <p>Sugestão:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) requerer dos alunos o ônus da prova para comprovar sua compreensão; b) considerar consistentemente, grande parte de escore para argumentos que justifiquem os procedimentos; c) manter os alunos a par dos critérios de avaliação e proporcionar a prática deste processo.

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>35. Van Kampen, P.; Bañan, C.; Kelly, M.; McLoughlin, E.; O’Leary, E.</p> <p>Física Irlanda 2004.</p>	<p>Descrição do desenvolvimento, implementação e impacto da aprendizagem baseada em problemas (“Problem Based Learning” — PBL).</p>	<p>Cita trabalhos de vários autores sobre a PBL.</p>	<p>Estudantes (N = 17) universitários de um curso introdutório de Física do Calor.</p>	<p>Os estudantes foram divididos em grupos de 4 e 5 componentes; dispuseram de 4 a 6h de contatos para cada um dos 5 problemas abertos, enfocando problemas da vida real, que lhes foram propostos no curso (total 75h). Os autores usaram táticas para convencer os alunos a engajarem-se nas tarefas e na distribuição dos grupos. O papel do professor, como facilitador, era de guiar os alunos quando mostravam dificuldades e dispersão dos objetivos propostos, além de manter uma avaliação permanente da metodologia e desempenho dos grupos.</p>	<p>Todos os 17 alunos tiveram um rendimento positivo sob a metodologia proposta. Quase todos os alunos considerou-a significativamente mais interessante e relevante; tiveram também melhor rendimento nos exames, que correspondiam a 50% da nota global (os outros 50% foi obtido nos 5 problemas abertos). O único fator comum com as aulas tradicionais foi o tempo de duração do curso.</p>
<p>36. Araújo, I.S.; Veit, E.A.; Moreira, M.A.</p> <p>Física, Brasil, 2004.</p>	<p>São analisadas as principais dificuldades dos estudantes na interpretação de gráficos de cinemática e apresentados dois subprodutos diretos de um trabalho de pesquisa voltado para a superação destas dificuldades.</p>	<p>Referencial ausebeliano (Moreira, 2000).</p>	<p>Trata de sujeitos envolvidos em trabalhos da literatura.</p>	<p>A partir dos resultados de trabalhos da literatura, propõem o uso de uma ferramenta computacional “Modellus” (Teodoro, Vieira e Clérigo, 1997).</p>	<p>Vantagens do uso do software “Modellus”:</p> <ul style="list-style-type: none"> i) permite ao aluno fazer experimentos conceituais, utilizando modelos matemáticos definidos, como funções, derivadas, taxas de variação, assim como ele aprendeu em aula; ii) o software é livre; iii) permite ao aluno perceber que a Física não é mera aplicação de fórmula.

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>37. Alonso, Sanchez, M. ; Gil Pérez, D. ; Martínez – Torregrosa, J. Física e Química Espanha 1995.</p>	<p>Apresentam atividades para exames de Física e Química coerentes com o aprendizado destas ciências como investigação.</p>	<p>Modelo de ensino – aprendizagem como investigação (Gil et al., 1991).</p>	<p>É dirigido para o ensino médio.</p>	<p>Propõem transformações nas atividades de avaliação habituais nos exames de Física e Química, onde prevalecem : 1) perguntas de teorias com caráter memorístico (16%); 2) problemas fechados de aplicação simples (56%) e, 3) exercícios que só envolvem destrezas do tipo operativo (23%) para: 1) atividades com ênfase no manejo significativo dos conceitos (de mudança conceitual); atividades que junto com a mudança conceitual ponha em jogo aspectos metodológicos; 3) atividades com ênfase nas relações CTS; 4) atividades de auto e inter-regulação.</p>	<p>Esta proposta de avaliação é válida se for coerente com o contexto de desenvolvimento das atividades em sala de aula.</p>
<p>38. Niaz, M. Química Venezuela 1995c.</p>	<p>Avaliar o efeito de experimento de ensino com estrutura dialético- construtiva.</p>	<p>Teoria pós-piagetiana na qual a dialética é fortemente relacionada com a equibração majoritária.; Cobb e Steffe (1983), relativo aos experimentos de ensino; Lakatos (1970).</p>	<p>Dois grupos de calouros de Química , um de controle (N = 39) e outro experimental (N = 33) foram escolhidos aleatoriamente.</p>	<p>Foram discutidos dois problemas iguais com cada grupo, de maneiras distintas. Posteriormente, os alunos submeteram-se a cinco problemas em períodos diferentes ao longo do semestre, mas ambos os grupos simultaneamente. A análise dos escores de cada grupo foi analisada quantitativamente (percentual).</p>	<p>Apesar de o tratamento experimental mostrar-se efetivo no desempenho do pós-teste imediato, seu efeito não é profundo o suficiente para provocar mudanças no núcleo da estrutura cognitiva dos alunos. Cabe aos professores proverem um considerável leque de experiências que provoquem o conflito cognitivo que poderão ajudar os alunos a reformular suas teorias.</p>

Autores/ Área de conhecimento / País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>39. Dori, Y.J.; Hameiri, M. Química Israel 1998.</p>	<p>a) Construir um método de ensino/aprendizagem sobre “Ambiente do Mol”, no qual problemas são definidos e introduzidos de acordo com uma análise multidimensional;</p> <p>b) Introduzir este “ambiente” para licenciandos em química com o fim de validá-lo;</p> <p>c) Investigar o efeito do ambiente nesses alunos;</p> <p>d) Explorar o efeito do ambiente nas estratégias de aprendizagem dos alunos.</p>	<p>Citam vários trabalhos envolvendo níveis de compreensão e o uso da informática para o ensino.</p>	<p>Dois grupos de estudantes: o A , licenciandos em Química (N = 17) e o B, estudantes do 10º ano de uma escola rural (N = 31).</p>	<p>Os grupos receberam orientações diferenciadas, mas ambos foram submetidos à versão do “ambiente” em que os problemas estavam “misturados” e à versão em que as dimensões dos problemas foram organizadas – análise multidimensional.</p> <p>Ambos submeteram-se a pré e pós-testes; o grupo A também foi submetido a um teste de retenção (ao final do curso).</p>	<p>Na análise comparativa dos resultados dos testes, os “ambientes” foram facilmente diferenciados pelo grupo A; as reações do grupo de maior aproveitamento e o de menor foram diferentes: os últimos foram mais beneficiados com o “ambiente”; com o grupo B, aqueles que foram submetidos ao ambiente “organizado”, aprovaram-no, enquanto os outros necessitaram mais da ajuda da ajuda dos professores.</p> <p>Estes resultados confirmam a viabilidade da abordagem da classificação multidimensional de problemas.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>40. Chiu, M.H., Chou, C.C., Liu, .J. Química Taiwan 2002.</p>	<p>a) Pode um contexto de aprendizagem baseado em concepções alternativas promover mudanças concretas na aprendizagem do conceito de equivalente químico?</p> <p>a) Que tipos de modelos mentais os alunos utilizam em tarefas técnicas dinâmicas?.</p>	<p>Modelo das concepções alternativas e teoria de Chi (“Cognitive apprenticeship”) proposto por Collins, Brown e Newman (1989), para promover aprendizagem autêntica, com motivação, em um contexto específico. Também apresentam uma revisão da literatura.</p>	<p>Alunos (N = 122) de uma escola secundária (Nível 10).</p>	<p>Os alunos foram submetidos a um teste de papel e lápis. Como resultado, trinta estudantes que manifestaram concepções alternativas, foram escolhidos para compor 2 grupos experimentais e um de controle (10 alunos / grupo). Depois da intervenção, na qual era focalizado o processo de construir modelos mentais e mudanças em ações dos estudantes, como auto-monitoramento e auto-correção, foram procedidas análises quantitativa dos pré e pós-teste e qualitativa das entrevistas.</p>	<p>1) A intervenção baseada nas concepções alternativas promoveu melhor compreensão da natureza de equilíbrio químico.</p> <p>2) Alguns conceitos químicos são mais difíceis de aprender do que outros; após o tratamento, os grupos experimentais tiveram melhor compreensão.</p> <p>3) Alunos mantêm uma compreensão estática e não dinâmica de equilíbrio químico</p> <p>4) A mudança conceitual não acontece em todos os níveis (por exemplo, macro e microscópico).</p> <p>Sugestões: construir um modelo mental com a colaboração de alunos e professores.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>41. Perren, M.A.; Bottani, E.J.; Odetti, H.S. Química Argentina 2004.</p>	<p>Obter informações qualitativa e quantitativa acerca da hipótese de que um docente experiente pode não estar ensinando de forma efetiva.</p>	<p>Cita autores com trabalhos sobre o tema. A Teoria de Aprendizagem de Ausubel (1978) é citada.</p>	<p>Alunos de Bioquímica e Biotecnologia (N = 70) da Universidade Nacional Del Litoral, da Argentina, na disciplina Química Geral.</p>	<p>Aulas tradicionais: três horas-aula de aula teórica por semana; uma hora-aula de trabalhos práticos; um trabalho prático semanal (4 h); colóquio semanal (3h). Privilegiam problemas quantitativos. Dois ou três dias antes do exame (usado como instrumento neste artigo), os alunos fizeram uma prova com questões qualitativas (sem nenhum conteúdo de matemática) e quantitativas (tradicionais).</p>	<p>As diferenças de desempenho dos grupos resultou estatisticamente significativa. Quanto aos tipos de problemas, é notória a diferença entre resultados de problemas qualitativos e quantitativos: tiveram baixo rendimento nos problemas qualitativos, tanto os alunos do grupo superior (27%), com rendimento de 94,7% nos problemas quantitativos, como os do grupo inferior (27%) com rendimento de 36,8%, nos mesmos problemas. Sugestão: reflexão sobre o tema para contribuir com investigações futuras.</p>
<p>42. Petersen, R.F.; Treagust, D.F. Ciências Austrália 1998.</p>	<p>Estabelecer se uma aprendizagem baseada em problemas (“Problem-based learning” – PBL), para uma unidade no programa de formação de professores de Ciências, prepara-os para desenvolver e aplicar as componentes da base do conhecimento para o ensino e o raciocínio pedagógico.</p>	<p>Cita vários autores cujos trabalhos enfocam estudos sobre a formação de professores, envolvendo pré-requisitos e propostas metodológicas.</p>	<p>Professores em formação (“preservice teachers”), num total de 21, com idade média de 20 anos, com exceção de dois deles.</p>	<p>Os estudantes foram divididos em grupos de três pessoas; cada dois grupos ficou responsável por um tema diferente entre os escolhidos para a unidade. As fontes de dados foram os jornais dos estudantes, materiais de ensino preparados por eles, questionários escritos, entrevistas semi-estruturadas feitas com cinco dos sujeitos de todo o conjunto e observações de campo. Foram descritos estudos de caso de dois dos estudantes do grupo.</p>	<p>Nos estudos de caso, ambos os estudantes mostraram-se aptos para desenvolver sua base de conhecimentos para ensinar Ciência na escola elementar. A estrutura pedagógica permitiu que revisassem certos comportamentos, como, por exemplo, ensino centrado no professor e limitações na habilidade de avaliar.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>43. Campanario, J.M. Moya, A. Ciências Espanha 1999.</p>	<p>Revisar e analisar as principais tendências e abordagens para enfrentar dificuldades no ensino de Ciências, avaliando as principais vantagens e deficiências.</p>	<p>Revisão da literatura, citando trabalho de vários autores.</p>	<p>Não há.</p>	<p>Especificamente sobre o ensino baseado em R.P. (uma das propostas dos autores), salientam a organização de unidades didáticas articuladas fundamentalmente em coleções de problemas, envolvendo pequenos experimentos, conjuntos de observações, tarefas de classificação. Este enfoque, a partir do ensino fundamental, fomenta a aprendizagem auto-regulada, desde a análise inicial, com criação de um modelo mental que pode gerar possíveis alternativas para avançar na solução. Uma organização cooperativa de trabalho possibilita a busca e aprendizagem de conteúdos relevantes.</p> <p>Vantagens: representa o modo de fazer-se ciência experimental; como limitações:</p> <ul style="list-style-type: none"> i) exige maior dedicação dos professores — escolha adequada de problemas, seqüência e coerência interna de conteúdos; ii) anuência dos alunos por meio de aspectos motivacionais e atitudinais. 	<p>Todos os enfoques alternativos - repousam na necessidade de os alunos desempenharem um papel mais ativo em aula. A motivação intrínseca dos alunos está relacionada com a aplicabilidade percebida pelos mesmos e a utilidade do conteúdo para entender ou resolver problemas ou situações de interesse.</p> <p>Estas propostas exigem mais tempo do que o habitual, o que leva à recomendação de reduzir programas.</p> <p>Na formação de professores deve ser enfatizada a urgência de vencer resistências nos comportamentos de professores e alunos</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>44. Martinez Lousada, C. García Barros, S. Mondelo Alonso, M. Vega Marcote, P. Ciências Espanha 1999.</p>	<p>Apresentação de uma atividade concreta para formação docente, desenvolvida com professores-em-serviço e em formação.</p>	<p>Cita trabalhos de diversos autores com enfoques variados em R.P., destacando Gil Pérez e Martínez - Torregrosa (1983).</p>	<p>Professores em formação (N = 173) de Física, Química e Biologia e em exercício (professores de Ciências de educação secundária), agrupados em 3 grupos de acordo com a formação acadêmica e profissional.</p>	<p>Atividades propostas:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. levantamento das idéias dos professores sobre possibilidades educativas dos problemas escolares; 2. discussão destas idéias; 3. resolução de dois tipos de problemas, um tradicional (livro-texto) e outro aberto que poderiam ser abordados por professores de Física, Química e Biologia. <p>A análise quantitativa dos resultados foi feita com instrumento estatístico.</p>	<p>Os professores manifestaram, em ordem decrescente, os seguintes objetivos quando propõem problemas: Aplicar a teoria; favorecer a compreensão; desenvolver capacidades e interessar o aluno.</p> <p>Comparando o problema A (tradicional) e B (aberto), o primeiro tipo é mais incipiente em favorecer a compreensão, desenvolver capacidades e interessar ao aluno.</p> <p>Professores-em-serviço têm uma imagem pessimista da atividade, face ao fracasso dos alunos nessa tarefa. A solução parece ser é a mudança da abordagem dos professores na proposta desta atividade.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>45. Gil Pérez, D.; Furió Más, C.; Valdés, P.; Salinas, J.; Martínez-Torregrosa, J.; Guisáosla, J.; Ganzález, E.; Dumas-Carré, A.; Goffard, M.; Pessoa de Carvalho, A.M. Ciências Espanha, Cuba, Argentina, França e Brasil, 1999.</p>	<p>Questionar a distinção clássica entre “teoria”, “práticas de laboratório” e “problemas” e mostrar que investigações separadas nos três campos, não correspondem à atividade científica real.</p>	<p>Citam diversos autores e respectivos trabalhos nos campos citados.</p>	<p>Não apresentam.</p>	<p>Proposta de aprendizagem de Ciência como um processo de investigação dirigida. Assinalam vários trabalhos de pesquisa onde a construção do conhecimento leva a uma integração funcional entre prática de laboratório, problemas de papel e lápis e aprendizagem conceitual.</p>	<p>Esta proposta deve integrar o uso de computadores e investigações centradas na avaliação de ensino-aprendizagem de Ciências.</p>
<p>46. Pozo, J.I. Ciências Espanha 1999.</p>	<p>Refletir sobre as mudanças que têm lugar na mente dos alunos quando aprendem Ciências e, de forma breve, apresentar estratégias didáticas que poderiam favorecer estas mudanças.</p>	<p>Cita trabalhos sobre a mudança conceitual, ou mudança de concepção, ou mudança representacional; mudança instrucional e epistemológica.</p>	<p>Não há.</p>	<p>Não há.</p>	<p>A atividade dos alunos aprendendo ciências é um contexto diferente do cientista, assim como a atividade do professor é muito diferente de um pesquisador.</p> <p>Um ensino de ciências baseado em modelos — de modelos mentais a científicos — pode fazer compatível o velho papel dos professores com as novas exigências dos aprendizes, como construtores do conhecimento.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>47. Luft, J.A. Ciências Canadá 1999.</p>	<p>Explorar a potencialidade de um programa alternativo em-serviço para professores de Ciência, por meio das crenças manifestadas por professores participantes de um programa de aula demonstrativa que enfocava R.P.</p>	<p>O programa de aulas demonstrativas em R.P. (PSDC) é engajado no modelo “Search-Solve-Create-Share” (SSCS) de Pizzini, Huber e Shymansky (1988) e Sheparson e Pizzini (1992, 1993).</p>	<p>Professores voluntários (N = 13) dos níveis 3 a 6 de escola distrital de uma cidade universitária dos EUA.</p>	<p>Antes de iniciar o projeto, os professores foram apresentados ao modelo SSCS de R.P. além de utilizá-lo.</p> <p>Para identificar as suas crenças foram utilizadas entrevistas e observações de grupos-foco durante todo o ano letivo (10 meses); as atividades foram audio-gravadas e transcritas. Uma análise qualitativa elegeu 6 categorias sobre os pensamentos individuais dos professores.</p>	<p>Como resultado, os professores:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) perceberam a importância de estratégias instrucionais na sua implementação do modelo SSCS para R.P.; 2) encontraram muitas dificuldades (por exemplo, tempo) para implementar o SSCS em suas aulas; 3) refletiram sobre suas próprias práticas de instrução; 4) sentiram-se como alunos em aulas durante as discussões entre seus pares; 5) modificaram suas concepções com a compreensão do SSCS de R.P. e a instrução centrada no aluno; 6) desenvolveram uma perspectiva do estudante (como estudantes e professores) no contexto do SSCS de R.P.
<p>48. Lee, K.-W.L.; Tan, L.-L.; Goh, N.-K.; Chia, L.-S.; Chin, C. Ciências Cingapura 2000.</p>	<p>Investigar o quanto professores de ciência ensinam a resolver problemas na ciência elementar e que fatores influenciam a decisão dos mesmos em implementar a abordagem de ensino em RP?</p>	<p>Cita alguns autores cujos trabalhos investigam o ensino de resolução de problemas em escolas.</p>	<p>Professores (N =348) de 36 escolas elementares de Singapura. A idade média dos professores era 38 anos e a média de número de anos de experiência didática era 20 anos.</p>	<p>Um questionário com fidedignidade assegurada abordando: 1) o quanto os professores utilizam técnicas associadas com abordagem em R.P. e, 2) investigando os fatores que afetam o uso desta abordagem.</p>	<p>Maior ênfase: atividades de completar livros de texto; explicações de conceitos; atividades experimentais (“hands-on activities”).</p> <p>Apenas 1/3 conduzem atividades de R.P.</p> <p>A maioria está preocupada em vencer o programa para as provas. Citam como obstáculos: o ambiente de aprendizagem, faltas de possibilidade e motivação dos alunos; a preferência dos professores, suas habilidades de manter o controle sobre a aprendizagem dos alunos, o sentimento de falta de conhecimento científico e compreensão insuficiente do método de ensino por R.P.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>49. Campanario, J.M.; Otero, J.C. Ciências Espanha 2000.</p>	<p>Apresentam uma discussão que pretende ir além das concepções alternativas dos estudantes como fatores de dificuldades na aprendizagem de Ciências.</p>	<p>Fazem uma revisão da literatura, abordando trabalhos sobre as idéias prévias dos alunos, a dificuldade em modificá-las, pensamento e raciocínio dos alunos, concepções epistemológicas e estratégias metacognitivas.</p>	<p>Não há.</p>	<p>Não há.</p>	<p>Aparentemente, o fracasso da aprendizagem em Ciências parece estar centrado no aluno; pelo contrário, a responsabilidade do professor em conhecer as características destas variáveis e, enfrentá-las, faz com que ele seja tão responsável pelos resultados quanto os alunos o são. Daí a importância e a necessidade de empenho em projetos de investigação nos quais os fundamentos teóricos estejam embasados nos pontos de vista atuais em Psicologia educativa ou cognitiva.</p>
<p>50. Campanário, J.M. Ciências Espanha 2000.</p>	<p>Oferecer ao professor um repertório de recursos e sugestões para incluir a metacognição como fator fundamental na aprendizagem de Ciências.</p>	<p>Proposta de Flavell (1976) sobre metacognição.</p>	<p>Cita alunos de escola primária e secundária em trabalhos de vários autores.</p>	<p>Sugere várias estratégias para o professor, como, por exemplo, insistir no componente problemático do conhecimento, usar o recurso da história da ciência, usar a avaliação como instrumento metacognitivo, entre outros. Para os alunos, sugere atividades de prever-observar-explicar, mapas conceituais, diagramas V, resolução de problemas como pequenas investigações ou com soluções contra-intuitivas, entre outros.</p>	<p>Assim como sucede com as idéias prévias dos alunos e suas concepções epistemológicas, a docência em ciências experimentais deve abordar, de maneira incisiva, fatores metacognitivos, cujo desenvolvimento resulta útil em contextos diversos.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>51. Venville, G.; Adey, P.; Larkin, S. Ciências Austrália e Reino Unido 2003.</p>	<p>Investigar quais são os elementos do “bom pensamento” (“good thinking”) que ocorre nas aulas com intervenção (“intervention lessons”); os comportamentos quanto ao pensamento, nessas aulas, diferem do de aulas regulares? Eles promovem o desenvolvimento cognitivo? Que pontos críticos devem ser encorajados pelos professores para promover este pensamento por meio da Ciência?</p>	<p>Cita estudos baseados nas teorias de Piaget (1974) e Vygotsky (1978).</p>	<p>Crianças de 1º ano de 11 turmas de um distrito de Londres, participando do projeto CASE@KSI.</p>	<p>Das 11 turmas, 7 sofreram intervenção e 4 foram tratadas como controles. Cada turma tinha um professor diferente. Os alunos eram reunidos em pequenos grupos em cada turma e cada um fazia uma atividade diferente, entre elas, a que envolvia a intervenção. O sistema era rotativo, ou seja, em cada encontro (dos 30 ocorridos no ano letivo), outro grupo sofria intervenção, que durava de 30 a 40 min. A análise deste estudo foi qualitativa e baseada nos relatórios de 32 atividades: 17 de intervenção (baseadas nos esquemas de classificação, seriação — ordenamento e pontos de vista) e 15 de controle (atividades de matemática e ciência, incluindo história). Os comportamentos quanto ao tipo de pensamento geraram as conclusões.</p>	<p>Foram observadas diferenças entre os grupos: crianças dos grupos experimentais explicavam e demonstravam suas idéias, ações e dificuldades, com mais freqüência; mais freqüentemente manifestavam sugestões para resolver problemas, salientavam discrepâncias, adotavam novas idéias e trabalhavam de forma colaborativa.</p> <p>Professores podem reforçar a habilidade de pensamento: 1) admitindo que a dificuldade faz parte do processo da aprendizagem; 2) encorajando que os alunos expliquem o problema, idéias, ações e que externalizem as não-compreensões; para isto é necessário dar-lhes tempo 3) propondo-lhes questões abertas.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>52. Chang, C.-Y.; Barufaldi, J.P. Ciências da Terra Taiwan e EUA 1999.</p>	<p>Investigar os efeitos de um modelo instrucional baseado em R.P. no desempenho sobre a estrutura alternativa (“alternative framework”) de estudantes secundários (9º ano); além disso, investigar a opinião dos alunos sobre esta metodologia.</p>	<p>Citam diversos trabalhos envolvendo R.P. e aquisição de conhecimento (“achievement”) e enfatizam o Modelo cíclico SSCS, constituído pelas quatro etapas: “Search, Solve, Create, Share”, de Pizzini (1988).</p>	<p>Alunos (N = 172) de Ciência da Terra, do 9º ano (idade média: 14,8 anos) em Taiwan.</p>	<p>Foram constituídos dois grupos, sob a instrução do mesmo professor: o experimental (N = 86), submetido ao modelo SSCS, envolvendo procura, resolução, criação e compartilhamento – foi modificado da versão original com a escolha da variável independente “tratamento”. O grupo de controle recebeu método tradicional, centrado no professor. Antes do tratamento, os dois grupos foram submetidos a um pré-teste; imediatamente após o tratamento, a um pós-teste; uma semana mais tarde, a um questionário de opinião (escala Likert).</p>	<p>A análise estatística (ANCOVA) mostrou efetiva superioridade do método proposto. Quanto às concepções alternativas, foram corroborados trabalhos de outros autores com respeito à perseverança de tais concepções, mesmo pós-tratamento, o que reforça a tese de que a aplicação de conceitos não pode ser omitida em R.P. Nas opiniões, os estudantes concordam que o método os ajude a pensar, mas não acreditam que isso vai ajudá-los a ter melhor desempenho em testes tradicionais.</p>
<p>53. Nigro, R.G. Biologia Brasil 1995.</p>	<p>Critica o modelo de prova baseado na Taxonomia de Bloom (1956; 1971) e propõe um modelo de prova baseado na interação entre capacidades — habilidades e conteúdos específicos.</p>	<p>Cita artigos que tratam da aprendizagem da ciência, baseado em Vygotsky (1987), como investigação (p.ex., Gil Pérez, 1993), e métodos para avaliação (p. ex., Rodrigues et al., 1992).</p>	<p>Alunos do Ensino Fundamental (5ª, 6ª e 7ª séries).</p>	<p>Foram propostas perguntas objetivas ao grupo de alunos com a finalidade de identificar as capacidades requeridas nos diferentes tipos de perguntas entre 1992 e 1993. Para analisá-las, foi proposta uma classificação em termos de diferenciação e descrição da interação entre elas.</p>	<p>Resultados atestam existência de capacidades subjacentes, ignoradas na taxonomia de Bloom; o modelo de prova, integrando capacidades no ensino de ciências, apresenta-se em sintonia com a visão de ciências como investigação, além de proporcionar “feedback” no processo ensino-aprendizagem.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>54. Lin, X. Lehman J. D Biologia EUA 1999.</p>	<p>Explorar os efeitos de simulações computacionais de diferentes tipos de abordagens instrucionais no contexto de uma atividade de R.P., de controle de variáveis: justificativa racional; embasamento de regras e enfoque em emoções.</p>	<p>Revisão da Literatura.</p>	<p>Estudantes (N = 88) de curso introdutório de Biologia foram submetidos a quatro propostas com enfoques diferentes.</p>	<p>Foram utilizados pré e pós-testes de transferência, próxima e afastada, respostas “on-line”, diagramas e entrevistas diárias (com 10 estudantes). Os dados foram analisados quantitativa e qualitativamente.</p>	<p>No pó-teste, de transferência próxima, não foi detectado nenhuma diferença estatisticamente significativa entre os grupos.</p> <p>O grupo da “justificativa racional” mostrou-se mais efetivo no pós-teste de transferência afastada de longo prazo.</p> <p>Programas enfocando regras e emoções não desenvolveram habilidades na R.P.</p>
<p>55. Stewart, J.; Rudolph, J.L. Biologia, EUA, 2001.</p>	<p>Ilustram a natureza e difusão de problemas conceituais em ciências, além de descreverem dois projetos curriculares que utilizam abordagens variadas para tratar problemas conceituais explicitamente no ensino em sala-de-aula.</p>	<p>Apoiam-se no papel dos modelos em problemas científicos (Stewart e Hafner, 1991), citando outros autores com trabalhos sobre o tema.</p>	<p>Estudantes de nível médio de curso de Genética e de Evolução, citados de trabalhos anteriores.</p>	<p>Devido às características específicas dos conteúdos de cada curso, foram aplicados tipos diferentes de problemas. Segundo os autores, no curso de genética, os estudantes aprendem ciências por meio de R.P., e no de evolução, aprendem ciências como uma atividade de R.P. Por isso, no curso de Genética foram usados problemas tipo M-DF (“model-data fit”), ou problemas de ajuste de dados ao modelo, que acabaram transformando-se em problemas conceituais. O instrumento usado foi o “software” GCK — “Genetics Construction Kit” (Calley e Jungck, 1997), envolvendo situações problemáticas que requeriam modelos diferentes de explicação. No curso de Evolução, os problemas foram conceituais, envolvendo uma abordagem de um caso, com análise de modelos científicos disponíveis, sem o uso do GCK.</p>	<p>A resolução de problemas científicos envolve situações, desenvolvidas por cientistas, tanto do tipo M-DF quanto conceitual; o mesmo caso deve acontecer no currículo de ciências nas escolas.</p> <p>A pesquisa em R.P., já realizada pelos autores, aponta que algumas das dificuldades que estudantes experimentam, quando resolvem problemas de ajuste de dados (M-DF) reais, são análogos às enfrentadas ao resolver problemas conceituais; e que os dois tipos de problemas estão ligados, tanto do ponto de vista da ciência quanto do ensino em sala-de-aula.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>56. Passmore, C. Stewart, J. Biologia EUA 2002.</p>	<p>Descrição de um curso em biologia evolutiva, utilizando a perspectiva da modelagem, com exemplos de trabalhos de (outros) alunos para ilustrar o potencial para um raciocínio mais sofisticado e verificação se o tratamento permite aos aprendizes utilizar ferramentas conceituais que permitam-lhes abordagens em discussões realísticas.</p>	<p>Revisão da literatura.</p>	<p>Curso de nove semanas com alunos secundários.</p>	<p>Os alunos, reunidos em grupos, foram solicitados, após tratamento a escrever sobre dois casos de fenômenos evolutivos e apresentar suas idéias aos demais. A análise foi qualitativa.</p>	<p>Dados preliminares indicam que os estudantes desenvolveram uma compreensão rica do modelo da seleção natural pois usaram-na em situações específicas do fenômeno evolutivo.</p>
<p>57. Soderberg, P.; Price, F. Biologia EUA 2003.</p>	<p>Documentar sobre os benefícios dos alunos aprenderem sobre genética populacional e evolução, planejamento experimental e modelagem, usando uma simulação computacional. Investigar se estas simulações podem revelar as pré-concepções e concepções alternativas dos estudantes e se podem ajudar a revertê-las; também, quais os conhecimentos procedimentais e conceituais que os estudantes devem ter para usar EVOLVE no estudo de fenômenos evolutivos; e, finalmente, como os professores podem ajudar os alunos a melhorar a compreensão e a R.P. usando simulações como o EVOLVE.</p>	<p>Citam autores cujos trabalhos tratam das dificuldades no ensino de genética, no uso de laboratórios baseados em computadores (“computer-based laboratories”), e nas concepções alternativas.</p>	<p>Sete professores de seis instituições diferentes de graduação foram entrevistados, dos quais um foi escolhido para ser o foco do estudo.</p>	<p>Foi utilizado um “software” de simulações, EVOLVE (Price e Vaughan, 1993; 1994;1995;1996; 1998) que permite que os estudantes manipulem variáveis sobre genética populacional, observando os efeitos ao longo do tempo. Durante 3 horas-aula, os alunos, reunidos em pequenos grupos, aprenderam a usar o EVOLVE e responderam a uma questão sobre evolução. O comportamento deles foi registrado e analisado qualitativamente.</p>	<p>Segundo o professor:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) o uso do EVOLVE permite aos alunos uma compreensão mais profunda, o que facilita a R.P. porque envolve esquemas mais substantivos: as concepções equivocadas são passíveis de serem discutidas e corrigidas; conhecimentos procedimentais e conceituais são parte do processo e as dificuldades quanto à resolução destes tipos de problemas, para muitos alunos, devem-se à falta de prática mais do que de conhecimento. 2) a atuação do professor como coordenador de algumas discussões do tipo “o que...se...” ajuda a explicitar os modelos mentais dos alunos e as limitações de raciocínio. A técnica de inquirição (“inquiry”) representa uma forma de promover a compreensão sobre o tema evolução.

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
58. Ainsworth, S.; Wood, D.; O'Malley, C. Matemática Reino Unido 1998.	Examinar como componentes de um sistema-ambiente de aprendizagem matemático, "COPPERS", promovem a compreensão, em crianças, que problemas de multiplicação podem ter muitas soluções.	Vygotsky (1978).	Experimento 1 (Exp. 1): crianças (N = 40) de 2º ano (6 a 7 anos); Experimento 2: crianças (N = 50) de 4º ano (8 a 9 anos).	Exp. 1: foram-lhes aplicados pré-teste para examinar a habilidade de gerar múltiplas respostas. A intervenção do ambiente computacional fez com que trabalhassem individualmente nas questões (envolvendo moeda), com duração entre 60 e 90 min, incluindo tarefas de "feedback" comentadas. Exp. 2: completando estudos do Exp. 1, os alunos foram divididos em grupos, com a tarefa de emitir número de soluções diferenciadas às tarefas propostas.	Inicialmente os alunos responderam com pequeno número de soluções, mas mesmo com limitações de tempo (apenas duas semanas de trabalho), houve mostras de uma evolução sustentável. Dois aspectos do sistema computacional mostraram-se positivamente relacionados com os resultados de aprendizagem: 1) a requisição de múltiplas soluções fez com que as crianças produzissem mais do que habitualmente fariam; 2) o benefício de apresentar as respostas dos alunos de forma integrada (tabelas), o que representou uma estratégia de facilitação da aprendizagem.
59. Medeiros, K.M. Matemática Brasil 2001	Analisar a estrutura e o funcionamento do contrato didático com duas situações distintas: uma de resolução de problemas fechados e outra de resolução de problemas abertos (resolvidos sem o uso de procedimentos padronizados).	Cita vários autores com trabalhos relacionados com R.P.	Alunos de 5ª série de uma escola pública em Recife.	. Inicialmente foi feita uma entrevista com o professor para investigar o procedimento do mesmo em relação a tarefas de R.P., resultando na escolha dos problemas fechados que seriam propostos aos alunos — adição, subtração e multiplicação. Na 1ª situação do projeto, as falas de alguns alunos foram gravadas enquanto executavam os problemas fechados; na 2ª, os alunos, reunidos em grupos, resolveram problemas abertos, formulados pela investigadora. Um dos grupos teve o seu desempenho gravado. A análise foi qualitativa (pragmática e lexicométrica — usando o programa de estudos de textos PISTES (Pierre Muller) e baseada nas respostas escritas dos alunos, nas transcrições das gravações e nas grades de observação para alunos e professor.	Levando em conta a relação professor / aluno / conhecimento, foi observado que o trabalho com os problemas abertos provocou uma mudança na relação do professor com o conhecimento e do professor com o aluno; na relação do aluno com o conhecimento, algumas situações permitiu concluir que o aluno estabeleceu uma nova relação ao conhecimento.

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>60. Vye, N.J.; Goldman, S.R.; Voss, J.F.; Hmelo, C.; Williams, S. Matemática (Planejamento econômico - “business planning”) EUA 1997.</p>	<p>Examinar se indivíduos resolvendo problemas complexos em um certo domínio (no caso, planejamento econômico — “business planning”) experimentam dificuldades semelhantes àquelas experimentadas quando resolve problemas em outro domínio (planejamento de viagem) — Experimento 1.</p> <p>Entender a natureza da argumentação ao resolver o mesmo problema do Experimento 1, agora com os alunos divididos em duplas, favorecendo a associação de diferentes abordagens de solução — Experimento 2.</p>	<p>Espaço de Solução do Grupo de Cognição e Tecnologia de Vanderbilt (CTGV, 1990; 1991; 1992; 1993; 1994; 1997</p>	<p>Experimento 1: estudantes com nível cognitivo elevado (N = 16) do 6º grau e estudantes universitários (N = 16);</p> <p>Experimento 2: estudantes do 15º grau de escola pública (N = 34).</p>	<p>Exp. 1: Ambos os grupos assistiram a um vídeo de 15 min, “The Big Splash”, que propõe um problema inserido em uma história. Os alunos foram advertidos de prestarem bastante atenção pois seriam entrevistados posteriormente sobre a tarefa proposta no vídeo. Seus protocolos verbais foram gravados.</p> <p>Exp. 2: Cada dupla participou de sessões de 45 min onde foram solicitados a responder oralmente e tiveram igualmente suas falas gravadas. Foi-lhes solicitado trabalhar cooperativamente e discutir quaisquer contestações entre eles.</p> <p>Nas classificações dos resultados foi usada análise estatística.</p>	<p>O uso deste tipo de problema complexo é uma experiência relativamente nova, mesmo para estudantes de Matemática mais avançados: os desempenhos dos alunos refletiram dificuldades, manifestadas em erros de cálculo.</p> <p>O Exp. 1 proveu informações sobre o espaço de solução individual, mas os protocolos não contribuíram com informações suficientes para a compreensão de seus processos de raciocínio.</p> <p>No Exp. 2, apesar de os estudantes manifestarem mais planos de solução, os resultados ficaram aquém do esperado, pois demonstraram erros de avaliação de algumas variáveis e relações matemáticas impróprias. Porém, comparado com os resultados individuais do Exp. 1, a interação entre os estudantes permitiu o monitoramento de seus argumentos e o espaço de solução que utilizaram durante a tarefa.</p> <p>Quanto à adequação do modelo de problema utilizado (do tipo “Jasper problems”), para prover problemas significativos que capturem a resolução de problemas matemáticos no mundo real, a tarefa mostrou-se adequada.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>61. Stark, R.; Mandl, H.; Gruber. H.; Renkl, A. Matemática (Operações bancárias) Alemanha 2002.</p>	<p>Re-análise de resultados de aprendizagem baseada em exemplos. O foco do estudo é investigar até que ponto as características do aprendiz são responsáveis pelas diferenças em esforço mental e comportamento frente à aprendizagem.</p>	<p>Cita trabalhos envolvendo exemplos resolvidos, elaboração de exemplos (comportamento de alunos enquanto estudam exemplos resolvidos) e esforço mental (p. ex., Sweller, 1988).</p>	<p>Aprendizes de um banco (N = 54) .</p>	<p>Todo o grupo estudou exemplos resolvidos no domínio de contas bancárias. A metade recebeu um curto treino de elaboração da solução (grupo experimental) e a outra metade foi exposta aos exemplos sem qualquer instrução. O pesquisador atuou como modelo na demonstração da elaboração cognitiva com um exemplo, interagindo com “feedbacks” e respostas às perguntas; depois, os aprendizes deste grupo aplicaram o comportamento manifestado pelo instrutor. Por outro lado, os sujeitos do grupo de controle foram instruídos a pensar em voz alta enquanto estudavam os exemplos.</p>	<p>Foi corroborado o efeito positivo do treinamento na atividade de elaboração, acompanhado pela qualidade (aprendizagem de aspectos relevantes).</p> <p>Dos três perfis identificados: elaboração passiva e superficial, cognitiva profunda e ativa/ metacognitiva, os dois últimos identificaram-se positivamente com os fatores maior esforço e interesse, salientando-se ainda como um fator de importância para a elaboração da tarefa, o fator tolerância à ambigüidade. O conhecimento prévio dos aprendizes não mostrou influência em relação ao tipo de perfil apresentado pelos aprendizes.</p>
<p>62. Capon, N.; Kuhn, D. Matemática (“Business”) EUA 2004.</p>	<p>Investigação sobre a influência da aprendizagem baseada em R.P. sobre a ativação de modelos mentais que facilite o desempenho, produzindo:</p> <p>a) aquisição superior de novas informações;</p> <p>b) recordação (“recall”) desta nova informação;</p> <p>c) integração substantiva da nova informação com a estrutura de conhecimento já existente.</p>	<p>Cita trabalhos acerca da aprendizagem baseada em R.P. e seus resultados.</p>	<p>Estudantes (N = 131) do Programa MBA Executivo em uma escola de “business”: grupo A (N = 69) e grupo B (N = 62).</p>	<p>Foram analisados dois conceitos do domínio específico, sendo que cada grupo trabalhou com eles de maneira diferente: enquanto um experimentava o método tradicional, o outro recebia instrução pelo método de R.P., alternadamente para cada conceito.</p> <p>A avaliação aconteceu em dois momentos: imediatamente após tratamento e seis semanas depois. As respostas foram analisadas estatisticamente.</p>	<p>O benefício da aprendizagem baseada em R.P. nem na melhor aquisição nem na melhor lembrança, mas no potencial para maior compreensão, refletido em uma integração do novo conceito com o conhecimento já existente. O que é bom na aprendizagem baseada na R.P. é que promove o “fazer sentido”.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>63. Masui, C.; De Corte, E. Matemática ("business economics") Bélgica 1999</p>	<p>Proposta de uma intervenção e efetivação da mesma, preservando uma integração de aspectos cognitivos, afetivos e conativos — tendência consciente para atuar — para a aprendizagem auto-regulada e o pensamento.</p>	<p>Estudo baseado em resultados de diversos trabalhos sobre metacognição e aspectos afetivos e conativos da aprendizagem, especialmente, Flavell (1987), Perkins (1998) e Kluwe (1987).</p>	<p>Calouros de curso de Economia, selecionados por características cognitivas e divididos em três grupos (um experimental e dois de controle, C1 e C2), com 47 alunos cada.</p>	<p>Na disciplina de Macro-economia, o grupo experimental trabalhou temas de orientação e auto-julgamento, por meio de atividades não cognitivas; C1 teve mesma quantidade de tempo dedicada ao tema, mas recebendo outras abordagens (cognitivas): relatar, estruturar, analisar, concretizar, praticar e memorizar; C2 recebeu abordagem tradicional (aulas expositivas e exemplos), sem sessões especiais. O estudo do conhecimento metacognitivo de orientar-se e auto-julgar-se foi investigado com um teste de conhecimento em atividades não cognitivas, sob análise quantitativa.</p>	<p>A intervenção no grupo experimental aprimorou o conhecimento dos alunos no tocante a orientar-se e auto-julgar-se. Correlações positivas resultaram entre a intervenção em geral e o metacognição e especificamente entre os escores dos exames e as medidas de orientação e auto-julgamento.</p> <p>Sugerem pesquisas sobre a consistência deste comportamento dos alunos para outras tarefas.</p>
<p>64. Aczel, J.; Solomon, J. Matemática e Tecnología Reino Unido 1999.</p>	<p>Dois estudos, em diferentes áreas, Matemática e "Design em Tecnologia" analisam a auto-aprendizagem de crianças com métodos diferentes, sob teorias que, segundo os autores, têm similaridades interessantes. Os dois trabalhos usam variantes da teoria de aprendizagem da variação cega e retenção seletiva (BVSr) de Donald Campbell (1960; 1965).</p>	<p>Popper (1934; 1972), além de outros autores citados.</p>	<p>Projeto em ação — usando "Equation": 22 estudantes com idades entre 14 e 15 anos. Projeto Tecnologia em Ação: fazendo sinais de ferrovias: crianças de 9 e 10 anos.</p>	<p>Projeto "Equation" — o software ajudava os jovens a aprender usando estratégias em ação: em um crescente nível de dificuldades, com critérios acessíveis para o sucesso, oportunidade de resolver problemas com palavras ("word problems") para demonstrar o poder da álgebra. Alunos trabalhavam em duplas e seus desempenhos foram gravados. Projeto Tecnológico — a partir de uma história lida em aula foi lançado o problema de projetar um semáforo que acendesse à noite o verde e o vermelho. O trabalho previa a organização em duplas.</p>	<p>Tanto no ambiente computadorizado de álgebra quanto na situação de D&T, a teoria de Campbell pode explicar as quatro maneiras nas quais podem diferir os sujeitos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) a acurácia de representação da situação do problema; 2) o número e o alcance de variação das tentativas de pensamento produzidas; 3) a acurácia e o número de critérios seletivos; 4) a habilidade de reter soluções.

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>65. Williams, A.; Williams, P.J. Tecnologia Austrália 1997.</p>	<p>Descreve e avalia um projeto de ensino inovador para treinar professores de tecnologia, por meio da aprendizagem baseada em problemas (“problem-based learning” – PBL)</p>	<p>Cita Feletti (1993) e outros autores (ou trabalhos) relativos ao ensino baseado em problemas e ensino tecnológico.</p>	<p>Alunos do quarto ano de Bacharelado de “Design” em Educação e Tecnologia da Universidade de New Castle.</p>	<p>Reunidos em grupos de quatro componentes, os alunos receberam instrução sobre energia solar e suas aplicações; cada grupo desenvolveu uma pesquisa preliminar com o material disponível; escolheram então um tema para pesquisar profundamente e organizaram-se para resolvê-lo. Todas as ações dos grupos foram documentadas por eles e avaliadas pelos estudantes dos outros grupos. No final, os alunos submeteram-se a uma avaliação com questões do tipo 5 pontos – escala Likert e duas questões abertas, todas analisadas pelo teste ANOVA.</p>	<p>Apesar de as atividades parecerem inicialmente desconfortáveis para professor e alunos, os resultados variaram de satisfatório para excelente. A metodologia baseada em R.P. mostrou-se apropriada para a educação tecnológica, tanto para atingir os objetivos desta como para possibilitar aos alunos a experiência de um trabalho de grupo realístico.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>66. Doornekamp, B.G. Educação Tecnológica Holanda 2001.</p>	<p>Comparar, em termos da qualidade do produto final e do tempo dispendido, os resultados obtidos com o problema de construção (“construction problem”) bem estruturado e mau estruturado; fazer o mesmo com relação ao problema de explicação (“explanation problem”); investigar que características dos alunos influenciam estes resultados positivamente e se isso depende também das variantes (bem e mau estruturados) usadas.</p>	<p>Modelo TDME (“Thinking-Drawing-Making-Evaluating”) ou pensar-desenhar-fazer-avaliar de Ploemakers (1986). Cita outros autores com trabalhos envolvendo R.P. tecnológicos.</p>	<p>Alunos (N = 600) de escolas secundárias da Holanda, com média de idades de 13 anos, divididos em grupo experimental e de controle. Do problema de construção (aberto) participaram 305 alunos, do de explicação (sob controle), 295.</p>	<p>Com base nas especificações de projetos de domínio-específico para cada pacote de ensino-aprendizagem (“teaching-learning package”), novas variantes de material de ensino foram desenvolvidas, tanto para o problema aberto (“construction problem”) quanto para o controlado (“explanation problem”). Antes de os alunos resolverem os problemas, submeteram-lhes a um questionário, sobre suas características como alunos, e testes psicológicos avaliando suas orientações mecânicas e espaciais. A análise foi quantitativa.</p>	<p>i) Em ambos experimentos, a qualidade do produto final foi maior sob a variante “fortemente estruturada”. O ganho em qualidade só foi estatisticamente significativo para o problema de explicação. ii) A melhor qualidade não significa menos tempo utilizado: isso aconteceu com o problema aberto, no qual os alunos gastaram muito tempo; já no problema controlado (o de explicação), a qualidade foi significativamente maior em menos tempo. iii) O material de ensino estruturado mostrou-se mais adequado para aprendizes com pouca experiência em material de construção (“construction material”).</p>

APÊNDICE 3

TRABALHOS QUE ENFOCAM FATORES QUE INFLUENCIAM NA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS

Autores / Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
1. Lemeignan, G.; Weil-Barais, A. Física França 1994.	<p>Apresentam uma revisão de investigações, conduzida pelos autores, para entender as dificuldades encontradas, pelos estudantes, em modelar situações para resolver problemas.</p>	<p>Referem-se a Piaget (1977), Brousseau (1986) e Vergnaud (1987).</p>	<p>Os trabalhos relatados envolveram estudantes da escola média e pré-média da França.</p>	<p>Apresentam proposta prática para representar quantidades fundamentais da mecânica: energia, momentum e força, baseadas no controle de mudanças das representações dos estudantes, as quais:</p> <ul style="list-style-type: none"> i) são determinadas por fatores múltiplos; ii) desenvolvem-se em contexto específico, para responder certas questões; iii) têm sua construção de forma progressiva. <p>Resultados como estes foram obtidos por entrevistas individuais ou questionários escritos, observações de pequenos grupos ou experimentos em aula.</p>	<p>A proposta desenvolvimentista dos autores apóia-se em referências epistemológicas e psicológicas para analisar detalhadamente as atividades cognitivas envolvidas na construção e uso de modelos representacionais. Como comentários:</p> <ul style="list-style-type: none"> i) sempre que há inovação em aula, os resultados são positivos; ii) a pesquisa só é válida se puder ser transferida para outros contextos; iii) professores necessitam saber lidar com os modelos mentais (individuais) dos alunos, pois, muitas vezes, são eles os responsáveis pelos raciocínios equivocados, e devem ter consciência de que as mudanças conceituais envolvem um processo de longo tempo.

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>2. Touger, J.S.; Dufresne, R.J.; Gerace, W.J.; Hardiman, P.T.; Mestre, J.P. Física EUA 1995.</p>	<p>Investigar: a) tipos de explicação geradas em situações físicas abertas (“open-ended questions”) do tipo “o que se...”; b) como os tipos de explicação geradas neste tipo de questões relacionam-se com a atividade de R.P., ou outra medida de competência.</p>	<p>Cita autores que diferenciam novatos e especialistas em resolução de problemas, principalmente Chi et al. (1981; 1987)</p>	<p>Quarenta e cinco estudantes universitários recém egressos de um curso de Mecânica, no qual obtiveram um conceito mínimo B.</p>	<p>Os alunos, divididos em três turmas, resolveram dois grupos de problemas (pré e pós-tratamento): uma turma foi submetida a sessões de resolução de problemas de um livro- texto; uma outra turma trabalhou sob um ambiente computacional, HAT (“Hierarchical Analysis Tool”); a terceira, foi envolvida com outro ambiente computacional, EST (“Equation Sorting Tool”).</p> <p>A análise dos instrumentos de avaliação foi qualitativa e quantitativa.</p>	<p>Das 275 explicações obtidas das avaliações, 30% utilizou fórmulas, outras 30% mostraram respostas intuitivas e apenas 21% foram respostas hierarquizadas. As estruturas das explicações dos estudantes coincidem, aproximadamente, com a competência que demonstram em resolução de problemas. Os estudantes têm menos habilidade de produzir explicações hierarquizadas, apesar de preferirem-nas — talvez como consequência da educação formal, suas explicações mais frequentes são as intuitivas. Evidências atestam que a relação entre o pensamento físico e o mundo real é bastante tênue.</p>
<p>3. Langois, F.; Gréa, J.; Viard, J. Física França 1995.</p>	<p>Investigar a prática de R.P., de alunos de escola secundária, frente a problemas comuns, encontrados em manuais, a problemas abertos e aos que possibilitam atividades experimentais.</p>	<p>Citam autores cujos trabalhos versam sobre diferenças entre bons e maus solucionadores de problemas e que pregam a investigação na R.P.</p>	<p>Alunos (N = 22) de escolas secundárias, de diferentes níveis.</p>	<p>Foram-lhes propostos problemas de papel e lápis de dois tipos: problemas “tipo-contrato”, (exemplares de manuais) e problemas que exigiam investigação; os problemas diferiam entre si pelo conteúdo, mais ou menos relacionado com o programa escolar. Os protocolos verbais dos alunos, trabalhando em duplas, foram analisados por meio de uma ferramenta específica de análise, envolvendo “redes de atividades” e “redes de finalidades”.</p>	<p>Os resultados confirmam a necessidade de que os alunos sejam expostos à atividades que vão além da reprodução de procedimentos; para que um aluno manifeste comportamento investigativo, deve-se proporcionar-lhes situações diferentes, tratando de fenômenos não tratados no programa escolar.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>4. Kock, A.; Eckstein, S.G. Física Israel 1995.</p>	<p>Investigação sobre algumas habilidades necessárias para a leitura crítica de textos físicos: identificação de habilidades para compreensão de leitura, separação e classificação hierárquica das mesmas e sua relação com habilidades em R.P.</p>	<p>Revisão da literatura sobre estratégias de leitura para textos científicos e estratégias de compreensão dos mesmos.</p>	<p>Estudantes (N = 35) de uma universidade tecnológica.</p>	<p>Os alunos foram divididos em quatro grupos, de acordo com seus desempenhos no exame final do 1º curso de Física, exame este composto exclusivamente de resolução de problemas. A análise dos resultados foi quantitativa (teste estatístico).</p>	<p>Os alunos mostraram facilidade em reconhecer frases verdadeiras, mas tiveram dificuldade de identificar o que não está escrito; menos difícil é identificar itens falsos. Surpreendentemente, não houve correlação entre compreensão e habilidade de resolver problemas. Como sugestão, os autores recomendam que para testar compreensão de leitura, seja utilizado um formato contínuo de texto, e não frases separadas.</p>
<p>5. Ferguson, E.L.; Hegarty, M. Física EUA 1995.</p>	<p>Comparar a aprendizagem sobre sistemas mecânicos — i) comparar eficiência de sistemas de polias; ii) desempenho em R.P.; iii) nível de compreensão em mecânica — por meio do manuseio de polias reais ou de diagramas abstratos.</p>	<p>Cita trabalhos envolvendo pesquisa em aprendizagem <i>versus</i> meio diferente de apresentação de tarefas, além de investigações sobre compreensão acerca de sistemas mecânicos.</p>	<p>Estudantes universitários (N = 24) da Universidade da Califórnia, Santa Bárbara — Experimento 1; estudantes da mesma universidade (N = 48) — Experimento 2.</p>	<p>No Exp. 1, os estudantes foram divididos em 2 grupos, recebendo intervenções diferenciadas quanto à análise da tarefa de papel e lápis proposta: 1) anuseio de polias; 1) 2) condições gráficas (fotografias das polias). Os sujeitos, individualmente, tiveram as suas respostas verbais gravadas durante a execução escrita. No Exp. 2, três grupos foram criados, dois como os do primeiro experimento e um que visualizava as polias mas não as manipulava (condição real-estática). O procedimento foi similar ao do Exp. 1. Nos dois casos, os alunos foram submetidos à pré e pós-testes e comparados com o desempenho na resolução das tarefas propostas.</p>	<p>i) Os resultados mostraram equivalência nos dois experimentos quanto ao desempenho de prever a eficiência do sistema de polias, considerando o pré para o pós-teste. ii) Quanto ao sucesso na aplicação ou R.P., no Exp. 1, o grupo que manuseou as polias teve uma vantagem em relação ao outro; no Exp. 2, o grupo “real-estático” teve o mesmo desempenho que o que manipulou as polias. Parece, então, que o <i>meio</i> afeta a habilidade de aplicar o conhecimento em situações do mundo real: os aprendizes “por diagramas” não desempenhariam tão bem a tarefa por prescindirem das interações entre componentes do sistema físico de polias.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>6.</p> <p>Graham, T.; Berry, J.</p> <p>Física Reino Unido 1996.</p>	<p>Descrição dos resultados de uma investigação sobre a compreensão de momentum, por parte dos alunos, incluindo um modelo do desenvolvimento da compreensão do aluno.</p>	<p>Cita alguns autores cujos trabalhos tratam da aquisição de conceitos, inclusive o de momentum.</p>	<p>Estudantes (N = 459) de diferentes escolas inglesas, com idades entre 17 e 18 anos, que já haviam estudado este tema.</p>	<p>Estudantes foram submetidos a um questionário, validado, contendo 20 problemas; a análise foi qualitativa e quantitativa.</p> <p>Apresenta critérios para classificar os níveis de compreensão e procedimentos para a análise de dados.</p>	<p>Foram identificados três níveis de compreensão: nível 1 (modelo incipiente), 42% dos estudantes; nível 2 (modelo mais robusto do que o primeiro), 38%; nível 3 (modelo mais completo), 14%. Um nível 0 foi atribuído quando foi identificado falta de compreensão de momentum, ou modelo fraco ou confuso.</p> <p>Pontos “nevrálgicos” destacados:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conceito de momentum tratado inicialmente de forma escalar (produto da massa pela velocidade); • Falta de compreensão da equação momentum-impulso e da conservação do momentum; • Caráter vetorial do momentum não é reconhecido, principalmente devido ao tratamento predominante de situações unidimensionais.
<p>7</p> <p>Greca, I.M.; Moreira, M.A.</p> <p>Física Brasil 1997.</p>	<p>Investigar em que nível de representação mental — proposições, imagens e modelos mentais — os estudantes operam em relação ao conceito de campo, particularmente no domínio da eletricidade e magnetismo.</p>	<p>Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird (1983).</p>	<p>Estudantes de Engenharia (duas turmas, em semestres distintos).</p>	<p>Foram utilizados, nos dois semestres, práticas de trabalho dos estudantes com o professor e/ou monitor: 1º semestre, individualmente; 2º semestre, em grupos. Os instrumentos de avaliação da pesquisa foram os registros destas discussões, problemas propostos em aula e em provas, relatórios de experimentos, mapas conceituais e entrevistas finais, nas quais os alunos expressaram “o que eles tinham aprendido”. A análise dos resultados foi qualitativa e quantitativa.</p>	<p>Os resultados sugerem que os estudantes trabalham principalmente com proposições, não relacionadas com modelos mentais. As proposições usadas são definições e fórmulas, manipuladas rotineiramente para resolver problemas, mostrando uma organização incipiente do conhecimento. Alguns estudantes, sem usar o formalismo matemático, usam modelos baseados em imagens para atividades de R.P. Um 3º grupo encontra-se em situação intermediária: organizam apenas alguns conceitos em torno de modelos mentais operacionais. As diferenças entre novatos e especialistas parecem estar relacionadas com as capacidades cognitivas; estudantes que não formam modelo mental demonstram organização conceitual deficiente, R.P. por tentativa-e-erro, heurísticas de meio-e-fim, etc. A maior correlação encontrada na construção do modelo foi com variáveis conceituais e não com R.P.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>8. Palmer, D. Física Austrália 1997.</p>	<p>Investigar os fatores contextuais que afetam as respostas dos alunos a problemas de objetos em movimento linear.</p>	<p>Baseado nos resultados de um estudo de Halloun e Hestenes (1985) sobre a inconsistência do uso das concepções alternativas.</p>	<p>Estudantes (N = 29) do 10º ano (15-16 anos) recém egressos da escola secundária, já tendo cursado leis de Newton e licenciandos em ciência (N = 11), já tendo cursado mecânica.</p>	<p>Entrevistas audiogravadas onde descreviam e justificavam suas respostas a 8 questões; cada resposta era codificada com o padrão de raciocínio empregado.</p>	<p>A maioria dos estudantes em ambos os grupos, mantém a concepção de que “movimento implica força”, pelo menos em algumas das questões, manifestando inconsistência nas respostas (fragmentação do conhecimento). Sobre o efeito do contexto, ainda que o tema tenha sido mantido em todas as questões, as respostas divergentes sugerem a adoção de um contexto implícito,, relacionado com experiências pessoais.</p>
<p>9. Macías, A.; Maturano, C.I. Física Argentina 1997.</p>	<p>Inquirir a opinião de alunos universitários e de nível médio sobre as estratégias didáticas que influenciam o seu processo de aprendizagem.</p>	<p>Cita autores cujos trabalhos dizem respeito ao conjunto de métodos didáticos de intervenção.</p>	<p>Dois grupos de alunos de Física: universitários: 2º ano (N = 24) e 1º ano (N = 30); além de alunos do nível secundário: (N = 75).</p>	<p>Para distinguir as preferências, foi elaborado um questionário cujos resultados foram analisados qualitativa e quantitativamente. Os coeficientes de correlação entre os grupos indicaram que as respostas podem comparar-se entre si.</p>	<p>Os alunos gostam de trabalhos em grupo; suas opiniões sobre R.P. são negativas em relação à prática usual, o que reforça a necessidade de mudança por parte dos professores</p>
<p>10. Flores, C.F.; Gallegos, L. Física México 1998.</p>	<p>Avaliar as possibilidades explicativas dos modelos parciais possíveis de estudantes, envolvendo conceitos de pressão e flutuação.</p>	<p>Teoria dos Modelos Parciais Possíveis (Flores, Gallegos e outros, 1993).</p>	<p>Estudantes (N = 314) de nove escolas de ensino médio, todos matriculados em curso introdutório de Física.</p>	<p>Foram utilizados dois instrumentos: um questionário com 14 questões, em que tinham que explicar, prever e justificar; entrevistas individuais (N = 30) de 30 min, videogravadas, envolvendo atividades práticas. A análise dos resultados foi qualitativa.</p>	<p>Foram identificados modelos parciais possíveis nos dois temas, pressão e flutuação, segundo as características do modelo proposto — conceitos constritores e regras de correspondência. Estes modelos expressam as concepções e relações que os alunos explicitam em R.P., mas esta é uma primeira aproximação, tratando de um conteúdo específico.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ Países/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
11. Welzel, M.; Roth, W.-M. Física Alemanha e Canadá 1998.	Prover evidências da natureza dinâmica de entrevistas em termos da complexidade da cognição situada.	Perspectiva da cognição situada (Varela, 1991; von Aufschnaiter et al., 1992; Clancey, 1993; Welzel, 1995; Roth e Duit, 1996; von Aufschnaiter e Welzel, 1996).	Estudantes de nível 6 (N = 10) e nível 7 (N = 16), objetos de relatos em estudos durante uma unidade sobre máquinas simples (McGinn et al., 1995; Roth, 1996; Roth e McGinn, 1996; McGinn e Roth, 1997).	Estudantes foram testados antes e após estudo. Entre estes testes, os alunos (N = 13) foram submetidos a entrevistas sobre suas idéias acerca de máquinas simples. Todos os episódios acontecidos com dois estudantes, escolhidos como representativos dos 13, foram analisados qualitativamente.	O estudo mostrou que: a) durante as negociações, as cognições situadas representam processos de desenvolvimento, no sentido de complexidade mais baixa para mais alta; b) as interações entre entrevistador e entrevistado puderam ser observadas em termos das complexidades de suas ações respectivas; c) expectativas do entrevistador e do entrevistado interagiram e mediaram os resultados. Finalmente, um alerta: as entrevistas podem somente prover pistas dos processos cognitivos que estão acontecendo.
12. Roschelle, J. Física EUA 1998.	Apresenta uma alternativa (micro-análise) para dar conta da mudança conceitual, contra as visões baseadas nas concepções alternativas e em diferenças entre novatos e especialistas.	Pesquisa em Inteligência Artificial — raciocínio qualitativo (Bodrow, 1986; Forbus e Gentner, 1986) — e epistemologia desenvolvimentista da Física (diSessa, 1983, 1988, 1993).	Duas alunas de escola média.	Foi utilizada a “máquina de simulação” (EM ou “Envisioning Machine”) — diSessa (1982); White e Horwitz (1987) e White (1993). Os diálogos entre as duas alunas foram gravados e transcritos. Posteriormente foi feita uma classificação qualitativa da compreensão das estudantes, inspirada em Roschelle (1991), envolvendo três componentes: i) registros, ii) casos qualitativos e iii) aplicações e metáforas.	A idéia central da micro-análise é a noção de uma codificação distribuída, onde leis específicas e definições são compostas de muitos elementos interativos em um sistema que suporta “saber, fazer e discutir”. A micro-análise argumenta que o crescimento do conhecimento dos alunos ocorre por transformação e reestruturação dos registros dos estudantes, dos casos qualitativos e do seu uso em metáforas. Quanto à R.P., não é necessariamente verdadeiro que usar o EM ajudará na R.P. de livros de texto ou vice-versa.

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>13. Oliva, J.M. Física Espanha 1999.</p>	<p>Analisa o grau de organização estrutural das concepções dos estudantes em mecânica.</p>	<p>Parcialmente baseado na proposta de Monk (1995) sobre princípios científicos, os quais podem ser usados no estudo das concepções dos alunos.</p>	<p>Estudantes (N = 200) de 9º e 10º graus de escolas estaduais espanholas (1º estágio) e 11 estudantes de 9º grau das mesmas escolas (2º estágio).</p>	<p>Durante o 1º estágio, questionários escritos foram usados para a análise das concepções dos estudantes (escala Likert); também completaram uma versão do teste de pensamento lógico (TOLT) de Tobin e Capie (1981) sobre proporções, controle de variáveis, probabilidades, correlações e combinações. Durante o 2º estágio, foram realizadas entrevistas individuais, gravadas, sobre os temas discutidos no 1º estágio. Os resultados foram classificados e posteriormente analisados com tratamento estatístico (SPSS).</p>	<p>Os dados indicam a existência de um certo grau de estrutura nas respostas dos estudantes; longe de serem simples, podem configurar uma rede hierárquica na qual certas estruturas encaixam em outras, de acordo com uma ordem que compreende uma amplitude graduada de generalidade. Uma mudança em conhecimento parece envolver uma transformação em dois níveis: um que implique uma grande mudança de escala na estrutura causal do indivíduo; outra, que opere na mudança do conhecimento específico. Os professores devem estar atentos a isso.</p>
<p>14. Neto, A.J.; Valente, M.O. Física Portugal 2001.</p>	<p>Apresentam uma análise teórica sobre as dificuldades de alunos em R.P. de Física e proposta de atuação concreta para atenuar estas dificuldades, de cunho multidimensional e sinérgico, envolvendo: variáveis afetivas, cognitivas gerais e intrapessoais e recursos metacognitivos.</p>	<p>Vygotsky e a zona de desenvolvimento proximal, além de citar trabalhos de outros autores.</p>	<p>Alunos do 10º ano (idades médias de 15,6 anos) da disciplina Ciências Físicoquímicas; dois grupos experimentais (27 e 25 alunos) e um de controle (24 alunos).</p>	<p>Modificação de enunciados de problemas (mais extensos e qualitativos); uso de fichas de resolução metacognitiva; uso de textos, mapas de conceitos, documentos informativos como apoio. Instrumentos utilizados: vários testes invocando o campo nuclear da resolução de problemas, da experiência cognitiva e campo afetivo. Na análise estatística, foram empregados testes de variância (ANCOVA) e multivariância (MANCOVA).</p>	<p>A adesão dos alunos ao método de R.P. destacou-se, principalmente: i) ao método sistemático de orientação metacognitiva, mais explícito e verbalizado do que os habituais; i) enunciados mais extensos e descritivos. Autores reivindicam a necessidade de mudanças pedagógicas e metodológicas como sugerem Gil Pérez e Martínez-Torregrosa (1983).</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>15. Buteler, L.; Gangoso, Z.; Brincones Calvo, I.; González Martínez, M. Física Argentina e Espanha 2001.</p>	<p>Estudam a atuação de estudantes de escola média, partindo da idéia de estágios no processo de resolução de problemas e tendo em conta a relevância da representação interna neste processo.</p>	<p>Citam trabalhos de vários autores e as contribuições de Gil Pérez e colaboradores, além de marcos teóricos da Psicologia Cognitiva, no que diz respeito às diferenças entre novatos e especialistas em R.P.</p>	<p>Alunos (N = 189) de 7 turmas de bacharelado (16 anos) de instituições de Educação Média da Espanha.</p>	<p>Foram investigadas as correlações entre o estágio de representação e a geração de equação com o grau de dificuldade, percebido por alunos, ao resolver os problemas.</p> <p>Foram utilizados seis enunciados de problemas de Física, modificados, extraídos de texto utilizado no Ensino Médio. Foi-lhes pedido que:</p> <ul style="list-style-type: none"> i) representassem a situação descrita no enunciado com um desenho ou esquema; ii) solicitassem os dados necessários para a resolução; iii) opinassem sobre o grau de dificuldades em uma escala de 4 valores. Foi utilizado um teste estatístico para correlacionar as variáveis. 	<p>A presença de dados no problema favoreceu a geração de representações mais completas; problemas com contexto do cotidiano têm representações mais exitosas.</p> <p>Em geral, a correlação entre a representação do problema e a requisição dos dados e a percepção sobre o grau de dificuldades é muito baixa.</p>
<p>16. Gangoso, Z.; Buteler, L. Física Argentina 2001.</p>	<p>Descreve algumas regularidades na atuação de estudantes universitários, quando submetidos a uma situação-problema de Termodinâmica, apresentada sob três formatos diferentes.</p>	<p>Cognição distribuída (Zhang, 1997). Cita outros autores.</p>	<p>Alunos universitários de segundo ano (N = 56) de licenciatura de Biologia.</p>	<p>Foi proposta uma atividade inicialmente para 115 alunos. Aqueles que obtiveram 100% de acertos (N = 56) continuaram o processo; finalmente, foram analisadas as atividades de 44 alunos. Uma 2ª atividade propôs-lhes três problemas, com características (externas) diferentes: enunciado verbal; enunciado gráfico – concreto; enunciado gráfico – abstrato. Os alunos estavam reunidos em grupos e seus registros escritos foram analisados qualitativamente.</p>	<p>Os alunos “vêem” problemas diferentes nas versões verbal, gráfico-abstrato e gráfico-concreto mesmo que todos eles descrevam a mesma situação; isto constitui uma evidência a favor da existência do efeito representacional no âmbito do ensino de Física. Os enunciados gráficos favoreceram a aplicação da 1ª lei.</p> <p>Os sujeitos elegeram a modalidade gráfica para “traduzir” a informação verbal, sem que isto signifique necessariamente êxito na tarefa.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>17. Coleoni, E.A.; Otero, J.C.; Gangoso, Z.E.; Hamity, V.H. Física Argentina e Espanha 2001.</p>	<p>Apresentação de um estudo que explora algumas características das produções de alunos secundaristas.</p>	<p>“Modelo de Problema” de Nathan, Kintsch e Young (1992).</p>	<p>Alunos (N = 56) de Ensino Médio (16 a 18 anos), participando da resolução de um problema das Olimpíadas Argentinas da Física.</p>	<p>Foram descritas as resoluções que não dão conta das características do processo, descrito no texto, ou que o fazem de maneira errada. A análise foi qualitativa.</p>	<p>Muitos estudantes são capazes, em situação de R.P., de recuperar leis ou princípios físicos como esquemas abstratos, sem conseguir aplicá-los a uma situação específica. Foi possível estabelecer uma categorização de erros, vinculados ao processo de modelagem da teoria e indícios de deficiência de compreensão.</p>
<p>18. Reigosa, C.; Jiménez-Aleixandre, M.-P. Física Espanha 2001.</p>	<p>Explora as dificuldades de alunos quando confrontadas com atividades abertas de R.P.</p>	<p>Zona de desenvolvimento proximal de Vygotsky (1978).</p>	<p>Duas turmas de escola espanhola (2º BUP, 10º grau): uma do curso noturno (idade média 22,6 anos) e outro diurno (idade média 16 anos).</p>	<p>Foi-lhes apresentada uma questão aberta (com possibilidade de diferentes soluções) em aula de laboratório. Um grupo de cada turma foi áudio e videogravado enquanto desenvolvia a tarefa, cujas transcrições foram analisadas.</p>	<p>Mesmo uma oportunidade modesta para exploração aberta permite que os alunos pratiquem habilidades e redefinições de conceitos, também ressalta a importância do papel do professor como interventor quando os alunos manifestam dificuldades. Em termos vygotkianos, é possível afirmar que a aprendizagem foi orientada não para desenvolver estágios já alcançados, mas para novos estágios.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>19. Elby, A Física EUA 2001.</p>	<p>Mostrar que a prática de ensino com elementos curriculares, explicitamente enfocando a promoção do desenvolvimento epistemológico, pode levar a uma melhoria da visão dos estudantes sobre conhecimento e aprendizagem.</p>	<p>Baseado nos trabalhos de Law (1989), “Workshop Physics” e Sokoloff, Thornton, Law (1999) “Real Time Physics Labs”, ambos de tutorias da Universidade de Washington e Mazur (1997) sobre questões conceituais.</p>	<p>Estudantes de ensino médio, de escola da Califórnia (N = 27), de 10º, 11º e 12º graus, e de escola da Virgínia (N = 55), todos do 11º grau.</p>	<p>Os elementos de um currículo, baseado em epistemologia inclui: laboratórios, resolução de problemas em aula (em grupos) e para resolverem em casa, enfatizando explicações, com “feedbacks” e avaliação sistemáticas, redução do uso de livro de texto e redução radical do conteúdo.</p> <p>Foram utilizados como pré e pós-testes, instrumentos de levantamento das expectativas e das crenças epistemológicas dos estudantes: “The Maryland Physics Expectations Survey” (Redish, Saul e Steinberg, 1998) e “Epistemological Beliefs Assessment for Physical Science” (White, Elby, Frederiksen, Schwarz, 1999).</p>	<p>As crenças epistemológicas dos estudantes — suas visões acerca da natureza do conhecimento e aprendizagem — afetam a disposição da mente para práticas metacognitivas e hábitos de estudo, em um curso de Física.</p> <p>As considerações epistemológicas vão além da prática usual das tutorias, pois permite que os estudantes aprendam sobre “compreender” relacionando conteúdos e técnicas de R.P. na presença de uma agenda epistemológica, e não como pacotes (“chunks”) de materiais não relacionados.</p>
<p>20. Escudero, C.; Moreira, M.A. Física Argentina e Brasil 2002.</p>	<p>Interpretar as dificuldades dos alunos na construção de modelos mentais ao resolver problemas, do enunciado e da resolução, à luz da teoria dos campos conceituais de Vergnaud.</p>	<p>Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud (1998) e teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird (1983); Moreira (1996).</p>	<p>Estudantes (N = 38), de 4º ano de bacharelado, de um colégio da grande San Juan, Argentina, com idades entre 15 e 17 anos.</p>	<p>Foi utilizada uma proposta didática valorizando os problemas e exercícios como mediadores do discurso de aula. Baseados em resultados anteriores, a análise foi feita sobre a solução de um problema (apresentado em duas versões) entre os cinco do exame a que foram submetidos.</p>	<p>As respostas dos alunos sugerem que suas resoluções se devem à elaboração de determinadas representações mentais. Foi possível evidenciar conhecimentos-em-ação utilizados e relacioná-los com categorias elaboradas pelos autores. Ainda que a tarefa de descrição de um movimento (conteúdo específico) não seja trivial, a maioria dos alunos (N = 35) apresentou uma solução, na qual foi evidenciada uma variabilidade cognitiva considerável.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>21. Costa, S.S.C.; Moreira, M.A. Física Brasil 2002.</p>	<p>Identificar algumas características de dificuldades manifestadas por um número considerável de indivíduos no desenvolvimento da habilidade de R.P., tendo como tema a “cinemática de um ponto”.</p>	<p>Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird (1983; Moreira, 1996).</p>	<p>Alunos dos cursos de Engenharia e Física, matriculados na disciplina Mecânica Geral, entre 1998 e 2000.</p>	<p>A metodologia de trabalho envolveu a análise qualitativa das manifestações verbais e escritas de alunos durante a execução de tarefas de R.P., algumas feitas em pequenos grupos e outras individuais (prova escrita).</p>	<p>A tendência dos alunos é resolver o tipo de problema proposto como “quebra-cabeças”, um jogo, com suas regras disponíveis (nem sempre com significados para eles), em situações específicas. Quando este “jogo” exige novas posturas, como raciocinar, descrever caminhos de solução, é possível detectar os obstáculos que se lhes apresentam; nestes, incluem-se as concepções alternativas, fragilidade de conhecimento de conceitos e estratégias relevantes para a tarefa (inclusive a linguagem matemática) e ausência de um controle que conduza à metacognição.</p>
<p>22. Ragout de Lozano, S.; Cardenas, M. Física Argentina 2002.</p>	<p>Chamar a atenção de professores de Física de cursos universitários para os problemas dos estudantes em relação à interpretação da linguagem simbólica usada na disciplina.</p>	<p>Citam alguns autores, cujos trabalhos enfocam a linguagem simbólica, entre eles, Bunge (1985) e Piaget (1986).</p>	<p>Não há.</p>	<p>Discutem dificuldades de interpretação do formalismo em Física: i) problemas de comunicação, envolvendo termos técnicos, especializados, ou estrutura sintática complexa; ii) diferenças entre propriedades matemáticas — da igualdade — e sua interpretação em leis, teoremas e definições, também, conceitos quantitativos e valores numéricos — todos, epistemológica e semanticamente diferentes; iii) o sinal + para adição algébrica e para a vetorial.</p>	<p>Apesar da ambigüidade que os signos matemáticos apresentam, seus simbolismos têm a vantagem de evidenciar com clareza e concisão as proposições matemáticas. O papel do professor é o de estar alerta para estas situações e explicitá-las quando o discurso é analisado e formalizado.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>23. Moreira, M.A.; Pinto, A.O. Física Brasil 2003.</p>	<p>Identificar possíveis dificuldades que alunos de Física Geral apresentam para aprender significativamente a lei de Ampère.</p>	<p>Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird (1983).</p>	<p>Cerca de 155 estudantes, dos cursos de Engenharia e Matemática, ao longo de dois semestres tiveram seus desempenhos analisados na pesquisa.</p>	<p>A coleta de dados foi realizada em duas etapas, a primeira das quais permitiu uma interação maior com os alunos, reunidos em pequenos grupos. O processo de análise procurou levar em conta o levantamento de todo tipo de dificuldades que os alunos manifestassem na aprendizagem significativa da lei de Ampère. Foram utilizados: questão-chave, mapas conceituais, questões conceituais e problemas típicos abordados em livros de texto.</p>	<p>A rigor, nenhum dos alunos formou um modelo mental propriamente dito da lei de Ampère. Foram listadas e categorizadas as dificuldades, consideradas as evidências deste resultado. Duas das categorias de dificuldades (“superfície amperiana” e Lei de Ampère versus Lei de Faraday) estão associadas à visão integradora dos conceitos de Eletromagnetismo e podem ser reformuladas por meio da ação incisiva do professor de modo a estabelecer uma relação adequada entre eles</p>
<p>24. Guisasola, J.; Ceberio, M.; Zubimendi, J.L. Física Espanha 2003.</p>	<p>Examinar como os estudantes universitários de primeiro curso de Engenharia emitem hipóteses para construir sua própria estrutura de resolução, quando enfrentam problemas de Física.</p>	<p>Perspectiva construtivista do processo de ensino aprendizagem; cita trabalhos de vários autores, neste sentido.</p>	<p>Estudantes (N = 44, de 83) foram escolhidos aleatoriamente de 1º curso de Engenharia Técnica Industrial da Universidade de país Basco.</p>	<p>Foram-lhes propostas quatro situações problemáticas, as quais solicitavam-lhes que realizassem uma análise qualitativa e emitissem hipóteses a fim de prever a evolução do sistema (duas situações) e relacionar as variáveis que intervinham no fenômeno (outras 2 situações). Os resultados envolveram apenas duas destas questões. Para cada situação, os estudantes dispunham de 50 minutos. A análise foi semiquantitativa; os autores categorizaram as respostas.</p>	<p>Algumas constatações: i) os estudantes emitem hipóteses, ainda que não sejam todas corretas cientificamente — estão mais relacionadas com suas interpretações subjetivas; ii) buscam leis e princípios (teoria); iii) em um processo de adaptação do marco teórico a suas intuições, vão identificando variáveis que influem no problema; iv) não acham necessário justificar as relações que supõem corretas; v) tudo isso parece indicar que os estudantes não estão acostumados a emitir hipóteses, muito menos avaliá-las.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>25. Sousa, C.M.G.; Fávero, M.H. Física Brasil 2004.</p>	<p>Estudar o processo de construção do saber em Eletricidade, em um certo nível de complexidade (Ensino Médio formal), a partir de situações de R.P.</p>	<p>Teoria dos campos conceituais de Vergnaud (1983; 1990).</p>	<p>Dois estudantes em nível de Ensino Médio de um curso pré-vestibular.</p>	<p>Cada aluno foi submetido a cinco sessões individuais (em média, de 70 min), nas quais foi abordada uma situação de R.P. em Eletricidade. A 1ª sessão enfocou a identificação das dificuldades neste tema, as seguintes enfocaram conceitos sobre eletricidade por meio de procedimentos embasado na mediação destes conceitos.</p> <p>Todas as sessões foram gravadas e transcritas; os materiais escritos dos alunos foram anexados e utilizados na análise qualitativa que foi empregada.</p>	<p>Foi possível comparar os esquemas de ação dos dois alunos por meio dos teoremas-em-ação e conceitos-em-ação que eles manifestaram na situação de intervenção e interação social que foi criada. Os resultados, quanto à tomada de consciência do aprendiz em relação a sua própria cognição no processo de R.P., vêm a favor de utilizar-se esta proposta para a melhoria do ensino de R.P. em sala de aula. A teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud dá conta das dificuldades iniciais dos alunos e da superação progressiva mediada pelo professor, que deve estar apto para exercer este papel.</p>
<p>26. Escudero, C.; Moreira, M.A.; Caballero, M.C. Física Argentina, Brasil e Espanha 2004.</p>	<p>Estudar o processo de construção do saber em um conteúdo específico de Mecânica, em nível de complexidade de Ensino Médio formal, a partir de situações de R.P. e tarefas em aula.</p>	<p>Teoria dos Campos Conceituais de Gérard Vergnaud (1990; 1994).</p>	<p>Alunos (N = 38), de 4º ano, de colégio de San Juan (Argentina), com idades entre 15 e 17 anos.</p>	<p>O estudo foi baseado em 3 meses de trabalho de campo, à razão de um módulo (70 min) por semana, na seqüência do programa de Física, no caso, cinemática. Os dados foram originados de conversas e intercâmbios da resolução de problema escrito.</p>	<p>Estudar as estruturas de intercâmbio em aula e a resolução individual de um problema permitiu que fossem detectados alguns invariantes operatórios que, supostamente, estão presentes no conhecimento prévio dos alunos, e que embasam as dificuldades dos mesmos, tanto no campo conceitual, como no de procedimentos. O papel de mediador do docente durante a interlocução é destacado para facilitar o desenvolvimento cognitivo dos alunos.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>27. Shin, N.; Jonassen, D.H. McGee, S. Astronomia EUA 2003.</p>	<p>Comparação entre habilidades requeridas em R.P. para problemas bem e mal estruturados (“well and ill-structured”) no contexto ambiente multimídia em R.P. de astronomia.</p>	<p>Revisão da Literatura sobre problemas bem e mal estruturados, Sinnott (1989).</p>	<p>Um total de 118 alunos da escola média (nível 9) trabalharam em aula (15 aulas de 55 min) com problemas bem-estruturados. Instrução e assessoramento foram conduzidos num contexto de ambiente multimídia. O objetivo do projeto era determinar a distância de uma estrela próxima até a Terra.</p>	<p>Foram usados dois instrumentos de avaliação (papel e lápis) para medir variáveis na R.P. bem e mal estruturados.</p> <p>Análise estatística (regressão múltipla) foi utilizada para testar a hipótese de que os dois tipos de problemas exigem habilidades diferentes.</p>	<p>A hipótese foi confirmada: conhecimento do domínio e habilidades de justificativa são indicadores significativos para a resolução exitosa em problemas bem estruturados; por outro lado, o conhecimento do domínio, habilidades de justificativa, atitudes científicas e regulação da cognição são indicadores confiáveis para a resolução de problemas mal estruturados.</p> <p>Professores devem estar atentos a estas diferenças quando propõem problemas a seus alunos. Não foi investigado se é possível generalizar os resultados para outros domínios do conhecimento.</p>
<p>28. Oñorbe de Torre, A.; Sánchez Jiménez, J.M. Física e Química Espanha 1996a.</p>	<p>Detectar as idéias prévias que alunos têm das dificuldades de resolver problemas de Física e Química e estabelecer uma relação entre elas.</p>	<p>Cita artigos de alguns autores sobre o tema.</p>	<p>Alunos (N = 419), do bacharelado e COU (71,1%), estudantes ingleses (20,3%) e estudantes do último curso de formação de professores de Ciências (8,6%).</p>	<p>Foram selecionados 30 itens a partir de estudos investigativos de vários autores; professores especialistas em Física e Química foram consultados sobre os aspectos envolvidos. Então foi confeccionado um questionário, dirigido aos alunos, com perguntas diferenciadas.</p>	<p>Prevalecem os alunos que consideram os problemas mais difíceis (69,8%); contra os que elegem a teoria (19,9%); outros consideram-nos igual (10,3%).</p> <p>Os procedimentos de resolução e a compreensão dos enunciados são considerados os fatores de maior complexidade. Vinculam-nas: à falta de trabalho e interesse; à falta de confiança em si mesmos na compreensão do enunciado e ao ensino com excessiva exigência nos problemas.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>29. Oñorbe de Torre, A.; Sánchez Jiménez, J.M. Física e Química Espanha 1996b.</p>	<p>Apresenta o pensamento de professores sobre as dificuldades em R.P. e compara-a com o dos alunos.</p>	<p>Não apresenta.</p>	<p>Professores (N = 131) de nível 1 (educação básica) e nível 2 (educação média).</p>	<p>Análise quantitativa dos resultados do questionário..</p>	<p>Professores concordam que o índice de fracasso em R.P. é maior do que 50%; também concordam em eleger a teoria como a principal responsável pelo fracasso, indicando carência de conhecimentos procedimentais para aplicar a teoria ou estratégias de resolução, além de dificuldades em compreender o enunciado. Divergem dos alunos quanto à responsabilidade direta de professores e alunos para justificar o fracasso.</p>
<p>30. Escudero, C.; Flores, S.G. Físicoquímica Argentina 1996.</p>	<p>Mostram primeiros estudos sobre a R.P. em alunos de nível secundário, com baixos rendimentos, a partir de uma integração de dois significados da concepção construtivista: a) a construção do significado e o papel do conteúdo; b) a integração do individual e do social.</p>	<p>Novak (1977), Ausubel et al., (1.976), Gowin (1981), Moreira (1992 ;1993) teoria do aprendizado significativo e integração do social com o individual (Vygotsky, 1978; Wertsch, 1985; Newman et al., 1991; Erickson, 1982; Contreras, 1992).</p>	<p>Duas turmas de 3º ano do ciclo básico (14 – 16 anos).</p>	<p>Foram registrados dados de notas de observação de aula, inclusive R.P. e laboratório, de entrevistas formais e informais com os participantes e de documentos (mapas conceituais dos estudantes). A análise foi qualitativa.</p>	<p>Para estudantes com menor rendimento, R.P. era fazer uma “conta”, ao contrário do que manifestaram outros, com melhor rendimento, para os quais a resolução requer “uma fórmula”. Os alunos seguem uma norma: na R.P., incluem um conjunto de ações, ou seja, a conta, proporções e jogos entre dados, equações e incógnitas que desempenham um papel culturalmente disseminado. Cabe aos professores / investigadores prosseguir na ação de comprometer-se com a formação científica dos estudantes.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
31. Lin, H. - S.; Hung, J.-Y.; Hung, S.- C. Física / Química Taiwan 2002.	Investigar o caráter efetivo de integrar história ao ensino de Ciências e focalizar a compreensão qualitativa dos estudantes e a aplicação de conceitos físicos.	Cita trabalhos de vários autores sobre estes temas.	Dois grupos de alunos de 8º ano (N = 74), um experimental e outro de controle, foram investigados sob as temáticas “pressão atmosférica” e “propriedades dos gases”, durante um ano.	Grupo experimental foi exposto a materiais suplementares de história da Ciência, elaborados pelos autores, incentivando atividades experimentais iguais às dos experimentos dos cientistas; o grupo de controle teve o acesso tradicional, via livro de texto. Ambos os grupos foram submetidos a três testes de R.P. conceituais (sem cálculos), sobre temas diferentes dos tratados ao longo do curso. Uma análise estatística foi utilizada para comparar as diferenças e para testar o tratamento (ANCOVA).	As diferenças nos testes não foram estatisticamente significativas; o tratamento só mostrou-se significativo no último teste, ainda que os dois grupos tenham apresentado um rendimento, relativamente, baixo — segundo os autores, os alunos não estão acostumados a testes conceituais. O estudo revela que a história da ciência é capaz de promover a habilidade em R.P.

32. Niaz, M. Química Venezuela 1995b.	Investigar: a) em que grau os estudantes entendem equilíbrio químico, baseados em problemas que requerem conhecimento conceitual; b) a comparação entre o desempenho em problemas, requerendo compreensão conceitual, e problemas computacionais, de estratégias de solução algorítmicas; c) a interpretação dos resultados em um contexto epistemológico para entender a relação entre a construção do conhecimento, desenvolvida por um indivíduo, e o desenvolvimento de teorias, atribuídos aos cientistas.	Baseado em estudos de vários autores, inclusive os seus próprios sobre a “demanda M”. Do ponto de vista epistemológico, refere-se à Hanson (1958).	Estudantes recém ingressantes na universidade (N = 78).	Foram propostos 11 problemas baseados em diferentes aspectos de equilíbrio químico, todos com justificativas. Para comparar as diferenças no desempenho de questões conceituais e computacionais foi utilizado um teste estatístico.	Contra a idéia que prevalece na literatura, a habilidade em resolver problemas (numéricos) computacionais conduz à compreensão conceitual; na aprendizagem, a compreensão quantitativa precede a qualitativa. Do ponto de vista epistemológico (Hanson), antes de explicar os dados, cientistas observam fenômenos e manipulam os dados, o que justificaria a dificuldade dos estudantes em vários aspectos.
--	--	--	---	--	--

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>33. Niaz, M. Química Venezuela 1995a.</p>	<p>Construir modelos, baseados nas estratégias que os estudantes usam para resolver problemas de química, e mostrar que estes modelos formam seqüências de transição progressiva, similares ao que Lakatos (1970), na história da ciência, chama de problemas concorrentes progressivos (“problemshift progressive”), os quais aumentam o poder explicativo / heurístico dos modelos; mostrar que, nessa seqüência, os alunos manifestam transições progressivas, que variam na medida em que manifestam compreensão conceitual ou algorítmica.</p>	<p>Programas de Pesquisa Progressivos de Lakatos (1970). Cita vários trabalhos de autores, envolvendo variáveis cognitivas em R.P. e conteúdos de Química.</p>	<p>Oitenta e três estudantes universitários da Venezuela (idade média 18,4 anos).</p>	<p>Sob a tutela do autor, os alunos receberam uma instrução participativa, na qual eles eram encorajados a questionar e, freqüentemente, dirigiam-se ao quadro-negro para resolver problemas. Os problemas que fizeram parte da análise estavam incluídos nos três exames mensais e referiam-se a experimentos dos conteúdos desenvolvidos; no 1º exame, participaram 83 alunos; no 2º, 60 alunos e no 3º, 44. A análise foi qualitativa.</p>	<p>Resultados apontam diferenças consideráveis no desempenho dos alunos em problemas que requerem compreensão algorítmica e conceitual. A habilidade, de resolver problemas algorítmicos não parece ajudar na resolução de problemas conceituais, apesar do inverso ser verdadeiro. Como maior contribuição educacional, o estudo infere que a relação entre problema conceitual e algorítmico não é dicotômica, como comprovam os modelos manifestados pelos alunos.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>34. Gómez, M.-A.; Pozo, J.-I.; Sanz, A. Química Espanha 1995.</p>	<p>Comparar as representações de conservação da matéria, de diferentes sujeitos e com diferentes anos de instrução em Química; analisar como o contexto em que a tarefa é proposta afeta a ativação de concepções; comparar as diferenças de concepções diante de mudanças físicas e mudanças químicas; mostrar a importância relativa de cada concepção alternativa identificada por Andersson (1986) para cada grupo de conteúdo e tarefa; analisar a consistência de concepções alternativas dentro de conteúdos de acordo com seu nível de instrução e a tarefa proposta.</p>	<p>Cita trabalhos da literatura sobre as variáveis que afetam a representação de “conservação”.</p>	<p>Estudantes (N = 120), divididos em seis grupos de 20 sujeitos, diferindo em idade e instrução em Química: quatro grupos de adolescentes, de 7º, 9º e 11º graus (de ciência e não-ciência), entre 12 e 16 anos, e 2 grupos de universitários, em final de curso de Química e Psicologia.</p>	<p>Foram elaborados dois testes sobre conservação da matéria, um propondo questões de Química, do tipo acadêmicas e outro, do dia-a-dia. Cada teste era composto de 11 itens e cada item oferecia 5 opções de resposta, relacionadas com a categorização das concepções alternativas descritas por Andersson (1986; 1990) e adaptadas neste trabalho. Os dois testes de papel e lápis foram apresentados em sessões diferentes. Para analisar os resultados, foi utilizada uma abordagem estatística (ANOVA).</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) As variáveis idade e instrução tiveram um efeito importante no desempenho dos alunos: a compreensão da conservação da matéria aumenta tanto com a idade — quando grupos de diferentes idades são comparados — e também com a instrução — comparando sujeitos de mesma idade e diferentes instruções em Química; mas as diferenças causadas pela instrução foram menores do que os estudos em novatos e especialistas poderiam prever. 2) Em termos gerais, os problemas apresentados em situações do dia a dia mostraram-se mais fáceis do que os de contexto acadêmico; em Química isso não é sempre a regra. 3) Conceitos físicos mostram-se mais facilmente entendidos do que os químicos. 4) Quanto às concepções alternativas, as categorias mais utilizadas foram <i>interação</i> e <i>modificação com identidade</i> (mudança física: substância modifica sua aparência, mas permanece a mesma; mudança química: substâncias interagem para formar uma nova). Por outro lado, a categoria interação mostrou-se quase desconhecida para os mais jovens e superutilizada, muitas vezes indevidamente, pelos mais velhos. 5) A geração de modelos mentais mais consistentes está relacionada com a instrução, o que implica em mais ferramentas para analisar problemas científicos.

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
35. Seroussi, D.-E. Química EUA 1995.	<p>Analisar as dificuldades dos estudantes em seu primeiro contato com hipóteses heurísticas; mostrar que as dificuldades em aprender a resolver problemas, com hipóteses heurísticas, pode ser devido a um conflito conceitual, na mente dos estudantes, entre as características do procedimento por hipótese e a idéia de um raciocínio científico “correto”.</p>	<p>Cita autores cujos trabalhos tratam de estudos sobre R.P.</p>	<p>Não especifica.</p>	<p>Descreve, por meio de um exemplo de problema em Química, os processos de resolução fechada e com hipóteses. Exemplifica o processo de hipóteses heurísticas através da aproximação numérica e suposições sistemáticas, apontando dificuldades técnicas e conceituais associadas ao processo.</p>	<p>A relutância em utilizar procedimentos por hipóteses é atribuída à menor precisão de resultados, comparada ao procedimento fechado, além do fato de os resultados provirem de hipóteses que podem não privilegiar as condições iniciais. A dificuldade em aprender procedimentos por hipóteses exemplifica a possibilidade de obstáculos conceituais na aquisição de habilidades em R.P. de aprendizes que já têm uma representação mental do raciocínio científico.</p>
36. Schmidt, H.-J. Química Alemanha 1995.	<p>Investigar uma conexão lógica entre a informação disponível e o desenvolvimento das concepções alternativas (“misconceptions”). Esta relação foi denominada “um padrão”.</p>	<p>Cita trabalhos de vários autores sobre concepções alternativas e métodos para identificá-las.</p>	<p>Estudantes dos níveis 12 e 13 de várias partes da Alemanha.</p>	<p>Testes escritos e discussões de grupo foram utilizados; os alunos tinham suas respostas analisadas por seus pares.</p>	<p>Resultados atestam que há uma conexão lógica entre a informação que os alunos têm disponível e suas concepções alternativas. Parece que algumas definições, como alguns rótulos (“labels”) de conceitos químicos não estão sendo cuidadosamente escolhidos pelos cientistas, resultando em escolhas de caminhos equivocados em R.P.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>37.</p> <p>Staver, L.R. ; Lumpe, A. T.</p> <p>Química EUA 1995.</p>	<p>Investigar:</p> <p>1) como estudantes universitários definem “mol”;</p> <p>2) como eles explicam a identidade numérica entre a massa atômica ou molecular e sua massa molar;</p> <p>3) se há uma ligação entre as definições dos dois conceitos, referidos em 1) e 2);</p> <p>4) se esta ligação se aplica para a resolução de problemas.</p>	<p>Modelo de resolução de problemas, sugerido por Perkins e Salomon (1989), no qual o conhecimento geral e o específico atuam juntos.</p>	<p>Estudo 1: estudantes universitários (N = 48), do 1º ano de Química, para cientistas e engenheiros, com bom desempenho em álgebra e conhecimentos em química.</p> <p>Estudo 2: calouros (N = 12), de um curso introdutório de Química, para cientistas e engenheiros, com fraco desempenho em álgebra e pouco ou nenhum conhecimento em química.</p>	<p>Estudo 1: foram investigadas as três primeiras questões dos objetivos, por meio de uma questão no exame.</p> <p>Estudo 2: foi investigada a questão 4) dos objetivos por meio de protocolos verbais, com duração de 30 a 55 minutos, nos quais o aluno escrevia a resposta para 4 itens, 2 de definições e 2 de aplicações. No Estudo 1 a análise foi quantitativa; no 2, qualitativa.</p>	<p>Resultados apontam concepções equivocadas quanto aos conceitos químicos que estavam sendo investigados: mol, massa atômica / molecular e massa molar, e isso se reflete no desempenho em R.P.</p> <p>Autores sugerem que o professor atente para desenvolver habilidades gerais e de domínio específico, pois os estudantes usam o conhecimento de domínio-específico em formas funcionais para resolver problemas.</p>
<p>38.</p> <p>Solaz, J.J.; Sanjose, V.; Vidal-Abarca, E.</p> <p>Química Espanha 1995.</p>	<p>Analisar a influência que o conhecimento prévio e o conhecimento conceitual, adquirido pela instrução, tem em R.P.</p>	<p>Citam vários autores, cujos trabalhos versam sobre o conhecimento dos sujeitos, acesso à estrutura cognitiva, aprendizagem da linguagem e dificuldades para resolver problemas, além de sua relação com a estrutura cognitiva (Kempa, 1991).</p>	<p>Estudantes de 2º BUP (15,3 anos, em média), um grupo (N = 69), com alto conhecimento prévio e, outro (N = 67), de baixo conhecimento prévio.</p>	<p>Sob o tema <i>Modelos Atômicos</i>, os dois grupos seguiram o mesmo livro de texto e fizeram os mesmos exercícios. O primeiro grupo já havia estudado o tema; o segundo, não. Foi-lhes proposto um teste de avaliação de conceitos e outro de problemas abertos. A análise foi quantitativa (estatística).</p>	<p>A adequada R.P. depende, entre outras coisas, da existência de um conhecimento conceitual apropriado; o conhecimento prévio não intervém nesta relação de dependência. O conhecimento procedimental do algoritmo é condição necessária mas não suficiente para a compreensão apropriada e aplicação dos conceitos.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
39. Niaz, M. Química Venezuela 1996.	Investigar as estratégias de raciocínio de estudantes em problemas de Química como função da “capacidade funcional M” e da habilidade de reestruturar-se cognitivamente (“disembedding ability”).	Processamento da informação e teorias neo-piagetianas (Pascual-Leone), além da teoria de estilo cognitivo de Witkin.	Alunos universitários (N = 109), matriculados em Química I, com idade média 18,2 anos.	Estudantes foram submetidos a um pré-teste no início do semestre para determinar o nível de desenvolvimento, capacidade funcional M e habilidade cognitiva, todos com testes específicos, com níveis de confiabilidade conhecidos. Três sessões foram ministradas por professores diferentes, sob método tradicional expositivo, com a mesma complexidade cognitiva; estudantes foram testados por meio de um mesmo exame, cujas quatro situações problemáticas serviram de base para a análise dos resultados.	Correlações entre o desempenho no exame e as variáveis estudadas revelaram que estudantes com maior escore em variáveis preditivas cognitivas (nível de desenvolvimento, capacidade funcional M e habilidade cognitiva) não apenas têm uma chance maior de resolver problemas em Química, como manifestam procedimentos baseados em método hipotético-dedutivo e manipulação de informação essencial.
40. Huddle, P. A; Pillay, A.E. Química África do Sul 1996.	Investigação da habilidade de estudantes em “Química I” resolverem problemas envolvendo conceitos de estequiometria.	Revisão da literatura, enfatizando teoria de Piaget e pós-piagetianas.	Estudantes universitários (N = 535) cursando Química I.	Análise quantitativa (percentual) e qualitativa dos resultados.	Resultados sugerem que apesar de terem desempenhos passíveis de aprovação, os estudantes demonstram uma incompreensão inadequada dos conceitos fundamentais e um repertório pouco desenvolvido. Sugestão: otimização do conteúdo, com redução, em todos os níveis; trabalho com pequenos grupos de alunos.

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>41. Noh, T.; Scharmann, L.C. Química, Coréia e EUA 1997.</p>	<p>a) Determinar a influência de enfatizar-se, no estudo da matéria em nível molecular, a representação pictórica sobre, tanto as concepções sobre a matéria e mudanças físicas quanto as suas habilidades para resolver problemas algorítmicos e pictóricos.</p> <p>b) Reproduzir estudos sobre habilidades de estudantes do nível 11 — nível médio — em resolver problemas de química, tanto algorítmicos quanto pictóricos.</p> <p>c) Estudar relações entre habilidades de raciocínio lógico, concepções habilidades em R.P. pictóricos e habilidades em R.P. algorítmicos.</p>	<p>Revisão da literatura sobre R.P. e o tema específico sobre o nível molecular da matéria. Uso do GALT (“Group Assessment of Logical Thinking”), que sugere o modelo piagetiano de estágios de raciocínio.</p>	<p>Amostra de 2 grupos (experimental e de controle), com 49 estudantes cada, de uma escola de nível médio (nível 11) com preferência para cursos científicos.</p>	<p>Administração do teste GALT antes da instrução. Uso de materiais visuais na introdução de novos conceitos somente para o grupo experimental contra a instrução tradicional para o de controle. Análise quantitativa dos textos (ANCOVA).</p>	<p>Sucesso limitado com a apresentação pictórica para as concepções sobre a matéria e mudanças físicas; o tratamento demonstrou êxito para aprender um novo conceito ou um conceito difícil, comparado com a instrução tradicional. A apresentação pictórica não favoreceu a habilidade em R.P.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>42. Tsaparlis, G.; Kousathana, M.; Niaz, M. Química Grécia e Venezuela 1998.</p>	<p>a) Manipular sistematicamente a estrutura lógica e a demanda-M de problemas de equilíbrio molecular;</p> <p>b) Estudar, em que medida, o nível de desenvolvimento, a capacidade da memória de trabalho e a habilidade de desembaraço (“disembedding ability”), ou seja, o grau de dependência ou independência de campo) podem explicar mudanças no desempenho dos estudantes;</p> <p>c) Verificar a validade do modelo de Johnstone – El-Banna (1984) para a amostra.</p>	<p>Cita trabalhos diferenciando o sujeito epistêmico de Piaget e os sujeitos psicológicos tutelados pela teoria do processamento da informação (Pascual-Leone, 1974) e o modelo de Johnstone- El Banna (1984).</p>	<p>Estudantes sêniores da escola secundária (N = 154), de Atenas, Grécia.</p>	<p>Nove problemas, sobre equilíbrio molecular, com número variado de esquemas operativos e de demanda M, foram administrados para todos os participantes, um problema por semana. Antes, haviam se submetido a um teste onde esquemas e passos de resolução foram classificados. O número de esquemas (p.ex., equação de gases, Lei de Dalton para pressões parciais) variou de 2 a 4, enquanto, para cada esquema lógico, havia uma demanda-M variando de 4 a 6 — neste trabalho, a demanda-M é o número de passos no esquema, relativo ao máximo número de passos.</p> <p>Os alunos foram testados em: i) esquemas e passos (com direito a “feedback”, como treino); ii) nível de desenvolvimento (Lawson, 1978); iii) capacidade da memória de trabalho (Wechsler, 1955); iv) capacidade funcional M (Niaz, 1988b; Pascual-Leone e Burtis, 1974); v) grau de dependência/independência de campo, “disembedding ability”, (El-Banna, 1978). A avaliação foi feita quantitativamente</p>	<p>1) Estudantes no estágio operacional formal de desenvolvimento, que têm memória de trabalho 6, capacidade funcional M de 6 e estilo cognitivo independente de campo, desempenham melhor do que os outros em R.P.</p> <p>2) Diferente de outros estudos, em que o nível de desenvolvimento era a única variável cognitiva para o desempenho, neste estudo, o desempenho foi avaliado tanto em termos da estrutura lógica (esquemas), quanto da demanda-M (passos).</p> <p>3) As quatro variáveis cognitivas, estudadas, correlacionam-se com o desempenho em R.P., quando a estrutura lógica é razoavelmente complexa, mesmo quando a demanda-M é relativamente baixa.</p> <p>4) O modelo preditivo de R.P. de Johnstone-El-Banna não foi estritamente confirmado, provavelmente porque as condições requeridas pelo mesmo não foram satisfeitas (problema ser novo para os alunos, por exemplo).</p> <p>Uma implicação educacional importante: mesmo problemas, com baixa demanda-M (processamento de informação requerido), podem ser difíceis para alguns estudantes, e, combinados com crescente complexidade lógica, podem tornar-se impraticáveis.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>43. Tsapalis, G.; Angelopoulos, V.</p> <p>Química Grécia 2000.</p>	<p>Reportar pesquisa para demonstrar a validade do modelo de Johnstone e El-Banna (1989) e mostrar o efeito de não serem observadas as condições requeridas para sua validade, i.e., estrutura lógica simples, disponibilidade e acessibilidade dos passos parciais; ausência de “ruidos” e falta de familiaridade com o tipo de problema.</p>	<p>. Processamento da informação, especificamente o Modelo de Johnstone e El-Banna (1986) para a memória de trabalho e o de Pascual-Leone para a capacidade M.</p>	<p>Alunos sêniores de escola de ensino médio, pública (N = 191), e de duas escolas privadas (N = 128), com idades entre 17 e 18 anos.</p>	<p>Foram usados problemas sobre síntese orgânica, com número variado de passos e, conseqüentemente, variável demanda Z — número máximo de passos de pensamento e processos que devem ser ativados para ter sucesso na tarefa. Uma análise final confirmou a responsabilidade da demanda Z de cada problema. O estudo aconteceu em 1991-1992 e 1992-1993.</p>	<p>Os resultados demonstraram a eficácia do modelo de R.P., sob as condições referidas anteriormente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • há uma significativa queda de desempenho quando a demanda Z do problema excede a capacidade de memória de trabalho do sujeito — sem esquecer a condição de que o problema seja novo. • o fator conteúdo “field” assume importância principalmente no caso de problemas novos: sujeitos não dependentes de conteúdo usam mais a memória de trabalho do que os dependentes do conteúdo (“field”). <p>Resolver problemas é um processo complicado, envolvendo mais do que uma variável cognitiva, além das afetivas. O controle da demanda Z dos problemas pode facilitar o trabalho dos professores na instrução de R.P.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>44. Voska, K.W. e Heikkinen, H Química EUA 2000.</p>	<p>Investigar:</p> <p>a) em que medida um teste de papel e lápis pode ser confiável a ponto de identificar concepções dos estudantes acerca do princípio de Le Chatelier;</p> <p>b) que concepções particulares possuem os alunos sobre a aplicação do princípio de Le Chatelier em situações de R.P;</p> <p>c) que proporção de estudantes, cursando Química Geral, possuem estas concepções?</p>	<p>Revisão da Literatura.</p>	<p>102 Estudantes (N = 102), entre 18 e 20 anos, predominantemente do 1º e 2º anos de Química.</p>	<p>O curso foi conduzido em 6 semanas em laboratório de experimentos; sessões, utilizando ferramenta computacional, incluíram conteúdos de equilíbrio em sistemas gasosos homogêneos, aquosos homogêneos e aquosos heterogêneos e o princípio de Le Chatelier.</p> <p>Um teste de identificação de conceitos (TISC ou “Test to Identify Students’ Conceptions”), segundo metodologia prescrita por Treagust (1988), foi administrado após instrução nos três primeiros temas anteriores; nove alunos foram selecionados para entrevistas envolvendo R.P. Os resultados tiveram análise quantitativa e qualitativa (Análise de Variância Multivariada).</p>	<p>Os resultados deste estudo sugerem que um formato de problema aberto seria mais útil e acurado para avaliar o raciocínio dos estudantes do que o formato de escolha múltipla. Se, por um lado os testes de escolha múltipla permitem que o professor identifique a amplitude de concepções equivocadas (“misconceptions”) necessitando reciclagem, por outro lado eles falham por detectar menos concepções do que os estudantes realmente possuem.</p> <p>Em contraste, um teste combinando <i>resposta de múltipla escolha e razão da resposta (livre)</i> permite aos professores explorar cada padrão de raciocínio dos estudantes e concepções subjacentes, ainda que também ocorram desvantagens — o professor, muitas vezes teria que interpretar a razão dos estudantes que não expressam claramente o seu raciocínio.</p> <p>Implicações: os resultados corroboram outros estudos, nos quais estudantes fornecem respostas corretas, usando raciocínio errado; que testes de escolha múltipla não são adequados para investigar a compreensão dos estudantes.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ Países/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>45. Reid, N.; Yan, M.- J. Química, Reino Unido e Taiwan 2002</p>	<p>Obter “insights” iniciais da forma como alunos resolvem problemas abertos (“open-ended problems”), com ênfase em como os conceitos e as ligações entre eles influenciam sucesso em R.P. abertos.</p>	<p>Cita vários trabalhos envolvendo pesquisa em R.P., incluindo referências como Piaget, Ausubel e o processamento da informação.</p>	<p>Estudantes de Química, da escola secundária, com idades entre 14 e 17 anos.</p>	<p>Um conjunto de 18 problemas abertos (um para cada unidade) de Química foram propostos a alunos de oito escolas, reunidos em grupos de três componentes, durante 12 meses. Estes problemas não estavam incluídos na avaliação oficial do curso.</p>	<p>O conhecimento apropriado é essencial para ser relacionado com a memória de longo prazo; o mesmo vale para a disponibilidade de seu acesso; o conhecimento pode ser comparado a <i>ilhas</i>, o que faz os estudantes desta faixa etária terem dificuldades para integrá-los; relações (“links”), na memória de longo prazo, devem ser feitas nos dois sentidos, para serem efetivas; confrontados com problemas abertos, os alunos têm dificuldade de elaborar um plano — o que pode ter como causa a falta de relações efetivas entre as <i>ilhas</i> de conhecimento.</p>
<p>46. Reid, N.; Yang, M.-J. Química, Reino Unido e Taiwan 2002.</p>	<p>Apresenta uma classificação de problemas e explora vários fatores que podem ser importantes no sucesso em R.P.</p>	<p>Cita uma lista extensa de trabalhos em R.P., abordando fatores que influenciam nesta tarefa.</p>	<p>Não há.</p>	<p>Revisão da literatura.</p>	<p>R.P. não é uma atividade monolítica, ainda que seja considerada apenas uma área de conhecimento, como a Química. Resolver problemas abertos é extremamente importante em educação, sem falar na oportunidade de oferecer aos aprendizes a experiência de um trabalho em equipe.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>47. Dori, Y.J., Hameiri, M. Química, EUA e Israel 2003.</p>	<p>Descrição do “Sistema de Análise Multidimensional”, MAS, para construir, classificar e analisar problemas quantitativos de química; investigação da relação entre MAS e o rendimento dos alunos em resolver estes problemas; investigar se o argumento de Jenkins (1997), segundo o qual ciência e tecnologia são essencialmente masculinas, encontra suporte nos resultados de aprendizagem do conceito de mol.</p>	<p>Revisão da Literatura.</p>	<p>Estudantes (N = 241), de 10 classes de 6 escolas de ensino médio – grupos de controle e experimental.</p>	<p>O grupo experimental foi contemplado com um método de ensino diferenciado, (apesar de a diferença entre as metodologias não ser o objeto deste trabalho) por meio de um ambiente computacional, o “Mole Environmente Studyware”, após receberem instrução sobre o tema. Os problemas foram sendo apresentados, gradualmente, baseados em estudos de caso do meio e da indústria e estruturados de acordo com o MAS. O grupo de controle estudou no método tradicional, sem qualquer intervenção, a não ser a mesma bateria de testes, com problemas similares, mas apresentados em uma ordem arbitrária.</p> <p>Os instrumentos de pesquisa incluíram um pré-teste e um pós-teste intermediário, que originaram a análise quantitativa. Observações de aula, entrevista com um professor do grupo experimental e as respostas escritas (abertas) dos estudantes, completaram a descrição do que aconteceu em aula, em termos dos dados qualitativos.</p>	<p>Usando o MAS, foi encontrada uma relação monotônica negativa entre o nível de transformação de problemas químicos quantitativos e a taxa de sucesso em resolver tais problemas.</p> <p>O MAS também serve aos pesquisadores como uma ferramenta para conciliar problemas sobre mol e dificuldades dos estudantes.</p> <p>O grupo experimental apresentou uma vantagem significativa em lidar com os problemas, especialmente os de maior complexidade</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>48. Boujaoude, S. Salloum, S. Adb-El-Khalick, F. Química Líbano e EUA 2004.</p>	<p>Comparar o desempenho de estudantes libaneses em problemas, conceituais e algorítmicos de Química; investigar as relações entre orientação de aprendizagem, raciocínio operacional formal e capacidade mental com o desempenho em problemas conceituais e algorítmicos.</p>	<p>Citam trabalhos envolvendo variáveis que intervêm em problemas algorítmicos e conceituais e a capacidade mental (“M-capacity”) do modelo neo-piagetiano.</p>	<p>Professores de Química (N = 4) com mais de cinco anos de experiência didática e estudantes (N = 68) do 11º ano, de Beirute.</p>	<p>Os professores inicialmente foram entrevistados para que fosse conhecido o método com o qual usualmente trabalham — geralmente, demonstração de laboratório, explicação e discussão, exercícios e práticas em R.P. algorítmicos. Estudantes submeteram-se a uma bateria de testes durante duas semanas, em uma situação tipo-exame, com suas respostas posteriormente discutidas em aula. Foi empregada uma análise quantitativa (estatística).</p>	<p>Para baixa demanda M, não há diferença significativa entre as três variáveis no desempenho de problemas algorítmicos; para os problemas conceituais, há diferença significativa. Por isso, estudantes podem resolver problemas algorítmicos sem entender conceitos químico.</p>
<p>49. Postigo, Y. Pérez Echeverría, M. P.; Sanz, A. Química e Matemática Espanha 1999.</p>	<p>Analisar: a) as diferenças entre os dois gêneros humanos no rendimento de alguns problemas de Química e Matemática; b) como as características dos problemas influenciam estas possíveis diferenças; c) a relação entre estilo atributivo e cognitivo para explicar diferenças de rendimento, se for o caso.</p>	<p>Cita autores cujos trabalhos versam sobre diferenças de gênero em R.P.</p>	<p>Estudantes (N = 80), 4 grupos de 10 homens e 10 mulheres de 3 níveis: 7º de EGB (12 -13 anos), escola pública; 1º de BUP (14 -15 anos) e 3º de BUP (16 -17 anos).</p>	<p>Foram utilizadas nove tarefas grupais, das quais seis exigiam diversas tarefas de Matemática e Química; três avaliaram estilo atributivo e cognitivo e dependência/ independência de conteúdo. Na análise quantitativa, foi utilizada análise de variância.</p>	<p>Resultados corroboram outros trabalhos, segundo os quais o grau de diferença entre rendimento em Matemática e Ciências aumenta, a favor dos meninos, com a idade e a instrução (diferenças significativas foram registradas no grupo de 3º BUP). A natureza destas diferenças é muito complexa e é razoável pensar que intervêm fatores psicológicos, sociológicos, culturais, da tarefa (conteúdo), idade, nível e tipo de instrução, interesse pela tarefa, etc., todas distintas da variável gênero.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>50. Izsák, A. Física e Matemática, EUA 2004.</p>	<p>Investigar como podem os estudantes gerar modelos algébricos, sem instrução específica de outros mais experientes.</p>	<p>Cita trabalhos sobre representações em R.P.</p>	<p>Estudantes de 8º grau (divididos em 12 duplas) de escola média.</p>	<p>Dados foram obtidos de entrevistas (uma por semana durante 4 ou 5 semanas) durante as quais as duplas de estudantes resolveram problemas com um objeto físico, sarilho, que exemplifica movimento que pode ser modelado por pares de funções lineares simultâneas (tópico central em cursos introdutórios de álgebra). Uma dupla foi escolhida para ter seu desempenho analisado. Foram usadas câmeras de vídeo e a análise foi qualitativa.</p>	<p>i) Os estudantes têm e podem usar critérios para regular suas atividades de R.P. ii) Construir conhecimento para modelar com álgebra pode requerer dos estudantes a coordenação de vários critérios para representações algébricas com outros tipos de conhecimento, como, no caso, padrões físicos e relações causais: circunferências das bobinas, taxas de mudanças das alturas e distâncias, ou seja, seus esquemas conceituais sobre a atividade.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>51. Rabinowitz, M.; Wooley, K.E. Matemática EUA 1995.</p>	<p>a) Examinar o desempenho de adultos e crianças em problemas aritméticos de palavras (“arithmetic word problems”), variando exigências computacionais e grau relativo de dificuldade. b) Usar os resultados para gerar conclusões gerais sobre os processos cognitivos, envolvidos na resolução destes problemas.</p>	<p>Citam resultados variados de pesquisa, baseados na teoria de processamento da informação.</p>	<p>Estudantes (N = 77) da universidade de Illinois, Chicago — Experimento 1. Estudantes (N = 59) do 6º nível de escola pública de Connecticut, com idades entre 11 e 13 — Experimento 2.</p>	<p>Exp. 1: os estudantes foram testados individualmente por meio de uma série de 55 problemas aritméticos simples de palavras apresentados em um microcomputador; a tarefa era lê-los, descobrir a resposta, assinalá-la, usando o código. Foi usada a estrutura de Carpenter e Moser (1983) para a classificação de problemas de palavras e o cálculo de variância (ANOVA) análise quantitativa. Exp. 2: mesmo procedimento, apenas com 42 problemas propostos.</p>	<p>a) Resultados não apenas demonstram o efeito do tamanho do problema no contexto de problemas aritméticos de palavras, mas avaliam como diferenças em tamanho do problema podem influenciar o processamento cognitivo e a maneira pela qual problemas de palavras são compreendidos. b) Os dados dos tempos de reação (RT), ou seja, tempo requerido para compreender um problema do tipo semântico e realizar a computação, e os padrões de erros mostram o efeito do tamanho do problema: independente da estrutura semântica, problemas envolvendo números grandes requerem mais tempo e aumentam a ocorrência de erros computacionais. c) Os processos envolvidos na compreensão dos problemas aritméticos e os processos de computação são independentes e constituem-se em componentes separados da tarefa de R.P.— modelo serial, onde o texto é primeiramente compreendido e só então a computação é requerida. d) Os tipos de problemas apresentam diferenças entre si quanto ao desempenho dos alunos: problemas de adição envolvendo decréscimo em quantidade apresentam-se mais difíceis do que os similares, que aumentam a quantidade, e isso acontece independente do tipo semântico.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>52. Meira, L. Matemática Brasil 1995.</p>	<p>Apresentação da análise detalhada de um projeto, dirigido a crianças, de exibição (“display”) de materiais no domínio das funções lineares, focalizando a microgêneses de nichos representacionais e a ação recíproca entre a atividade e a estruturação material e social do cenário (“setting”).</p>	<p>Cita diversos trabalhos abrangendo representações de crianças em Matemática e Ciências.</p>	<p>Estudantes (N= 18) de 8º ano (nove pares).</p>	<p>Os estudantes trabalharam em problemas sobre função linear, exemplificados em três objetos físicos: o sarilho, a mola e a máquina de números. Todos os grupos receberam problemas equivalentes, mas cada 3 grupos tinha apenas um objeto para manipular. As sessões de R.P. criaram oportunidades para atividades matemáticas, que foram videogravadas. Os pré e pós-testes avaliaram aspectos particulares do conhecimento em tabelas, gráficos e representações algébricas de funções.</p>	<p>Na análise das representações dos alunos, registradas no papel, concluiu-se:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) o conhecimento das representações matemáticas não é simplesmente buscar e aplicar onde o seu uso parece relevante; ao invés disso, a competência da criança em projetar um “display” de um objeto vem da sua interação com as circunstâncias de um cenário social e com materiais específicos; b) durante o processo dialético de R.P., os aprendizes tiveram oportunidade de negociar e renegociar os significados das representações; c) tabelas de valores foram as ferramentas mais usadas para manipular dados; d) as representações escritas são consideradas, pelos alunos, como “sítios” da R.P.: elas exprimem a evolução e o poder de abstração e síntese. <p>Do ponto de vista instrucional, a representação construída pelos alunos vai além do domínio matemático, pois dá forma à atividade na qual eles estão engajados.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>53. Bem-Zeev, T. Matemática EUA 1995.</p>	<p>a) Expandir a formulação da hipótese de indução b) usar uma nova metodologia para testar esta hipótese.</p>	<p>Hipótese de indução para justificar os erros racionais (VanLehn, 1986).</p>	<p>Graduandos de Yale (N = 30).</p>	<p>Os alunos foram iniciados no uso do sistema NEW ABACUS, do qual foram propostos problemas de adição, alguns familiares e outros não. Os protocolos verbais das resoluções destes problemas foram gravados.</p>	<p>Confirmando a hipótese da indução no desempenho dos alunos, o estudo mostrou que os chamados “erros racionais” apresentados por eles não estão somente confinados aos exemplos resolvidos a que os alunos estão expostos (teoria da indução), mas também são construídos do conhecimento prévio de algoritmos; no caso particular da pesquisa, os “erros racionais” da subtração são também resultados de regras equivocadamente generalizadas do conhecimento algorítmico de outro domínio: a adição.</p> <p>Esta constatação sugere um “insight” da natureza do pensamento matemático e da aprendizagem em geral: 1) a indução é baseada mais em fatores sintáticos do que conceituais dos exemplos correntes, e no conhecimento algorítmico prévio; 2) se existe um consenso na literatura no qual a aprendizagem de exemplos é um mecanismo importante para incrementar habilidades matemáticas, não é de surpreender que o mesmo processo indutivo que facilita a aprendizagem correta, subjaza o desempenho incorreto — não é o processo indutivo o responsável, mas o conhecimento incompleto.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
54. Cobo Lozano, P. Matemática Espanha 1996.	Estudo de caso para comparar atuação de alunos, resolvendo problemas de Matemática (áreas de figuras geométricas).	Trabalhos de Schoenfeld (1985) e Callejo (1994).	Dois pares de alunos (BUP), um selecionado entre alunos com qualificação elevada nos temas envolvidos nos problemas e, outro, com qualificação baixa.	Foram propostos dois problemas envolvendo níveis de conhecimentos diferentes, com várias possibilidades de resolução e formas de apresentação diferentes (gráfica e verbal). A análise dos processos de resolução considerou alguns aspectos cognitivos, diferenciando conhecimento (conceitos e identificação de enfoques) de metaconhecimento (seleção de enfoques, planificação e decisão de implementá-los e verificação da resolução).	Sobre a base de conhecimentos: i) dificuldade de argumentar; ii) falta do conhecimento específico do conteúdo e iii) busca de aplicação de fórmulas. Sobre os metaconhecimentos, a falta de controle do processo de R.P. pode ser ilustrada por: i) ausência de reflexão sobre os enfoques identificados (com exceção do problema gráfico); ii) verificação final aleatória, dependendo de fatores intrínsecos ao processo desenvolvido na R.P. Implicações: a instrução de como resolver um problema deve privilegiar a aprendizagem da natureza dinâmica e cíclica da atividade de R.P. e sua relação com o processo ensino-aprendizagem.
55. Roth, W.- M. Matemática Canadá 1996.	Investigar o papel do contexto nas práticas matemáticas de estudantes, sem confundir cenário (“setting”) com situação; em outras palavras, o que é considerado contexto quando os estudantes resolvem (“do”) problemas contextuais de palavras?	Cita trabalhos sobre práticas discursivas e correspondência entre matemática e problemas tipo-história e significados de contexto.	Estudantes (N = 77) de 8º grau de uma escola privada no Canadá.	Estudo de caso de um conjunto de dados, incluindo: a) videogravações das aulas, b) todo o material desenvolvido e resultados de exames, c) entrevistas em que os estudantes manifestaram opinião sobre a tarefa, d) notas de campo de todos os encontros. O problema proposto tratou de uma problemática em ecologia.	O estudo mostrou que o trabalho de campo e os problemas de história dão margem a diferentes práticas matemáticas: gráficos, médias e mapas padrões; uma primeira situação serve de fonte para outras situações-problema de história, promovendo uma certa autonomia, que pôde ser verificada nas respostas que os alunos construíram, com base em seus poderes de retórica e não em termos de padrões externos.

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>56. Sebrechts, M.M.; Enright, M.; Bennett, R.E.; Martin, K. Matemática EUA 1996.</p>	<p>Soluções de problemas algébricos de palavras (“algebraic word problems”) são analisados de duas perspectivas: i) identificando que atributos do problema contribuem para as dificuldades; ii) descrevendo desempenho em termos das estratégias e erros dos estudantes.</p>	<p>Teoria do processamento da informação: são mencionados alguns trabalhos sob esta perspectiva.</p>	<p>Estudantes universitários (N = 51) da Universidade Católica da América.</p>	<p>Todos os problemas propostos foram apresentados no formato aberto (“open-ended”): inicialmente, 12 problemas de palavras, seguidos de 12 equações algébricas que requisitavam habilidades computacionais e simbólicas para resolver os problemas anteriores e, finalmente, 8 problemas de palavras. A sessão durou entre 1h e 2h.</p> <p>Os problemas foram todos caracterizados em termos de seus maiores atributos e soluções, descritos pelas estratégias e erros dos estudantes.</p>	<p>i) Análise de regressão indicou que modelos que incluem atributos, como a necessidade de aplicar conceitos algébricos, a complexidade do problema e seu conteúdo, dão conta de 37% a 62% da variância na dificuldade do problema;</p> <p>ii) Análise dos protocolos identificou quatro maiores estratégias de solução: formulação de equação, simulação, organização de razões e outras abordagens não-sistemáticas (i.e., uso de figuras ou descrição verbal).;</p> <p>iii) Estudantes de melhor desempenho usam mais estratégias de equações e menos abordagens não-sistemáticas;</p> <p>iii) Erros tendem a ser idiossincráticos; o que não exclui as seis categorias principais identificadas.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>57. Fuson, K.C.; Carroll, W.M. Matemática EUA 1996.</p>	<p>Apresentação de uma análise, de complexidades lingüísticas e conceituais, de situações relacionadas (“matching situations”) — a) comparar e igualar; b) adição e subtração; c) grande, pequeno e extra — expressas como problemas de palavras (“word problems”) e descrição de maneiras possíveis de conceituar e resolver tais problemas.</p>	<p>Cita trabalhos envolvendo dificuldades em situações de comparação, como os de Briars e Larkin (1984) e Riley et al. (1983).</p>	<p>Alunos de 1º nível (N = 102) e de 2º nível (N = 102), de duas escolas (6 turmas de uma e 5 turmas de outra).</p>	<p>Os problemas foram propostos na 2ª semana de aula, totalizando 24, seis em cada dia. Na metade do ano foram propostos mais 9 problemas em um dia: os problemas eram escritos, lidos em voz alta e as crianças podiam usar seus dedos, desenhar em seus cadernos ou somar e subtrair mentalmente.</p>	<p>i) na <i>conceitualização e resolução de situações comparativas</i>, observa-se uma progressão de níveis e uma variabilidade significativa (nas tarefas iniciais, especialmente) ao resolverem uma dada situação, quando a linguagem é mudada;</p> <p>ii) no nível <i>relacional</i>, as crianças conseguem responder “quem tem mais / menos”, mas não conseguem descobrir como o <i>mais ou menos</i> é representado;</p> <p>iii) no nível <i>sinais de linguagem</i> (“language cues”), as crianças mostram-se dependentes: resolvem problemas <i>consistentes</i>, com maior probabilidade, não tanto devido à compreensão, mas pelas palavras-chave contidas no enunciado.</p> <p>iii) no nível <i>compreensão de situações comparadas</i>, as crianças têm um bom desempenho em situações mais diretas, mas falham em problemas <i>inconsistentes</i> (4 cachorros + 3 gatos...);</p> <p>iv) no nível <i>resolução inconsistente</i>, as crianças mostram-se aptas, por dominarem conceitos de igualar.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>58. LeBlanc, M.D.; Weber-Russell, S. Matemática EUA 1996.</p>	<p>Apresenta uma simulação completa do processo de solução de crianças para todos os tipos de problemas de adição e subtração: troca, combina, compara e equaciona.</p>	<p>Teoria do processamento da informação, conjugando teorias sobre memória de trabalho e dificuldades com fatores lingüísticos.</p>	<p>Crianças da pré-escola, 1º, 2º e 3º anos.</p>	<p>Os dados deste estudo são derivados do trabalho de Riley e Greeno (1988), no qual crianças resolveram problemas que eram lidos para elas sem que tivessem disponível quaisquer materiais de manuseio. Foram usadas simulações do comportamento de crianças: EDUCE, adaptado de Schank e Riesbeck, 1981) e SELAH (LeBlanc, 1993b); o primeiro analisa cada sentença, palavra por palavra e o segundo é um componente de integração de texto.</p>	<p>Do ponto de vista da estrutura semântica, a simulação teve sucesso nos 18 problemas, com EDUCE e SELAH correspondendo bem às suas funções.</p> <p>Comparando com o desempenho das crianças, a simulação superestimou a dificuldade na categoria <i>combina</i> — havia uma ambigüidade no enunciado, só percebida pelas crianças de 2º e 3º anos, mas não pelas do jardim e 1º ano. As dificuldades das crianças, lidando com problemas aritméticos de palavras, podem ser devido à inabilidade de fazer inferências de integração do texto, especialmente com um número elevado de conceitos ocupando a memória.</p>
<p>59. Bruno, A.; Martinón, A. Matemática Espanha 1997.</p>	<p>Análise do comportamento e dificuldades apresentadas por alunos de 7º EGB quando resolvem problemas aditivos com números negativos.</p>	<p>Cita Vergnaud (1982).</p>	<p>Alunos (N = 11) de 7º EGB, com idades entre 12 a 13 anos.</p>	<p>Inicialmente foi feito um trabalho com 5 grupos de alunos do 7º EGB oriundos de 3 escolas, uma privada (G1, N = 23), duas públicas (G2, N = 23; G3, N = 24; G4, N = 33; G5, N = 33). Os grupos G1, G2 e G3 foram os experimentais; G4 e G5 foram os de controle. Destes grupos, 11 alunos foram selecionados e submetidos a entrevistas cujos resultados receberam uma classificação.</p>	<p>Problemas aditivos, com números negativos, apresentam dificuldades comparando-se com a adição de números positivos; alunos utilizam procedimentos variados; em certas circunstâncias mostram-se inadequados; a estrutura, a posição da incógnita e o contexto influenciam na dificuldade e na estratégia utilizada por eles;</p> <p>É necessário que os alunos tenham a oportunidade de familiarizar-se com situações e estruturas diferenciadas de problemas.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>60. Sweller, J.; Mwangi, W. Matemática Austrália 1998.</p>	<p>Investigação de fatores que influenciam a aprendizagem para resolver problemas pelo estudo de exemplos resolvidos: Experimento 1, compara exemplos resolvidos com R.P. convencional; Experimento 2 e Experimento 3, contrastam atenção dividida com exemplos resolvidos e investigam a influência de gerar auto-explicações.</p>	<p>Processamento da informação. Cita trabalhos sobre problemas aritméticos de palavras (“arithmetic word problems”), instruções baseadas em R.P. e exemplos resolvidos, efeito da atenção dividida <i>versus</i> integração de múltiplas fontes de informação e também o uso de auto-explicações.</p>	<p>Crianças de 3º ano de escola pública australiana: Experimento 1 (N = 18) e Experimento 2 (N = 27); crianças de 4º ano, Experimento 3, (N = 48).</p>	<p>Cada experimento dividiu as crianças em dois grupos: no Exp. 1, parte delas trabalhou com exemplos resolvidos, antes de lhes serem propostas tarefas, outra parte, não; no Exp. 2, parte trabalhou com problemas do tipo enunciado-integrado e outra parte com do tipo enunciados-divididos; no Exp. 3, metade trabalhou com auto-explicações e a outra metade sem auto-explicação.</p> <p>Os problemas posteriormente propostos tiveram registro de tempo e de erros cometidos. A análise estatística ANOVA foi utilizada.</p>	<p>Os resultados do Exp. 1 sugerem uma vantagem de estudarem exemplos resolvidos — supõem que eles diminuem a carga da memória de trabalho.</p> <p>Quanto ao Exp. 2, estudar problemas resolvidos de enunciado-integrado permite a otimização de processos inferenciais, novamente pela diminuição da carga da memória de trabalho.</p> <p>No Exp. 3, os resultados do Exp. 2 foram corroborados, mas não foi encontrado vantagem de usar-se a técnica de auto-explicação, talvez pela dificuldade que os alunos têm de manifestar-se verbalmente, o que aumentaria a carga na memória de trabalho.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>61. Cauzinille- Marmèche, E.; Julo, J. Matemática França 1998.</p>	<p>Na linha da pesquisa em raciocínio analógico, este estudo investiga se, e em que grau, a comparação de problemas isomórficos poderia enriquecer as representações e as estratégias de R.P. dos sujeitos.</p>	<p>Baseados em diversos trabalhos envolvendo R.P. e analogias, particularmente a microgênese de representações de Saada-Robert (1989; 1992).</p>	<p>Estudantes (N = 170) de 6º grau (11 e 12 anos), de 10 escolas francesas, divididos em três grupos, conforme seu desempenho em matemática.</p>	<p>O paradigma experimental escolhido difere radicalmente de outros estudos de transferência analógica em dois aspectos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) os sujeitos não têm um exemplo de referência; 2) o fenômeno de interesse diz respeito a processos de auto-aprendizagem, ocorrendo por meio de comparar e processar problemas isomórficos. <p>O papel da analogia foi estudado em dois níveis:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) impacto da apresentação simultânea de enunciados de problemas isomórficos; 2) o papel da resolução sucessiva de uma série de problemas isomórficos. <p>O tema foi álgebra, que não constava no currículo e cuja solução era desconhecida pelos alunos. Foram apresentados três problemas com mesma aparência: mesmos valores numéricos, mesma construção sintática, mas com conteúdos semânticos diferentes (a história) e tipos de entidades. A análise dos resultados foi quantitativa.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) Houve uma vantagem da apresentação simultânea, pelo menos para os médios e altos desempenhos. 2) A compreensão dos problemas foi favorecida enquanto os problemas eram processados. 3) Para os estudantes de baixo desempenho, os resultados anteriores foram invertidos; aparentemente, o fato de eles analisarem muitos problemas, com conteúdos semânticos diferentes,, provoca o rompimento dos processos cognitivos envolvidos.

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>62. Neuman, Y.; Schwarz, B. Matemática Israel 2000.</p>	<p>Investigar tipos de auto-explicações que justifiquem fracassos em problemas algébricos de palavras.</p>	<p>Processo dialético entre representações interna e externa de Vygotsky (1987) e Wertsch e Addison Stone (1985).</p>	<p>Nove estudantes, selecionados por seus professores de Matemática por suas habilidades em resolver problemas matemáticos.</p>	<p>Foram propostos três problemas: o primeiro tinha a finalidade de prepará-los, o segundo, era similar ao primeiro e o terceiro era considerado de “transferência”.</p> <p>O estudo de múltiplos casos abordou os desempenhos individuais dos estudantes, sendo os seus protocolos analisados conforme o guia de Chi (1997). Três aspectos foram investigados: o mapeamento (representação), a auto-explicação e as operações matemáticas.</p>	<p>A maior fonte de dificuldades acontece no estágio da representação do problema (tradução da formulação para uma tabela de representação). Foi identificado um tipo de auto-explicação mediando esta tradução. Os alunos mostraram que conheciam os procedimentos gerais para resolverem os problemas, mas a construção da tabela dependia da habilidade deles de aglutinar elementos numéricos do problema em novas categorias semânticas, que direcionassem os elementos da representação sentencial do enunciado para a tabela.</p> <p>Para os autores, a auto-explicação tem a função de mediar o uso dos objetos que o sujeito lida enquanto resolve o problema.</p>
<p>63. Guisasola, J.; Barragués, J.I. Matemática (Probabilidade e Estatística) Espanha 2002.</p>	<p>Identificar as explicações que os estudantes apresentam depois de participar de um curso sobre probabilidade elementar, em situações relacionadas com conceitos de: frequência relativa de um sucesso, probabilidade de um sucesso, relação entre ambos, equiprobabilidade, independência, etc.</p>	<p>Citam autores cujos trabalhos abordam a psicologia e a didática da probabilidade.</p>	<p>Estudantes (N = 110), distribuídos em três grupos, de 2º curso de Engenharia Técnica Industrial.</p>	<p>Metodologia qualitativa, sobre entrevistas estruturadas (N = 15) para contrastar os resultados quantitativos; metodologia quantitativa, baseada em questionário com 12 questões abertas, com ênfase em explicações. Os dois instrumentos foram utilizados depois do término do curso.</p>	<p>O resultado converge para outras investigações feitas com alunos de Ensino Médio: i) a maioria dos estudantes apresenta idéias alternativas às formais sobre os fenômenos aleatórios; ii) grande parte responde de maneira satisfatória a um procedimento memorístico, se a questão é similar à realizada em aula; iii) as questões de alta demanda cognitiva resultaram em fracasso; iv) os fenômenos aleatórios não apresentam explicações fáceis, assim, deve-se contar com mais tempo para trabalhar-se com os estudantes.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>64. Renninger, K. A.; Ewen, L.; Lasher, A.K. Matemática EUA 2002.</p>	<p>É analisado em que extensão os interesses individuais dos indivíduos podem ser atrelados e usados produtivamente como contexto para compreensão de textos e trabalhos com problemas matemáticos de palavras.</p>	<p>Cita trabalhos acerca do interesse individual no conteúdo e a aprendizagem.</p>	<p>Cinquenta estudantes participaram do estudo.</p>	<p>Todo o grupo respondeu um questionário sobre o conhecimento e o sentimento em relação a 40 atividades diferentes, previamente identificadas como de interesse da população de estudantes. Posteriormente realizaram tarefas, incluindo leituras e R.P., com dificuldades variadas.</p> <p>Para a análise dos resultados, foram escolhidos 3 estudantes com níveis de interesses individuais diferentes para o conteúdo (matemática)</p>	<p>A inserção de contextos de interesse dos alunos habilita-os para focar o significado da tarefa e as demandas da mesma; por outro lado, fica difícil reconhecer as reais dificuldades dos alunos na tarefa quando é diagnosticado a falta de interesse</p>
<p>65. Broers, N.J. Matemática (Estatística) Holanda 2002.</p>	<p>Investigar por que indivíduos que possuem conhecimento proposicional concreto necessário para resolver problemas particulares de estatística, frequentemente falham para encontrar as soluções dos problemas.</p>	<p>Baseia-se nos trabalhos de Chi e Bassok (1989) e Chi, Bassok, Lewis, Reinann e Glaser (1989)</p>	<p>Estudantes de graduação de psicologia (20 a 22 anos), todos com bom desempenho em exames de estatística e com treinamento básico em análise de regressão descritiva.</p>	<p>Cada estudante foi examinado na resolução de 5 questões de análise de regressão descritiva e 26 perguntas abertas. A investigação foi refeita duas semanas após a atividade. Os protocolos verbais foram gravados.</p>	<p>Neste estudo, que enfocou três operações importantes no processo de R.P. para derivar uma solução, ou sejam, a seleção das unidades de informação relevantes no texto do problema, a seleção de unidades concretas necessárias na memória e a combinação lógica das duas anteriores, inferiu-se que, falhar em selecionar e em raciocinar apropriadamente são fatores importantes para o fracasso em R.P.; os sujeitos demonstraram falta de um esquema de generalidade e abstração mais abrangente, falha no raciocínio lógico. Além disso, os resultados mostraram-se mais exitosos na avaliação próxima da aquisição da informação.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>66. Ayuso, E.; Banet, E.; Abellán, T. Biologia (genética) Espanha 1996.</p>	<p>Analisar o nível de conhecimento, raciocínio e estratégias de estudantes (15 a 18 anos) que resolvem problemas com êxito; comparar os resultados com estudantes universitários com experiência em cursos de genética.</p>	<p>Citam artigos de autores tratando de diferentes fatores que intervêm na R.P. em genética.</p>	<p>Estudantes (15-16 anos), do 4º ano do ESO (ensino médio), que recém finalizaram o curso de genética; do 1º curso de bacharelado (16-17 anos), que o fizeram há um ano, e, estudantes (17-18 anos), do COU de ciências, recém egressos do segundo curso em genética.</p>	<p>Proposta de três tarefas com características diferentes, realizadas na presença do professor-pesquisador. Entrevistas individuais abordaram: conhecimento sobre conceitos, estratégias utilizadas e raciocínios que justifiquem procedimentos adotados.</p>	<p>Domínio do uso de algoritmos aborta a pretensão de explorar conceitos e raciocínios nos problemas.</p> <p>Como propostas:</p> <ul style="list-style-type: none"> i) apresentar-lhes “verdadeiros problemas”, que evitem a manipulação imediata dos dados; ii) propor-lhes situações que tenham significado para os alunos; iii) gradativamente aumentar a complexidade das situações-problema; iv) propor tarefas que ensejem discussão entre pares; v) questionar critério que relaciona a solução exitosa do problema com a aprendizagem.
<p>67. Hurst, R.W.; Milkent, M.M. Biologia EUA 1996.</p>	<p>Identificar diferenças em estratégias cognitivas que distinguem estudantes bem sucedidos de mal sucedidos, quando resolvem problemas de predição em Biologia; também, determinar se a prática em um contexto apropriado favorece significativamente o seu sucesso; além disso, investigar possíveis correlações entre raciocínio dedutivo exitoso e nível operacional cognitivo dos sujeitos.</p>	<p>Revisão da literatura, explicitando a teoria de habilidade (“Skill theory”) de Fisher (1980) e modelo ACT de Anderson (1982).</p>	<p>Alunos de uma escola pública (N = 30), matriculados em um curso de Biologia de 10º ano.</p>	<p>Divididos em grupo experimental (N = 15) e de controle (N = 15), os alunos foram investigados durante 12 meses. Foram submetidos a um teste específico para avaliar o pensamento lógico (GALT), depois, a problemas de predição em Biologia (Ecologia e Genética), com explicações escritas acerca de seus procedimentos. A análise foi quantitativa (ANCOVA).</p>	<p>Predições com sucesso dependem de vários fatores: conhecimento declarativo e procedimental do sujeito, estágio de desenvolvimento cognitivo e experiência em aplicar raciocínio preditivo. Estes resultados são consistentes com tendências gerais para resolução de problemas em geral.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
68. Cavallo, A.M.L. Biologia (Genética), EUA 1996.	1) Explorar relações entre a orientação de aprendizagem significativa e a habilidade de raciocínio, com a aquisição de compreensão significativa de tópicos de Genética e a habilidade em resolver problemas de Genética. 2) Examinar modelos mentais sobre meiose.	Revisão da Literatura, com referência à aprendizagem significativa (Ausubel, 1963 e Novak, 1988) no contexto de procedimentos de ensino em ciclo de aprendizagem baseado em Piaget.	Estudantes (N = 189) do curso médio preparatório para Biologia.	Foram submetidos a seis testes com finalidades diversas (capacidade de aprender, raciocinar, conhecimento em Genética, significados em Genética, R.P. em Genética e modelos mentais) cujos resultados foram analisados quantitativamente em uma matriz de correlação. Dois professores constituíram uma variável de referência no procedimento estatístico. Não houve grupo de controle.	1) Estudantes cujas abordagens incluem conexões entre idéias e fatos, têm melhor compreensão de tópicos de meiose e da relação entre este tema e o diagrama Punnett, além de ter sucesso em resolver problemas sobre meiose. 2) Estudantes, com abordagem em aprendizagem significativa, não necessariamente entendem os diagramas de Punnett, como demonstraram os seus modelos mentais. 3) Habilidades de raciocínio não são necessárias para compreensão do diagrama de Punnett – ou modelos mentais. 4) Surpreendentemente não houve relação entre orientação de aprendizagem significativa e habilidade de raciocínio. 5) Estudantes que resolvem problemas de probabilidade também têm maior conhecimento de tópicos de genética (não necessariamente de relações, particularmente procedimental, entre estes tópicos).

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>69. Wynne, C.F.; Stewart, J.; Passmore, C. Biologia EUA 2001.</p>	<p>Investigar o papel do conhecimento em meiose, de estudantes, na solução de problemas de genética, especialmente seu uso em reconhecer dados anômalos, em gerar hipóteses e como parte da revisão de modelos sobre o tema.</p>	<p>Citam trabalhos que retratam R.P. em Genética.</p>	<p>Estudantes (N = 19), de escola secundária, matriculados em um curso eletivo de Genética.</p>	<p>Curso de nove semanas, cujas sete últimas produziram os dados de análise. Reunidos em “grupos de pesquisa”, os alunos resolveram quatro problemas gerados pelo “software” GCK (“Genetic Construction Kit”), requerendo que revisassem seus modelos de explicação (tanto genético quanto meiótico), gerando hipóteses e avaliando-as. Antes, durante o curso, foram discutidos os dois modelos. Os dados consistiram de gravações dos comportamentos dos estudantes em R.P., posteriormente classificados segundo os quatro aspectos referidos nos objetivos.</p>	<p>Apesar de ter sido parte da instrução, o modelo de meiose não é usado no processo ordinário de R.P.; entretanto, o conhecimento em meiose é evocado de forma sofisticada quando reconhecem dados anômalos, gerando hipóteses, o que os leva a revisar os seus modelos, levando em consideração o modelo de meiose. Este comportamento recomenda que os alunos sejam expostos a verdadeiros problemas, porque apresentam condições de resolução.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>70. Southerland, S. A.; Abrams, E.; Cummins, C.L.; Anzelmo, J. Biologia EUA 2001.</p>	<p>a) Quais são as várias categorias de raciocínio empregadas nas explicações de estudantes para fenômenos biológicos? Este raciocínio varia conforme o nível acadêmico dos estudantes?</p> <p>b) Além das categorias de raciocínio, que outros padrões podem caracterizar as explicações dos estudantes? Estes padrões variam conforme o nível acadêmico dos estudantes?</p> <p>c) Uma vez respondidas as questões anteriores, que fundamento teórico permite uma compreensão mais útil da base e produção dos estudantes nas explicações de biologia, a estrutura conceitual ou a perspectiva dos “p-primis”?</p>	<p>Cita autores cujos estudos descrevem a aprendizagem em termos da estrutura do conhecimento: a perspectiva dos modelos mentais e a dos primitivos fenomenológicos (“p-primis”) de diSessa (1993).</p>	<p>Foram selecionados 96 estudantes (oito de cada nível escolar: segundo, quinto, oitavo e décimo segundo, de três localidades dos EUA, sob a tutela de cada um dos primeiros três autores).</p>	<p>Cada estudante participante foi entrevistado individualmente; na entrevista respondiam a questões sobre uma série de gráficos representando fenômenos naturais. Estas entrevistas foram gravadas e filmadas. A análise qualitativa e quantitativa das respostas teve como referência uma categorização feita por Tamir e Zohar (1991).</p>	<p>A categoria mais proeminente de resposta em cada um dos 4 níveis de escolaridade foi a de raciocínio teleológico, no qual os fins da situação são usados como agentes causais para determinar os meios; por outro lado, os estudantes do nível 12 usam menos este raciocínio do que os anteriores, ou seja, há uma evolução, ainda que incipiente, na habilidade de os alunos raciocinarem ao longo da escolaridade.</p> <p>Percebem os autores que as explicações são fluidas porque são construídas em resposta direta com as características particulares do fenômeno focado nas entrevistas, não provindo das concepções mal elaboradas anteriormente, e, sim, construídas espontaneamente de núcleos intuitivos. Os autores consideram que a natureza dual da explicação de fenômenos biológicos aumenta a complexidade da tarefa que pretende utilizar os “p-primis” biológicos como necessários para um princípio de mudança. Mas, isso não descarta de considerá-los essenciais para a construção da compreensão do mundo.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>71. Sánchez, N.; Escudero, C.; Massa, M. Biologia, Argentina, 2001.</p>	<p>Apresentam a sistematização de um estudo de R.P. em textos de diferentes níveis, para oferecer aos professores como instrumento de análise e seleção de material bibliográfico.</p>	<p>Citam autores cujos trabalhos versam sobre R.P., especialmente Colinvaux (1998), sobre os significados de <i>modelo</i>.</p>	<p>Doze livros de textos de Escola Secundária e de EGB 3, na Educação Polimodal.</p>	<p>Foi estruturado um modelo de análise, tanto de enunciados como de soluções de problemas, propostos nestes livros de textos, a respeito de ecologia e sistema circulatório; oito aulas foram envolvidas. Técnicas estatísticas de variáveis múltiplas foram utilizadas na análise.</p>	<p>Os resultados apontam que a ênfase dos enunciados está na organização da estrutura conceitual da disciplina e no desenvolvimento da capacidade de expressão escrita das idéias. O trabalho pretende fazer os professores refletirem sobre a validade e a eficácia de usarem a R.P. como instrumento básico para a aprendizagem.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>72. Chin, C.; Chia, L.-G. Biologia, Cingapura, 2004.</p>	<p>Investigar: a) as inspirações dos estudantes para seus próprios problemas e questões, além de explorar o espaço do problema (“problem space”) através de questionamento; b) que tipos de questões os estudantes fazem individualmente durante a fase inicial de identificação do problema; c) que tipos de questões os estudantes fazem coletivamente durante a fase de resolver o problema e como estas questões os guiam na construção do conhecimento durante o processo de aprendizagem baseada em problema (“problem-based learning” ou PBL).</p>	<p>Citam autores cujos trabalhos versam sobre PBL, preferencialmente tratando de problemas mal-estruturados (“ill-structured problems”), nos quais há incerteza tanto nos procedimentos operacionais como nas finalidades do mesmo.; citam também trabalhos envolvendo, tanto a inspiração de estudantes para resolver seus próprios problemas como o espaço do problema ou as representações mentais.</p>	<p>Classe de 39 estudantes do sexo feminino de nível 9, em aulas de Biologia sobre “Alimento e Nutrição”.</p>	<p>Durante 18 semanas, a classe, dividida em grupos de 4 ou 5 participantes, foi exposta a um projeto, cabendo a cada grupo escolher um tópico diferente, com assessoramento do professor. Os estágios de trabalho consistiam: a) a partir de um texto, identificação do problema a ser investigado; b) exploração do espaço do problema (o que sabiam, o que precisavam saber; c) realização da pesquisa; d) reunião e organização das informações obtidas; e) apresentação oral, além de auto-avaliação do trabalho concluído.</p>	<p>Quanto às fontes de inspiração de questões e problemas, foram encontrados: crenças culturais; assombro com informações divulgadas pela mídia; curiosidade provindo de embates pessoais, envolvendo membros da família ou observações de outros; temas provindo de conteúdo prévio do currículo escolar. As questões individuais puderam ser agrupadas em 4 grandes categorias: validação de crenças e concepções alternativas comuns, informação básica, explicações e cenários imaginados. As questões cooperativamente formuladas resultaram em torno de duas asserções: 1) diferentes tipos de questões têm diferentes funções na construção do conhecimento; 2) fazer perguntas “adequadas” mantém um fluxo de interesse dos alunos em suas investigações, pois diversifica o enfoque e permite o acesso a múltiplas perspectivas sobre um tema.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>73. De Posada, J.M. Ciências Espanha 1996.</p>	<p>a) Clama pela necessidade de unificar critérios e esforços para conseguir um marco teórico mais geral para as concepções dos alunos; b) apresenta um novo modelo psicopedagógico do qual se pode deduzir os aspectos mais destacados e consensuais das principais correntes construtivistas; c) explica algumas características das concepções alternativas dos alunos, por meio deste modelo integrador; d) estabelece relações entre os contextos em que são propostas as tarefas e os elementos da memória que são ativados.</p>	<p>Modelo que integra a memória episódica à memória semântica (acadêmica e experiencial) e a métodos de análises (acadêmicos e experienciais).</p>	<ul style="list-style-type: none"> Contexto não acadêmico: estudantes de diferentes níveis, inclusive licenciados (Eckroth, 1993; de Manuel, 1995; Camino, 1995). Contexto acadêmico: alunos de 2º BUP, com 15 anos (Posadas, 1993) 	<p>Contexto não acadêmico: foram propostas perguntas similares a: “Por que há inverno e verão?” — a técnica foi discussão de um fenômeno físico mediante provas de papel e lápis e entrevistas.</p> <p>Contexto acadêmico: tarefa de papel e lápis com orientações estritamente acadêmicas, antes de iniciarem o tema “ligações químicas”: “O que ocorrerá com as seguintes substâncias, quando tentarmos dissolvê-las em água: Na₂S; Ca; ICl; Ni? Um mês após o término do estudo, a pergunta foi refeita.</p>	<p>Algumas características das idéias dos alunos, descritas por Driver e outros (1985), foram interpretadas: i) a percepção cotidiana tem seus dados localizados na memória episódica; ii) a atenção a alguns elementos da memória episódica, mediante métodos de análise experienciais, vai construindo elementos da memória semântica experiencial; iii) estas idéias, inicialmente indiferenciadas, vão ganhando precisão, graças a ação da aprendizagem significativa, que se produz, tanto no contexto escolar como no extra-escolar; iv) o pensamento dos alunos depende do contexto no qual é ativado.</p>
<p>74. Candela, A. Ciências México 1997.</p>	<p>Analisar as características da transposição didática feita por professores quando apresentam exercícios de Ciências para seus alunos.</p>	<p>Perspectiva etnográfica (Erikson, 1986; Rockwell, 1991). Cita vários trabalhos sobre fatores que intervêm na construção do conhecimento.</p>	<p>Crianças de escola elementar pública do México, de família de baixa renda.</p>	<p>Análise de notas etnográficas audiogravadas de 22 aulas de Ciências, registrando 36 atividades experimentais, isto é, conjuntos de ações exteriorizadas por um ou mais indivíduo que manejam um objeto ou modelam um fenômeno para determinar suas propriedades (demonstrações e resolução de problemas, requerendo descrição ou explicação de um fenômeno).</p>	<p>A transposição didática feita por professores contribui para a construção do conhecimento científico, fazendo uma interpretação oral dos conteúdos de livros ou do programa a ser desenvolvido. Os professores geralmente transformam exercícios de R.P. em demonstrações e vice-versa. Das atividades experimentais, 66% são demonstrações, enquanto quase todas as “investigações” são concebidas como exercícios de R.P.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
75. Vosniadou, S.; Ioannides, C. Ciência Grécia 1998.	Descreve em pesquisa a mudança conceitual e suas implicações para o ensino.	Teoria psicológica do processo de desenvolvimento cognitivo; citam vários trabalhos com esse enfoque (p. ex., Carey, 1983; Vosniadou e Ortony, 1989; Murphy e Medin, 1985); teoria dos modelos mentais (Johnson-Laird, 1983, Gentner e Stevens, 1983).	Citam crianças de trabalhos anteriores.	Apresentam argumentos baseados em trabalhos anteriores, onde são destacados: os conceitos iniciais, a explicação da mudança conceitual espontânea, ou baseada em ensino, e implicações para o planejamento curricular e docente.	Os resultados dos estudos citados no trabalho, sobre a mudança conceitual, sugerem que é preciso conhecer mais as variáveis externas ambientais que estão relacionadas com a mudança (os autores preferem “reestruturação”) conceitual, assim como, ferramentas, artefatos e linguagens simbólicas que têm sido desenvolvidos através de processos social e cultural.
76. Taconis, R., Fergusson-Hessler, M.G.M.; Broekkamp, H. Ciências Holanda 2001.	Investigação sobre quais atividades contribuem para o ensino de R. P. em Ciências.	Citam diversos trabalhos sobre o tema, baseados no processamento da informação (Newell e Simon, 1972) e, particularmente, na representação interna dos sujeitos.	Artigos (N = 22) de revistas arbitradas — entre 1985 e 1995 — que descrevem pesquisa experimental sobre estratégias de ensino para R.P. para Física, Química, Matemática e Biologia.	1) Os vários tratamentos experimentais foram classificados e codificados; 2) as dimensões dos efeitos e de cada condição experimental foram calculadas e receberam análise quantitativa; 3) complementação do meta-estudo com uma análise qualitativa sistemática, cuja vantagem foi poder identificar efeitos combinados de aspectos da interação.	i) as variáveis independentes que distinguem intervenções muito ou menos exitosas são aquelas que estimulam a construção de uma adequada base de conhecimento e demonstram o uso habilidoso deste conhecimento em R.P. em Ciências. O conhecimento de estratégias isoladas (i.e., heurísticas de R.P. geral) teve um efeito negativo. ii) as condições de ensino, características das intervenções exitosas, incluem realimentação imediata para os aprendizes, guias externos e critérios; o trabalho em pequenos grupos só mostra-se eficiente se for conjugado com outras medidas, por exemplo, atenção para construção de esquemas. No presente estudo, o trabalho em grupo foi considerado de efeito negativo.

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>77. Lin, H. – S. Chiu, H. – L. Chou, C. – Y. Ciência Taiwan 2004.</p>	<p>Investigar quais as sub-escalas da natureza da Ciência que são os melhores indicadores para a habilidade de R.P. conceitual.</p>	<p>Citam artigos sobre R.P., problemas algorítmicos e conceituais e dificuldades, além das relações com a natureza da Ciência.</p>	<p>Estudantes (N = 620) do 8º ano de quatro escolas elementares de Taiwan.</p>	<p>No meio do ano escolar, os alunos responderam ao 1º teste de R.P. conceituais e a um questionário sobre natureza da Ciência (escala Likert). O questionário gerou a classificação entre alunos <i>pós-positivistas</i> e <i>empíricistas</i>. No final do ano, os alunos receberam outro teste e o questionário; outra classificação foi efetuada quanto ao desempenho nos testes. Dois alunos foram selecionados de cada grupo e suas respostas aos problemas conceituais foram gravadas (protocolos verbais). As análises foram tanto qualitativas quanto quantitativas.</p>	<p>Evidências apontam que a compreensão dos alunos acerca da natureza da Ciência está fortemente relacionada com suas estratégias de R.P.</p> <p>As sub-escalas para o grupo pós-positivista e para o empíricista podem ser agrupados por: i) observações e explicações de experimentos científicos são guiadas por teorias; ii) não há um único método científico; os métodos dos cientistas dependem das circunstâncias; iii) os cientistas não são compelidos a usar métodos científicos tradicionais.</p>
<p>78. Chang, C.-Y.; Weng, Y.- H. Ciência da Terra Taiwan 2002.</p>	<p>Investigar a inter-relação entre a habilidade de resolver problemas de alunos do 10º ano e suas habilidades no processo científico (“science-process”) nas aulas do nível secundário.</p>	<p>Citam vários trabalhos de autores sobre o tema referido nos objetivos.</p>	<p>Estudantes (N = 195) secundaristas do 10º ano, com idade média de 16 anos, de Taiwan.</p>	<p>Dados quantitativos, analisados estatisticamente, foram obtidos dos testes PSAT (“Problem Solving Ability Test”)— baseado no modelo “Creative Problem Solving, de Osborn, 1963) —contendo duas questões abertas (“open-ended problems”) e SPST (“Science Process Skills Test”), que focaliza as habilidades de observação, interpretação de dados e formulação de hipóteses.</p> <p>Dados qualitativos foram obtidos de entrevistas semi-estruturadas sobre uma outra tarefa: “Footprint Puzzle”.</p>	<p>Resultados atestam uma correlação significativamente significativa, apesar de moderada, entre o desempenho em R.P. e a habilidade de desenvolver as atividades do processo científico; entre 12 a 32% da variação de desempenho é atribuída às diferenças nesta habilidade.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>79. Duff, A. Estilos de R.P. Reino Unido 2004.</p>	<p>Enfoca a validade e a fidedignidade do Questionário de Estilo de R.P. (PSSQ) quando administrados para estudantes do Reino Unido.</p>	<p>Baseado no trabalho de Romero et al. (1992) e Tepper et al. (1993).</p>	<p>Estudantes universitários (N = 200) de duas faculdades, Estudos Sociais e da Saúde (N = 128) e “Business” (N = 72).</p>	<p>O desempenho prévio foi medido por um exame tradicional de término da escola média. Foi então aplicado o questionário, com 14 itens, avaliando dois tipos de aprendizagem: experimentação ativa – observação reflexiva e conceituação abstrata – experiência concreta. Foi utilizada uma análise estatística descritiva.</p>	<p>Os resultados proveram pouco suporte para a fidedignidade de consistência interna e a validade de construção dos escores produzidos pelas escalas. Por outro lado, as escalas resultaram positivamente correlacionadas com o desenvolvimento acadêmico e prévio. O autor sugere que as escalas sejam aperfeiçoadas, com o fim de medir o modelo de aprendizagem experiencial, EML (Kolb, 1985).</p>
<p>80. Karasavvidis, I.; Pieters, J.M.; Plomp, T. Geografia Física Grécia e Holanda 2000.</p>	<p>Replicar estudos socioculturais com jovens em atividades formais acadêmicas multivariadas.</p>	<p>Psicologia sociocultural de Vygotsky (1978) e gêneros de fala de Bakhtin (1986).</p>	<p>Dez estudantes, de 15 anos, de escola privada.</p>	<p>Foi utilizada uma atividade de resolução de problema do tipo correlacional, cuja solução requer achar relações entre duas os mais variáveis. Cada problema (ao todo foram oito) continha um texto e uma tabela com dados relativos a três ou mais variáveis. Um professor experiente de Geografia apresentou aos alunos o conteúdo específico, mas não instruções. Os alunos foram submetidos a pré-teste, receberam tutoriamento para resolver os 8 problemas durante 3h e após foram submetidos a um pós-teste. Seus desempenhos foram gravados. Foram utilizadas análise de discurso, qualitativa, e quantitativa.</p>	<p>A análise de discurso quantitativa corroborou os resultados anteriores obtidos com estudantes mais moços, com relação à transição para a auto-regulação, na área do raciocínio correlacional; a influência do professor foi diferente dentro de cada tarefa e certas propriedades do discurso influenciam como a auto-regulação é explicitada. A análise de discurso qualitativa registra a assimilação da voz do professor na voz do aluno.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
81. Gangoso, Z. Investigações em R.P. Argentina 1999.	<p>Apresenta estudo bibliográfico sobre a investigação em R.P. do ponto de vista das teorias psicológicas subjacentes e de fatores explicativos – a natureza da tarefa, a pessoa que resolve e o entorno – com o objetivo de apoiar futuras pesquisas neste campo.</p>	<p>Cita trabalhos em R.P. (revisão da literatura)</p>	<p>Não há.</p>	<p>Categoriza os trabalhos segundo:</p> <ul style="list-style-type: none"> i) trabalhos que estudam a incidência da tarefa; ii) trabalhos que estudam a incidência da pessoa que resolve a tarefa; iii) trabalhos que estudam os processos psicológicos que ocorrem durante a resolução de um problema. 	<p>Ainda que a pesquisa em R.P. seja extensa, a maior parte dos estudos são descritivos. Um caminho para prosseguir seria o dos “módulos de atuação” dos alunos, articulados com a influência dos professores e outros fatores que os atingem.</p>

82. Watters, J.J. English, L.D. Ciências de (testes de raciocínio) Austrália 1995	<p>Apresentação de um estudo sobre as diferenças individuais, em habilidades de raciocínio científico, entre crianças de 10 anos.</p>	<p>Modelo do processamento da informação de Luria (1973) e do uso de imagens mentais na especialidade de resolver problemas científicos (Clement, 1994).</p> <p>Revisão da literatura, envolvendo teorias acerca do raciocínio dedutivo (lógico-mental e modelos mentais), do indutivo e do analógico.</p>	<p>Estudantes (N = 182), de 10 anos, de 14 escolas públicas.</p>	<p>Os alunos foram submetidos a uma bateria de testes que mediram processamento simultâneo e sucessivo e atenção seletiva. Uma análise quantitativa correlacionou os escores relativos às tarefas de raciocínio e procedimentos simultâneos e sucessivos.</p>	<p>. Neste estudo, em que as diferenças individuais, em cognição, de crianças foram definidas em termos do modelo de processamento da informação simultâneo e sucessivo de Luria, as crianças com níveis mais altos de processamento simultâneo tiveram mais êxito, tanto em raciocínio dedutivo quanto em indutivo, e em raciocínio científico geral. Entretanto, os resultados não excluem uma estratégia ou um método de resolução de problema no qual seja aplicada uma síntese sucessiva. No modelo de Luria, há a necessidade do uso de certas estratégias instrucionais para privilegiar a construção do significado, feita pelos alunos, fazendo uso de representações mentais. O professor deve estar atento para a relação entre características cognitivas subjacentes das crianças e as demandas do aprendizado de Ciências.</p>
--	---	--	--	---	--

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>83. Defeyter, M.A; German, T.P. Ciência (tarefas de raciocínio) Reino Unido e EUA 2003.</p>	<p>a) Repetir trabalho anterior (2000) com R.P. de “insight” com objetos de uso aperfeiçoado (Experimento 1) e b) propor uma tarefa envolvendo novos objetos relacionados em termos de propriedades mecânicas (atributos) com objetos familiares do Experimento 1 (Experimento 2).</p>	<p>Estudos sobre “fixação funcional” da Escola da Gestalt.</p>	<p>Crianças (N = 120) de escolas primárias, entre 5 e 7 anos (para os dois experimentos).</p>	<p>Foi proposto um problema prático (diferente, considerando o EXP. 1 e o EXP. 2) para as crianças, tendo os materiais visíveis para que pudessem escolhê-los para resolver o problema. Suas falas foram gravadas.</p>	<p>Os resultados contestam que a rigidez funcional seja a causa das dificuldades das crianças nas tarefas envolvendo uso de objetos. A proposta de explicação leva em conta que os adultos pensam em objetos que enfatiza o seu propósito, enquanto as crianças entendem-nos com um raciocínio mais básico: as mais jovens, como um possível objetivo para o qual pode servir; as mais velhas, a concepção de novos objetos é organizada em termos de sua forma ou “design”. A mudança parece acontecer aos 6 anos.</p>

APÊNDICE 4

TRABALHOS QUE SE OCUPAM DE ESTRATÉGIAS PARA A RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>1. Greca, I. Moreira, M.A. Física Brasil 1996.</p>	<p>Tentar categorizar alguns alunos de curso de Engenharia com distintos níveis de representação mental; investigar como físicos e estudantes de pós-graduação em Física representam campo eletromagnético e se existe diferença entre os tipos de representação que utilizam.</p>	<p>Teoria dos Modelos Mentais de Johnson- Laird (1983).</p>	<p>Estudantes de engenharia (N = 31), estudando o tema <i>eletromagnetismo</i> pela primeira vez; físicos profissionais (N = 5), teóricos e experimentais.</p>	<p>O 1º grupo recebeu instrução via “Método Keller” (Moreira, 1983); foram avaliados nas provas e, ao final do curso, foram submetidos a uma entrevista sobre o conceito de campo eletromagnético. O 2º e 3º grupos responderam perguntas sobre o modelo que possuíam de campo eletromagnético e de que maneira o utilizavam ao trabalhar com os fenômenos físicos que estudam.</p>	<p>A metodologia utilizada permitiu detectar o tipo de representação dos estudantes de Engenharia. Os modelos que eles utilizam resultam de uma articulação de distintos conceitos que permitem que os problemas sejam resolvidos eficientemente. Quando não se constrói modelos, os conceitos não são aprendidos significativamente.</p> <p>Não há diferenças qualitativas na forma de utilizar os modelos, entre os estudantes de pós-graduação em Física que conseguiram construí-los e os físicos.</p> <p>Em geral, o material instrucional – livros, listas de exercícios centradas em aplicação de fórmula – não facilitam a construção de modelos.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>2. Peduzzi, L.O.Q. Física Brasil 1997.</p>	<p>a) Discute a relevância de atitudes conscientes dos papéis dos professores e alunos em tarefas de R.P. para a aprendizagem ocorrer; b) Propõe uma estratégia de R.P. que contempla pesquisas anteriores.</p>	<p>Apresenta proposta de Polya (1995), Reif e outros (1976), Kramers-Pals e Pilot (1988), além de outros trabalhos.</p>	<p>Não há.</p>	<p>Apresenta uma estratégia para a resolução de problemas em física básica e comenta-a. Também é apresentado um levantamento informal sobre as opiniões de alguns professores sobre as possíveis causas de fracassos nas atividades de R.P. dos alunos.</p>	<p>Sugere a necessidade de investir na R.P. como tema susceptível de aprendizagem, procurando novas metodologias, como por exemplo, propostas de problemas abertos, resoluções em grupos e valorização da reflexão individual.</p> <p>Predominantemente, os professores consideram que as causas dos fracassos dos alunos em R.P. são a falta de um embasamento teórico adequado e insuficiência de conhecimentos em matemática.</p>
<p>3. Dhillon, A. S. Física Singapura 1998.</p>	<p>a) Identificar as atividades de R.P. nas estratégias mais amplamente usadas; b) Descrever os estilos de novatos e especialistas em R.P. usando estas atividades; c) Relatar as atividades de métodos gerais de R.P. usadas pelos participantes; d) Relatar as estratégias de R.P. reportadas na literatura</p>	<p>Cita trabalhos envolvendo conhecimento e R.P.; revisa trabalhos tratando de estratégias em R.P.</p>	<p>Treze indivíduos: um professor universitário, dois doutorandos, quatro mestrandos e seis calouros.</p>	<p>Foram propostas seis questões, duas requerendo soluções qualitativas e quatro, quantitativas. O assunto era dinâmica rotacional. Como instrumentos de análise, foram utilizados protocolos verbais gravados, R.P. de papel e lápis, observações de comportamentos não verbalizados e entrevistas, estas para consolidar os dados coletados.</p> <p>Cada ação foi classificada em atividade física ou cognitiva; o conjunto delas representava uma estratégia. A análise qualitativa consistiu em identificar e categorizar estas atividades geradoras de estratégias. Foram identificadas 14 atividades</p>	<p>As atividades proveram informações relevantes sobre as habilidades em R.P.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • O conhecimento acessado, e a maneira como é usado, é governado pelo conhecimento prévio do sujeito. • Quanto à comparação de estratégias entre especialistas e novatos, foram percebidos esquemas de conhecimento organizados de forma diferente. O uso das 14 atividades foi muito diverso. • As estratégias ou métodos gerais de R.P. somente indicaram o nível em que eram usados os conhecimentos.

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>4.</p> <p>Greca, I.M.; Moreira, M.A</p> <p>Física</p> <p>Brasil</p> <p>1998.</p>	<p>Detectar o tipo de representação mental — representações proposicionais, imagens, modelos mentais — que os alunos utilizam ao resolver problemas e questões teóricas sobre o conceito de campo eletromagnético.</p>	<p>Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird (1983).</p>	<p>Estudo piloto: alunos de Física Geral II (N =31), do curso de Engenharia, cursando “Método Keller”.</p> <p>Estudo 2: alunos (N = 25), da mesma disciplina, cursando modalidade de ensino tradicional .</p>	<p>Foram incluídos na análise dos resultados, os desempenhos nas atividades de interação dos alunos com professor e monitores, desempenhos em três provas, mapas conceituais e entrevistas com os estudantes sobre a avaliação da aprendizagem adquirida no curso.</p>	<p>A análise qualitativa do material sugere a classificação dos alunos em seis categorias: as categorias 0 (N = 3), 1 (N = 3) e 2 (N = 3), correspondem aos alunos que não formaram um modelo físico do conceito de campo eletromagnético, trabalhando exclusivamente com representações proposicionais, não integradas a um modelo, ou, como no caso da categoria 2, com um modelo matemático; as categorias 3 (N = 7), 4 (N = 7) e 5 (N = 2), apresentam algum tipo de modelo mental físico, nem sempre corretos ou podendo ser incipientes.</p>
<p>5.</p> <p>Moreira, M.; Lagrecia, M.C.B.</p> <p>Física</p> <p>Brasil</p> <p>1998.</p>	<p>Relato detalhado da representação mental de três casos: aluno proposicionalista, modelizador proposicionalista e modelizador imagístico.</p>	<p>Teoria do modelo mental de Johnson – Laird (1983).</p>	<p>Dois grupos de estudantes universitários de Engenharia, 1º semestre de 1996 (N = 8) e 2º semestre de 1996 (N = 30), da disciplina Física Geral I, conduzida na modalidade “Método Keller” (Moreira, 1983).</p>	<p>A metodologia de análise foi qualitativa, com registros derivados da interação com os alunos (característica do “Método Keller”) e das avaliações dialogadas que realizaram.</p>	<p><i>Representação mental proposicionalista:</i> o aluno trabalhou a maioria dos conceitos usando proposições isoladas; até sabia a fórmula, mas não conseguia articulá-la; a maioria das respostas era cópia do livro de texto.</p> <p><i>Modelizador basicamente proposicional:</i> uso de regras articuladas em modelos mentais, interligando diferentes conceitos e aspectos da disciplina; conseguiram fazer articulações com as fórmulas e interpretaram fisicamente os fenômenos que lhes eram apresentados, conforme as limitações de seu modelo.</p> <p><i>Modelizador basicamente imagístico:</i> uso das próprias palavras, sem cópia de livro; fez uso de conceitos, usando exemplos e desenhos para explicar.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>6. Escudero, C.; Gonzales, S.; Garcia, M. Física Argentina 1999.</p>	<p>Estudar algumas características da construção discursiva em R.P. de Física que se realiza na interação social entre docentes e alunos em aulas tradicionais</p>	<p>Perspectiva sociolinguística interacional (Gumperz, 1988; Campbell, 1988), além de outros trabalhos citados.</p>	<p>Estudantes (N = 19) de 4º ano, de escola secundária.</p>	<p>Análise qualitativa, com categorização, dos dados obtidos de observações dos estudantes, de notas de campo e de documentos (trabalhos práticos de aula, individuais e grupais, questões e exercícios avaliações, etc.).</p>	<p>A análise mostra o trabalho intensivo entre professor e aluno para que os temas utilizados em aula sejam relevantes para promover a aprendizagem e a R.P.</p> <p>Os alunos contribuem com perguntas, dúvidas e concepções / versões alternativas; O professor propõe, pergunta questiona, sugere, não só pela necessidade de orientar o processo mas de gerar as conclusões em aula que forneçam o aprofundamento conceitual e a organização procedimental.</p> <p>O conhecimento do conteúdo mostra-se a base sobre a qual perguntas de análise ou de argumentação são formuladas. Daí a necessidade de o docente evitar o tratamento superficial dos problemas buscando promover o desenvolvimento de habilidades cada vez mais complexas nos alunos.</p>
<p>7. Martinez Pons, J.A. Física Espanha 2000.</p>	<p>Proposta de um problema concreto para ser resolvido.</p>	<p>Baseado no modelo de R.P. de Gil Pérez e Martinez-Torregrosa (1983), Furió e Guisasola (1993), Varela e Martínez Aznar (1996, 1997), que combina processo investigativo com o tipo de problema aberto.</p>	<p>Dois grupos experimentais e um de controle, equiparados conforme teste estatístico, totalizando 60 alunos, do COU, trabalhando com professores diferentes,.</p>	<p>Foi administrada uma primeira avaliação para investigar os métodos utilizados pelos alunos; posteriormente, foi proposto um problema aberto (tema: basquete) com prazo determinado para resolvê-lo (15 dias). Esta atividade foi corrigida e comentada e depois a prova inicial foi repetida. Uma análise quantitativa comparou a média nas duas provas.</p>	<p>A 1ª avaliação corroborou as hipóteses dos investigadores sobre o escasso conhecimento e a inadequação dos métodos de ensino geralmente empregados; na 2ª, o teste estatístico detectou diferença significativa entre os grupos experimentais e o de controle. Ainda que os resultados imediatos não sejam excelentes, o tipo de trabalho parece prover boa ferramenta para que os próprios alunos detectem seus erros e hábitos inadequados e os corrijam.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>8. Concari, S.B.; Giorgi, S.M. Física Argentina, 2000.</p>	<p>Estudo descritivo de problemas resolvidos como exemplos em livros de Física, empregados no ensino dos primeiros anos da universidade, com o fim de indagar sobre o grau de coerência entre esta parte do texto e modelos reais de resolução de problemas, derivados da investigação educativa.</p>	<p>Citam estudos sobre estratégias de R.P., destacando os de Larkin e Reif (1979), de Gil Pérez e Torregrosa (1983) e Gil Pérez et al. (1989), entre outros.</p>	<p>Problemas (N = 57) extraídos de cinco textos de Física de uso generalizado nos primeiros cursos em universidades latino-americanas.</p>	<p>Foram selecionados alguns exemplos resolvidos sobre os temas: cinemática de translação e rotação e dinâmica de uma partícula e sistema de partículas (trabalho e energia). Procedeu-se uma análise de conteúdo com três variáveis definidas (Ander Egg, 1980), gerando quinze sub-variáveis.</p>	<p>Os problemas apresentados não foram considerados verdadeiros problemas — situações que propõem dificuldades, para as quais não se tem soluções imediatas. A resolução deles guarda pouca coerência com a concepção científica de R.P. Prevalece uma apresentação fechada da situação problemática, onde certos processos básicos de R.P. são ignorados ou não estão explícitos na resolução feita, e a análise de resultados é limitada.</p>
<p>9. Sousa, C.M.S.G.; Moreira, M.A. Física Brasil 2000.</p>	<p>Argumenta a favor de certa complementaridade entre a teoria de Piaget e a dos modelos mentais, pelo menos no que se refere à causalidade piagetiana e aos modelos mentais causais.</p>	<p>Causalidade de Piaget (Silvie Parrat-Dayon, 1998) e Modelos Mentais (Kleer e Brown, 1983; Johnson-Laird, 1983).</p>	<p>Seis egressos de Licenciatura em Física da Universidade de Brasília.</p>	<p>Foram feitas entrevistas individuais em laboratório didático de Física, sobre o funcionamento de um giroscópio, após a leitura de um texto sobre o assunto. Foi feita uma análise qualitativa das transcrições das entrevistas.</p>	<p>Os resultados sugerem que os entrevistados constroem modelos causais do tipo proposto por Kleer e Brown, devido à presença freqüente de afirmações causais em suas explicações. A crença, de que possa haver uma complementaridade entre a teoria de Piaget e os modelos mentais, foi reforçada com este trabalho.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
10. Maiztegui, A.P. Física, Argentina 2000.	Refletir sobre o papel da R.P. em aula.	Cita autores como Gil Pérez et al. (1991), Gangoso (1997) e Lester (1983).	Não há.	Propõe “passos parciais” para alunos RP: examinar cuidadosamente o enunciado; descrevê-lo com suas próprias palavras; relacionar a informação com sua estrutura cognitiva; relacionar as incógnitas com esta estrutura; calcular numericamente (atentando para sistemas de unidades); verificar o resultado.	Resolver problemas é antes de tudo usar reflexões, provocadas pela busca de uma solução, para robustecer leis, teorias, conceitos, incorporando-os à estrutura cognitiva.
11. Costa, S.S.C.; Moreira, M.A. Física Brasil 2001.	Analisa as estratégias de alunos em situações problemáticas, envolvendo um conhecimento específico, no caso, o movimento geral plano de um corpo rígido, e a lógica das mesmas (modelagem mental).	Teoria dos modelos mentais (Johnson-Laird, 1983; Moreira, 1996; Gentner e Stevens, 1983).	Alunos universitários, dos cursos de Engenharia e Física, matriculados na disciplina Mecânica Geral durante alguns semestres consecutivos.	Foi usada uma análise qualitativa com dados provindo de: i) anotações de observações em aulas exclusivas de R.P., nas quais os alunos trabalhavam em pequenos grupos, onde manifestavam dúvidas, emitiam comentários e questionavam as tarefas; ii) resolução de problemas em prova escrita. Dois dos problemas da prova escritos, que foram propostos em semestres diferentes, foram analisados, por apresentarem pequenas diferenças externas (aparentes).	Sem a construção de uma representação interna para cada situação problemática proposta, fica difícil para o aluno atribuir significado ao conhecimento requerido para a tarefa, tanto conceitual como estratégico, inviabilizando sua solução. Os autores sugerem que a conclusão pode ser endereçada aos demais níveis de ensino, ou seja, médio e fundamental.

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>12. Bao, L.; Redish, E.F. Física EUA 2001.</p>	<p>Discutem um método analítico para interpretar a concentração/diversidade de respostas de estudantes para questões de escolha múltiplas.</p>	<p>Estrutura desenvolvida a partir da neurociência, ciência cognitiva e pesquisa em educação, em particular, nas seguintes premissas: i) a memória é associativa, ii) respostas cognitivas são produtivas; ii) respostas cognitivas são dependentes do contexto (incluindo o contexto dos modelos mentais dos estudantes).</p>	<p>Estudantes (N = 778), a maioria de curso de Engenharia, de 14 turmas de curso introdutório de Física da Universidade de Maryland.</p>	<p>A metade das turmas seguia o método de tutoria da Universidade de Washington e a outra, o método tradicional. Foram aplicados pré e pós-testes do tipo FCI (“Force Concept Inventory”), com 29 questões, avaliando três níveis de modelagem: se o aluno tinha um modelo, dois modelos ou nenhum.</p>	<p>A análise de concentração/diversidade conseguiu o seu intento de inferir se os estudantes têm modelos comuns incorretos ou se a questão é efetiva em detectá-los. Neste sentido, pode ser usada para facilitar a construção de questões de múltipla-escolha que pretendam ratificar a compreensão conceitual dos estudantes — confirmando a presença de níveis de modelos mentais ou detectando itens, onde um fator relevante foi esquecido. Também é possível usá-la para avaliar o desempenho dos estudantes e suas condições de modelagem — quando se estuda modelagem, as questões devem ser designadas de tal forma que as opções sintonizem com modelos incorretos. Enfim, o fator de concentração pode auxiliar o professor para promover a aprendizagem.</p>
<p>13. Laburú, C.E. Física Brasil 2003a.</p>	<p>Observar a construção dos pensamentos dos alunos em sala de aula, em momentos em que são estimulados conflitos cognitivos e controvérsias.</p>	<p>Programas de Pesquisa de Lakatos (1992) e artigos de autores relacionando-os com pesquisas do autor, além do modelo de mudança conceitual de Posner et al. (1982).</p>	<p>Alunos da disciplina Física do 2º ano do Ensino Médio.</p>	<p>Professor propôs três questões para discussão, sobre o conceito de velocidade angular. Na medida em que iam acontecendo as interações entre os alunos, reunidos em grupos, foram gravadas as discussões que ocorriam em cada grupo.</p>	<p>A análise qualitativa categorizou os grupos em programas alternativos (PA), programas científicos (PC) e fase transitória (FT). Esta análise permite ao professor tanto monitorar melhor a aprendizagem dos conteúdos, como compreender a natureza dos pensamentos que podem estar dificultando a aprendizagem, manifestados nos discursos dos estudantes.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>14. Carcavilla Castro, A.; Escudero Escorza, T. Física Espanha 2004.</p>	<p>Elaboração de um modelo para a resolução de problemas “bem estruturados” e para a análise do mesmo; fundamentação teórica do modelo; obtenção de um procedimento sistemático de análise a partir do mesmo; comprovação prática.</p>	<p>Teorias associacionistas da aprendizagem sobre os conceitos (Neimark, 1983; Eco, 1999); estratégias de compreensão do discurso (Van Dijk e Kintsy, 1983).</p>	<p>Alunos (N = 239) de diversos cursos: de 2º de bacharelado (N = 34), de 1º de Física (N = 32), de COU (N = 78) e de exames de seleção (N = 95).</p>	<p>Foram analisados exames propostos habitualmente aos diversos grupos de alunos. Destes exames, foram escolhidos 18 problemas para serem estudados qualitativamente, descrevendo-se a sua solução e classificando-a.</p>	<p>Resultados:</p> <ul style="list-style-type: none"> i) as tarefas de identificação de conceitos são as de pior resultado; ii) os problemas parecem não ter significado para os alunos, tanto quanto aos conceitos, quanto às relações envolvidas no mesmo; iii) a influência das idéias prévias é menor do que se supunha; iv) a falta de conhecimento matemático não representa uma dificuldade tão marcante; v) alguns conceitos apresentam dificuldades consideráveis; vi) as principais dificuldades de resolver problemas bem estruturados são: a falta de compreensão dos conceitos e conhecimentos necessários, tanto conceituais como procedimentais; vii) ressaltam a importância de ser construída uma representação qualitativa adequada do problema; viii) a categorização construída pelos autores pode ser usada para mostrar aos alunos as falhas que cometeram.

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>15. Costa, S.S.C.; Moreira, M.A. Física, Brasil 2004.</p>	<p>Analisar o desempenho de oito alunos universitários na resolução de um problema de Física, na área de Cinemática de um corpo rígido, destacando seus conhecimentos em ação, como são definidos pela teoria dos campos conceituais de Vergnaud (1993) e relacionando-os com a modelagem mental executada nesta atividade, na perspectiva de Johnson-Laird (1983).</p>	<p>Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird (1983) e teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud (1993).</p>	<p>Alunos do curso de Engenharia (N = 6) e de Física (N = 2), matriculadas na disciplina Mecânica Geral de universidade privada.</p>	<p>O problema proposto fazia parte da avaliação escrita sobre o tema <i>Cinemática de um corpo rígido</i>. Uma semana após a prova, os alunos foram entrevistados, individualmente, e foi-lhes pedido que expressassem verbalmente como tinham interpretado o problema (enunciado e figura), que informações julgaram importante e como reagiram na busca da solução. Estas entrevistas foram gravadas, depois transcritas, e, junto com a prova escrita, foram objetos de análise qualitativa.</p>	<p>Foram detectadas algumas regularidades que parecem acusar problemas na modelagem mental, se comparadas com modelos científicos do conteúdo específico. Entre elas, pôde-se destacar alguns teoremas e conceitos-em-ação e procedimentos de R.P. que caracterizam uma representação da situação problemática, típica do “novato”, ou seja, interpretando-a com certa adequação, mas sem conseguir articular procedimentos para desenvolver uma solução.</p>
<p>16. Ghezzi, F. Física e Matemática Reino Unido 2001.</p>	<p>Descreve o “método” de Pólya para R.P. e ilustra-o com um problema matemático.</p>	<p>George Pólya (1945).</p>	<p>Não há.</p>	<p>Apresenta o método de Pólya e seus quatro passos: 1) compreender o problema; 2) configurar um plano; 3) executar o plano; 4) analisar o que foi feito.</p>	<p>Observações ao professor: resolver um problema ou um exercício tem de ser uma experiência significativa; o aluno (novato) apresenta limitações quanto à competência de executar os passos adequadamente; o trabalho em conjunto pode facilitar a resolução de problemas mais complexos.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>17. Smith III, J.P. Matemática EUA 1995.</p>	<p>Análise do raciocínio dos estudantes com números racionais, expressos como frações, desafiando a visão de que o raciocínio numérico competente depende de aprender alguns métodos gerais e aplicá-los adequadamente para resolver problemas.</p>	<p>Cita trabalhos de pesquisa sobre números racionais, destacando o “Rational Number Project” – RNP (Behr et al., 1984; Bright et al., 1988; Post et al., 1985; Vance, 1986).</p>	<p>Amostra de 30 estudantes: 10 deles, dos níveis 5º e 6º, outros 10, de 8º e 9º e mais 10 sêniores, dos níveis 11º e 12º.</p>	<p>Foram designadas quatro tarefas para variar o contexto numérico e conceitual do raciocínio dos alunos acerca dos números racionais. Entrevistas semi-estruturadas tiveram como principal objetivo classificar as explicações dos estudantes sobre os seus raciocínios. Os resultados geraram três grupos: <i>sucesso eficiente</i>, <i>sucesso</i> e <i>não sucesso</i>. O primeiro (N = 11) foi escolhido para ter o desempenho analisado.</p>	<p>i) .O raciocínio competente depende de base de conhecimentos mais rica e diversa que inclui muitas estratégias específicas e inventadas, as quais são conectadas e aplicadas de forma flexível na R.P. ii) A maioria dos estudantes deste grupo não depende de estratégias gerais de transformação, as quais são enfatizadas nas escolas (como conversão do denominador comum, por exemplo). iii) Para a maioria destes alunos, a estratégia geral de transformação só é usada quando uma estratégia específica não é encontrada.</p>
<p>18. Leinhardt, G.; Schwarz, B.B. Matemática EUA e Israel 1997.</p>	<p>Enfoca a explicação de instrucional de conjecturar como uma heurística, para resolver problemas — no caso, é exemplificado o problema dos 5 planos FFP (“Five Planes Problem”).</p>	<p>Modelo de R.P. de Pólya (1945). Cita artigos sobre estratégias de R.P. — identificação ou representação do problema e metacognição.</p>	<p>Alunos da Universidade de Stanford, com o tema do FFP.</p>	<p>Analisa a aula de George Pólya, destacando a conceitualização de explicar/ inquirir matematicamente. Foi utilizado o filme “Let Us Teach Guessing” da Associação Matemática da América (1965) O filme foi transcrito como um protocolo verbal de um pensamento individual em uma tarefa cognitiva complexa. Pólya usa modelos analógicos para transformar a complexidade da tarefa, usando simplificações, por meio de representações mais simples, para estender a perspectiva do problema, sem deixar de relacioná-las com o problema original.</p>	<p>A característica mais saliente da aula de Pólya é a profusão de diferentes representações e modelos — ferramentas que podem sustentar com êxito explicações instrucionais. Outro aspecto importante foi o elevado envolvimento manifestado pelos estudantes com a aula — supostamente devido à forma com que Pólya relacionou cada episódio, coordenados por apresentações representacionais e simbólicas. Particularmente, a aula teve dois objetivos: ensinar FFP e como conjecturar, além de mostrar como ensinar a conjecturar.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>19. Otero, M.R.; Papini, C.; Elichiribehety, I. Matemática Argentina 1998.</p>	<p>Investigar quais são as estratégias empregadas na R.P., cujas interpretações requereriam um modelo mental e quais são as características deste modelo, no caso de ele ser usado na resolução do problema.</p>	<p>Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird (1983).</p>	<p>Grupo 1: adolescentes (16 – 17 anos) na Olimpíada Matemática Argentina. Grupo 2: adolescentes (16 –17 anos) de uma escola pública de Tandil. Grupo 3: alunos dos cursos para professorado de Matemática e Física, cursando 3º e 4º ano</p>	<p>Um problema de linguagem coloquial foi proposto aos 3 grupos em ambientes e situações diferenciadas. Foram definidas categorias de análise baseadas em indicadores também definidos pelos autores. A análise foi qualitativa, gerando percentuais.</p>	<p>A categoria Modelo Mental (MM) apresenta-se em 90% no Grupo 2, dos alunos de escola pública, 20% para o Grupo 1 (Olimpíadas) e não se manifesta para o grupo de professores (Grupo 3), que requer a álgebra diretamente. Quem resolve o problema a partir de um modelo mental correto (que represente a totalidade das relações necessárias para encontrar a solução) tem maior compreensão das relações do problema — o modelo mental é decisivo no processo de construção de significados.</p>
<p>20. Nápoles, J.E.V.; Cruz, M.R. Matemática Argentina e Cuba 2000.</p>	<p>Apresentam algumas sugestões e exemplos de como utilizar a R.P. em aulas, enfatizando os procedimentos heurísticos de Polya, melhorados com novos resultados nesta direção.</p>	<p>Procedimentos heurísticos de Polya (1954; 1980; 1981).</p>	<p>Não há.</p>	<p>Apresentam a versão de diversos autores sobre o que é problema, resolução de problemas e classificações de problemas, além de sugestões de problemas, com características diferenciadas.</p>	<p>Para ratificar a concepção de R.P. como atividade que ensina o que significa “compreender”, os autores sugerem que o professor deve incluir em suas aulas:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) o papel do professor como modelo de comportamento e treinador; 2) a visão de que, muitas vezes, um problema tem mais de uma solução; outras vezes, não há solução; 3) mais conteúdo nem sempre é o melhor caminho; 4) o professor não é infalível. <p>Quanto à estratégias, sugerem:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) representar (fazer desenhos); 2) trabalhar inclusive “para trás”; 3) conjecturar e provar; 4) usar raciocínio dedutivo/indutivo; 5) usar aproximações; 6) determinar condições necessárias e/ou suficientes, entre outras.

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>21. Pifarré, M.; Sanuy, J. Matemática Espanha 2001.</p>	<p>Proposta didática e implementação de estratégias gerais ou heurísticas (cognitiva e metacognitiva) de resolução de problemas sobre proporcionalidade direta — método de ensino de instrução guiada e aprendizagem cooperativa.</p>	<p>Modelos instrucionais de Polya (1945), Schoenfeld (1985) e Lester (1985); faz também referências a outros autores com trabalhos em R.P.</p>	<p>Alunos de três turmas (N = 60 alunos) de 3º ano de ESO (Educação Secundária Obrigatória).</p>	<p>Etapas: 1) discussão sobre os conceitos matemáticos e proposta de problemas do tipo cotidiano; 2) proposta de situações problemáticas que impliquem em seleção e articulação de diferentes procedimentos de resolução de problemas, vinculados ao cotidiano do aluno – resposta numérica e verbal; 3) elaboração de guias (heurísticas gerais) a serem utilizadas pelos alunos, enfocando os aspectos cognitivo e metacognitivo da tarefa, além da aprendizagem cooperativa — em duplas. O estudo inclui avaliação inicial e final e a intervenção didática durante um trimestre (30 h, aproximadamente). Na análise dos resultados, foram usados testes estatísticos (quantitativa) gravação em vídeo do desempenho de algumas duplas em ação (qualitativa).</p>	<p>A proposta mostrou-se exitosa no intento de melhorar as estratégias de R.P. para alunos de ESO, porém a atitude dos professores é parte fundamental no processo.</p>
<p>22. Medeiros, C.F. Matemática Brasil 2001a.</p>	<p>Retrospectiva sobre os focos mais comuns dos estudos no campo da R.P. matemáticos.</p>	<p>Cita trabalhos que abordam estratégias e problemas “processo”, problemas simbólicos, verbais e não-verbais, modelos mentais, analogias e metáforas.</p>	<p>Não há.</p>	<p>Apresenta algumas formas de resolução de uma situação-problema de matemática, verbal, idealizada na esfera de um modelo mental (ou metáfora) combinatório.</p>	<p>Questiona a ênfase unilateral, comumente usada no ensino de estratégias de resolução de problemas matemáticos, dada a complexidade envolvida na produção do conhecimento, incluindo dimensões epistemológicas subjetivas, culturais e objetivas.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>23.</p> <p>Wong, R.M.F.; Lawson, M.J.; Keeves, J.</p> <p>Matemática</p> <p>Austrália</p> <p>2002.</p>	<p>Estimar:</p> <p>a) o impacto positivo previsto pelo treinamento da auto-explicação no acesso e geração do conhecimento;</p> <p>b) a influência distinta no desempenho em R.P. da atividade de auto-regulação, do conhecimento prévio e das crenças dos estudantes.</p>	<p>Cita vários autores com trabalhos sobre efeitos da auto-explicação, treinamento em auto-regulação, conhecimento prévio e crenças dos estudantes em estudos de R.P.</p>	<p>Estudantes de 9º ano de uma escola australiana (N = 24, no grupo experimental e N = 23, no grupo de controle).</p>	<p>Um texto sobre geometria foi utilizado durante seis sessões, cada uma das quais enfocando atividades diferenciadas, incluindo questionários, protocolos verbais e pós-teste. A análise dos desempenhos dos alunos, sob as variáveis já identificadas, foi feita quantitativa e qualitativamente.</p>	<p>Procedimentos de auto-explicação constituem-se em técnicas potencialmente poderosas para a aquisição do conhecimento durante o estudo; os desempenhos nos pós-testes mostraram uma vantagem significativa para a R.P.</p> <p>A análise dos protocolos verbais dos alunos mostrou igualmente a superioridade no acesso, geração e manipulação do conhecimento. As soluções escritas sugerem que o efeito da auto-explicação também é operativo, o que se manifesta pela ativação e uso da representação em R.P.</p> <p>O conhecimento prévio não mostrou diferenças no resultado dos pós-testes, mas a efetivação do uso do conhecimento, relacionado ao domínio focado (geometria), foi diferenciado, a favor do grupo com intervenção.</p>
<p>24.</p> <p>Renkl, A.</p> <p>Matemática (estatística)</p> <p>Alemanha</p> <p>2002.</p>	<p>Apresentação de um conjunto de princípios (SEASITE) para integrar explicações instrucionais na aprendizagem via auto-explicação.</p>	<p>Baseado em Chi et al. (1989) sobre problemas resolvidos e auto-explicação e trabalhos prévios próprios.</p>	<p>Professores estudantes (N = 48), com idade média de 23,3 anos, divididos em grupo experimental e de controle.</p>	<p>Foram realizados pré-testes para avaliar conhecimento prévio. Para ambos os grupos foi usado um programa computacional de aprendizagem, contendo exemplos resolvidos. O grupo experimental recebeu instrução extra (do computador) enquanto estudavam exemplos resolvidos sobre cálculo de probabilidade, enquanto o grupo de controle foi deixado com seus próprios materiais durante a mesma tarefa. Sessões individuais de cerca de 2h completaram as informações que foram analisadas quantitativa e qualitativamente.</p>	<p>A explicação instrucional teve algum efeito, mas sua preparação e uso devem ser reformulados.: aumentar a frequência de explicações e otimizar seu uso são recomendações do autor. Os protocolos verbais esparsos indicaram que houve uma excessiva carga cognitiva durante a tarefa.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
25. Quílez, J.; Solaz, J.J. Química Espanha 1995.	Estudar os princípios, estratégias e procedimentos que professores e estudantes usam para resolver algumas questões e problemas sobre equilíbrio químico.	Apresenta revisão bibliográfica sobre o tema.	Estudantes universitários de 1º ano (N = 170), professores do Ensino Médio (N = 23) e professores universitários (N=17).	Todos os participantes do estudo responderam um questionário, contendo problemas e os resultados foram analisados por um teste estatístico ("Student").	Professores e estudantes cometeram os mesmos equívocos, principalmente na compreensão do Princípio de Le Chatelier. Resultados sugerem que as explicações dos professores, em grande escala, são responsáveis pelas más concepções dos alunos. Por outro lado, os professores necessitam revisar suas metodologias, caracterizadas por evocações mecânicas e uso de algoritmos, que não abordam análise prévia da tarefa, nem traduzem uma aprendizagem significativa; finalmente, professores não consultam pesquisa em ensino.
26. Lee, K.-W. L.; Fensham, P.J. Química Cingapura e Austrália 1996.	Investigar as características do comportamento em R.P. quando professores e seus alunos tentam resolver problemas de eletroquímica; usar estas características para gerar uma estratégia geral.	Citam vários autores cujos trabalhos propõem tipos de modelos para descrever os processos em resolução de problemas. Prevalece o modelo do processamento da informação e o modelo tipo-estágio.	Professores (N = 10) e alunos de química (N = 33), do 12º ano, de oito classes de escolas australianas.	Os dados foram coletados de protocolos verbais enquanto os sujeitos resolviam três problemas de papel e lápis, sem limitação de tempo.	Sete processos distintos foram identificados: <ol style="list-style-type: none"> 1. compreensão do enunciado do problema; 2. tradução das partes do mesmo; 3. identificação da(s) meta(s) ou submeta(s); 4. seleção da informação traduzida; 5. busca de regra(s) ou fato(s) da memória; 6. obtenção de meta(s) ou submeta(s) relacionada (s) com os processos 4 e 5; 7. Verificação do caminho de solução ou da resposta.

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>27. García García, J.J. Química Colômbia 2000.</p>	<p>Apresenta os fundamentos de uma estratégia didática baseada no modelo de ensino problematizado e nos enfoques de R.P. como forma de desenvolver a criatividade e como um processo que permite ensinar heurísticas e procedimentos heurísticos adequados; apresenta o resultado da aplicação com o tema “comportamento dos gases”.</p>	<p>Cita vários autores que abordam diferentes aspectos da atividade de resolver problemas. Apresenta uma estratégia didática baseada em quatro fatores:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) planejamento de situações problemáticas criativas; 2) planejamento de ambiente criativo em aula; 3) planejamento e utilização de uma heurística geral e, 4) utilização de um sistema de auto-orientação. 	<p>Grupo experimental formado por 16 estudantes, de classes sociais diversas e escolas diferentes, todos do 10º ano de Educação Média Técnica.</p>	<p>A metodologia de investigação propondo a solução de problemas criativos, diferentes dos exercícios numéricos tradicionais, combina o enfoque pré-teste e pró-teste com o estudo do processo e suas atividades. Além das 30 horas utilizadas para o trabalho, 4 horas foram requeridas para familiarizar os estudantes com o método, outras quatro para aplicação dos testes antes e depois da estratégia. Os alunos foram divididos em pequenos grupos e tiveram seus desempenhos registrados. Para algumas das variáveis estudadas, por exemplo, criatividade, foram utilizados testes específicos.</p>	<p>Depois de salientarem as limitações do trabalho, os autores demonstram quantitativamente os ganhos em termos de capacidade argumentativa, autonomia, persistência no trabalho e nível de compreensão de conceitos e procedimentos. Os pontos que apresentaram baixo desempenho (capacidade de escutar e debater opiniões) foram justificados pela falta de prática neste tipo de tarefa. Um último enfoque reconhece o desenvolvimento da metacognição entre os estudantes que participaram da estratégia.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>28. Sutherland, L. Química Austrália 2002.</p>	<p>Desenvolver uma estratégia para prover, aos estudantes novatos em Química, a análise da informação em problemas, salientando diferenças entre especialistas e novatos.</p>	<p>Cita diversos trabalhos em R.P., abrangendo diferenças entre novatos e especialistas e estratégias associadas a eles.</p>	<p>Estudantes (N = 211) de 11º ano do curso de Química (1º de dois anos) de escola australiana, divididos em grupos, conforme intenção da pesquisa..</p>	<p>A implementação do projeto incorporou procedimentos quantitativos e qualitativos de avaliação, envolvendo:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) nível de instrução em R.P., ou seja, instrução não explícita, somente instrução de estratégias, instrução de estratégias e facilitação da estratégia; 2) avaliação reflexiva, ou seja, proposta de questões reflexivas e não reflexivas; 3) condições de prática, ou seja, grupos de habilidades mistas, grupos de mesma habilidade e prática individual. 	<p>Não foram efetivas as combinações “instrução não explícita” com “avaliação reflexiva” e com “somente instrução de estratégias”; a instrução de estratégias combinada com a facilitação de estratégias e com a avaliação reflexiva foi associada com a facilitação de desempenho em R.P.; da mesma forma, no desenvolvimento de habilidades e procedimentos, ou seja, maior abordagem sistemática para a análise da informação e uso do conhecimento necessário para desempenhar as tarefas.</p>
<p>29. Niaz, M. Química Venezuela 2002.</p>	<p>Construir uma estratégia de ensino de ensino que facilite a mudança conceitual na compreensão de alunos de eletroquímica.</p>	<p>Baseado em vários autores, enfocando aspectos como: a relação entre o processo de desenvolvimento de teorias de cientistas e aquisição individual do conhecimento: pré-requisitos para mudança conceitual; teoria dos operadores construtivos de Pascual-Leone (1978).</p>	<p>Grupo experimental (N = 33) e de controle (N = 35) matriculados em Química II, nível universitário.</p>	<p>Ambos os grupos foram submetidos a sessões de R.P. em que a solução era apresentada a eles. Sucederam-se aplicações de três testes (3 problemas). Exceto pelas atividades nas últimas duas semanas, os dois grupos receberam tratamentos iguais. Então, nesse período, o grupo experimental discutiu um problema envolvendo diferentes possibilidades de resolução, de forma interativa.</p>	<p>Os resultados atestam diferenças significativas pró-grupo experimental, ainda que o desempenho nas questões conceituais tenha tido uma baixa — o que demonstra que a habilidade em resolver problemas de rotina não se transfere imediatamente para problemas de compreensão conceitual.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
30. Eichler, M.L.; Fagundes, L.C. Química (ecologia) Brasil 2004.	Analisar: a) como os indivíduos representam o problema que lhes é proposto; b) a seqüência de procedimentos selecionados para a solução do problema; c) o desenvolvimento conceitual que aconteceu durante a R.P.	Análise microgenética (Siegler e Crowley, 1991) e outros trabalhos sobre o tema.	Oito participantes, com idades entre 14 e 17 anos.	Foi utilizado como atividade o “software” Carbópolis (Eichler, Del Pino, Pesa Filho e Vianna, 1998) que apresenta um problema ambiental a ser resolvido. O estudo das condutas cognitivas foi feito a partir de estudos de casos. O “software” foi usado pelos participantes em sessões de 45 min, quantas precisassem para concluir a tarefa. Foram utilizadas: observações sistemáticas e entrevistas clínicas, gravadas e, posteriormente, transcritas, com pouca intervenção do investigador, além de materiais escritos e do histórico do uso do “software”.	Foram observados dois tipos de controle do sistema cognitivo na R.P.; o primeiro, constrói hipóteses e, a partir delas, utiliza estratégias e procedimentos bem definidos frente às mesmas; o segundo, interpreta as características contextuais apresentadas e vai experimentando, mais ou menos ao azar, até construir um procedimento estável de análise. O domínio de conhecimentos contemplados teve vários perfis; apesar de manifestarem noções de diferentes perspectivas, nenhum participante manifestou a integração dos distintos sistemas que estariam envolvidos na R.P. O “software” permitiu que indivíduos de diferentes perfis reconstruíssem um nexos causal próximo do problema simulado, e assim o resolvessem.
31. Escudero, C. Fisicoquímica Argentina 1996	Estudo de alguns conhecimentos procedimentais, relacionados com as dificuldades de alunos de ensino secundário (3º ano), que, em geral, têm baixo rendimento em fisico-química.	Cita trabalhos que analisam estratégias cognitivas e metacognitivas.	Alunos (N = 21) de 3º ano do secundário provenientes de duas turmas – modalidade bacharel	Foi utilizada a técnica de entrevistas, com duração de 15 min, cada uma. Os dados também incluíram fichas dos alunos. A análise foi qualitativa.	Os 2 grupos apresentaram praticamente o mesmo comportamento quanto à abordagem ao problema, aos procedimentos que usam, como estudam para as avaliações nas quais necessitam resolver problemas e como controlam o trabalho. A maioria dos alunos dispõem de um reduzido e pobre espectro de estratégias cognitivas e metacognitivas. Um número elevado de alunos necessita ajuda externa (professores, companheiros) para realizar a tarefa. Em geral não sabem resolver nem enfrentar situações novas; por outro lado, o sistema educativo parece não proporcionar-lhes ou não formar-lhes o desenvolvimento de ferramentas ou mecanismos internos de controle.

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>32. Hager, P.; Sleet, R.; Logan, P.; Hooper, M. Física e Química Austrália 2003.</p>	<p>Descrição de como a caracterização do pensamento crítico, conforme Robert Ennis (1962; 1987), em termos de habilidades e disposições, tem sido aplicada em estudantes universitários da Austrália.</p>	<p>Lista de disposições e habilidades de Ennis (1962; 1987), Norris e Ennis (1990) e Ennis (1991; 1996).</p>	<p>Estudantes universitários calouros.</p>	<p>Foram desenvolvidos problemas que diferem dos problemas típicos de papel e lápis, em relação a três fatores:</p> <p>a) exercícios criativos em que os objetivos são totalmente abertos ou parcialmente abertos, mas com múltiplas respostas;</p> <p>b) exercícios com dados faltando, mas providos com materiais impressos onde é possível resgatá-los, sendo, a maioria deles, relacionados com o dia-a-dia. O projeto produziu 59 problemas de Física e Química, baseados em, pelo menos, seis das doze habilidades de raciocínio crítico providas pela lista de Ennis.</p> <p>O trabalho dos alunos foi feito em grupos com três componentes, estrategicamente escolhidos, pelo gênero, por habilidades (misturadas) e desempenhando papéis rotativos determinados.</p>	<p>Este projeto contesta a idéia de que o rigor acadêmico possa sofrer uma perda se a universidade for dirigida para o mercado de trabalho (“worplace”). As avaliações têm mostrado que os estudantes apreciam os dois aspectos enfocados no projeto. Por outro lado, novas pesquisas estão sendo planejadas prevendo a inclusão de novos tipos de problemas e também de disposições e habilidades científicas que não tenham sido contempladas na lista de Enni.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>33. Hafner, R.; Stewart, J. Biologia EUA 1995.</p>	<p>Investigar se, durante a resolução de problemas, os sujeitos revisam seus modelos mentais iniciais para acomodar problemas que incorporam fenômenos genéticos anômalos. Em caso positivo, qual é a natureza de revisão dos modelos; também, com que base os sujeitos decidem que o modelo revisado é suficiente?</p>	<p>Cita trabalhos de vários autores sobre a modelagem em R.P.</p>	<p>Vinte estudantes de um curso de Genética de uma escola secundária.</p>	<p>Depois de receberem instrução sobre genética mendeliana clássica, os alunos foram submetidos a uma instrução baseada em R.P. com modelos (“model-based problem solving”) onde eram encorajados a pensar em termos de modelos do conteúdo. Foi utilizado o “software” “Genetics Construction Kit” - GCK (Jungck; Calley, 1984; 1985) para ajudar na revisão do modelo. Seis estudantes foram escolhidos para participar da pesquisa sobre a revisão do modelo, resolvendo problemas cujos protocolos verbais foram gravados e os resultados escritos foram analisados. A intervenção durou nove semanas.</p>	<p>A R.P. baseada em modelos em genética é um empreendimento complexo, mas pode ser aplicada com os estudantes com sucesso. Um comentário relevante é que os tipos de problemas de causa-efeito e efeito-causa geram reações diferentes no desempenho dos alunos, ainda mais quando não requerem algoritmos. Um fator de dificuldade com o “software” GCK foi a inclusão de fenômenos anômalos para os quais os repertórios dos alunos eram inadequados. O trabalho ratifica o papel dos problemas, como na Ciência, de promotor da construção e desenvolvimento da teoria.</p>
<p>34. Finkler, E.A. Biologia (Genética) EUA 1996</p>	<p>Investigação de como estudantes, de uma escola inovadora, colaboram na construção do conhecimento para gerar modelos genéticos.</p>	<p>Piaget, trabalhos na área pós-piagetiana; revisão da literatura em pesquisa em Genética; Latour (1987) sobre a natureza da Ciência e R.P.</p>	<p>Estudantes (N = 25) de escola média, matriculados em curso eletivo de Ciências, com duração de nove semanas.</p>	<p>Após apresentar aos estudantes o uso de modelos, encaminhou-se trabalho na revisão dos mesmos. Foi-lhes aplicado um teste com subsequente acesso a um software de Genética. As discussões entre os alunos foram gravadas.</p>	<p>Os estudantes usaram e referiram-se a três tipos de conhecimento: de genética, do processo de revisão do modelo e de suas próprias estratégias (metacognitivo). Sugestão: professores devem enfatizar seus objetivos com as tarefas de R.P. para os alunos: processo ou produto.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
35. Paton, R.C. Biologia Reino Unido 1996.	Investigar: a) a natureza de algumas das inconsistências e equívocos que ocorrem durante a R.P. sobre um modelo de biosistema (o foco são os modelos icônicos e diagramáticos); b) algumas concepções indevidas (“misconceptions”) e estratégias de ensino para combatê-las.	Cita Barwise e Perry (1985) sobre Lingüística e Filosofia, além de alguns autores enfocando temas sobre modelos de raciocínio inferencial.	Estudantes secundários (N = 17) de curso de Biologia, com 15 anos de idade.	Os estudantes foram entrevistados, individualmente, por dois professores, acerca de uma situação problemática que lhes foi proposta. A análise foi qualitativa.	Respostas ao problema revelaram importância da modelagem para inferir de forma mais adequada. Quanto a propostas: a) visualizar um problema sob diferentes pontos de vista; b) procurar situações isomórficas; c) analisar relações inferenciais – por exemplo, cuidados na interpretação da linguagem natural (ambígua) para “se....então”.
36. Sigüenza Molina A.F. Biologia (genética) Espanha 2000.	Investigar: a) que heurísticas empregam os alunos na construção de um modelo mental durante a R.P. de papel e lápis, no domínio da genética clássica; b) o papel que têm os modelos mentais neste processo; c) se a construção dos modelos mentais influi na elaboração de esquemas causais mais consistentes; d) como é possível intervir na construção e execução destes modelos, para melhorá-los e aumentar a qualidade da aprendizagem.	Psicologia do processamento da informação — teoria dos Modelos Mentais (Johnson-Laird, 1985; Rodriguez e Moreira, 1999; de Kleer e Brown, 1983).	Seis alunos de 1º de bacharelado.	Depois de um curso de cinco semanas em genética mendeliana clássica, centrado em estratégia de R.P., os alunos, reunidos em grupos de três componentes, resolveram 9 tipos de problemas, em um total de 46 problemas, que requeriam explicações, interpretações e predições. O método utilizado na análise dos resultados foi o da descrição sistemática do comportamento dos alunos em entrevistas “teachback” (Gutiérrez e Oghom, 1992) e análise do material escrito durante a R.P.	Do ponto de vista cognitivo, dois processos destacaram-se: i) problemas que requerem raciocínio de causa-e-efeito são resolvidos aplicando um algoritmo ou padrão de resposta; ii) os que requerem raciocínio de efeito-e-causa, necessitam que o aluno opere em um espaço de problema experimental, ainda mais complicado pela inclusão de fenômenos anômalos cujas causas não estão contidas nos repertórios dos alunos — destaca-se o papel dos esquemas, onde a analogia é usada para acomodar fatores causais anômalos e gerar assim modelos executáveis. As dificuldades relacionam-se com a construção do modelo mental do problema e com a seleção daquele que manifeste melhor correspondência com os dados disponíveis; as dificuldades do tipo operatórias estão relacionadas com o uso de certas regras de produção associadas ao mecanismo de construção do modelo mental: se não são executadas corretamente, não são obtidos modelos válidos.

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>37. Johnson, S. K.; Stewart, J. Biologia (Genética) EUA, 2002.</p>	<p>Caracterizar as estratégias que os estudantes usam quando revisam modelos para resolver problemas. Em particular são enfocadas as estratégias que os estudantes usam para reconhecer anomalias em dados, revisar os modelos explicativos à luz dos dados anômalos e avaliar estes modelos revisados.</p>	<p>Cita autores cujos trabalhos diferenciam as estratégias usadas por solucionadores de problemas bem e mal-sucedidos, incluindo os que um dos autores, Stewart (1994; 1995; 2001) participa.</p>	<p>Estudantes sêniores (17-18 anos) de escola secundária com interesse em prosseguir estudos científicos na universidade.</p>	<p>Estudantes foram reunidos em grupos de 3 a 4 participantes; os grupos, em número de 8, foram escolhidos por variarem os níveis de sucesso em resolução de problemas. Durante as aulas foram introduzidos, inicialmente, a um modelo genético (Mendel) e aplicações (R.P.); posteriormente, foram introduzidos a outro modelo (meiótico) e suas aplicações (R.P.), além de participarem de uma discussão entre os modelos concorrentes. Finalmente participaram de três rodadas de R.P. que requeriam que revisassem os modelos explicativos.</p> <p>A análise de resultados refere-se às três rodadas citadas, conversas com cada grupo, a interação com os professores e às gravações feitas enquanto resolviam problemas que requeriam que revisassem os modelos teóricos. Os autores escolheram os resultados de dois grupos como representativos dos demais.</p>	<p>Os grupos manifestaram diferenças para obter o modelo final; o grupo sem sucesso buscou o modelo mais simples para confrontar; o grupo bem sucedido trabalhou diretamente na revisão do modelo até considerá-lo completo. A proposta de resolver problemas reais pretende combater as aulas tradicionais em que resolver problemas é compartilhar resposta com o professor ou livro de texto.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>38. Thomson, N; Stewart, J. Biologia (Genética) EUA 2003</p>	<p>a) Explorar que estratégias e conhecimentos conceituais os geneticistas usam para resolver problemas genéticos que combinam transmissões mendelianas simples e não-mendelianas complexas;</p> <p>b) Investigar a exploração de problemas que conduz à geração de hipóteses, verificação destas hipóteses, avaliação de evidências e revisão de hipóteses como fazem os geneticistas.</p>	<p>Citam trabalhos de autores relativos à inquirição (“inquiry”) em sistemas dinâmicos complexos e problemas.</p>	<p>Seis geneticistas representando três áreas tradicionais de genética (transmissão, molecular e população), usando simulações dinâmicas geradas pelo “kit” de construção genética (GCK) – BioQuest (1998-99).</p>	<p>Antes de introduzir o GCK aos geneticistas, foi-lhes solicitado que resolvessem quatro problemas. Para a análise foram considerados os registros escritos da R.P. dos geneticistas, os protocolos verbais, informações em entrevistas pós-resolução de problemas para ratificar e/ou acrescentar estratégias utilizadas e comentários adicionais. As análises qualitativa e quantitativa dos dados foram baseadas na resolução de problemas como um método de inquirição, pelo qual se constrói uma explicação ligando observações empíricas com teorias.</p>	<p>A maior parte do tempo foi dedicada em explorar os dados que conduziram à geração de hipóteses. Neste período, a exploração e o uso de estratégias de conhecimento-específico são mais intensas; a construção de uma hipótese significativa gasta mais tempo do que a verificação de hipóteses, considerada como procedimento de rotina. Estratégias gerais são úteis em R.P., mas um repertório de conhecimentos conceituais e modelos são imprescindíveis para a solução da tarefa, apesar de não serem suficientes para garantir o sucesso da mesma; para isso, é necessário acrescentar a construção de hipóteses e um foco para mudança da teoria científica, com a validação e a falsificação de hipóteses existentes.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
39. Chin, C. Kayalvizhi, G. Ciências Cingapura 2002.	a) Descobrir os tipos de perguntas que os alunos fazem em investigações científicas abertas; b) Discutir como os professores podem ajudar os alunos a identificar problemas e propor perguntas exequíveis para investigações.	Cita autores cujos trabalhos referem-se aos temas: identificação de problemas e questões de investigações.	Alunos do nível 6 (N = 39), com desempenhos diferenciados e idades entre 11 e 12 anos.	Em sessões experimentais típicas, os alunos faziam investigações, baseadas em atividades de problemas relativamente estruturados. Foram, então, solicitados a realizar duas investigações das quais teriam que identificar o problema e propor questões de investigação. Todo o material escrito, tanto individual como em grupo, foi avaliado qualitativamente e apresentado em tabelas.	O estudo mostrou que alunos de 6º ano propuseram uma variedade de perguntas, nem todas válidas segundo o critério utilizado, evidenciando dificuldades individuais de alguns, mas resultados bem superiores em grupos – após apresentação de exemplos pelo professor. É apresentada uma tipologia de perguntas para que os professores possam utilizar na tentativa de facilitar que os alunos proponham questões relevantes e exequíveis de investigação.
40. Maturano, C.I.; Mazzitelli, C.A.; Macías, A. Ciências Argentina 2003.	Construção e aplicação de um instrumento para avaliar as estratégias que os alunos utilizam no controle da compreensão quando lêem um texto científico curto.	Modelo de Construção–Integração (CI) de Kintsch (1998); cita outros trabalhos sobre o tema.	Alunos (N = 29) de níveis educativos diferentes: 14 alunos, de 1º ano de Polimodal – Ciências (média de 16 anos); 15 alunos, de 2º ano de Licenciatura em Física e em Química (média de 23 anos).	Foi-lhes aplicada prova escrita, constando de um texto curto de ciências – chuva ácida – em que foi introduzido deliberadamente um erro que gerava uma contradição. Depois da leitura, deveriam realizar uma série de atividades. Para o primeiro grupo o texto continha, primeiro, a oração correta, depois a incorreta; o segundo tinha, primeiro, a incorreta, depois, a correta. Foi feita uma análise qualitativa, representada por tabelas e gráficos.	Os alunos mais jovens justificam sua compreensão aludindo ao aspecto léxico; outros crêem ter entendido o texto apesar de não terem se dado conta da contradição; os alunos não são conscientes de que não estão aprendendo; os estudantes universitários mostraram controlar melhor os processos de compreensão (alguns mais no plano léxico) e não crítico.

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
41. Tytler, R.; Peterson, S. Ciências Austrália 2004.	Explora maneiras de caracterizar diferentes dimensões e níveis de raciocínio nas primeiras séries da escola elementar, no contexto de explorações abertas.	Cita vários autores com trabalhos sobre desempenhos de crianças em raciocínio científico, contestando algumas das contribuições de Inhelder e Piaget (1955, 1958) sobre o tema.	Crianças (N = 15) de 1º ano (a partir de 5 anos), de escola elementar com predominância de alto nível socioeconômico.	Pesquisa interpretativa e qualitativa envolvendo visitas à sala-de-aula duas vezes por semana durante cinco semanas, no início e final do ano letivo. Neste meio tempo, as crianças participaram da atividades explorando seus conceitos em três tópicos ou áreas de ciência. Entrevistas clínicas piagetianas foram também utilizadas.	Apresentando um enfoque diferenciado de outros trabalhos, com crianças, encontrados na literatura, a estrutura que embasa este estudo tem como noção fundamental que idéias em ciência devam ser o “motor” nas investigações. Frente a uma variedade de situações exploratórias, o resultado mostrou a amplitude de habilidades das crianças para coordenar o conhecimento e evidências em ciências. Foi percebida uma ligação muito próxima entre os estilos de exploração e o nível de construção do conhecimento — o que faz sentido para a visão construtivista do conhecimento.
42. Gustafson, B.J.; Rowell, P.M. Tecnologia Canadá 1998.	Como crianças propõem começar a resolver problemas tecnológicos uma vez tendo-os identificado.	Cita vários trabalhos envolvendo crianças e problemas tecnológicos.	Crianças entre 5 e 13 anos (N = 336), de escolas elementares de Alberta.	As questões propostas às crianças foram algumas elaboradas pelos autores, outras de outros trabalhos; cada criança recebeu um problema, de acordo com seu nível de desenvolvimento e tinham que escolher entre as sugeridas (tarefa das menores) ou sugerir planos de ações.	A necessidade de um tempo maior para pensar foi uma das características dos resultados.As crianças podem exibir planejamento espontâneo e usar uma variedade de estratégias. O “dar-se conta” (“figure out”) parece ser mais imediato entre as maiores, mas todas o manifestam, dependendo do tempo que lhes é disponibilizado.

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>43. Welch, M. Tecnologia, Canadá, 1999.</p>	<p>Investigar as estratégias de R.P. de estudantes na tentativa de projetar uma solução para um problema tecnológico.</p>	<p>Cita vários trabalhos sobre modelos de processo de projetar (“models of design process”).</p>	<p>Dez estudantes de nível 7, voluntários, escolhidos sob os critérios de poderem trabalhar de forma cooperativa, terem bom rendimento escolar e manterem este bom rendimento.</p>	<p>Divididos em 5 duplas, receberam o problema (escrito) “Torre de Papel” (“Paper Tower”) cujas instruções foram divididas em 3 partes. As conversações entre as duplas e entrevistas foram transcritas depois de audiogravadas. A análise foi qualitativa, incluindo gráficos e tabelas descritivas das ações observadas.</p>	<p>As contribuições deste trabalho são: 1) estar entre os primeiros a gravar e analisar as falas de alunos em educação tecnológica; 2) referendar a análise dos protocolos verbais como método apropriado para investigar comportamento de “designers” não tutoriados.</p> <p>O estudo mostra que as estratégias dos estudantes não se identificam com os modelos teóricos mas, como sugere Hayes (1989), as estratégias-em-ação mostram-se não sistemáticas e resistentes na modelagem em materiais de três dimensões.</p> <p>Sugere o papel dominante de o professor avaliar enquanto os alunos realizam o processo de projetar.</p>
<p>44. Rowell, P.M.; Gustafson, B.J.; Guilbert, S.M. Tecnologia Canadá 1999.</p>	<p>Estudo qualitativo das percepções de engenheiros sobre a resolução de problemas tecnológicos, em contexto de aulas do nível elementar (debate entre “conhecer e fazer”).</p>	<p>Cita autores cujos trabalhos tratam de modelos para RP ou atividades de projetar ou fazer (design-and-make activities).</p>	<p>Engenheiros profissionais (N = 20), de campos diversos: mecânico, estrutural, elétrico e aeronáutico.</p>	<p>Dados foram obtidos de 20 entrevistas individuais, nas quais os engenheiros eram solicitados a descrever como eles trabalhavam em projetos ocupacionais, como se preparavam e como tinham aprendido a R.P. e como achavam que as crianças poderiam ser ajudadas a desenvolver esta habilidade.</p>	<p>Aprender a resolver problemas tecnológicos no contexto de um currículo escolar tem o potencial de acentuar distinções entre adquirir conhecimento e aplicá-lo. Neste estudo, alguns engenheiros descrevem seus trabalhos no sentido de usar “blocos” da ciência para resolver “problemas reais”, mas a atividade de R.P. não é a aplicação principal do conhecimento adquirido, mas sim a construção de possíveis caminhos para a interação com o problema e a procura da informação relacionada com o problema – ponto-de-vista de compreensão funcional.</p> <p>Todos os engenheiros concordam que aprender a resolver problemas tecnológicos requer que a atividade seja praticada.</p> <p>Implicações: professores necessitam desenvolver conhecimentos de conteúdo pedagógico para promover a resolução de problemas tecnológicos; isso requer que professores e engenheiros empreendam uma tarefa colaborativa.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>45.</p> <p>Bielaczyc, K.; Pirolli, P.L.; Brown, A.L.</p> <p>Tecnologia (Programação Computacional)</p> <p>EUA</p> <p>1995.</p>	<p>Investigação da natureza causal da relação de correlação positiva, já investigada, entre estratégias particulares que estudantes usam para explicar para si mesmos materiais instrucionais e desempenho em tarefas de R.P. associadas</p>	<p>Processamento da informação: modelos de processos de aprendizagem orientados por teorias de R.P. e desenvolvimento de habilidades cognitivas (Anderson, 1987; Bereiter e Scardamalia, 1989; Brown, Bransford, Ferrara e Campione, 1983).</p>	<p>Estudantes universitários e recém graduados (n = 24).</p>	<p>Para o grupo experimental (N = 11) foi utilizada uma instrução tutoriada pelo “Carnegie Mellon University LISP Tutor” (Reiser, Anderson e Farrell, 1985), constituída de alguns passos: apresentação da programação LIST, pré-teste, intervenção e pós-teste. A intervenção instrucional apresentou aos participantes o propósito, a forma e o contexto do uso de estratégias por meio de um exemplo que exibia um modelo de um estudante, provendo uma prática guiada na aplicação de estratégias.</p>	<p>O estudo ratificou a correlação entre estratégias de explicação dos estudantes e seu subsequente desempenho em R.P.</p> <p>Possivelmente; a) conceitos e procedimentos são mais lembrados porque existem muitos sinais (“cues”) de recuperação na memória: b) memórias específicas são criadas e sintonizam (“match”) condições de uso em R.P.</p>
<p>46.</p> <p>Ram, A.; Narayanan, S.; Cox, M.T.</p> <p>Tecnologia (Montagem eletrônica)</p> <p>EUA,</p> <p>1995.</p>	<p>Apresenta um estudo de caso, usando um modelo computacional de aprendizagem de conhecimento diagnóstico, baseado em observações de operadores humanos realizando tarefas de controle (“troubleshooting tasks”) do mundo real (teste e reparo).</p>	<p>Processamento da informação, representado pela teoria da aprendizagem introspectiva multi-estratégica (Cox e Ram, 1992b; 1994).</p>	<p>Baseado em protocolos de análises de mais de 300 episódios de resolução de problemas na área de “teste em circuitos” de linha de montagem eletrônica.</p>	<p>O modelo foi implementado em um sistema computacional — META-TS (Cox e Ram, 1992; 1994), que usa vários tipos de conhecimento para o controle de circuitos em uma planta de manufaturação. META-TS foi analisado qualitativamente e quantitativamente a partir de 42 episódios de problemas reais em um período de 2 meses.</p>	<p>Os resultados mostraram que seria válido utilizar-se o META-TS como um modelo de aprendizagem para ensinar problemas técnicos, incluindo conhecimento de domínio específico e conhecimento de heurística geral. É sugerido para novatos.</p>

Autores/ Área de conhecimento/ País/ Ano	Objetivos	Base teórica	Sujeitos envolvidos na pesquisa	Fatores investigados / Metodologia	Resultados/ Fatores relevantes
<p>47. Biemans, H.J.A.; Deel, O.R.; Simons, P.R.-J. Geografia Física Holanda 2001.</p>	<p>Estudo experimental enfocando o uso de uma estratégia particular (CONTACT-2), tipificada por uma ativação, assistida por computador, das concepções pessoais dos estudantes, enquanto processam textos expositivos, visando a mudança conceitual: investigar se a) os estudantes exitosos aprendem melhor os passos do CONTACT-2 do que os menos exitosos; b) os primeiros desempenham melhor os passos do CONTACT-2 do que os últimos.</p>	<p>Abordagens correntes de mudanças conceituais, como Nussbaum e Novick (1989), Strike E Posner (1985; 1992), Prawat (1989) e Ali (1990).</p>	<p>Estudantes de 6º e 10º anos (entre 10 e 13 anos), escolhidos pelo seu nível de compreensão em leitura.</p>	<p>A estratégia é caracterizada por um modelo de ativação heurístico consistindo de 5 passos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) procure suas próprias pré-concepções; 2) compare e contraste-a com a nova informação; 3) formule novos conceitos a partir do passo anterior; 4) aplique novos conceitos; 5) avalie-os. <p>Os estudantes aplicaram as estratégias do CONTACT-2 por meio da apresentação de um texto com procedimentos verbais gravados. Depois, foram submetidos a um pós-teste (nove questões), cujos resultados geraram a classificação entre estudantes exitosos e menos exitosos.</p>	<p>Diferenças qualitativas e quantitativas foram encontradas a favor dos estudantes exitosos no pós-teste, desde o primeiro passo, onde as pré-concepções eram buscadas; aparentemente, estes estudantes têm melhor conhecimento metacognitivo, o que foi demonstrado pela melhor habilidade em comparar e contrastar suas pré-concepções com nova informação.</p>