



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**AS CONCEPÇÕES DOS ESTUDANTES ACERCA DA NATUREZA DO
CONHECIMENTO CIENTÍFICO: CONFRONTO COM A
EXPERIMENTAÇÃO**

Vanderlei Folmer

PPGQVS

Porto Alegre, RS, Brasil

2007

**AS CONCEPÇÕES DOS ESTUDANTES ACERCA DA NATUREZA DO
CONHECIMENTO CIENTÍFICO: CONFRONTO COM A EXPERIMENTAÇÃO**

por

Vanderlei Folmer

Orientador: João Batista Teixeira da Rocha

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde – Instituto de Ciências Básicas da Saúde da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de

MESTRE EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS

PPGQVS

Porto Alegre, RS, Brasil

2007

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BÁSICAS DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS : QUÍMICA
DA VIDA E SAÚDE**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação de Mestrado
**AS CONCEPÇÕES DOS ESTUDANTES ACERCA DA NATUREZA DO
CONHECIMENTO CIENTÍFICO: CONFRONTO COM A EXPERIMENTAÇÃO**
Elaborada por **Vanderlei Folmer** como requisito parcial para obtenção do
grau de Mestre em Educação em Ciências.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Diogo O.G. Souza (Relator - UFRGS)

Prof. Dr. Eduardo A. Terrazan (UFSM)

Prof. Dr. Thomas J. Silva (UFSM)

Porto Alegre, Março de 2007.

SUMÁRIO

Índice de Figuras	iii
Índice de Tabelas	iii
Lista de Abreviaturas	iv
1 APRESENTAÇÃO	v
2 RESUMO	vi
3 ABSTRACT	vii
4 INTRODUÇÃO	1
5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
5.1 O Ensino de Ciências no Brasil.....	3
5.2 Os Professores e o Livro Didático de Ciências	7
5.3 A Investigação-Ação na Formação Continuada	10
5.4 Concepções Alternativas e Mudança Conceitual	15
5.5 Resolução de Problemas	19
6 JUSTIFICATIVA	26
7 OBJETIVOS	27
7.1 Objetivos Gerais.....	27
7.2 Objetivos Específicos	27

8	ARTIGO CIENTÍFICO	28
9	DISCUSSÃO E CONCLUSÕES	61
10	PERSPECTIVAS	70
11	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	- Amoral subscale; (a) Positive items, (b) Negative items.....	55
Figura 2	- Creative subscale; (a) Positive items, (b) Negative items.....	56
Figura 3	- Developmental subscale; (a) Positive items, (b) Negative items	57
Figura 4	- Parsimonious subscale; (a) Positive items, (b) Negative items	58
Figure 5	- Testable subscale; (a) Positive items, (b) Negative items	59
Figure 6	- Unified subscale; (a) Positive items, (b) Negative items.....	60

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1	- Rubba's model of the nature of scientific knowledge	53
Tabela 2	- NSKS subscales and total scores	54

LISTA DE ABREVIATURAS

- AAAS - American Association for the Advancement of Science
- AMO - amoral
- APEOESP – Sindicato dos Professores do Ensino Oficial / SP
- CRE - creative
- DEV - developmental
- EJA - Educação de Jovens e Adultos
- FGV - Fundação Getulio Vargas
- LDB - Lei de Diretrizes e Bases da Educação
- MEC - Ministério de Educação e Cultura
- NOS - Nature of Science
- NRC - National Research Council
- NSKS - Nature of Scientific Knowledge Scale
- NSTA - National Science Teachers Association
- OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
- PAR - parsimonious
- PBL - problem-based learning
- PCN - Parâmetros Curriculares Nacionais
- PISA - Programa Internacional de Avaliação de Estudantes
- PNLD - Plano Nacional do Livro Didático
- RP - Resolução de Problemas
- TES - testable
- UNI - unified
- VCs - Vacation Courses

1 APRESENTAÇÃO

Os resultados que fazem parte desta dissertação estão apresentados na forma de artigo, o qual se encontra no item **ARTIGO CIENTÍFICO**. A Metodologia empregada, os Resultados, a Discussão dos Resultados e as Referências Bibliográficas, encontram-se no próprio artigo e representam a íntegra deste estudo.

No item **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA** encontra-se uma apresentação do estado da arte de alguns tópicos que nortearam de forma direta ou indireta a gênese e o desenvolvimento deste trabalho. O item **DISCUSSÃO E CONCLUSÕES**, encontrado no final desta dissertação, apresenta interpretações e comentários gerais sobre os resultados apresentados.

As **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS** referem-se somente às citações que aparecem nos itens **INTRODUÇÃO**, **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**, **DISCUSSÃO E CONCLUSÕES**, e **PERPECTIVAS** desta dissertação.

2 RESUMO

A educação em Ciências pode auxiliar a população a entender a natureza e a utilidade da Ciência, e contribuir para a formação de cidadãos esclarecidos e atuantes. A partir de tais pressupostos, a proposta deste estudo foi ver se cursos experimentais baseados no aprendizado através da resolução de problemas (RP), com ênfase em fundamentações histórica e epistemológica, podem melhorar o entendimento dos estudantes acerca da natureza do conhecimento científico. Nosso estudo demonstrou que, depois de uma resistência inicial, os estudantes encararam de forma positiva a oportunidade que tiveram para planejar e executar experimentos de seu próprio interesse, ao invés de seguir receitas prontas como ocorre usualmente nas atividades desenvolvidas nos laboratórios escolares. Além disso, houve um aumento significativo nos escores totais, e também nos escores das subescalas criativo, experimental e unificado, conforme a escala “*Nature of Scientific Knowledge Scale*” (NSKS), depois que os estudantes participaram dos cursos; indicando uma melhora no entendimento acerca da natureza do conhecimento científico. De particular interesse, a execução de atividades práticas baseadas na RP com problemas mal-estruturados levou uma grande parte dos estudantes a sentirem que estavam trabalhando criativamente e fazendo Ciência. Deste modo, as atividades propostas neste trabalho poderiam ser expandidas como uma forma de melhorar a educação em Ciências e estimular a formação de uma nova geração de cientistas criativos no Brasil.

Palavras Chave: Educação em Ciências, Resolução de Problemas, Natureza da Ciência, Natureza do Conhecimento Científico, Brasil.

3 ABSTRACT

Science education can help people to understand the nature and utility of science, and contribute to developing informed and active citizen. Hence, the purpose of this study was to see if problem-based learning (PBL) in experimental vacation' courses, with emphasis on the historical and epistemological foundations, can increase students' understanding regarding nature of scientific knowledge. After initial strangeness, our study has shown that students usually rated high the opportunities that they had to plan and execute experiments of their own, instead of following cookbook recipes as usually happens in laboratory classes at school. In addition, post-test scores were significantly higher than pre-test scores on the total Nature of Scientific Knowledge Scale (NSKS), and on creative, testable, and unified NSKS subscales, indicating an improved understanding of nature of scientific knowledge among school students. Of particular interest, the execution of practical activities in PBL form with ill-structured problems led a significant part of students to feel that they were creating and doing science. Therefore, the activities here proposed could be expanded as a form of to improve the science education and to stimulate the formation of a new generation of creative scientists in Brazil.

Keywords: Science Education, Problem Solving, Nature of Science, Nature of Scientific Knowledge, Brazil.

4 INTRODUÇÃO

“A educação científica, em todos os níveis e sem discriminação, é requisito fundamental para a democracia. Igualdade no acesso à ciência não é somente uma exigência social e ética: é uma necessidade para realização plena do potencial intelectual do homem” (UNESCO, 2000).

Nas últimas décadas, acentuou-se o processo de globalização, com repercussões na economia, na política, na cultura e nos demais âmbitos da sociedade. As transformações nos meios de produção, que passaram a se valer do uso das tecnologias para aumentar a produtividade, exigem para o engajamento do trabalhador no processo produtivo, um novo tipo de qualificação, as habilidades requeridas ultrapassam aquelas desenvolvidas tradicionalmente na escola, acarretando, portanto, desdobramentos e conseqüências para a educação.

A nova configuração econômica e social coloca a aprendizagem no centro das atividades humanas, pois o conhecimento torna-se necessário não só para a inserção no mundo do trabalho, mas também para usufruir os benefícios decorrentes do progresso da Ciência e da Tecnologia. Também, ao lado da discussão sobre as novas demandas para a sociedade do conhecimento, é preciso considerar que o mundo globalizado encontra-se acentuadamente dividido entre aqueles que conseguem participar das ocupações produtivas e se beneficiar dos avanços proporcionados pela Tecnologia e aqueles que se encontram à sua margem (ROSÁRIO LIMA & PAAZ, 2006). Deste modo, torna-se urgente erigir uma sociedade com condições de vida harmoniosas e produtivas para todos. A construção dessa realidade implica o engajamento social intenso assegurado por uma proposta educativa que possibilite o acesso a um tipo de conhecimento capaz de ampliar e enriquecer a interpretação de mundo dos sujeitos (HUGHES, 2000).

Contrário a isto, a transmissão de conhecimentos permanece implícita ou explicitamente como principal objetivo a ser atingido pela educação formal, visando atender não apenas às demandas do mercado de trabalho como também às da nossa sociedade. Uma vez que as mudanças infligidas pelo processo tecnológico nas relações sociais vêm tornando-se cada vez mais acentuadas e rápidas, pode-se inferir que tal tipo educação não mais atende às novas necessidades. Também, a

velocidade atual de produção de novos conhecimentos não comporta mais um ensino baseado na sua mera aquisição, mas sim em processos para adquiri-los e manipulá-los rapidamente, tornando-se indispensável que os indivíduos estejam aptos a aprender ao longo de toda a vida.

A Ciência como atividade humana, apresentou um desenvolvimento que pode ser considerado recente em nossa história, e é somente a partir da segunda parte do século XIX que podemos notá-la como atividade institucionalizada em nossas sociedades. A partir deste momento, tornou-se responsável por um aumento exponencial de novos conhecimentos e tecnologias que afetaram de maneira profunda e irreversível a organização e a vida cotidiana dos indivíduos (ROZEMBERG & BIRDZELL, 1990; RODRIGUES & DE MEIS, 1996).

Mesmo assim, a percepção usual que o cidadão leigo tem da Ciência parece advir mais do conhecimento tecnológico que ela propicia do que dos processos de criação e descoberta inerentes a ela. Dentre os fatores responsáveis por este quadro, pode ser destacado que o conhecimento científico apresentado no ensino é diferente das muitas suposições e crenças que os estudantes têm sobre o mundo. Isso decorre do fato de o saber científico requerer a incorporação do mundo dos modelos e teorias da Ciência em lugar de um sistema cognitivo que é muito eficaz no mundo cotidiano, mas que está estruturado por princípios muito diferentes dos que estruturam tais teorias e modelos (POZO, 2004).

Diante deste quadro o sistema de ensino deveria alterar suas metodologias, abandonando a prática pura e simples da memorização do conhecimento em favor da compreensão do processo científico, visando privilegiar a capacidade de atualização e auto-aprendizado do indivíduo. Este panorama, no qual se encontram o ensino e a educação, faz com que os mesmos venham a se deparar com dois grandes desafios a serem vencidos: i) tornar o conhecimento científico acessível aos estudantes através de novas estratégias, métodos e materiais e ii) capacitar estudantes e professores a continuar o aprendizado ao longo de suas vidas através da compreensão dos modelos e teorias da natureza do conhecimento científico.

Com base nesses pressupostos, este trabalho se propõe a investigar as concepções que os estudantes têm a respeito da natureza do conhecimento científico. Da mesma forma, objetivamos verificar a potencialidade da experimentação baseada na resolução de problemas, elaborados pelos próprios estudantes, na modificação de tais concepções.

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1 O ENSINO DE CIÊNCIAS NO BRASIL

As características do ensino, de forma geral, refletem o momento político, econômico e cultural da sociedade. Tal fato é nitidamente percebido quando se faz uma breve análise histórica do ensino de Ciências no Brasil e no mundo.

Mundialmente, o desenvolvimento do ensino de Ciências sempre esteve vinculado aos aspectos político-econômicos da época. Países com longa tradição científica, como Inglaterra, França, Alemanha e Itália, definiram cada um, com suas prioridades e inclinações, o que e como se deve ensinar Ciências, do nível elementar ao superior (DELIZOICOV & ANGOTTI, 1992). No Brasil, o ensino de Ciências foi introduzido no currículo do Ensino Básico como condição para a formação do cidadão e para atender às necessidades do desenvolvimento tecnológico do país (MELO, 2000).

Nas décadas de 1950 e 1960, o ensino de Ciências refletiu a situação do mundo ocidental após a Segunda Guerra Mundial. A industrialização e o desenvolvimento tecnológico e científico que vinham ocorrendo não puderam deixar de provocar choques no currículo. É a fase da realização dos grandes projetos, em que há uma preocupação com a elaboração de bons materiais e a adequação das escolas com toda a estrutura possível, inclusive com laboratórios. As escolas foram transformadas em verdadeiros “clones” de laboratórios, a atividade de ensinar e manipular o laboratório não eram do professor, mas de um *expert* devidamente preparado para esse fim (KRALSICHIK, 2000; MELO, 2000).

Nesse período, houve a substituição da estrutura agro-comercial por uma nova estrutura societária urbano-industrial decorrente do desenvolvimento científico-tecnológico. Abriu-se, assim, espaço para um ensino de Ciências pautado na valorização da participação do estudante no processo de aprendizagem do método científico, por meio de atividades práticas de laboratório, objetivando a formação de futuros cientistas. Também, o novo cenário social provocou mudanças significativas no currículo de Ciências e na educação de base no Brasil, a partir do momento em que passou a considerar a formação do trabalhador como uma peça importante para atender à exigência crescente do desenvolvimento científico-tecnológico. Criou-se, assim, um distanciamento entre o que era ensinado em Ciências e o conhecimento

necessário à produção científica e ao desenvolvimento da tecnologia (SANTOS et al., 2005).

De fato, com a imposição da ditadura militar em 1964, o papel da escola modificou-se, deixando de enfatizar a cidadania para buscar a formação do trabalhador, considerado agora peça importante para o desenvolvimento econômico. Deste modo, as disciplinas ligadas à formação do trabalhador passaram a fazer parte do currículo, o que determinou a fragmentação das matérias científicas sem que houvesse um correspondente benefício na formação do profissional (KRALSICHIK, 2000).

Conforme SANTOS et al. (2005), as manifestações em defesa da educação de base nesse período constituíam-se num campo fértil para a proposta de alfabetização de adultos, que ficou conhecida como "método Paulo Freire". É nessa época que a educação de adultos passa a ser percebida como instrumento de libertação e como percussora de um processo de democratização do ensino popular e de busca pela cidadania, sendo compreendida como a oportunidade de reflexão sobre o mundo, a posição e o lugar do homem nele (MANFREDI, 1981).

Posteriormente, o desenvolvimento de recursos tecnológicos e didáticos quase autônomos e a focalização do professor como gerente dos recursos e fonte de motivação da aprendizagem dos estudantes nas décadas de 1960 e 1970 obscureceram de certa forma a importância do conhecimento científico do docente em favor de habilidades de organização. Neste período o Banco Mundial financiou a realização de alguns projetos didáticos considerados "à prova de professor". Nestes projetos, a qualidade do conteúdo ensinado deveria ser garantida pelo material distribuído aos estudantes e a coordenação das atividades didáticas ficaria a cargo de monitores preparados mediante cursos de treinamento específico, sem a necessidade de uma longa formação na disciplina específica (VILLANI & PACCA, 1997). As licenciaturas de curta duração, em que o conteúdo específico é bastante restrito para dar lugar aos conteúdos de caráter pedagógico, podem ser consideradas a versão brasileira dessa visão (VILLANI & PACCA, 1997).

Por volta da década de 1970, em razão das necessidades geradas pelo desenvolvimento tecnológico do país, o ensino de Ciências, além de visar à formação de cientistas, passa a incorporar mais um objetivo: permitir a vivência do método científico como necessário à formação do cidadão, buscando elaborar um currículo de Ciências que pudesse integrar Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS). Começava-se, assim, a se pensar na democratização do ensino destinado ao

homem comum que tinha que conviver com o produto da Ciência, da Tecnologia, e do qual se requeria conhecimento, não apenas como especialista, mas também como futuro político, profissional liberal, cidadão, enfim. Sendo capaz de discutir e refletir acerca das implicações sociais do desenvolvimento científico e a neutralidade da Ciência (DELIZOICOV & ANGOTTI, 1992).

Na década de 1980, tendência reproduzida nos anos seguintes, a atenção volta-se ao processo de construção do conhecimento científico pelo estudante. A partir do surgimento de diferentes correntes construtivistas, começou a haver uma circulação de pequenos projetos, centrados na escola e no professor (VILLANI & PACCA, 1997). Além disso, diante da necessidade de atender aos movimentos educacionais progressistas da época, e garantir a todos o acesso ao conhecimento exigido pelo novo modelo societário, o direito à educação de base, estendido aos jovens e adultos, é assegurado pela Constituição Federal Brasileira de 1988.

Na atualidade, seguindo a tendência da educação de uma forma geral, as atenções do ensino de Ciências Naturais têm como base a idéia de cidadania e a formação de professores com novos perfis profissionais. Ainda assim, apesar da preocupação com o desenvolvimento pleno do indivíduo, o tema cidadania não foi incorporado por grande parte dos docentes que atuam nas mais diversas disciplinas. Foi no contexto da formação do cidadão, do homem comum e do trabalhador, que a Constituição Federal Brasileira de 1988, atendendo aos movimentos educacionais progressistas da época, instituiu, pela primeira vez no plano legal, o direito ao Ensino Fundamental, inclusive aos que a ele não tiveram acesso na idade própria, incluindo, os jovens e adultos.

A ideologia de promoção de cidadãos por meio da educação também foi contemplada na LDB - Lei de Diretrizes e Bases da Educação nº 9394/96 (BRASIL, 1996), no artigo 22, que dispõe sobre a Educação Básica, o qual afirma que:

“A educação básica tem por finalidades desenvolver o educando, assegurar-lhe a formação comum indispensável para o exercício da cidadania e fornecer-lhe meios para progredir no trabalho e em estudos posteriores.”

Sobre a Educação Fundamental, o Art. 32 assim assegura:

“O Ensino Fundamental (...) terá por objetivo a formação básica do cidadão (...).”

Dessa forma, a educação passou a ser legalmente reconhecida como instrumento social básico, capaz de possibilitar ao indivíduo a transposição da

marginalidade para a materialidade da cidadania, não sendo possível pensar sua conquista sem a aquisição do saber.

Também no ano de 1996, os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) para o ensino de Ciências Naturais de 5° a 8° séries do Ensino Fundamental (PCN, 1996) elegeram como um dos objetivos da disciplina a compreensão da cidadania como prática coletiva dos direitos e deveres políticos, civis e sociais, conforme o destaque:

“O estudante não é só cidadão do futuro, mas já é cidadão hoje, e, nesse sentido, conhecer ciências é ampliar a sua possibilidade presente de participação social e desenvolvimento mental, para assim viabilizar sua capacidade plena de exercício da cidadania.”

Entretanto, ainda que o sistema brasileiro de ensino tenha aberto espaço para debates no que se refere à educação para a cidadania, pouco se tem discutido sobre como tratar o tema em disciplinas específicas como Ciências Naturais. Essa constatação, aliada às exigências da sociedade contemporânea em relação ao desenvolvimento da Ciência, seus resultados e suas aplicações tecnológicas, remete à necessidade de um ensino de Ciências Naturais voltado para o exercício do senso crítico, visando ao desenvolvimento de uma percepção aguçada a respeito dos impactos sociais, culturais e ambientais, decorrentes dos avanços científicos e tecnológicos.

Tal abordagem é meta recomendada pela LDB para o ensino da área de Ciências na Escola Fundamental. É também nesse sentido que os PCN da disciplina sugerem a articulação entre os quatro blocos temáticos Ambiente, Ser Humano e Saúde, Recursos Tecnológicos e Terra e Universo. Como sugere o documento, o tratamento dos conteúdos deve favorecer a construção de uma visão de mundo, que se apresenta como um todo formado por elementos inter-relacionados.

Ainda, a proposição do Ministério de Educação e Cultura (MEC), para a área das Ciências Naturais na Educação de Jovens e Adultos (EJA), organiza-se em torno de quatro eixos temáticos, articulando vários conteúdos a serem enfatizados pelo professor de acordo com as particularidades da turma e da comunidade em que se situa a escola: Terra e Universo, Vida e Ambiente, Ser Humano e Saúde, Tecnologia e Sociedade (SANTOS et al., 2005). A escolha dos conteúdos dentro de cada um desses eixos temáticos deve ter como critério principal sua relevância social, cultural e científica, de modo a contribuir na qualificação da vida, em âmbito individual e coletivo.

Assim, sobre o tema Vida e Ambiente, espera-se que sejam selecionados conteúdos que permitam aos sujeitos, no exercício de sua cidadania, tornarem-se sensíveis e capazes de propor soluções para esse preocupante problema mundial, a partir da conscientização da relação do ser humano com o seu meio. No eixo Ser Humano e Saúde, entende-se que devam ser privilegiados conteúdos que auxiliem a manutenção da existência, por possibilitarem ao estudante a ampliação de seu entendimento sobre os fenômenos biológicos relacionados ao corpo, à saúde e à sexualidade. Sobre o tema Tecnologia e Sociedade, deve-se promover a organização dos conteúdos de modo a relacioná-los, principalmente, com as competências necessárias para a integração ao mundo do trabalho.

O trabalho com os eixos temáticos propostos torna-se mais consistente, em termos de uma formação que permita ao sujeito atuar numa sociedade complexa e em permanente transformação, quando associados ao desenvolvimento dos temas transversais, sugeridos nos PCN's. Além de Meio Ambiente, Saúde e Orientação Sexual, o PCN propõe a incorporação ao ensino de Ciências de temas como Trabalho e Consumo, Ética e Pluralidade Cultural (BRASIL, 1996).

Conforme SANTOS et al. (2005) estes são alguns aspectos que podem nortear a escolha dos conteúdos a constituir uma proposta pedagógica na área das Ciências, afinada com as demandas sociais da atualidade. Entretanto, salientam os autores ser essencial repensar a metodologia de trabalho, de modo a deslocar o estudante da condição passiva e dependente cujas principais atividades são a repetição e a cópia, para a condição de sujeito atuante nas aprendizagens realizadas, por meio do uso de estratégias de ensino que exijam dele a busca de informações, a elaboração própria e a permanente reconstrução do conhecimento.

5.2 OS PROFESSORES E O LIVRO DIDÁTICO DE CIÊNCIAS

Em pesquisa realizada com 180 professores de Ciências de escolas públicas do Ensino Fundamental, de diversas cidades da região de Campinas-SP, foram analisadas as concepções e práticas desses professores sobre o livro didático de Ciências (MEGID NETO & FRACALANZA, 2003). Os dados foram coletados por pesquisadores do Grupo FORMAR-Ciências, da Faculdade de Educação da Universidade Estadual de Campinas, durante cursos de extensão apoiados pela APEOESP – Sindicato dos Professores do Ensino Oficial do Estado de São Paulo.

Um dos temas desenvolvidos no curso abrangia o livro didático e seu papel no ensino de Ciências.

Na pesquisa realizada pelo grupo FORMAR-Ciências, quando os professores foram questionados se os critérios que utilizavam para a escolha dos compêndios são específicos para os livros didáticos de Ciências, ou se poderiam ser empregados para avaliar e selecionar livros didáticos de outras disciplinas escolares, eles se surpreenderam. Após várias reflexões, acabaram por considerar que, à exceção da presença de “atividades experimentais” e “riscos físicos”, a relação de características/critérios de um manual escolar por eles indicada pode também ser utilizada para análise de livros didáticos de outras áreas do currículo escolar, como Português, Matemática, História ou Geografia (MEGID NETO & FRACALANZA, 2003).

Ao analisar os critérios eliminatórios e classificatórios dos Guias do MEC divulgados a partir de 1996, é possível encontrar somente no Guia de 2000/2001 um único critério dentre aqueles colocados em destaque – *riscos à integridade física do estudante* – que representa alguma especificidade do ensino de Ciências (BRASIL, 2000). Trata-se de um critério mais diretamente ligado à realização de atividades experimentais com materiais ou equipamentos passíveis de provocar danos à saúde do estudante.

Em suma, MEGID NETO & FRACALANZA (2003) concluem que nem os professores de Ciências com quem trabalharam, nem os especialistas da equipe de Ciências dos Guias divulgados a partir de 1996 estabelecem – como critérios para avaliação de livros didáticos – os atributos mais específicos do ensino de Ciências; ou seja, os fundamentos ou bases teórico-metodológicas que demarcam e distinguem o campo curricular das Ciências Naturais das demais disciplinas do currículo escolar. Conforme mencionado pelos autores, o primeiro documento de avaliação de livros didáticos do Plano Nacional do Livro Didático (PNLD), publicado em 1994, foi uma exceção, indicando sensível preocupação com as questões de base do ensino de Ciências, muito embora não tenha sido considerado nos Guias de avaliação que o sucederam.

Apesar de todos os esforços empreendidos até o momento, ainda não se alterou o tratamento dado ao conteúdo presente no livro que configura o conhecimento científico como um produto acabado, elaborado por mentes privilegiadas, desprovidas de interesses político-econômicos e ideológicos, ou seja, que apresenta o conhecimento sempre como verdade absoluta, desvinculado do

contexto histórico e sociocultural. Aliás, conforme MEGID NETO & FRACALANZA (2003), usualmente os livros escolares utilizam quase exclusivamente o presente atemporal (presente do indicativo) para veicular os conteúdos. Desse modo, apresenta-os como verdades que, uma vez estabelecidas, serão sempre verdades (AMARAL & MEGID NETO, 1997). Os livros escolares também não modificaram o habitual enfoque ambiental fragmentado, estático, e antropocêntrico, sem localização espaço-temporal. Tampouco substituíram um tratamento metodológico que concebe o estudante como um ser passivo, depositário de informações desconexas e descontextualizadas da realidade.

Todas as deficiências presentes nos manuais escolares no tocante aos fundamentos teórico-metodológicos do ensino de Ciências parecem extremamente difíceis de serem modificados nas coleções existentes hoje no Brasil. De fato, parece ser necessário, em quase todos os casos, reescreverem-se por completo cada livro didático e cada coleção tornada disponível pelo mercado editorial aos professores e seus estudantes (MEGID NETO & FRACALANZA, 2003).

De acordo com MEGID NETO & FRACALANZA (2003), os professores mantêm forte expectativa, ou crença, de que as coleções correspondem a uma expressão fiel das propostas e diretrizes curriculares e do conhecimento científico. Todavia, por julgar que isto é de difícil consecução, frente aos livros escolares que conhecem, atenuam suas pretensões, acreditando que ao menos essas coleções são versões adaptadas das propostas curriculares e do conhecimento científico.

De fato, os autores de livros didáticos, juntamente com os editores, difundem como estratégia mercadológica que os livros são fiéis representantes tanto do conhecimento científico como das diretrizes curriculares oficiais. Do ponto de vista do conhecimento científico, os autores indicam que o livro apresenta informações científicas atuais e corretas, as quais sofrem pequenas adaptações em vista de uma divulgação de caráter didático (AMARAL & MEGID NETO, 1997). Quanto a acompanhar fidedignamente os programas curriculares oficiais, autores e editoras reforçam que os respectivos livros atendem aos avanços da psicologia educacional, da metodologia do ensino e às diretrizes curriculares oficiais. Para isso, invariavelmente nas capas das obras estampam expressões do tipo “*de acordo com os PCN’s*”, ou “*edição reformulada para atender a avaliação do MEC*” (MEGID NETO & FRACALANZA, 2003).

Ainda conforme MEGID NETO & FRACALANZA (2003), quanto ao conhecimento científico veiculado nos livros didáticos de Ciências, não se nota

qualquer mudança substancial nas duas ou três últimas décadas. As coleções enfatizam sempre o produto final da atividade científica, apresentando-o como dogmático, imutável e desprovido de suas determinações históricas, político-econômicas, ideológicas e socioculturais. Realçam sempre um único processo de produção científica – o método empírico-indutivo – em detrimento da apresentação da diversidade de métodos e ocorrências na construção histórica do conhecimento científico (MEGID NETO & FRACALANZA, 2003).

Pode-se dizer, então, que o conhecimento apresentado aos professores e seus estudantes pelos livros didáticos de Ciências situam-se entre uma versão adaptada do produto final da atividade científica e uma versão livre dos métodos de produção do conhecimento científico (MEGID NETO & FRACALANZA, 2003). Logo, o livro didático não corresponde a uma versão fiel das diretrizes e programas curriculares oficiais, nem a uma versão fiel do conhecimento científico. Não é utilizado por professores e estudantes na forma intentada pelos autores e editoras, como guia ou manual relativamente rígido e padronizado das atividades de ensino-aprendizagem. Acaba por se configurar, na prática escolar, como um material de consulta e apoio pedagógico à semelhança dos livros paradidáticos e outros tantos materiais de ensino. Introduz ou reforça equívocos, estereótipos e mitificações com respeito às concepções de Ciência, Ambiente, Saúde, Tecnologia, entre outras concepções de base intrínsecas ao ensino de Ciências Naturais.

Uma alternativa a este quadro seria a farta literatura acadêmica e científica sobre o livro didático ou propostas alternativas a esse recurso pedagógico que os pesquisadores, usualmente vinculados a Instituições de Ensino Superior com cursos de pós-graduação, produzem. Entretanto, os resultados de suas pesquisas são divulgados mediante publicações em revistas especializadas ou, então, em eventos científicos. Isto faz com que poucas das informações assentadas pelas investigações cheguem aos professores, pois, muitos dos trabalhos circulam quase que exclusivamente na própria academia ou, então, não são convenientemente divulgados (MEGID NETO & FRACALANZA, 2003).

5.3 A INVESTIGAÇÃO-AÇÃO NA FORMAÇÃO CONTINUADA

Baseados no seu processo de escolarização e na forma como foram

educados, os futuros professores, quando iniciam seus cursos de licenciatura, já possuem concepções sobre o ato de ensinar. Segundo essas concepções, para ensinar basta conhecer o conteúdo e utilizar algumas técnicas pedagógicas. Com base nesse modelo, os currículos de formação profissional tendem a separar o mundo acadêmico do mundo da prática. Assim, propiciam um sólido conhecimento básico-teórico no início do curso, com subseqüentes disciplinas de Ciências aplicadas desse conhecimento para, ao final, chegarem à prática profissional com os estágios. Esse modelo concebe e constrói o professor como técnico, pois entende a atividade profissional como essencialmente instrumental e dirigida para a solução de problemas mediante a aplicação de teorias e técnicas.

No entanto, conforme MALDANER & SCHNETZLER (1998) há sérios condicionantes que conferem pouca efetividade a essa formação, pois os problemas nela abordados são abstraídos das circunstâncias reais, constituindo-se em problemas ideais que não se aplicam às situações práticas, ou seja, instaura-se o distanciamento entre teoria e prática. Da mesma forma, a formação dita "pedagógica" é dissociada da formação científica específica, configurando caminhos paralelos que quase nunca se cruzam ao longo do curso (MALDANER & SCHNETZLER, 1998). Mesmo com relação ao conhecimento ou domínio do conteúdo a ser ensinado, as necessidades docentes vão além do que habitualmente é contemplado nos cursos de formação inicial; implicando conhecimentos profissionais relacionados à história e filosofia das ciências, às orientações metodológicas empregadas na construção do conhecimento científico, as relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade, e perspectivas do desenvolvimento científico (MALDANER & SCHNETZLER, 1998).

No propósito de contribuir para a melhoria da formação docente, vários trabalhos na área da Didática das Ciências vêm incorporando a idéia do professor-reflexivo/pesquisador. Estes consideram a reflexão e a investigação sobre a prática docente como necessidades formativas, tornando-se constitutivas das próprias atividades do professor, como condições para o seu desenvolvimento profissional e melhoria de sua ação docente.

De acordo com SCHNETZLER (2002), tais trabalhos apontam que programas de formação inicial ou continuada precisam contemplar certas necessidades formativas de professores, tais como: i) dominar os conteúdos científicos a serem ensinados em seus aspectos epistemológicos e históricos, explorando suas relações com o contexto social, econômico e político; ii)

questionar as visões simplistas do processo pedagógico de ensino, usualmente centradas no modelo transmissão-recepção e na concepção empirista-positivista de Ciência; iii) saber planejar, desenvolver e avaliar atividades de ensino que contemplem a construção-reconstrução de idéias dos estudantes; iv) conceber a prática pedagógica cotidiana como objeto de investigação, como ponto de partida e de chegada a reflexões e ações pautadas na articulação teoria-prática.

Nesses termos, é fundamental que licenciados em Ciências sejam iniciados na prática da pesquisa educacional e que professores universitários estabeleçam parcerias entre si e com professores de Ensino Médio e Fundamental como forma de serem introduzidos na investigação didática e no processo contínuo de desenvolvimento profissional.

Ademais, segundo SCHNETZLER (1996), há três razões principais para justificar a formação continuada de professores:

- a) A necessidade de contínuo aprimoramento profissional e de reflexões críticas sobre a própria prática pedagógica, pois a efetiva melhoria do processo ensino-aprendizagem só acontece pela ação do professor;
- b) A necessidade de superar o distanciamento entre contribuições da pesquisa educacional e a sua utilização para a melhoria na sala de aula, implicando que o professor seja também pesquisador de sua própria prática;
- c) Em geral, os professores têm uma visão simplista da atividade docente, ao conceberem que para ensinar basta conhecer o conteúdo e utilizar algumas técnicas pedagógicas.

Assumindo a associação ensino/pesquisa como premissa básica do desenvolvimento profissional de professores, é preciso considerar que a pesquisa educativa pode se dar em diferentes níveis de investigação. CARR & KEMMIS (1988) discutem estes níveis e suas implicações na formação docente, apoiando-se no pensamento de HABERMAS (1974) que, por sua vez, considera o saber resultado da atividade humana impulsionada por necessidades naturais e por interesses apontados como “constitutivos dos saberes”, que seriam: o técnico, o prático e o emancipatório.

O técnico é aquele que movimenta os seres humanos para adquirir conhecimentos que levam ao controle técnico dos objetos naturais. O conhecimento que resulta desse tipo de interesse é tipicamente instrumental, na forma de explicações científicas. O interesse técnico é supostamente “desinteressado”. Por

outro lado, o prático gera um conhecimento de natureza interpretativa, capaz de informar e orientar o juízo prático sendo delimitado por significados subjetivos. Nessa perspectiva, todos os sujeitos participantes validam o conhecimento produzido. O emancipatório investe na possibilidade de superar a limitação dos significados subjetivos em direção a um saber emancipador cujo marco de referência objetivo permite a comunicação e a ação social, mediante processos reflexivos.

A partir do delineamento desses três níveis de investigação, CARR & KEMMIS (1988) apontam a importância do pesquisador não ser um mero “espectador”, pois, assim ele até pode interpretar ou informar as práticas observadas, mas não as constitui, portanto, fica restringido na sua capacidade de transformá-las. Deste ponto de vista, o êxito da ação deste “crítico amigo” se verifica à medida que aqueles que agem no processo educativo conseguem melhorar suas práticas, seus auto-entendimentos e as situações e instituições nas quais trabalham. Em outras palavras, o sucesso da investigação educativa conduzida por agentes externos (“assessores”) não se avalia em função da quantidade de experiência e trabalho que os professores conseguiram realizar a favor da literatura, mas sim, em função da contribuição para a melhoria educativa nas situações reais e concretas da prática pedagógica (SANTOS ROSA & SCHNETZLER, 2003).

Conforme SANTOS ROSA & SCHNETZLER (2003), a contribuição do “crítico amigo” não deve permitir que se perca de vista a valorização da conversão dos professores em investigadores de suas próprias práticas. A investigação-ação procura envolver as pessoas, mostrando a importância de se tornarem solidárias às necessidades de outras. Nesse sentido, a investigação-ação se coloca como alternativa para a construção de uma tradição educacional de produção de conhecimento.

As concepções de ensino vigentes no pensamento docente, via de regra, estão relacionadas com a forma como se representa a aprendizagem, o papel do professor, o pensamento do estudante e a natureza do conhecimento a ser ensinado (SANTOS ROSA & SCHNETZLER, 2003). Desta forma, do ponto de vista técnico, o professor é visto como um implementador de propostas curriculares, um transmissor de saberes e um avaliador de “produtos” de aprendizagens. Isto porque, na racionalidade técnica, a aprendizagem é o produto obtido através da elaboração de um conhecimento de interesse tipicamente instrumental, na forma de explicações científicas.

Assim, o estudante é concebido como um sujeito que não possui idéias explicativas que sejam prévias ao processo de ensino. Sua mente é supostamente “tábula-rasa”, de tal forma, que suas manifestações não são consideradas no planejamento do processo de ensino. Atrelado a tais concepções, o conteúdo de ensino é compreendido como um corpo de dados, fatos e leis a ser transmitido aos estudantes, dentro de uma abordagem positivista que coloca a teoria determinando a prática. Esta abordagem tende a reforçar a estaticidade, não o desenvolvimento do pensamento (CARR & KEMMIS, 1988). A concepção técnica de ensino que emerge a partir deste quadro é a de um tipo de processo que se desenvolve através de aulas expositivas teóricas antecedendo propostas de questões e exercícios, encadeando uma seqüência alicerçada na base epistemológica que prevê o provimento do saber teórico, para posterior contextualização em situações práticas.

Contraopondo-se à categoria do técnico, a racionalidade prática implica em concepções que procuram levar em conta a complexidade da ação docente. Do ponto de vista do prático, o professor é um facilitador do diálogo, da comunicação e da participação entre pares. É incitador de projetos pessoais, valorizando os saberes dos estudantes, concebidos como sujeitos autônomos com identidades próprias (SANTOS ROSA & SCHNETZLER, 2003). O conteúdo de ensino é concebido como conhecimento próprio para informar e orientar o juízo prático e é o interesse prático que permite a comunicação entre os sujeitos, levando em conta também condições objetivas do conhecimento. A Ciência é apresentada como construção histórica; discute-se o caráter provisório das teorias científicas, buscando valorizar a relação de diálogo entre sujeitos e objetos de estudo. Assim, a aprendizagem é alcançada através da mediação dos significados que emergem nas falas dos estudantes e do professor nas interações durante as aulas (FREIRE, 1998). A partir desta configuração, na racionalidade prática, o ensino é centrado na inserção social do estudante através de um processo participativo, ampliando sua capacidade de apropriação da linguagem científica como mediação na compreensão dos fenômenos.

As concepções de ensino que sustentam o valor da mediação pedagógica e a elaboração conceitual, através da linguagem, relacionam-se com concepções de aprendizagem, professor, estudante e conteúdo de ensino que superam o modelo da racionalidade técnica, à medida que embasam suas ações no diálogo entre participantes, na construção histórica de conhecimentos e no respeito aos diferentes saberes (SANTOS ROSA & SCHNETZLER, 2003).

Na perspectiva da investigação-ação, a tensão entre o entendimento retrospectivo e a ação prospectiva se mantém durante as interações no grupo de professores, consolidando o desenvolvimento de um processo participativo e colaborativo, à medida que se trabalha coletivamente na análise da práxis individual (CARR & KEMMIS, 1988). Numa abordagem interpretativa, os investigadores envolvidos no processo validam igualmente os resultados obtidos. Sendo assim, não há uma formação unilateral que é fomentada pelo professor universitário, mas sim formações que se desenvolvem continuamente na interação dialógica entre os diferentes participantes do processo.

5.4 CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS E MUDANÇA CONCEITUAL

Tradicionalmente, o ensino de Ciências nos diferentes níveis de escolaridade sempre esteve centrado na memorização de conteúdos (fatos e leis), na realização de atividades de mecanização e na aplicação de regras à resolução de questões semelhantes às anteriormente apresentadas e resolvidas pelo professor (COSTA, 1999). Esta visão mecanicista entendia Ciências como um corpo organizado de conhecimentos e regras a aprender e a aplicar sem qualquer ligação com a realidade.

Este ensino de Ciências era marcado por um domínio de objetivos cognitivos de nível menos sofisticado, consistindo essencialmente na aquisição de fatos e leis e de regras para resolução de exercícios. Tal ensino de Ciências conduzia o estudante à aquisição de um conjunto de conhecimentos teóricos e de técnicas para aprender novas técnicas e novos conhecimentos igualmente teóricos em estudos posteriores, assim como obter os mecanismos necessários e suficientes para dar resposta aos testes nas avaliações (COSTA, 1999).

Os currículos e os programas eram elaborados tendo em vista as necessidades de estudos posteriores, centrando-se quase exclusivamente na aquisição de capacidades intelectuais, sem qualquer preocupação no desenvolvimento das capacidades afetivas e sociais. Esquecidos eram também os conhecimentos adquiridos pelos estudantes fora da escola, conhecimentos esses que, juntamente com as suas concepções e atitudes face às Ciências, influenciam fortemente a aprendizagem. A importância destes conhecimentos prévios no

processo de ensino-aprendizagem foi bem sublinhada por AUSUBEL (1980) ao defender como fator com maior influência na aprendizagem o conhecimento que os estudantes já possuem, e ao recomendar que se esclareça primeiro o que os estudantes sabem e se ensine de acordo com esse conhecimento.

A aprendizagem mecânica ou memorística se caracteriza pela absorção literal e não substantiva do novo material, gerando interações fracas com a estrutura cognitiva. Contrariamente, uma interação mais plena e inter-relacionável de um novo saber com a matriz cognitiva, identifica uma Aprendizagem Significativa (AS), gerando vínculos mais estáveis e indissociáveis (AUSUBEL, 1980).

A concepção de ensino-aprendizagem de Ausubel, seguindo a visão “construtivista/cognitivista” de que os significados são construídos a partir de interações entre as novas idéias e aspectos específicos da estrutura cognitiva, propõe algumas condições básicas para a AS:

- a) Considerar os conhecimentos prévios dos estudantes, percebendo em que estágio cognitivo se encontra o educando, para a partir dessas “âncoras” propor estratégias de ensino;
- b) O material de ensino deve ser potencialmente significativo, ou seja, deve ser relevante e adequado à estrutura cognitiva do educando;
- c) O aprendiz deve estar disposto a relacionar o novo conhecimento de forma substancial à sua estrutura cognitiva.

Numa perspectiva empiro-indutivista, como prega o modelo construtivista, é clara a necessidade de os estudantes se relacionarem com os fenômenos sobre os quais se referem os conceitos, fazendo da sala de aula um espaço de investigação constante, levando a uma reflexão constante (SCHNETZLER, 2002). Assim, os estágios de evolução do pensamento e as idéias prévias do indivíduo, arquitetadas num ambiente sociocultural e histórico, devem ser tomados como elementos fundadores da aprendizagem (MORTIMER & CARVALHO, 1996).

Nessa linha, pesquisas têm evidenciado que concepções “errôneas” sobre inúmeros conceitos científicos são detectadas mesmo após os estudantes terem freqüentado e sido aprovados em cursos de Ciências. Se, por um lado, tais resultados apontam para a resistência à mudança das concepções prévias dos estudantes, por outro, associam a persistência das mesmas ao fato da maioria dos professores de Ciências ainda não as levarem em conta, pois não ensinam a partir delas (CACHAPUZ et al., 2001).

O argumento base para o levantamento das concepções está em que se faz

necessário compreender como os estudantes constroem suas idéias, suas representações da realidade, a partir de seus próprios referenciais – seu meio ambiente e sua lógica – que é distinta daquelas do professor e da Ciência. Cabe ao professor orientar seu discurso e atividades a fim de que os estudantes possam identificar outras formas de “ver” os fenômenos, de pensar e de falar mais de acordo com a Ciência atual (GOMEZ-MOLINÉ E SANMARTÍ, 2002).

Durante alguns anos, pareceu haver consenso entre pesquisadores que o estudante deveria se sentir insatisfeito ou “em conflito” com sua concepção a fim de mudá-la ou substituí-la. Mudança conceitual foi o termo empregado para designar a transformação ou a substituição de crenças e idéias ingênuas (concepções prévias, alternativas) de estudantes sobre fenômenos sociais e naturais por outras idéias, mais sofisticadas e cientificamente aceitas, no curso do processo de ensino-aprendizagem (CACHAPUZ et al., 2001). Nesse sentido, ao ensino caberia promover tal conflito principalmente pelo confronto entre as concepções dos estudantes e os resultados de atividades experimentais.

No entanto, estas propostas construtivistas manifestam a mesma epistemologia aristotélico-empirista, enfatizando a observação científica segundo óculos conceituais próprios ou “teorias” específicas do sujeito (MATTHEWS, 1992). Em outras palavras, os construtos teóricos da Ciência, produtos da elaboração e criação humana, e que nos permitem explicar, interpretar e prever fenômenos, não provém diretamente da observação e são, portanto pouco prováveis de serem construídos e aprendidos pelos estudantes apenas a partir da observação de experimentos, sem o apoio do professor (DRIVER et al., 1994). Ao contrário, os estudantes precisam ser introduzidos a idéias validadas por uma comunidade científica, o que leva à consideração de que o professor é um mediador que possibilita o acesso dos estudantes às mesmas.

Como as concepções dos estudantes podem ser antagônicas às idéias cientificamente aceitas, porque podem ser construídas conforme características do senso comum - pautada por idéias pragmáticas, presas ao sensível, ao visual, utilitárias -, há visões distintas entre estudante e professor que precisam ser expressas e negociadas (DRIVER et al., 1994). Por isso, a interação educativa, em qualquer nível de escolaridade, implica negociação de significados (DRIVER et al., 1994). Logo, o ensino não pode ser visto simplesmente como um processo de reequilíbrio, no qual a exposição dos sujeitos a situações de conflito levaria à superação das concepções prévias e à construção de conceitos científicos.

Nesse sentido, aprender Ciências é visto como um processo de “enculturação” (DRIVER et al., 1994), ou seja, a entrada numa nova cultura diferente da cultura do senso comum. Nesse processo, as concepções prévias do estudante e sua cultura cotidiana não têm que, necessariamente, ser substituídas pelas concepções da cultura científica. A ampliação do seu universo cultural deve levá-lo a refletir sobre as interações entre as duas culturas, mas a construção de conhecimentos científicos não pressupõe a diminuição do status dos conceitos cotidianos, e sim a análise consciente das suas relações (NANNI, 2004).

Assim, de acordo com MOREIRA (1999) *“é uma ilusão pensar que algumas aulas de Ciências bem dadas poderão levar à mudança conceitual no sentido de abandono definitivo dos significados alternativos e da adoção dos significados científicos”*. Uma opção para superar esse bloqueio e substituir as concepções prévias por concepções científicas mais adequadas seria propor estratégias de ensino que atendam às condições para a ocorrência da aprendizagem significativa, criando oportunidades para que ocorra a resignificação dos contextos aceitos.

É possível interpretar as concepções espontâneas dos estudantes como obstáculos epistemológicos ao entendimento das teorias e modelos da Ciência, no entanto, esta visão não deve necessariamente ser tratada como algo negativo. Uma visão mais ‘conciliadora’ de obstáculo epistemológico no que tange a sua relação com as representações ou concepções alternativas dos estudantes é dada por GOMEZ-MOLINÉ E SANMARTÍ (2002) caracterizando-as como *“formas de pensar (...) antigas estruturas tanto conceituais como metodológicas, que poderiam ter no passado certo valor, porém, no momento atual, se contrapõem ao progresso do conhecimento científico”*. Neste sentido, surge um ponto de contato entre o mundo do indivíduo e o mundo da Ciência, o primeiro não pensa *errado*: pensa através de uma visão epistemológica que pode se relacionar com um período da História da Ciência.

Deste modo, a história e a epistemologia da Ciência podem ser utilizadas com o intuito de provocar a mudança conceitual, na perspectiva da existência de uma estreita relação entre a forma de pensar dos estudantes e a forma como foi pensada a Ciência nos séculos passados. Por exemplo, SANTOS (1991) coloca que a história e a epistemologia da Ciência podem fundamentar e informar estratégias de ensino e vias de pesquisa na educação em Ciências. Essa autora também defende a idéia de que a mudança conceitual tanto deve ser feita progressivamente, em continuidade até que o estudante se aproxime de outros conceitos intermediários, quanto por

rupturas, em descontinuidades que separam o conhecimento do senso comum do conhecimento científico, porém não havendo uma simples substituição de um conhecimento pelo outro.

Para WANDERSEE (1985), os conteúdos da história da Ciência podem ser um “dispositivo heurístico poderoso” para encorajar estudantes a descobrirem suas próprias concepções, podendo os educadores em Ciências investigar e explorar a aplicação da história nessa perspectiva. Dessa forma, segundo o autor, a história e a epistemologia podem ser não apenas uma forma de diagnosticar as concepções alternativas, mas também uma forma estratégica para promover a mudança conceitual.

5.5 RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS

A Resolução de Problemas (RP) pode ser vista como uma estratégia de ensino e de aprendizagem. Inicia-se sempre pela definição de um problema a investigar e os conteúdos científicos não são vistos como unidades descontextualizadas, mas antes, como os fatos que permitem resolver o problema inicial (CACHAPUZ et al., 2001). A RP tem inerente uma forte perspectiva CTS de ensino e a abordagem de ensino numa perspectiva CTS pretende sempre aproximar a realidade à Escola. Trata-se de uma forma de pensar nos conteúdos científicos pela utilidade que têm no dia-a-dia.

Definir o que se entende por problema pode dar margem a várias interpretações. Segundo COSTA & MOREIRA (1996), um problema é um estado subjetivo da mente, pessoal para cada indivíduo, um desafio, uma situação não resolvida, cuja resposta não é imediata, que resulta em reflexão e uso de estratégias conceituais e procedimentais, provocando uma mudança nas estruturas mentais. De qualquer modo, falar em problema é considerar uma gama de situações que inclui desde simples quebra-cabeças, passando por problemas que enfrentamos no nosso cotidiano até problemas específicos envolvendo conhecimentos e/ou habilidades muito particulares (COSTA & MOREIRA, 1996).

Dependendo do contexto em que está inserida, a RP poderá ser considerada desde uma atividade de papel e lápis até envolver atividades experimentais em Ciências ou Matemática, onde o sujeito terá oportunidade de, aplicando seus

conhecimentos e procedimentos na busca de uma solução para a situação proposta, desenvolver a sua estrutura cognitiva. Na vida diária se resolve um problema para se obter um resultado; ao contrário, no contexto escolar o resultado importa menos do que a própria resolução.

Destacamos aqui uma série de quatro artigos de revisão da literatura na área de RP, enfocando particularmente o campo da Física, realizada por COSTA & MOREIRA. Nela são apresentados trabalhos que relacionam ou diferenciam a tarefa de RP quando executada por novatos ou por especialistas, propostas de metodologias didáticas para trabalhar problemas em sala de aula, fatores que influenciam na RP em sala de aula e estratégias para facilitar a atividade de resolver problemas.

De um modo geral, os comportamentos de novatos e especialistas na RP são diferenciados quanto à maneira como os conceitos e princípios são armazenados e recuperados na memória de longo-prazo, bem como quanto ao estoque de estratégias utilizáveis pelos sujeitos em função de seu conhecimento e experiência (prática) (COSTA & MOREIRA, 1996). Por conseguinte, fica implícito o papel relevante do conteúdo e do contexto na execução da tarefa de RP. Segundo os autores, esta constatação corrobora com a literatura que afirma que a melhor eficácia dos procedimentos técnicos e estratégicos empregados por especialistas está sujeita a maior base de conhecimentos específicos de domínio que eles têm.

As diferenças entre novatos e especialistas quando executam tarefas de RP observadas nessa revisão, possivelmente constituem uma fonte de informações relevantes no sentido de tentar esclarecer como o conhecimento é organizado na estrutura cognitiva do indivíduo e de que forma ele é utilizado (COSTA & MOREIRA, 1996). Conforme discutem os autores, a importância deste esclarecimento para a pesquisa em ensino de Ciências pode ser muito grande uma vez que representa um significativo passo na tentativa de responder a outras questões como *“É possível ensinar a resolver problemas? O que um novato precisa para tornar-se um especialista? Até que ponto o conteúdo e o contexto interferem ou influenciam na tarefa de resolução de problemas?”* (COSTA & MOREIRA, 1996). Para o professor, especialmente, oportuniza uma reflexão para a sua proposta de trabalho em sala de aula, permitindo um questionamento se a atividade de RP que proporciona a seus estudantes é compatível com o objetivo de promover com eficácia o desenvolvimento de suas estruturas cognitivas. Da mesma forma, valoriza o papel

do conhecimento prévio específico na tarefa de RP, além do papel da prática e da disponibilidade e ativação de conhecimentos conceituais adequados.

Conforme COSTA & MOREIRA (1997a), no domínio conceitual (base teórica) da RP, incluindo EUA, países europeus, Oriente Médio e América Latina, há uma tendência majoritária de enfatizar modelos construtivistas de aprendizagem, abrangendo: a construção específica do conhecimento científico através da RP; há também artigos embasados na teoria de Piaget, processamento de informação e teoria da AP de Ausubel-Novak.

Dentre os modelos construtivistas, destaca-se o de Gil Pérez, que apresenta uma metodologia em RP baseada numa atividade de investigação científica, onde os estudantes, orientados pelo professor, são levados a analisar qualitativamente uma situação problemática, propondo hipóteses que permitam utilizar diferentes estratégias de solução (COSTA & MOREIRA, 1997a). Durante a execução da tarefa, os estudantes são incentivados a verbalizar o máximo possível; a análise dos resultados e sondagem de perspectivas futuras e diversificadas dos problemas constituem o fechamento da tarefa. Segundo os autores, também é possível destacar "novas" metodologias que utilizam a análise de protocolos verbais (verbalização da resolução de problema gravada) ou a comparação entre novatos e especialistas (referida no primeiro artigo da série), resultando em representações do conhecimento como sistemas de produção e/ou árvores hierárquicas.

A atividade docente em RP também deve ser repensada a fim de proporcionar uma participação maior do estudante desde a proposição do problema até a sua solução, enfatizando processos que estimulem o uso do conhecimento conceitual e do procedimental (COSTA & MOREIRA, 1997a). Além disso, no combate às concepções intuitivas são recomendados: mais tempo do que geralmente se usa para trabalhar estes conceitos e uma abordagem mais profunda que promova retomada freqüente dos mesmos, no sentido de realimentá-los e reavaliá-los; enfatizar processos em RP que caracterizem a descoberta científica em um único domínio; a necessidade de prática em RP acompanhada da justificativa desta prática para ativar a metacognição, principalmente quando permite comparar diferentes processos de RP e suas dificuldades (COSTA & MOREIRA, 1997a).

De um modo geral, os estudantes apresentam alguma resistência à tarefa de RP, de acordo com as dificuldades que eles enfrentam nesta atividade. Na área de Ciências e Matemática esta situação já está quase institucionalizada entre os professores e entre os próprios estudantes; inclusive, o estudante que apresenta um

desempenho melhor em RP é considerado exceção. Pensando nisto, COSTA & MOREIRA (1997b) apresentaram e sintetizaram trabalhos de pesquisa que enfocam alguns fatores que afetam a RP em Ciências e Matemática em sala de aula.

O processamento de informação, juntamente com a teoria de Piaget - incluindo neo e pós-piagetianos - prevaleceram no que se refere aos domínios conceituais usados nos trabalhos analisados, seguidos pelas teorias de aprendizagem de Ausubel-Novak e Novak-Gowin, Gagné e outras, como por exemplo, o construtivismo em RP por investigação (COSTA & MOREIRA, 1997b). Conforme COSTA & MOREIRA (1997b), entre os fatores investigados e que influenciaram a RP em sala de aula, destacam-se:

- a) Dificuldades em interpretar o problema, envolvendo: i) o conhecimento semântico e específico do enunciado, ii) as formas como o problema é apresentado ou formulado, iii) o número de variáveis ou informações que possam comprometer a memória de trabalho e iv) as representações confusas baseadas em analogias ou comparações equivocadas;
- b) Dificuldades em utilizar conceitos chaves e articular instrumentos de resolução, relacionados com um ensino dissociado da prática de promover o conhecimento conceitual junto com o procedimental;
- c) A organização do conhecimento na memória de longo prazo, de forma hierarquizada, facilita o seu uso quando é requerido, e responde por erros e fracassos, em caso contrário;
- d) Resolver problemas implica em capacidades cognitivas que extrapolam a simples aplicação de fórmulas: em alguns trabalhos foi detectado que resolver "corretamente" um problema, utilizando algoritmos, não significa necessariamente entendê-los ou conhecer o conteúdo (princípios) que eles representam.

Com base nessas informações, os autores discutem sobre a necessidade de uma reflexão sobre as situações problemáticas que são apresentadas aos estudantes em sala de aula e/ou em avaliações, a começar pelo seu enunciado. Pois, não se concebe resolver uma tarefa sem a compreensão da mesma; logo, deve-se levar em conta a linguagem (técnica) e os símbolos empregados (COSTA & MOREIRA, 1997b).

Com relação à análise de conteúdo de um problema, a interpretação que um estudante dá a um enunciado proposto por um "especialista" será coerente com o seu universo de conhecimento; a representação do estudante dependerá de uma

decodificação subjetiva (COSTA & MOREIRA, 1997b). Também, as dificuldades que o estudante tem de articular estratégias de resolução não são geralmente sanadas por livros e/ou professores; muitos destes últimos esquecem de investir na discussão de procedimentos de ação relacionados com o arcabouço conceitual. Outro fator apontado, a organização do conhecimento de forma hierárquica, sugere a proposta de problemas que sigam uma trajetória gradativamente mais complexa, envolvendo uma e depois mais variáveis, uma e mais relações entre elas, expondo os estudantes a refletir sobre seus procedimentos de resolução baseados no seu conhecimento conceitual (COSTA & MOREIRA, 1997b).

Outra discussão que permeia o tema RP diz respeito à generalidade ou não da tarefa: muitos autores admitem que independentemente do tipo de problema e portanto das diferenças de procedimentos na sua resolução, existe uma série de procedimentos e habilidades que são comuns em todos os problemas. Ou seja, para resolver um problema precisamos prestar atenção nele, recordar, relacionar certos elementos entre si, além de que, na maioria dos problemas estas habilidades devem ser utilizadas numa determinada ordem para que atinjamos a nossa meta (COSTA & MOREIRA, 1997b).

Além disso, ainda que o problema seja bem ou mal definido - entende-se por problema bem definido ou bem estruturado aquele no qual se pode identificar facilmente se alcançamos sua solução, enquanto que no mal definido ou mal estruturado o ponto de partida ou as normas que estabelecem os passos necessários para resolver a tarefa são muito menos claros e específicos - a solução do problema exige uma compreensão da tarefa, a concepção de um plano para executá-la, a execução propriamente dita e uma análise que nos permita determinar se alcançamos o nosso objetivo (COSTA & MOREIRA, 1997b).

É importante também a aceitação pelo estudante da tarefa de RP: uma mesma tarefa de qualquer livro texto pode ser percebida pelos estudantes como um exercício ou como um problema, dependendo de como percebam sua funcionalidade dentro da aprendizagem, a partir da forma como o professor a apresenta, guia sua solução e a avalia (COSTA & MOREIRA, 1997b). Deste modo, a realização das atividades e tarefas em contextos muito definidos e fechados fazem com que os estudantes realizem de modo mecânico as atividades, sem envolver-se muito no processo. Segundo COSTA & MOREIRA (1997b), o papel do professor como mediador desta atividade é fundamental, daí a necessidade, desde a educação primária de expor os estudantes a técnicas e estratégias relativamente

transferíveis (como leitura de textos e interpretação), mas também promovendo atividades que exijam técnicas e estratégias de soluções diferentes. Por outro lado, a visão de problema para o professor pode não ser a mesma para o estudante: muitas vezes ele não consegue categorizar o problema em relação a um padrão como o professor o faz, então é necessário que este professor faculte ao estudante várias estratégias em RP, inclusive o raciocínio "para trás" simultaneamente com o procedimento "científico".

Na última revisão da série, os autores focalizaram artigos sobre RP com estratégias específicas sugeridas para facilitar esta tarefa (COSTA & MOREIRA (1997c). Prevalcem nos trabalhos, heurísticas que enfatizam a análise detalhada qualitativa do problema que permita descrevê-lo e relacioná-lo com um conteúdo específico. Nesta fase, alguns autores sugerem que os estudantes redescrevam o problema com suas próprias palavras, usem diagramas ou figuras representando a situação e reconhecendo o seu objetivo. A seguir, o estudante deverá determinar que informações podem ser relevantes na análise do problema, relacionando hipóteses caso necessário. Nesta etapa, ele pode ter condições para reconhecer a situação como um problema padrão entre categorias de problemas ou um problema que possa ser reduzido a um deste tipo. É a busca de relações chaves (princípios) que permitirão os passos seguintes da resolução. Esta busca parece ser facilitada pela organização do conhecimento na memória de longo prazo, possibilitando a sua recuperação com mais eficiência. Escolhido o caminho para resolver o problema, a execução deste é realizada, alcançando um resultado que exige uma análise e questionamento que deverá envolver todo o processo novamente - é a avaliação do processo em si, que representa um passo a mais no sentido da promoção de auto-avaliação.

Segundo os autores, pode-se concluir dos trabalhos analisados, i) relacionando e diferenciando como novatos e especialistas resolvem problemas (COSTA & MOREIRA, 1996), ii) propondo uma metodologia didática para trabalhar problemas em sala de aula (COSTA & MOREIRA, 1997A), iii) focalizando fatores que influenciam na resolução de problemas (COSTA & MOREIRA, 1997b) e iv) estratégias sugeridas ao estudante para facilitar a atividade de resolver problemas (COSTA & MOREIRA, 1997c), que há uma convergência de posturas e resultados, enfatizando:

- a) *o processamento de informação prevalece como domínio conceitual da maioria dos trabalhos;*

- b) os protocolos verbais como meio de se obter informações mais ricas sobre o processamento de RP;*
- c) a proposta de "verdadeiros" problemas ou, pelo menos, problemas que tenham significado para quem vai resolvê-los;*
- d) a necessidade de coerência entre a metodologia empregada na RP em sala de aula, promovendo o conhecimento conceitual e o procedimental, e a proposta de problemas e de estratégias que requeiram e utilizem estes conhecimentos;*
- e) a organização do conhecimento na memória de longo prazo e a recuperação deste conhecimento para realização de tarefas que exijam um nível de raciocínio adequado ao desenvolvimento cognitivo do estudante;*
- f) a prática em RP que, modelada pelo sistema de produção, pode transformar novato em especialista;*
- g) a necessidade de conhecimento das idéias prévias dos estudantes, tanto para projetar as tarefas, quanto para avaliar as dificuldades durante o processo;*
- h) a utilização de um sistema de avaliação que identifique estas dificuldades e permita uma nova "chance" ao aprendiz através de uma realimentação do processo.*

6 JUSTIFICATIVA

A maioria dos jovens no final do Ensino Fundamental e mesmo aqueles inseridos no Ensino Médio não consegue perceber utilidades nas aulas e são poucos os que conseguem relacionar o que vêem em sala de aula com a vida cotidiana (NANNI, 2004). Esse retrato do conhecimento científico dos jovens está perfeitamente demonstrado pelo desempenho do Brasil no Programa Internacional de Avaliação de Estudantes (PISA). A cada três anos, alunos com 15 anos de idade de mais de 40 países são avaliados pelo PISA que mede seu desempenho em Ciências, Matemática e Leitura e sua capacidade de aplicação desses conhecimentos no dia-a-dia. O PISA, desenvolvido e coordenado pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), é responsável por produzir indicadores sobre a efetividade de sistemas educacionais.

Em 2003, a população avaliada no Brasil foi composta de 5.235 alunos de 229 escolas públicas e privadas em 179 cidades das cinco regiões brasileiras. Nesta avaliação, o Brasil ficou em penúltimo lugar à frente tão somente do Peru (PISA, 2003). Sem levar em conta os critérios usados, se o programa visava medir quanto os jovens estudantes seriam capazes de usar conhecimentos e aptidões para realizar tarefas relevantes em sua vida futura, tais resultados mostram que o ensino é falho e o aprendizado preocupante.

Na mesma linha, a situação atual da Ciência alerta para a necessidade do retorno do conhecimento científico ao meio social para promover um senso comum mais elaborado e crítico (SOUZA, 1989). A origem deste movimento pode ser explicada pelas conseqüências decorrentes do impacto da Ciência e da Tecnologia na sociedade moderna e, portanto, na vida das pessoas, colocando a necessidade de os estudantes adquirirem conhecimentos científicos que os levem a participar de forma ativa e crítica, através da tomada de decisões (SOUZA, 1989). O sistema de ensino deve, então, abandonar a prática pura e simples da memorização do conhecimento em favor da compreensão do processo científico visando privilegiar a capacidade de atualização e auto-aprendizado do indivíduo.

Além disso, existe um grande desinteresse em relação às disciplinas de Ciências no Brasil e, também, na maioria dos países. Um dos fatores que, certamente, contribui para esta visão estereotipada da Ciência reside no desconhecimento, por parte dos estudantes e dos professores que ensinam Ciências, do que concretamente é a atividade científica.

7 OBJETIVOS

7.1 OBJETIVOS GERAIS

Considerando o que foi anteriormente exposto, este trabalho se propõe a investigar as concepções que os estudantes têm a respeito da natureza do conhecimento científico. Da mesma forma, objetivamos verificar a potencialidade da experimentação baseada na resolução de problemas, elaborados pelos próprios estudantes, na modificação de tais concepções.

7.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

De forma específica, objetivamos:

- ❖ Verificar a aceitação, por parte dos estudantes, de atividades experimentais baseadas na RP com os problemas sendo elaborados pelos próprios estudantes;
- ❖ Analisar o perfil dos estudantes, já inseridos nas disciplinas de Ciências na região de Santa Maria, no que diz respeito às concepções a respeito da natureza do conhecimento científico de acordo com a escala NSKS;
- ❖ Avaliar a potencialidade dos cursos experimentais, com ênfase em fundamentações histórica e epistemológica, em alterar as concepções dos estudantes acerca da natureza do conhecimento científico;
- ❖ Demonstrar o potencial de pequenas alterações realísticas na forma de ensinar Ciências em influenciar as percepções dos estudantes a respeito da natureza do conhecimento científico e da forma de fazer Ciência.

8 ARTIGO CIENTÍFICO

Os resultados que fazem parte desta dissertação estão apresentados sob a forma de artigo científico, o qual encontra-se aqui organizado. Os itens Materiais e Métodos, Resultados, Discussão dos Resultados e Referências Bibliográficas, encontram-se no próprio artigo. O artigo está aqui disposto da mesma forma que foi enviado para a publicação.

Esta versão do trabalho foi enviada para a publicação ao periódico "*Science Education*", com o título provisório de "*Experimental Activities Based on Ill-Structured Problems Improve Brazilian School Students' Understanding of the Nature of Scientific Knowledge*" e a referência **SciEd-00018-2007**.

Experimental Activities Based on Ill-Structured Problems Improve Brazilian School Students' Understanding of the Nature of Scientific Knowledge

Vanderlei Folmer^{a, b, *}, João B. T. Rocha^a, Karine Speroni^a, Félix A. Soares^a

^a Departamento de Química, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria, 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil.

^b Centro de Ciências da Saúde de Uruguaiana, Universidade Federal do Pampa, UNIPAMPA, UFSM, 97500-009, Uruguaiana, RS, Brasil.

ACKNOWLEDGEMENTS: The financial support by FAPERGS, CAPES and CNPq is gratefully acknowledged.

*CORRESPONDING AUTHOR:

VANDERLEI FOLMER

Phone: 021-55-3220-8140

FAX: 021-55-3220-8031

e-mail: vandfolmer@yahoo.com.br

SUMMARY

Science education can help people to understand the nature and utility of science, and contribute to developing informed and active citizen. Hence, the purpose of this study was to see if problem-based learning (PBL) in experimental vacation' courses, with emphasis on the historical and epistemological foundations, can increase students' understanding regarding nature of scientific knowledge. After initial strangeness, our study has shown that students usually rated high the opportunities that they had to plan and execute experiments of their own, instead of following cookbook recipes as usually happens in laboratory classes at school. Also, post-test scores were significantly higher than pre-test scores on the total Nature of Scientific Knowledge Scale (NSKS), and on creative, testable, and unified NSKS subscales, indicating an improved understanding of nature of scientific knowledge among school students. Of particular interest, the execution of practical activities in PBL form with ill-structured problems led a significant part of students to feel that they were creating and doing science. Therefore, the activities here proposed could be expanded as a form of to improve the science education and to stimulate the formation of a new generation of creative scientists in Brazil.

Keywords: science education, problem solving, nature of science, nature of scientific knowledge, Brazil.

INTRODUCTION AND CONTEXTUAL BACKGROUND FOR THE STUDY

The beneficial effects of technological development have been readily perceived in goods such as household appliances, in faster means of transportation, and in advances in medicine and sanitation which have increased life expectancy. However, the positive impact of scientific and technological developments must be weighed against negative aspects such as unbalanced population growth, degradation of environment and the production of weapons of mass destruction. The resulting beneficial and harmful aspects of science and its products have produced tensions, leading society to demand more information about science and a greater role in decisions related to science practices and goals (Rodrigues and de Meis, 1996). Given these facts and the pervasiveness of science in all of our lives, meaningful science education should help students become science literate and increase the level of science literacy in the population.

Unfortunately, by nearly all measures attempted, “scientific literacy of the American public sadly wants” (Malvin, 1990). In fact, the vast majority of secondary school children and adults have no knowledge of most of the basic terms or concepts of science. For instance, data of the National Science Foundation show that, in United States of America, about 43% of population unknown basic notions as molecule or light and sound relative velocity and only 27% know the notions of hypothesis and experiment. Besides, Brazilian students obtained the last place among the studied countries in an evaluation of mathematic and scientific knowledge carried out by Program for International Student Assessment (PISA, 2000). In fact, according to a PISA (2000) report Brazil is at the bottom of the 42 evaluated countries. The reasons for this short-coming are many, but prominent among them are sadly deficient texts, teachers untrained in the subject matter they teach, and college and university scientists who divorce themselves from the problem, although probably deploring it (Malvin, 1990). Some suggested cures are production of better texts, training of science teachers in the field in which they teach, and, most importantly, involvement of scientists in the process.

Science education can help people to understand the nature and utility of science and contribute to developing informed and active citizen. In past decade, a number of efforts have sought to redefine and create new standards for science education. Three of the most prominent were the National Science Education Standards from the National Research Council (NRC), Project 2061 from the American Association for the Advancement of Science (AAAS), and Scope, Sequence, and Coordination of Secondary School Science from the National Science Teachers Association (NSTA).

In developing countries, educational efforts can promote the spread of research in science and technology to these countries, and disseminate the associated benefits of new knowledge produced. In Brazil, there is increasing awareness of the need to develop science, and to train new scientists as a prerequisite for dealing with economic constraints of

its society (Rodrigues and de Meis, 1996). Scientists are not the only ones responsible for science education, but the small scientific communities in countries like Brazil provides the local scientific competence for accessing the international pool of knowledge and information, and has the potential to forge links among science, technology and education (de Meis et al., 1991). Scientists can help to assimilate and distribute the knowledge that science generates making the huge amount of new scientific knowledge that is produced each year available and intelligible to young people who have to be educated.

PURPOSE AND SIGNIFICANCE OF STUDY

Understanding the Nature of Scientific Knowledge

A number of researches have shown that students do not develop desired understandings of the Nature of Science (NOS) from typical classroom instruction (Duschl, 1990; Lederman, 1992; Ryan and Aikenhead, 1992). Consequently, over the past decade, NOS has enjoyed renewed attention among science educators as a principal component of scientific literacy (AAAS, 1993; NRC, 1996). These documents specify that science teachers should not only teach in a manner consistent with current views of the scientific enterprise, but should purposively instruct students in specific aspects of the NOS.

To improve this situation, many researchers have recommended initiatives such as the use of history of science to help students develop more accurate views about the NOS (Duschl, 1990; Matthews, 1994; Hsu and Lee, 1995; Monk and Osborne, 1997). However, since most science teachers today are already required to "cover" more material than time allows, they usually have no choice to focus on teaching the required science content while leaving the development of student understanding of the NOS to chance. The history and NOS thus remains to be a "non-essential component" in most science courses today, serving merely as a footnote to the science curriculum (Lemke, 1990).

Problem-Based Learning

Problem-based learning (PBL) is an innovative curricular approach that was originally developed in medical school programs (Barrows and Tamblyn, 1980), and later adapted for use in elementary and high school settings. In PBL, problems act as the stimulus and focus for student activity and learning (Boud and Feletti, 1991). Students learn while searching for solutions to problems and in the context in which knowledge is to be used. Unlike traditional teaching approaches, which introduce problems only after students had acquired the relevant content knowledge and skills, problems are introduced at the beginning of a unit of instruction. This reverse "problem-first" approach in PBL helps students to understand why they are learning and what they are learning (Gallagher et al., 1995).

Characteristics of PBL include using an ill-structured problem to guide the learning

agenda, having the teacher act as a metacognitive coach, and students working in collaborative groups. Ill-structured problems are those where the initial situations do not provide all the necessary information to develop a solution, and there is no one correct way to solve the problem. As facilitators of learning, teachers acquaint learners with new ideas or cultural tools, to support and guide students as they make sense of these (Driver et al., 1994), and to scaffold students' ideas in the zone of proximal development (Vygotsky, 1978). Because students work on a problem that is situated in real-life contexts, they are better able to construct links between school science and the science required to solve real-world problems (Yager and McCormack, 1989). Students identify learning issues pertinent to the problems and ask questions related to these issues. They make their own decisions about what directions to take in their investigations, what information to gather, and how to analyze and evaluate this information.

PBL in collaborative group contexts is consistent with the theory of social constructivism which views learning as being mediated by the use of language, knowledge as being socially co-constructed, and problem solving as a process that is not internal to the individual but instead grounded in social practice (Vygotsky, 1986; O'Loughlin, 1992; Hennessy, 1993; Howe, 1996; Hodson and Hodson, 1998). This approach to learning is also consistent with the ideas of distributed cognition (Pea, 1993) as well as situated cognition (Brown et al., 1989; Hennessy, 1993, Wenger, 1998) where students are engaged in discursive practices in the context of relevant tasks and participating in communities of practice.

Scientists and Science Education Initiatives

Scientists are aware that science education plays an important role in the future of young people helping to prepare them to become lifelong learners. In Brazil, universities and researches institutes have been increasingly engaged in science teaching programs (Rodrigues and de Meis, 1996), and interdisciplinary collaborations among leading scientists and educators on educational projects have developed.

For instance, it can be mentioned the projects developed by the Department of Medical Biochemistry in the Federal University of Rio de Janeiro, the Institute of Basics Wealth Sciences in the Federal University of Rio Grande do Sul, and the Department of Chemistry in the Federal University of Santa Maria. Besides its usual research activities, these groups have a number of research projects in science education, sociology of science, and science policy. These projects are generated and carried out alongside those involving basic biochemistry, and the interaction between these two activities creates an interdisciplinary environment for research and education.

Purpose

The idea of this work arose from some questions merged of your own accord: a) Are our students well prepared to meet the challenges of the future? b) Are they able to analyze reason and communicate their ideas effectively? c) Do they have the capacity to continue learning throughout life? d) Why to improve science education in Brazil and in the World? These are questions that parents, students, the public and those who run education systems continually ask. Thus, the purpose of this study was to see if PBL experimental courses, with emphasis on the historical and epistemological foundations, can increase student understanding of NOS concepts.

This study attempts to show that small realistic changes can positively influence students' perceptions of NOS concepts. Encouraging results could help reluctant teachers, those currently unmotivated by overly generalized and/or academic justifications, feel confident enough to design and incorporate meaningful PBL approach into their own instruction. Also, the study tries to show the PBL experimental courses' potential to help students develop a more sophisticated understanding of the NOS. In this way, this study may serve to improve classroom instruction and contribute to our overall understanding of this approach.

DESIGN AND METHODS

Vacation Courses Design

Under the guidance of scientists who are members of the Department of Chemistry of the Federal University of Santa Maria, graduating and undergraduating students prepared the Vacation Courses (VCs). Most of these students, in addition to their research projects in biochemistry also dedicate a part of their working time to educational projects in the Department. They were the course instructors. Before the first class, instructors met 5-7 times (~4 hours) to plan the course with respect to: a) theme and content expected to be covered; b) questions and ideas usually brought up by students; and, c) experiments that students might propose. This can better understand by describing the assembly of course centered on the theme of Muscle Contraction.

Content ranged from voluntary and reflex control of movement to molecular reactions involved in muscle cell contractions. An historical account of ancient ideas of Erasistratus, Galen, and Descartes about muscle contraction is prepared to be presented as a formal talk, or as theatre play, in the courses' first day. Instructors can thus introduce students to questions like: "How do we move?" "What leads to muscle activity?"

The following questions were usually taken by instructors as starting points for planning discussions and preparing experiments: "Why do muscles contract?" "Is it necessary for an individual or animal to be alive for muscle contraction to occur?" "How do you make your muscle contract?" These and others questions are actually encompassed by

a general question: "What do you want to know about muscle contraction?" Discussion of these questions helps instructors to predict different alternatives for approaching muscle contraction, starting from the abstraction level (question, ideas, hypothesis), and then moving towards the challenging direction of proposing specific experiments. Such approach is not intended to reproduce how actual scientists proceed in their investigations. It is a planning exercise that allows instructors to develop a framework to orient discussion with the students, and also to have on hand a "tool kit" of materials and equipment that can be used to execute experiments usually proposed by the students.

Other themes such as Chemical Reactions, Digestion and Foods, and Chemistry of Life were also developed. In divulgation and introduction to the themes, provocative questions such as "What do we eat and what do we drink?" in the case of the theme Digestion and Foods, were used in an attempt to engender curiosity and reflection in students. The students were selected in accordance with their interest in developing an experimental work connected to the proposed theme in the Department of Chemistry of the Federal University of Santa Maria during the classroom' vacations.

The structure originally proposed and designed by the professor Leopoldo de Meis of the Department of Medical Biochemistry in the Federal University of Rio de Janeiro School was adopted in the VCs. During the courses the whole group was approximately composed of 40-60 school students. They arrived on Monday morning, and the theme proposed for the week work was introduced with a brief historical account or theater play. In the afternoon, the whole group was broken into laboratory groups and they were separated for the rest of the week. A laboratory group could be composed by up to 30 students and instructors. There were no printed experimental protocols.

In the laboratory the students were encouraged to raise their own questions related to the course theme and guess about the possible answers. After initial discussion section, the students choose which questions they want to investigate. They were told to work in small groups, but the group formation was fortuitous. The students only have to agree about the question, or a small number of related questions, to start with. Then, each laboratory group becomes organized into smaller groups (usually 2-6 students) that propose experiments directed to answer the questions and two instructors. However, there was no pre-determined organization structure, and eventually a student may decide to work alone. They were also allowed to move from one small group to others. Materials for carrying out the experiments proposed by the students were assembled beforehand, or rounded up on the spot when unexpected proposals arise.

During the week, each laboratory group has usually daily discussion sections when students compared the ongoing results and decided what to do next. These discussion sections occurred in the lab either at the beginning (9 a.m.) and/or the end (4 p.m.) of the working day, or before and after the lunch time break. It is advisable that such sections do

not exceed two hours/day. The discussions and the experiments were closely supervised by the instructors, which could thus decide when it is appropriate to advise the students about experimental decisions and procedures, and also proposing to start or finish a discussion section. Students were recommended to observe the experiments carefully and keep written notes of questions and related experiments. At the end of the week students from each laboratory, without instructor's assistance, weave one common story about the course theme based on what they have learned to all that worked in different laboratories.

The following example illustrates the VCs operation and the laboratory activities. The provided below are actual questions and answers frequently arising during the VCs. Instructors start by asking questions such as: "What do you want to know about muscle contraction?" The students' question emerges: "What makes muscles contract?" The students are asked to answer their own questions. The initial questions evolved through different ways, not necessarily converging to a single or pre-determined set of questions. The students usually have preconceived ideas about the answers to their questions, much like the following examples: "The brain controls muscle contraction through nerve impulses generated in the brain". The instructors reply: "How can you prove that?" Then students shift from an abstract approach to proposing specific experiments. Experiments proposed often come from previous knowledge acquired from regular school classes, or from literature, but rarely from experimentation: "Take a frog's brain away and electrically and chemically stimulate nerves and muscles to elicit muscle contraction".

Identifying researchable questions, experiments to be done, and discussing the results from actual experimentation with instructors and classmates, stimulate inquiry. Students' initial questions and answers about muscle contraction lead to more specific questions: "What kinds of chemicals should be used to stimulate nerves and muscles?" "How do nerves make muscles contract?" "Why do isolated skeletal muscles contract when electrically and chemically stimulated?" The questions branching lead to new questions, planning and executing new experiments, which encompass concepts from physics and chemistry, transforming discussion and experimentation into an interdisciplinary enterprise.

As plans for investigation and experimentations evolve, the research questions were sharpened and modified to meet the practical constraints of time and resources available. Therefore, the experiments proposed have to be adapted to the available resources. Time constraints are usually clearly realized by the students during the second day (Tuesday) of laboratory work. The whole process is guided by discussion and collaborative work among instructors and students, directed toward reaching an agreement about worthwhile question and the experimental rationale for investigating them. It is important to emphasize that students are not discouraged from choosing experimental pathways that instructors perceive as likely to lead to negative results.

The main goal of the VCs is to involve students in actually doing experiments to

answer their own questions; information content is secondary. By the end of the course students should realize that producing scientific knowledge, which they have previously encountered only in books, involves an enjoyable and continuous process of creating, testing and discussing ideas about natural phenomena.

Data Collection and Quantitative Analysis

Substantial researches directed at measuring the understanding of the nature of scientific knowledge are available in the educational literature (reviewed by Lederman, 1992). In 1968, Kimball proposed a model of scientific knowledge based on eight declarations. These declarations were that science: (a) is driven by curiosity; (b) is dynamic and ongoing; (c) strives for comprehensiveness and simplicity; (d) has no single methodology; (e) is a system of values rather than an armamentarium of techniques; (f) is based on the assumption that the physical universe can, in principle at least, be described and explained; (g) is open to scrutiny; and (h) is tentative and uncertain. On later, Showalter (1974) identified nine attributes of scientific knowledge; for this author scientific knowledge is: (a) tentative, (b) public, (c) replicative, (c) probabilistic, (c) humanistic, (f) historic, (g) unique, (h) holistic, and (i) empirical (Kimball, 1968).

A reliable instrument for measuring the understanding of the nature of scientific knowledge is the “Nature of Scientific Knowledge Scale” (NSKS) developed by Rubba and Andersen (**Appendix 1**). Rubba and Andersen (1978) consolidated Showalter’s nine factors into a six factor model, stating that scientific knowledge is: (1) *amoral (AMO)*, neither good nor bad by itself (although its uses could be good or bad); (2) *creative (CRE)*, developed creatively; (3) *developmental (DEV)*, constantly open to change; (4) *parsimonious (PAR)*, in that the simplest of otherwise equal explanations is considered correct; (5) *testable (TES)*, not relying on metaphysical explanations; and (6) *unified (UNI)* across traditional disciplines (**Table 1**). The influence of VCs on the students’ conceptions of the nature of scientific knowledge was thus assessed using the NSKS.

The instrument was previously translated from English to Portuguese. It consists of 48 items (**Appendix 1**) grouped into 6 conceptual subscales and each subscale is composed of 4 positive and 4 negative statements, randomly arranged, and associated with a 5 point Likert scale, ranging from “strongly disagree” to “strongly agree”. The total NSKS score was calculated by summing the subscale scores. A maximum score of 40 points for each subscale and 240 points for the entire NSKS is possible.

For facilitate the analysis and visualization in terms of agreement or disagreement, the 5 point Likert scale was adapted to represent the partial subscales’ scores in the **Figures 1-6**. In this adaptation, we used “strongly disagree” = -2, “disagree” = -1, “neutral” = 0, “agree” = 1, and “strongly agree” = 2. This six factors model, the concepts explications, and additional methodological details are contained elsewhere (Rubba and Andersen, 1978).

In Brazil, the education system is organized in 12 grades. Until the 9th grade (~14–15 years old) physics, chemistry, and biology are taught as one discipline, called "sciences". From 10th to 12th grade (~15–18 years old), physics, chemistry, and biology are taught as separated disciplines. The population analyzed in this study consisted of 273 students enrolled in at least one science class, grades nine through twelve. Among this population, 67.8% (n = 185) were female, 28.2% (n = 77) were male, and 4% (n = 11) do not declared sex. In terms of grade level, 12.1% (n = 33) are enrolled in 9th grade, 22% (n = 60) in 10th grade, 27.8% (n = 76) in 11th grade, 14.3% (n = 39) in 12th grade, and 23.8% (n = 65) do not stated grade.

The students were free to employ various forms of identification in the questionnaires, such as real names, imaginary names, or symbolic names, since they stated the second name (post-test) equal to the first (pre-test). For this reason, some students did not declare yours real names nor stated yours grades or sexes. Uncompleted, damaged or unpaired questionnaires were excluded of analysis. Also, in an attempt to reduce the influence of a second exposition (reading) to questionnaire, a control group composed by 80 students (20 – 9th grade, 20 – 10th grade, 20 – 11th grade, and 20 – 12th grade) was included in the study. In control group, NSKS was administered to each student at the first reading (pre-test) and at a week after (post-test) to simulate the interval time of the VCs.

The data were analyzed using the SPSS (Statistics Package for Social Sciences) program. The dependent T test statistical procedure was used to analyze the data and to compare pre-test vs. post-test scores. An alpha value of 0.05 was admitted for all statistical tests.

RESULTS

Initial resistance to work without "normal classroom lessons"

Some students showed resistance to the problem-first approach in PBL, preferring to have traditional "normal classroom lessons" instead, where the teacher taught the content of the theme first before giving them a well-defined questionnaire to do. They had difficulty in raise their own questions and choose which questions they want to investigate. Such students were uncomfortable with the move from teacher-centered lessons and felt that a course of this nature was "a waste of time and effort." In fact, a little part of participants leaves off on the VCs in first or second days.

A frequent response given by the students for their initial struggles in identifying a problem was that they "don't know how" to think the problems. However, when the students brought their initial problem in take initiatives, principally in second day of course, and used the time during the week to generate questions, they returned with several interesting ideas and new lists of questions. Some students even attempted to suggest answers to their peers'

questions.

The students also revealed during the VCs' development that interactive discussions with the instructors in their work groups or their friends in contiguous groups also helped to generate ideas. During this process, the students discovered problems set in real-life situations which were embedded in personal contexts. For example, some students mentioned during the courses that their initially blank problem log progressively evolved into a new list of questions because they had become more aware of the theme's issues related to their daily life during the course of the week. Others, read science's books daily with greater interest, and paid special attention to matter concerning on the theme worked on the course. Some students even asked her family members or school teachers if they had any problems or questions about that theme that perturbed them. This saw the transformation of a disinterested and apathetic student into one who was motivated by problems and who would continue to search for answers.

The requirement of having to generate their individual questions provided students with an opportunity to revisit past experiences. This process activated their latent puzzlement and curiosity about various issues which some of them had dismissed on earlier occasions. This was the first step which led students to pursue their subsequent inquiry. After brainstorming questions individually and negotiating among themselves, the students decided on a group topic in which to frame their problems, generally one that most of them could identify with and were interested in pursuing. The problem that finally became an object of study for the students was the result of a constructive interplay between the students' prior experiences, personal dilemmas, curiosity about a phenomenon or issue, input from others outside school, and social negotiation among group members.

Several students expressed a liking for the ill-structured nature of their problems. A student indicated that she enjoyed the freedom to "come up with own questions and answers" and found the process of inquiry fun. She also noted that "we never knew where the research would lead to and what our next steps would be". Other students liked "having to learn new things on own" and "learning things outside the classroom."

The ill-structured nature of the problems compelled the students to approach their investigations from a broad perspective, consider multiple and varied stances to the problem, and ask a variety of questions since there was no fixed way of approaching the problem. This led the students to cross the boundaries typically encountered in school science, tread into novel areas that were usually unrelated to science, and discover new realms of knowledge. Thus, there was a multidisciplinary element to students' work.

Presentation and discussion of the final results

On Friday each laboratory group presented the results of the experiments they did during the week, to an audience of students from other laboratories groups, school teachers

and instructors. The students usually chose informal presentation strategies for their report about the VCs, here represented by the following example.

Talk-show format – One student act as moderator: About one half of the students, from the same large laboratory, became a “panel of scientists” in charge of answering question addressed from the audience. The other half joined other students in the audience. They were in charge of addressing pre-arranged questions to the “scientists’ panel”. In the process of answering the questions, the “scientists’ panel” describes the experiments done during the week. The whole audience was free to ask additional questions. In the presentations, students could demonstrate that they were capable of realizing which among the observations they recorded, during the week, were relevant to prepare a presentation about the course theme.

After the presentation and discussion of the week’s work, the students were asked to comment on the VCs. One of the aspects of their comments it worthwhile to emphasize, witch distinguish the VCs from regular school laboratory classes, is present in the following students statements that emphasize the freedom they enjoyed during the course:

“The most impressive and unique aspect of this course, which distinguishes it from regular school laboratory activities, is the freedom we have to do our own experiments... the freedom to test the our ideas...”

Measuring the Understanding of the Nature of Scientific Knowledge

NSKS was administered to each student at the beginning (pre-test) and at the end (post-test) of the courses. The NSKS’ reliability was established previously by accompanying the coefficient Alfa reliability functions obtained from the translated version applied to Brazilian students (Rodrigues et al., 1994; Rocha et al., 2000).

In attempt to evaluate the effect of a second questionnaire’s reading in our quantitative evaluation, we included a control group to compare with the students that participated of VCs. In this group, the NSKS was administered to each student at the first reading (pre-test) and at a week after (post-test) to simulate the interval time of VCs. In control group, there was a significant difference between pre-test and post-test mean scores in DEV and PAR subscales (**Table 2**). Another way, post-test total NSKS mean scores were identical to that presented in pre-test (**Table 2**). In DEV subscale, there was a significant decrease in post-test scores in control group, differently, in experimental group, was not observed any diminishment in scores. Although it has been observed a significant increase in post-test PAR scores for control students, the post-test’s mean scores in this subscale were identical to that observed for pre- and post-test mean scores obtained by student participants of VCs (**Table 2**).

The mean scores obtained in AMO and PAR subscales by both control and experimental groups were lower when compared to others subscales (**Table 2**). In

experimental group, post-test mean scores were significantly higher on the CRE, TES, and UNI subscales and total NSKS when compared with pre-test mean scores (**Table 2**). **Figures 1-6** show a detailed analysis of the mean scores obtained by VCs' enrolled students in pre- and post-tests.

The mean scores obtained in AMO subscale items were considerably lower when compared to others subscales (**Table 2, Figure 1**). In fact, the students were in disagreement with the 7, 18, and 21 items, even so there was a significant increase of item number 7 in post-test. Except for 23, 32, and 41 items, the scores obtained in CRE subscale were considerably high and increased with the participation in the VCs (**Figure 2**). Interestingly, the mean scores reached in the item 41 were opposite to the others in this subscale, demonstrating a significant disagreement (**Figure 2**).

In the DEV subscale, the students were in agreement with the greater number of the items (**Figure 3**). They were in disagreement only with the item 16 and the mean scores reached in the item 43 augmented in post-test NSKS for this subscale (**Figure 3**). The mean scores obtained in PAR subscale were considerably low and did not augment in post-test NSKS, contrarily, there was an impairment in mean scores reached in the item 6 (**Figure 4**).

The students achieved the higher mean scores in TES and UNI subscales when compared to others (**Table 2, Figures 5 and 6**). Interestingly, in average the students were in agreement with all the items pertaining to these subscales (**Table 2, Figures 5 and 6**). Furthermore, the mean scores obtained in the 33, 38, and 45 items of the TES subscale augmented significantly after participation in the VCs (**Figure 5**). Similarly, the scores obtained in the 3, 30, 44, and 47 items of the UNI subscale increased significantly in post-test NSKS (**Figure 6**).

DISCUSSION

Resistance to the Problem-First Approach in PBL

In the traditional approach to science teaching, the teacher is mainly concerned with the transmission of established knowledge and algorithms to students. Understanding of scientific principles and their relationships will occur after students have memorized a critical mass of facts (Tobin and Gallagher, 1987; Lemberger et al, 1999). This approach to classroom instruction does not lead to an effective and meaningful learning. Fatally, knowledge thus acquired is fragmentary and easily forgotten, and cannot be readily transferable to realistic or novel situations. Furthermore, in this scenery, there is not opportunity for the necessary confrontation between student and teacher thoughts that will require the student to demonstrate that understanding really has occurred.

Accordingly, a major criticism on the practical work in school science is that it is usually dominated by recipe-type, highly structured activities designed to lead

unambiguously to the right answer. Teachers and students tend to accept experimental results at their face value without questioning the validity of the process of measurement. This illusion of certainty (Bencze, 1996) presents a false view of the process of scientific inquiry and the NOS. The heart of the problem is in students' poor understanding of the concept of assumptions which is essential for devising appropriate methods of measurement and drawing valid conclusions from experimental results. This established approach to classroom instruction in science matter could be explains the opening resistance in work without following a cookbook as a guide, observed in our young students.

The teachers of biology, chemistry, and physics have a real opportunity to help correct these science education deficiencies. However, the school teachers admitted that they charge their pupils with tasks not easily executable and that their lessons do not have freedom for reflection and participation of the students. In fact, it may be emphasized that to successfully implement PBL, well motivated and trained staff is required to create the environment needed for effective and efficient student learning. Thus, there is a need for the provision of teacher training programs and workshops that aim at equipping science teachers with such knowledge and skills, and the development of relevant resource materials for use in school teaching.

Teaching science via PBL demands a diverse range of teacher roles beyond that of "teachers-knowledge transmitter." In her model of "collaborative inquiry," Crawford (2000) discussed a myriad of roles for a teacher to be a "facilitator" or "metacognitive guide" (Chin and Chia, 2006). These roles include a motivator, diagnostician, guide, innovator, experimenter, researcher, modeler, mentor, collaborator, and learner. Chin and Chia (2006) suggest the additional roles of provocateur and facilitator of opportunities. The teacher needs to encourage students to take responsibility for their own learning and to provide cognitive, social, and moral support so that they would persist in working on their problems (Chin and Chia, 2006). In addition, the teacher also has to challenge students to question their own assumptions and reconsider their original ideas or points of view, where necessary, as well as provide the necessary conditions to maximize students' use of conceptual, social, and material resources (Chin and Chia, 2006).

III-Structured Problematic Situations Provide Favorable Conditions for Learning

After initial strangeness, our study has shown that students usually rated high the opportunities that they have to plan and execute experiments of their own during the VCs, instead of following cookbook recipes as usually happens in laboratory classes at school. Scientists usually agree that freedom to follow their ideas and intuition is an important characteristic of the scientific activity (Lederman and O'Malley, 1990). Therefore, it can be supposed that the VCs are being effective in eliciting an equivalent motivation among the

students, and as a consequence contributing to improving their understanding about the NOS.

The school laboratory is supposed to be the place for developing an understanding of the process of scientific inquiry and mastery of investigative skills. However, many of the practical activities carried out in the school laboratory are highly structured where the students have to follow detailed instructions (Hodson, 1993; Germann et al., 1996). There is little opportunity for them to undergo an integrated process of posing a question, formulating a hypothesis, designing an experiment, and evaluating the empirical evidence accordingly. Such an approach in practical work may fail to promote a proper understanding and attitude toward the methods of scientific inquiry.

Moreover, the kinds of problems that students encounter in school have little to do with the problems that they need to solve in everyday settings (Lave, 1988; Roth and McGinn, 1997). Whereas school problems posed by textbooks and teachers are typically well-structured, the kinds of problems that students face in real-world situations are mostly open and ill-structured. Unlike well-structured problems that have convergent solutions, and engage the application of a limited number of rules and principles within well-defined parameters, ill-structured problems possess multiple solutions, solution paths, and fewer parameters which are less manipulable. They also contain uncertainty about which concepts, rules, and principles are necessary for the solution, or how they are organized and which solution is best (Jonassen, 1997).

The model for solving well-structured problems is based on information-processing theories of learning, while the model for solving ill-structured problems relies on (a) the theory of ill-structured problem solving as described above (Jonassen, 1997), (b) cognitive flexibility theory which conveys problem complexity by presenting multiple perspectives and opinions (Spiro et al., 1987, 1988), and on (c) constructivist and situated cognition approaches to learning (Brown et al., 1989). As Roth (1994) commented, "From a constructivist view, such [ill-structured] problematic situations provide favorable conditions for learning, because the problem solver is facing conditions for which no known procedures are available" (p. 216). The VCs activities, here described, put the instructors and students in contact with genuine situations of experience that generates real problems and "cases" to be discussed. During the week they had many opportunities to discuss, and learning occurs while stimulating students developing their ability to inquire and execute experiments they designed to answer their own questions.

When learning from ill-structured problems, students engage in a reflective conversation with the elements of the problem situation, which is a dialectic process. They are required to define the problem, recognize the divergent perspectives and multiple representations of the problem, determine what information and skills are needed to solve the problem, and synthesize their understanding of the problem. In doing this, they have to

(a) articulate the problem space and contextual constraints, (b) identify and clarify alternative opinions, positions, and perspectives of stakeholders, (c) generate possible solutions, (d) assess the viability of alternative solutions by constructing arguments and articulating personal beliefs, (e) monitor the problem space and solution options, (f) implement and monitor the solution, and (g) adapt the solution (reviewed by Chin and Chia, 2006). Furthermore, solving ill-structured problems is largely an iterative and cyclical process (Jonassen, 1997).

Ill-structured problems are also inherently interdisciplinary (Gallagher et al., 1995), requiring the integration of several content domains. Students identify problems that are not defined by disciplines but by interest. The task environments and problem spaces of well-structured and ill-structured problems from a cognitive science perspective can be also very different (Goel, 1992; Chin and Chia, 2006).

The VCs laboratory classes are not intended to stimulate a research laboratory setting. However, like in a research laboratory, the students have the opportunity of learning by pursuing personally meaningful goals, internally elicited, and through a process of discovering meaning from experience, their perception and thoughts. The experiments proposed during the courses, when performed by the students, create an empirical situation – a case to discuss – giving the pupils the opportunity of connecting their ideas with genuine problems and facts. Naturally observable phenomena have a great impact on human beings and are planned to be the motif-cases of courses activities. They arouse complex behaviors like attention, curiosity, emotion, and motivate individuals in general, as well as scientists, to look understanding them. The courses is thus planned to encompass matters ranging from individuals' perceptual experience to the more abstract concepts of molecular mechanisms proposed by scientists to explain biological phenomena.

Improvement of the Understanding of the Nature of Scientific Knowledge

In this study, post-test scores were significantly higher than pre-test scores on the total NSKS, and on CRE, TES, and UNI NSKS subscales, indicating an improved understanding of nature of scientific knowledge among school students attending the VCs. Therefore, the VCs as previously described are intended to be a science teaching alternative which could improve science education achievements. Our data, however, cannot distinguish whether the elevation in scores on the post-test were due to an improvement in student analytical skills or simply acquisition of relevant background information. In any course, one expects that students will know more information at the end of the term than they did at the outset.

The ability to inquire scientific understanding of the natural world, and understanding of the nature and utility of science have been considered to encompass all aspects of science achievement. According to the NRC (1995), “an understanding of science makes it

possible to discuss scientific issues that affect society, to use scientific knowledge and processes in making personal decisions, and to share in the excitement of scientific discovery and comprehension” (p. ix). Besides, it has been stated by the AAAS (1990), that to neglect the science education of students is to deprive them of a basic education, handicap them for life, and deprive the nation of talented workers and informed citizens. These recommendations, directed to guide science instruction, are the result of the efforts of scientists and educators to face the challenges of education represented by the large number of reports decrying science, mathematics, engineering, and technological education (Beardsley, 1992).

Our study had also demonstrated an important diagnostic of the NOS' understanding in Brazilian students. Firstly, the scores obtained in CRE subscale were considerably high and increased with the participation in the VCs. Understanding science as a creative, human enterprise, is an important component of science literacy and could help to combat many absolutist, mechanist misconceptions, many people harbor regarding science. Secondly, the mean scores obtained in AMO and PAR subscales by both control and experimental groups were significantly lower when compared to others subscales. The students were in disagreement with the items that deny the moral judgment of scientific knowledge. This appoints that, unfortunately, scientific knowledge provides men with many capabilities, but does not instruct him on how to use them. In fact, they were in disagreement that moral judgment can be passed only on man's application of scientific knowledge, not the knowledge itself. For PAR subscale, they also were in disagreement principally with the statement that “There is an effort in science to keep the number of laws, theories, and concepts at a minimum”. For our students, scientific knowledge tends toward complexity, it is little comprehensive and do not appear there be a continuous effort in science to develop minimum number of concepts to explain the greatest possible number of observations.

Rubba and Andersen's NSKS was used to assess students' acquisition of NOS concepts in this study (Rubba and Andersen, 1978). The use of the instruments like NSKS to measure understanding of NOS can be subjected to criticism. Its use does not imply any absolute acceptance of their views and the model was not introduced to students as the nature of scientific knowledge. However, this model does include many of the aspects of the NOS mentioned above, specifically the importance of creativity, the tentative and contextual nature of scientific understanding, parsimony, and the importance of testing understanding against empirical observations. Furthermore, research showing that such instruments were efficient to detect differences on NOS' understanding among students should not be ignored (reviewed by Lederman, 1992).

CONCLUSIONS AND PERSPECTIVES

PBL, which embodies values such as self-directed learning, active engagement, generativity, multiplicity of ideas, reflectivity, personal relevance, and collaboration, is one of the best exemplars of a constructivist-learning environment. It emphasizes concepts and methods that are designed to promote skills like critical analysis, self-directed learning and problem solving attitudes. As here observed, active involvement of students in this process induces attitudinal changes and initiates enthusiasm, curiosity, motivation and development of interest in the topic. Of particular interest, independently of the objective pedagogical contemplated, the execution of practical activities in PBL form with ill-structured problems led a significant part of students to feel that they were creating and doing science.

Accordingly, during the VCs the students were actually involved in doing experiments to answer their own questions. When students drew conclusions based on their experimental results, and design experiments to test their own ideas, they followed one of the paths for the scientific understanding of the phenomena they are studying. Also, presentation and discussion of the final results, allow verify that the students were capable to weave, and report, a whole description of what they have learned during their working week. The way the students choose to present their ideas and experimental results is an expression of the collaborative work emphasis prevailing during the courses' activities, and reinforces the idea that science could be stimulating, exciting, and fun.

The use of ill-structured problems in PBL can engage students in ways that elicits desirable cognitive processes for a successful science education. Some desirable cognitive processes thus awaked include brainstorming to identify problems for investigation, generating questions to direct their own learning, considering multiple and varied stances to a problem, figuring out how to solve a problem via different types of inquiry, and thinking independently. In fact, most of the authentic problems in our lives are ill-structured. Thus, if students are given the experience of working on ill-structured problems in school science, they would be better prepared and equipped to face real-world challenges in their future.

We realize that kind of activities here proposed could be expanded as a form of to improve science education and to stimulate the formation of a new generation of creative scientists. Without this Brazil can be considered as a nation at risk and without perspective of participating in the international decisions about fates of the world. Today, we are attempting implement this model course in scholar environment with the participation of the science teachers as monitors, jointly with undergraduate and graduate students. Fortunately, in scholar environment a good portion of students have been spontaneously participators in the experimental activities of the courses. Besides, a portion of science teachers have demonstrated a good receptivity to these kinds of activities in scholar environment.

REFERENCES

- AAAS, American Association for the Advancement of Science (1990). *The Liberal Art of Science: Agenda for Action: The Report of the Project on Liberal Education and the Sciences*. Washington, DC: AAAS.
- AAAS, American Association for the Advancement of Science (1993). *Benchmarks for science literacy*. New York: Oxford University Press.
- Barrows, H. S. and Tamblyn, R. S. (1980). *Problem-based learning: An approach to medical education*. New York: Springer.
- Beardsley, T. (1992). Teaching real science. *Scientific American* (October), 98-108.
- Bencze, J. L. (1996). Correlational studies in school science: Breaking the science-experiment-certainty connection. *School Science Review*, 78(282), 95-101.
- Boud, D. and Feletti, G. (1991). *The challenge of problem-based learning*. New York: St. Martin's Press.
- Brown, J. S., Collins, A., Duguid, P. (1989). Situated cognition and the culture of learning. *Educational Researcher*, 18, 32 –42.
- Chin, C. and Chia, L.-G. (2006) Problem-Based Learning: Using Ill-Structured Problems in Biology Project Work. *Science Education*, 90, 44-67.
- Crawford, B. A. (2000). Embracing the essence of inquiry: New roles for science teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 37, 916-937.
- de Meis, L. (1998). *Ciência e Educação – O Conflito Humano-Tecnológico*. Rio de Janeiro: De Meis, L., Ed.
- de Meis, L., Machado, R. C., Lessa, F., Rumjanek, V. (1991). Science and industry in developed countries. *Ciência e Cultura*, 43, 278-281.
- Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Mortimer, E., and Scott, P. (1994). Constructing scientific knowledge in the classroom. *Educational Researcher*, 23, 5-12.
- Duschl, R. (1990). *Restructuring science education: The importance of theories and their development*. New York: Teachers College Press.
- Gallagher, S. A., Stepien, W. J., Sher, B. T., Workman, D. (1995). Implementing problem-based learning in science classroom. *School Science and Mathematics*, 95,136–146.
- Germann, P. J., Haskins, S., and Auls, S. (1996). Analysis of nine high school biology laboratory manuals: Promoting scientific inquiry. *Journal of Research in Science Teaching*, 33, 475-499.
- Goel, V. (1992). Comparison of well-structured and ill-structured task environments and problem spaces. *Proceedings of the Fourteenth Annual Conference of the Cognitive Science Society*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Hennessy, S. (1993). Situated cognition and cognitive apprenticeship: Implications for classroom learning. *Studies in Science Education*, 22, 1-41.

- Hodson, D. (1993). Re-thinking old ways: Towards a more critical approach to practical work in school science. *Studies in Science Education*, 22, 85-142.
- Hodson, D. and Hodson, J. (1998). From constructivism to social constructivism: A Vygotskian perspective. *School Science Review*, 79, 33 –46.
- Howe, A. (1986). Development of science concepts within a Vygotskian framework. *Science Education*, 80, 35–51.
- Hsu, L. and Lee, T. (1995). The role and function of the history of science in science teaching. *Science Education Monthly*, 179, 15-26.
- Jonassen, D.H. (1997). Instructional design models for well-structured and ill-structured problem-solving learning outcomes. *Educational Technology Research and Development*, 45, 65-94.
- Kimball, M.E. (1968). Understanding the nature of science: A comparison of scientists and science teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 5, 110-120.
- Lave, J. (1988). *Cognition in practice: Mind, mathematics, and culture in everyday life*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Lederman, N. and O'Malley, M. (1990). Students' perceptions of the tentativeness in science: Development, use, and sources of change. *Science Education*, 74, 225-239.
- Lederman, N.G. (1992). Students' and teachers' conceptions of the nature the science: a review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 331-359.
- Lemberger, J., Hewson, P., Park, H. (1999). Relationships between prospective secondary teachers' classroom practice and their conceptions of biology and on teaching science. *Science Education*, 83, 347-372.
- Lemke, J. L. (1990). *Talking science: Language, learning and values*. Norwood, NJ: Ablex Publishing Corporation.
- Malvin, R.L. (1990). Science education: too much of too little. *American Journal of Physiology*, 258, S3-S7.
- Matthews, M. R. (1994). *Science teaching: The role of history and philosophy of science*. New York: Routledge.
- Monk, M. and Osborne, J. (1997). Placing the history and philosophy of science on the curriculum: A model for the development of pedagogy. *Science Education*, 81, 405-424.
- NRC, National Research Council (1995). *Prudent practices in the laboratory handling and disposal of chemicals*. Washington, DC: National Academy Press.
- NRC, The National Research Council (1995). *National Science Education Standards*. Washington, D.C.: National Academy Press.
- NRC, The National Research Council (1996). *National Science Education Standards*. Washington, D.C.: National Academy Press.
- O'Loughlin, M. (1992). Rethinking science education: Beyond Piagetian constructivism toward a sociocultural model of teaching and learning. *Journal of Research in Science*

- Teaching, 29, 791 –820.
- Pea, R. D. (1993). Practices of distributed intelligence and designs for education. In G. Salomon (Ed.), *Distributed cognitions: Psychological and educational considerations*. Cambridge: Cambridge University Press.
- PISA, Literacy Skills for the Word of Tomorrow Executive Summary, First results from PISA 2000 and Further results from PISA 2000, <http://www.pisa.oecd.org/>).
- Rocha, J.B.T.; Barbosa, N.B.V.; Schetinger, M. R.C.; Pereira, M. E. (2000). A concepção sobre a natureza do conhecimento científico de estudantes e professores do ensino médio da região de Santa Maria: influência de um curso baseado na resolução de problemas. *Ciencia & Natura*, 22, 83-102.
- Rodrigues, P.S. and de Meis, L. (1996). Challenges for science education in the western hemisphere: A Brazilian perspective. In: Martine Barrère (Ed.), *Science and Development*, (vol. 5). Editions de l'Orstom. Paris, France.
- Rodrigues, P.S., Souza, D.O., Rocha, J.B.T., Fonseca, L.G., de Meis, L. (1994). Students' and teachers' conception of the nature of science. XXIII Reunião Anual da SBBq, p. 194.
- Roth, W.-R. (1994). Experimenting in a constructivist high school physics laboratory. *Journal of Research in Science Teaching*, 31, 197-223.
- Rubba, P.A. and Andersen, H.O. (1978). Development of an instrument to assess secondary students' understanding of the nature of scientific knowledge. *Science Education*, 62, 449-458.
- Ryan, A.G. and Aikenhead, G.S. (1992). Students' preconceptions about the epistemology of science. *Science Education*, 76, 559-580.
- Showalter, V.M. (1974). What is united science education? Program objectives and scientific literacy. *Prism II*, 2.
- Spiro, R. J., Coulson, R. L., Feltovich, P. J., and Anderson, D. K. (1988). Cognitive flexibility theory: Advanced knowledge acquisition in ill-structured domains. Technical Report No. 441. Champaign, IL: University of Illinois, Center for the Study of Reading.
- Spiro, R. J., Vispoel, W., Schmitz, J., Samarapungavan, A., and Boerger, A. (1987). Knowledge acquisition for application: Cognitive flexibility and transfer in complex content domains. In B. C. Britton (Ed.), *Executive control processes*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Tobin, K. and Gallagher, J.J. (1987). The role of target students in the science classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, 24, 61-75.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Vygotsky, L. S. (1986). *Thought and language*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Wenger, E. (1998). *Communities of practice: Learning, meaning, and identity*. New York: Cambridge University Press.

Yager, R. E. and McCormack, A. J. (1989). Assessing teaching/learning successes in multiple domains of science and science education. *Science Education*, 73, 45-58.

Appendix 1. NSKS Statements

- (1) Scientific laws, theories, and concepts do not express creativity.
- (2) Scientific knowledge is stated as simply as possible.
- (3) The laws, theories, and concepts of biology, chemistry, and physics are related.
- (4) The applications of scientific knowledge can be judged good or bad; but the knowledge itself cannot.
- (5) It is incorrect to judge a piece of scientific knowledge as being good or bad.
- (6) If two scientific theories explain a scientist's observations equally well, the simpler theory is chosen.
- (7) Certain pieces of scientific knowledge are good and others are bad.
- (8) Even if the applications of a scientific theory are judged to be good, we should not judge the theory itself.
- (9) Scientific knowledge need not be capable of experimental test.
- (10) The laws, theories, and concepts of biology, chemistry, and physics are not linked.
- (11) Consistency among test results is not a requirement for the acceptance of scientific knowledge.
- (12) A piece of scientific knowledge will be accepted if the evidence can be obtained by other investigators working under similar conditions.
- (13) The evidence for scientific knowledge need not be open to public examination.
- (14) Scientific laws, theories, and concepts are not stated as simply as possible.
- (15) There is an effort in science to build as great a number of laws, theories, and concepts as possible.
- (16) We accept scientific knowledge even though it may contain errors.
- (17) Scientific knowledge expresses creativity of scientists.
- (18) Moral judgment can be passed on scientific knowledge.
- (19) The laws, theories, and concepts of biology, chemistry, and physics are not related.
- (20) Scientific laws, theories, and concepts express creativity.
- (21) It is meaningful to pass moral judgement on both the applications of scientific knowledge and the knowledge itself.
- (22) The evidence for scientific knowledge must be repeatable.
- (23) Scientific knowledge is not a product of human imagination.
- (24) Relationships among the laws, theories, and concepts of science do not contribute to the explanatory and predictive power of science.
- (25) The truth of scientific knowledge is beyond doubt.
- (26) Today's scientific laws, theories, and concepts may have to be changed in the face of new evidence.
- (27) We do not accept a piece of scientific knowledge unless it is free of error.

- (28) A scientific theory is similar to a work of art in that they both express creativity.
- (29) There is an effort in science to keep the number of laws, theories, and concepts at a minimum.
- (30) The various sciences contribute to a single organized body of knowledge.
- (31) Scientific beliefs do not change over time.
- (32) Scientific knowledge is a product of human imagination.
- (33) The evidence for a piece of scientific knowledge does not have to be repeatable.
- (34) Scientific knowledge does not express the creativity of scientists.
- (35) Biology, chemistry, and physics are similar kinds of knowledge.
- (36) If the applications of a piece of scientific knowledge are generally considered bad, then the piece of knowledge is also considered to be bad.
- (37) Scientific knowledge is subject to review and change.
- (38) Scientific laws, theories, and concepts are tested against reliable observations.
- (39) If two scientific theories explain a scientist's observations equally well, the more complex theory is chosen.
- (40) Scientific knowledge is specific as opposed to comprehensive.
- (41) Scientific theories are discovered, not created by man.
- (42) Those scientific beliefs which were accepted in the past, and since have been discarded, should be judged in their historical context.
- (43) Scientific knowledge is unchanging.
- (44) Biology, chemistry, and physics are different kinds of knowledge.
- (45) Consistency among tests results is a requirement for the acceptance of scientific knowledge.
- (46) Scientific knowledge is comprehensive as opposed to specific.
- (47) The laws, theories, and concepts of biology, chemistry, and physics are interwoven.
- (48) A piece of scientific knowledge should not be judged good or bad.

Table 1. Rubba's model of the nature of scientific knowledge*

AMO	Scientific knowledge provides man with many capabilities, but does not instruct him on How to use them. Moral judgment can be passed only on man's application of scientific knowledge, not the knowledge itself.
CRE	Scientific knowledge is a product of the human intellect. Its invention requires as much Creative imagination as does the work of an artist, a poet or a composer. Scientific knowledge embodies the creative essence of the scientific inquiry process.
DEV	Scientific knowledge is never "proven" in an absolute and final sense. It changes over time. The justification process limits scientific knowledge as probable. Beliefs which appear to be good ones at one time may be appraised differently when more evidence is at hand. Previously accepted beliefs should be judged in their historical context.
PAR	Scientific knowledge tends toward simplicity, but not to the disdain of complexity. It is comprehensive as opposed to specific. There is a continuous effort in science to develop minimum number of concepts to explain the greatest possible number of observations.
TES	Scientific knowledge is capable of public empirical test. Its validity is established through repeated testing against accepted observations. Consistency among test results is a necessary, but not a sufficient condition for the validity of scientific knowledge.
UNI	Scientific knowledge is born out of an effort to understand the unity of nature. The knowledge produced by the various specialized sciences contributes to a network of laws, theories and concepts. This systematized body gives science its explanatory and predictive power.

*From Rubba, P. A., and Andersen, H. O. (1978). *Development of an instrument to assess secondary school students' understanding of the nature of science. Science Education, 62(4), p. 456.*

Table 2. NSKS subscales and total scores

	Control		Experimental	
	N = 80		N = 273	
Subscales	Pre-test	Post-test	Pre-test	Post-test
AMO	25.60 ± 0.42	25.38 ± 0.45	24.83 ± 0.22	24.93 ± 0.24
CRE	25.79 ± 0.59	26.05 ± 0.78	26.95 ± 0.28	28.07 ± 0.27*
DEV	28.29 ± 0.48	26.84 ± 0.45*	28.04 ± 0.23	28.41 ± 0.25
PAR	22.90 ± 0.39	23.96 ± 0.40**	23.89 ± 0.24	24.16 ± 0.25
TES	27.58 ± 0.38	27.93 ± 0.70	28.67 ± 0.21	29.30 ± 0.21*
UNI	28.85 ± 0.55	28.69 ± 0.61	29.52 ± 0.29	30.51 ± 0.29*
Total	158.85 ± 1.41	158.70 ± 1.91	161.90 ± 0.76	165.39 ± 0.85*

Data are presented as means ± SEM.

* P < 0.05 vs. pre-test scores.

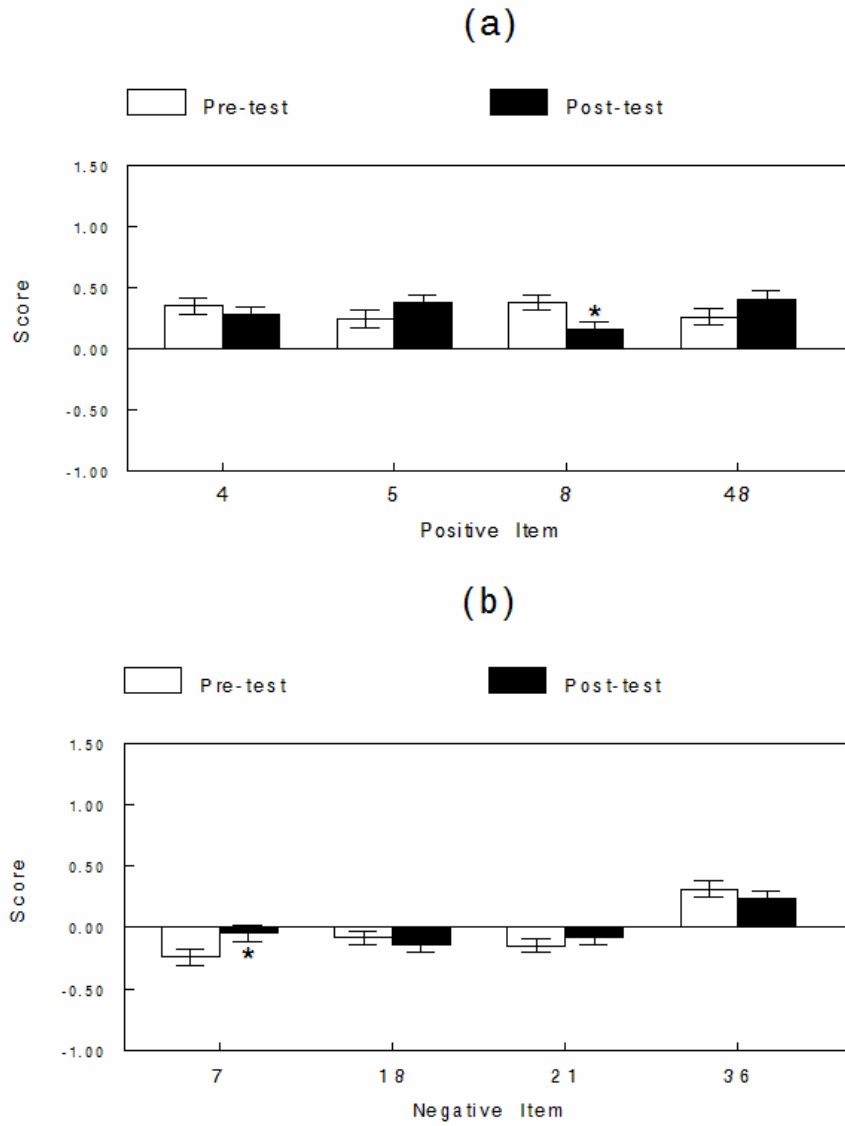


Figure 1. Amoral subscale; (a) Positive items, (b) Negative items. Data are presented as means \pm SEM. * $P < 0.05$ vs. pre-test scores.

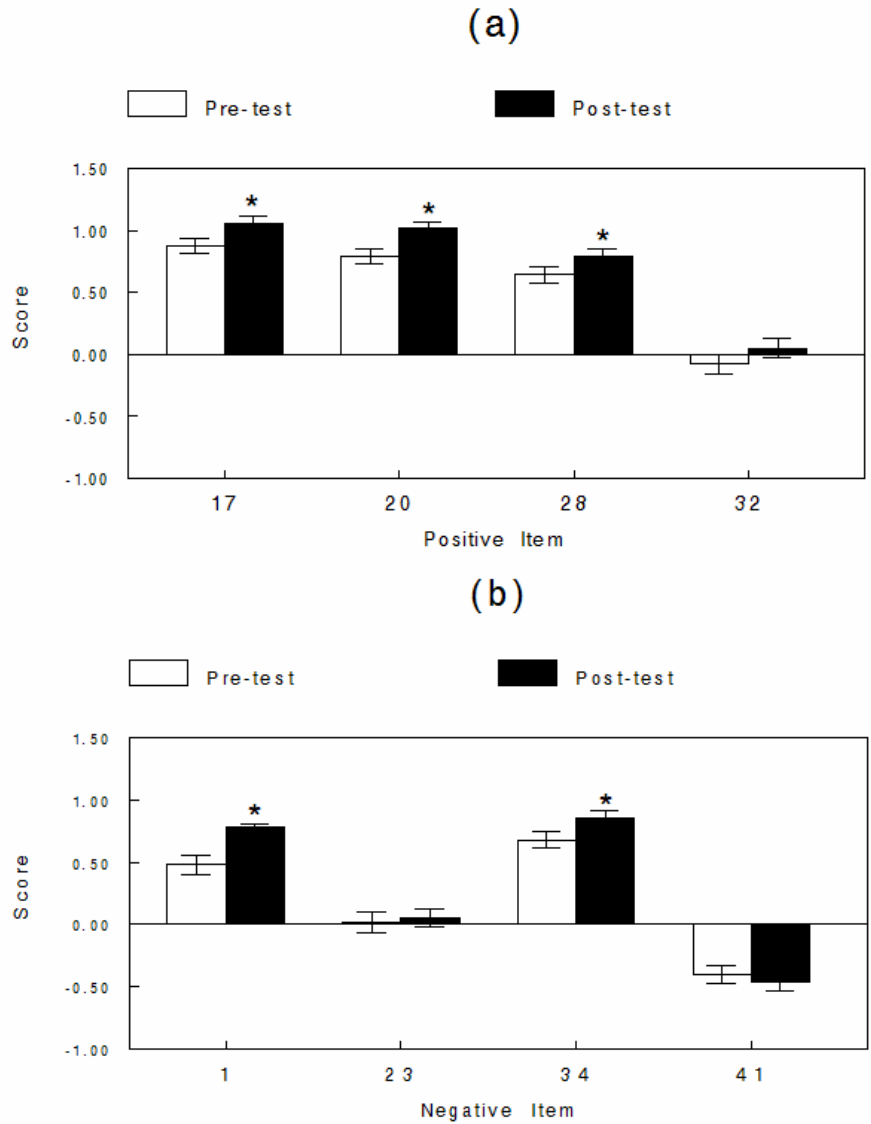


Figure 2. Creative subscale; (a) Positive items, (b) Negative items. Data are presented as means \pm SEM. * $P < 0.05$ vs. pre-test scores.

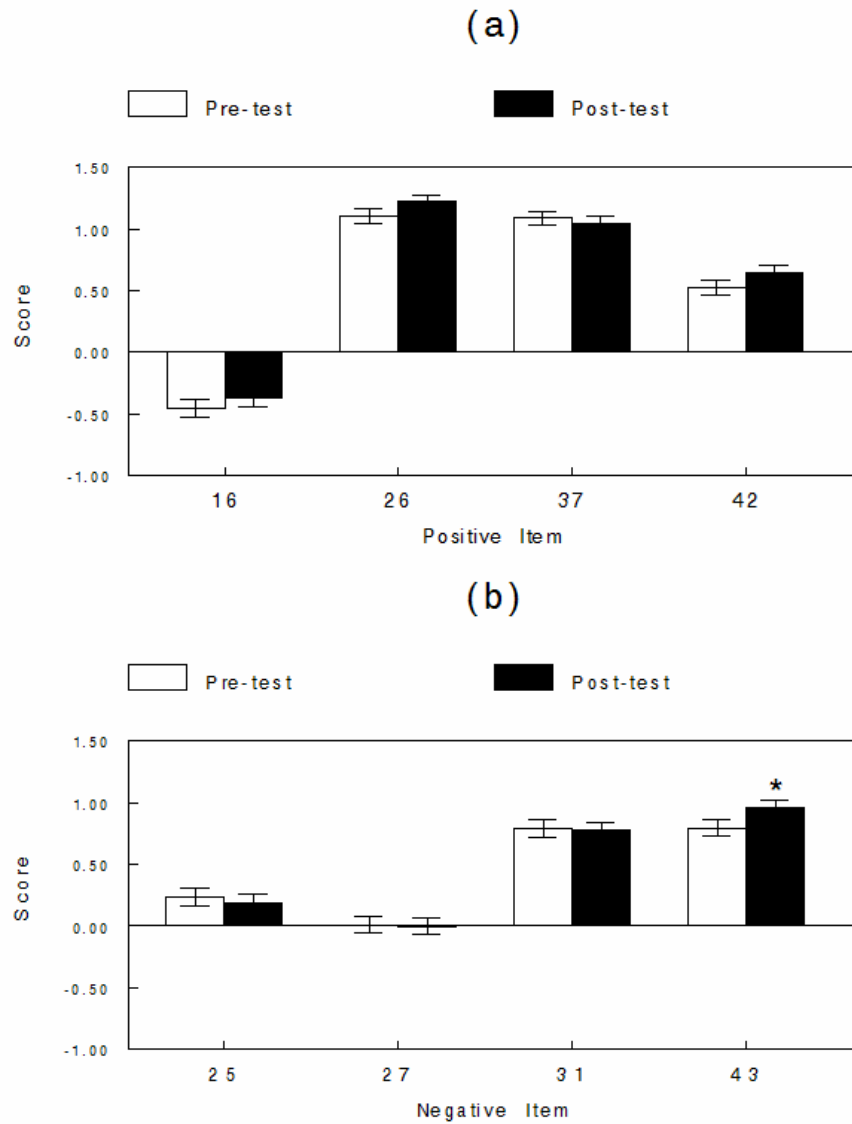


Figure 3. Developmental subscale; (a) Positive items, (b) Negative items. Data are presented as means \pm SEM. * $P < 0.05$ vs. pre-test scores.

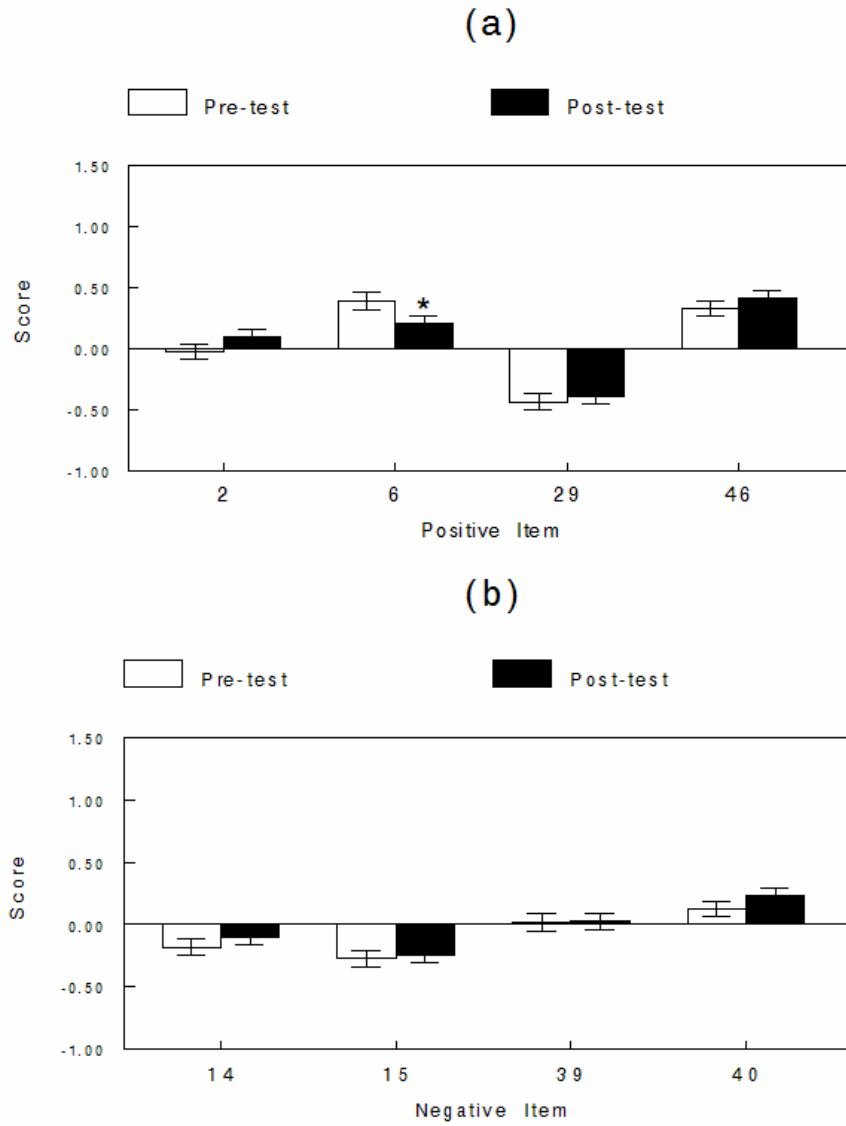


Figure 4. Parsimonious subscale; (a) Positive items, (b) Negative items. Data are presented as means \pm SEM. * $P < 0.05$ vs. pre-test scores.

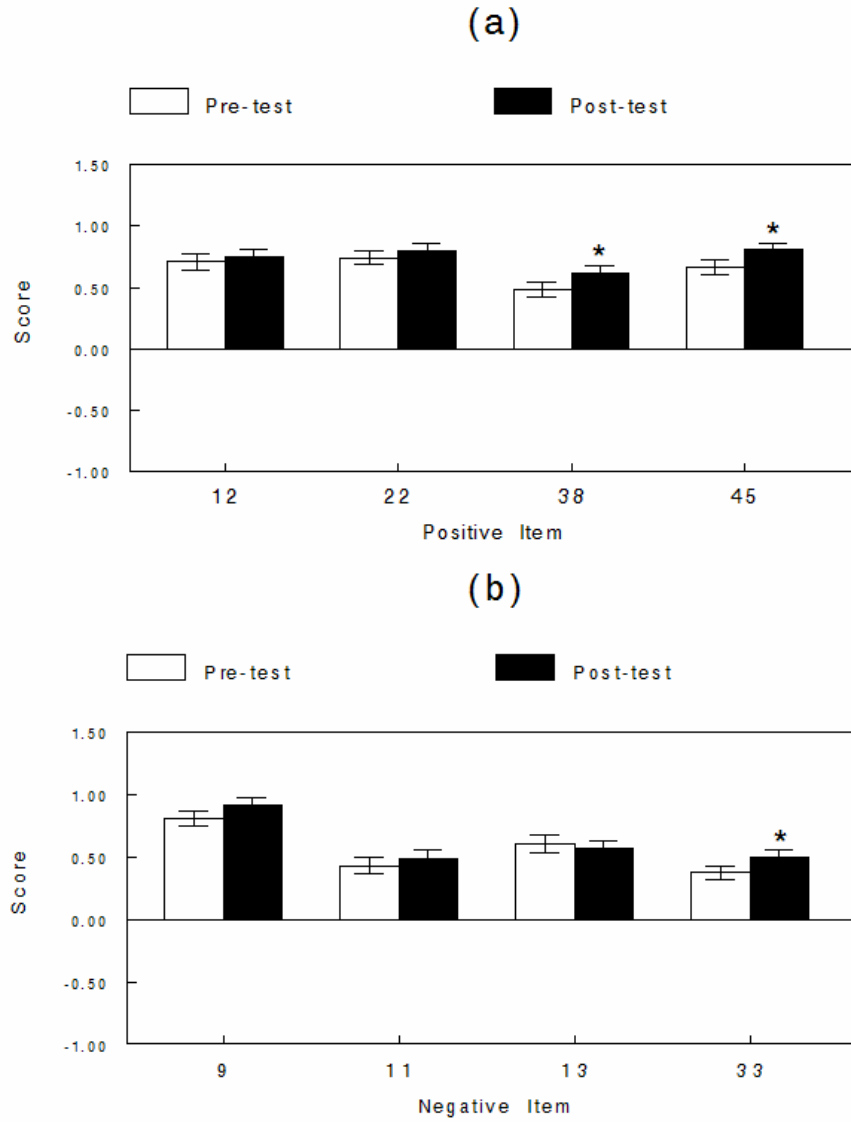


Figure 5. Testable subscale; (a) Positive items, (b) Negative items. Data are presented as means \pm SEM. * $P < 0.05$ vs. pre-test scores.

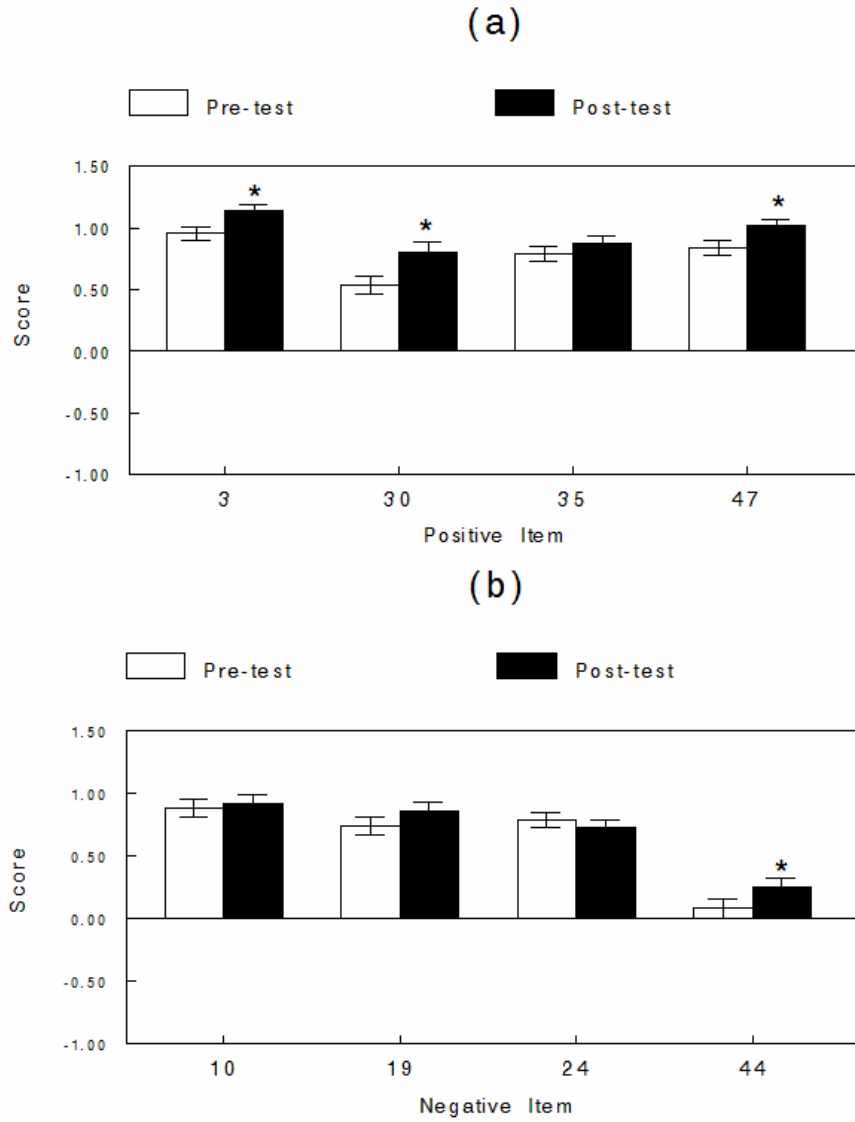


Figure 6. Unified subscale; (a) Positive items, (b) Negative items. Data are presented as means \pm SEM. * P < 0.05 vs. pre-test scores.

9 DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

A discussão mais aprofundada sobre os nossos resultados encontra-se no artigo exposto na seção anterior. Destacamos aqui apenas algumas impressões gerais que julgamos interessantes a partir do desenvolvimento deste trabalho. Nomeadamente, a resistência inicial ao trabalho sem protocolos definidos, os depoimentos dos estudantes durante as apresentações dos resultados e as percepções que os estudantes da nossa região demonstraram sobre a natureza do conhecimento científico.

Uma das principais críticas aos trabalhos práticos no ensino de Ciências é que eles, geralmente, são dominados por atividades altamente estruturadas e propostas para levar a respostas certas e já previstas. Além disso, tanto os professores quanto os estudantes tendem a aceitar os resultados dos seus experimentos sem questionar protocolos ou a validade das medições. Da mesma forma, boa parte dos estudantes participantes de nossos cursos relataram que não estavam habituados a realizar atividades práticas nos laboratórios de suas escolas. De fato, segundo dados da Fundação Getúlio Vargas (FGV), só 5,4% das escolas públicas de Ensino Fundamental e 37% das de Ensino Médio têm laboratórios de Ciências. No setor privado, os índices são de 31% e 66%, respectivamente.

A experimentação costuma despertar um forte interesse entre os estudantes de diversos níveis de escolarização. Para isto, não há necessidade de laboratórios sofisticados, como também não são necessárias grandes verbas para montagens de laboratórios didáticos ou mesmo uma série de demonstrações efetivas e estimulantes, tanto para o professor, como para os estudantes (NANNI, 2004). Conforme NANNI (2004), o que custa muito caro é um estudante terminar o Ensino Fundamental sem jamais ter adentrado em um laboratório didático ou sido colocada em prática uma simples demonstração que traduza o fenômeno observado através dos modelos postos na lousa. E mais, *“Como aprender ciências apenas com um quadro e giz e ouvindo a voz do professor? Ciência é muito mais que saliva e giz.”* (NANNI, 2004).

Acreditamos que estes dois fatos, experiências anteriores com atividades práticas baseadas em protocolos bem definidos ou ausência de tais experiências, justificam, mesmo que parcialmente, a resistência e dificuldade inicial em trabalhar com o tipo de atividades propostas em nossos cursos. Além disso, COSTA & MOREIRA (1997b) destacam que os estudantes costumam apresentar alguma

resistência à tarefa de RP, relacionada às dificuldades que eles enfrentam nesta atividade. Para tentar diminuir estas dificuldades no âmbito da RP aplicada a atividades experimentais, os estudantes devem resolver problemas - a níveis adequados à sua maturidade - que os levem a decidir quais aspectos são mais relevantes e a dar as próprias interpretações do significado desses aspectos. Este processo dá prioridade, tal como acontece em Ciência, à observação cuidadosa e à análise bem estruturada. Os estudantes necessitam de orientação, de encorajamento e de prática na recolha, seleção e análise de dados e na construção de argumentos com base neles (RUTHERFORD & AHLGREN, 1995).

Em Ciência, métodos e conclusões estão intimamente ligados. A natureza do método depende daquilo que está sendo investigado e aquilo que se aprende depende dos métodos usados. Um ensino da Ciência que procure apenas transmitir aos estudantes os conhecimentos acumulados de uma determinada área não conduz à compreensão dos conceitos científicos nem dos processos, nem desenvolve a capacidade de raciocínio e pensamento crítico (RUTHERFORD & AHLGREN, 1995). Por outro lado, ensinar o raciocínio científico como um conjunto de processos sem relação com qualquer conteúdo particular - o método científico, por exemplo - é igualmente inútil. Como refere COSTA (1999), os professores de Ciências devem ajudar os estudantes a adquirir tanto o conhecimento científico do mundo como os hábitos mentais científicos que a ele conduziram.

Segundo COSTA (1999), o objetivo essencial do ensino de Ciências deve ser a compreensão, e não o vocabulário. Contudo, a utilização de uma terminologia clara e inequívoca é fundamental na comunicação científica e na sua compreensão. De fato, COSTA & MOREIRA (1997b) destacam a necessidade de uma reflexão sobre as situações problemáticas que são apresentadas aos estudantes em sala de aula e/ou em avaliações, a começar pelo seu enunciado. Pois, não se concebe resolver uma tarefa sem a compreensão dela (COSTA & MOREIRA, 1997b).

Alguns termos técnicos são úteis por facilitar a comunicação e a formação de um vocabulário mais sofisticado. Contudo, o número desses termos essenciais, a aprender pelos estudantes, deve ser relativamente pequeno (COSTA, 1999). Se os professores introduzirem termos técnicos somente quando necessários à clarificação do pensamento e à promoção da comunicação efetiva, então os estudantes formarão gradualmente um vocabulário funcional. A concentração dos professores no vocabulário, porém, pode implicar uma menor atenção à Ciência como processo, o que coloca em risco a sua compreensão (COSTA, 1999).

Os professores devem reconhecer também que, para muitos estudantes, a aprendizagem de Ciências envolve sentimentos de ansiedade e medo de fracassar. Fato também observado em nossos cursos quando os professores assumem o papel de estudantes durante o planejamento e desenvolvimento de trabalhos experimentais. Isto pode ser uma conseqüência, em parte, daquilo que é ensinado e do modo como é ensinado e, em parte, de atitudes transmitidas acidentalmente nos primeiros tempos de escolaridade por pais e professores quando, eles próprios, não se sentem à vontade com a Ciência (COSTA, 1999). Contudo, em vez de desprezarem a ansiedade relacionada com a Ciência, os professores devem garantir aos estudantes que compreendem estas suas particularidades e que trabalharão com eles no sentido de as ultrapassarem. Trata-se, assim, de desenvolver a autoestima dos estudantes através da ultrapassagem de tais receios e inquietações (AAAS, 1993).

Desta forma, para que os estudantes obtenham algum sucesso na aprendizagem de Ciências, os professores devem deixar de salientar os acertos em todas as respostas como critério principal de sucesso. No fundo, a própria Ciência nunca está completamente certa (RUTHERFORD & AHLGREEN, 1995). A compreensão de alguma coisa nunca é absoluta e pode apresentar-se sob muitas formas. Do mesmo modo, os professores devem esforçar-se para que os estudantes, principalmente aqueles que demonstrarem menor autoconfiança, tomem consciência dos respectivos progressos e devem encorajá-los a prosseguir os seus estudos e fazer novas tentativas.

Os estudantes devem compreender a Ciência como um processo para alargar o conhecimento e não como uma verdade inalterável, o que significa que os professores não devem transmitir a impressão de que eles próprios e os manuais escolares são autoridades absolutas cujas conclusões estão sempre corretas. Ao discutirem a credibilidade das afirmações científicas e ao promoverem a interpretação dos desacordos entre cientistas, os professores de Ciências podem ajudar os estudantes a manterem o equilíbrio entre a necessidade de aceitarem grande parte dos conhecimentos científicos e, ao mesmo tempo, a importância de manterem uma mente aberta no sentido de estarem também atentos e receptivos a possíveis mudanças (AAAS, 1993).

Ainda, conforme COSTA (1999), o ensino deve ser investigativo, convertendo-se num ensino aberto em que o estudante é sujeito ativo do processo educativo. Isto implica alterações em relação à maneira como se ensina Ciências: por exemplo, o

livro deixa de ser o único suporte de aprendizagem, sendo importante a aquisição de métodos de trabalho diversificados. Na aprendizagem de Ciências os estudantes necessitam de tempo para explorar fenômenos, fazer observações, optar pelo caminho errado e identificar os seus próprios erros, testar idéias, repetir as coisas muitas vezes. O tempo é necessário também para construir coisas, calibrar instrumentos, colecionar objetos, construir modelos físicos e matemáticos, para testar idéias através de experiências, para inquirir à sua volta, ler e argumentar (COSTA, 1999). Além disso, os conceitos devem ser apresentados e estudados periodicamente em diferentes contextos e segundo níveis crescentes de complexidade (RUTHERFORD & AHLGREN, 1995).

Os projetos educativos na área de Ciências que ainda se pautam pela transmissão de definições e pela descrição dos fenômenos naturais, visando à aprendizagem memorística e ao bom desempenho dos estudantes em provas e concursos, precisam ser revistos. Tais projetos necessitam atender ao compromisso de serem geradores de conhecimentos que permitam ao estudante compreender e participar de debates contemporâneos sobre questões de cunho científico e ser capaz de utilizar tais conhecimentos em benefício da manutenção qualificada de sua própria existência. Para alinhar-se a tal mudança é necessário que a proposta educativa seja reorganizada no que se refere aos conteúdos estabelecidos e às metodologias escolhidas para estruturar as situações de aprendizagem.

No que diz respeito à eleição dos conteúdos a serem trabalhados, parece ser preciso superar duas fortes tendências, associadas à sua organização: a preocupação do professor em abranger o maior número possível de assuntos e a influência que exerce sobre ele a proposta de distribuição dos conteúdos veiculada pelos livros didáticos (ROSÁRIO LIMA & PAAZ, 2006). Sobre a primeira tendência, DEMO (1998) sugere a substituição do currículo extensivo que prevê a exposição superficial de muitos conceitos, onde o professor é apenas reprodutor de teorias alheias, por um currículo intensivo que inclua conteúdos relevantes na consecução de um projeto que vise à inserção social, aumente a qualidade de vida e qualifique o sujeito para o mundo do trabalho. Nesse currículo, em que ocorre o aprofundamento vertical de alguns conceitos essenciais, o professor se assume como autor da proposta de trabalho. Sobre a segunda tendência, DANTE (1996) refere que, por haver entre os professores uma preocupação excessiva em seguir o livro didático do início ao fim, este acaba determinando o que ensinar, em que seqüência e qual o tempo a ser destinado ao estudo de cada conteúdo. O autor, no entanto, não

desconsidera a importância do livro didático e propõe sua utilização como fonte de pesquisa e como instrumento de complementação dos estudos realizados.

Como citado anteriormente, os professores de Ciências têm reais oportunidades de corrigir as deficiências no ensino desta área. Entretanto, como observamos em alguns de nossos cursos experimentais, quando colocados no papel de estudantes, os professores admitem também uma grande dificuldade em trabalhar sem seguir receitas prontas. Além disso, os professores concordam que costumam pedir a seus estudantes que desenvolvam atividades não facilmente executáveis e que suas aulas não possuem espaço para reflexão e participação construtiva por parte dos estudantes.

De fato, deve ser enfatizado que, do nosso ponto de vista, a implementação da RP com sucesso depende de professores bem motivados e bem treinados para criar o ambiente necessário para um aprendizado efetivo e eficiente. Deste modo, há a necessidade da provisão de programas de treinamento para os professores que possibilitem a aquisição de tais habilidades e também o desenvolvimento de uma fonte de materiais relevantes para serem usados em sala de aula. Quando professores decidem “tomar nas próprias mãos” o tipo de aula e conteúdo que irão ensinar, um dos caminhos para viabilização deste processo pode ser a associação ensino com pesquisa ou, em outras palavras, a introdução dos professores em processos de investigação-ação de sua própria prática pedagógica (SANTOS ROSA & SCHNETZLER, 2003).

A formação do professor deve ser continuada, sendo necessário, a atualização em relação às novas concepções de ensino, a fim de adquirir condições de escolher adequadamente qual concepção teórica atende aos objetivos educacionais. Daí a importância de uma formação sólida e reflexiva, como também estar sempre pronto a buscar novos conhecimentos. É nesse contexto que a formação incipiente dos docentes se apresenta como um dos maiores obstáculos para a aplicação de inovações no ensino, impedindo-os de refletir, experimentar e agir para a concretização do processo de ensino-aprendizagem (SANTOS ROSA & SCHNETZLER, 2003).

Ademais, aspectos como o rápido processo de proletarização dos professores, a desvalorização profissional e a situação degradante da condição de ensino, seguramente afetam as atividades de docência. Percebe-se, pois, a necessidade de qualificarem-se adequadamente os professores de Ciências, que, além do conhecimento dos conteúdos da disciplina a serem trabalhados, também

devem estar cientes do seu papel como cidadãos e formadores de cidadãos. Além disso, as políticas públicas devem possibilitar aos docentes as condições mínimas necessárias para um melhor desempenho de suas funções.

Da mesma forma, SCHNETZLER (2002) sugere que os futuros professores necessitam vivenciar, ao longo de todo o currículo, uma interação dialógica com seus docentes e com seus colegas. Isso sugere que sejam valorizadas, durante todo o currículo, as atividades que envolvam o discurso dos estudantes: debates durante a resolução de problemas, defesa de trabalhos desenvolvidos, produção por parte do estudante de um diário, endereçado ao professor, contendo suas reflexões e dúvidas, a elaboração de relatórios sobre atividades práticas desenvolvidas, a serem utilizados por colegas para melhorar sua eficiência (SCHNETZLER, 2002).

Após as apresentações dos resultados desenvolvidos durante a semana, os estudantes foram convidados a comentar os cursos de férias. Um dos aspectos mais exaltados durante a realização dos cursos foi que este tipo de trabalho é muito diferente daquele realizado durante o desenvolvimento de trabalhos experimentais formais durante o ano letivo. Em especial, os estudantes colocaram em destaque a liberdade para trabalhar com problemas elaborados por eles próprios na execução dos experimentos e testarem suas próprias idéias.

Para além da RP de forma não estruturada, outro aspecto destacado pelos estudantes nas apresentações dos resultados foi a perspectiva histórica dos acontecimentos científicos. Durante a escolaridade, os estudantes devem entrar em contato com as idéias científicas apresentadas no respectivo contexto histórico. Deste modo, eles poderão compreender o modo como a Ciência realmente acontece, apreendendo algo acerca do crescimento das idéias científicas, do caminho que conduziu à compreensão atual de tais idéias, dos papéis desempenhados por diferentes investigadores e comentadores e da interação entre as evidências e a teoria ao longo do tempo (RUTHERFORD & AHLGREN, 1995).

Tal perspectiva histórica parece ser importante para o ensino efetivo de Ciências, também pelo fato de poder conduzir a perspectivas sociais - a influência da sociedade no desenvolvimento da Ciência e da Tecnologia e o impacto da Ciência e da Tecnologia na sociedade. É importante, por exemplo, que os estudantes tomem consciência de que as mulheres e as minorias têm dado contribuições significativas, apesar das barreiras colocadas pela sociedade; que saibam das contribuições das culturas egípcia, grega, árabe e chinesa ao desenvolvimento da Ciência e da

Tecnologia; e que se conscientizem do fato de que os cientistas trazem para os seus trabalhos os valores e os preconceitos das culturas em que vivem (COSTA, 1999).

A natureza colaborativa do trabalho científico e tecnológico, observada nas apresentações dos resultados, também deve ser fortemente reforçada através de atividades de grupo freqüentes na sala de aula. Os cientistas trabalham normalmente em grupos e com menos freqüência como investigadores isolados. O recurso a uma estratégia de trabalho em grupo nas aulas de Ciências pode melhorar a compreensão do funcionamento da Ciência. As estratégias de grupo têm muitas vantagens no ensino: por exemplo, ajudar os jovens a perceber que todos podem contribuir para atingir objetivos comuns e que o progresso não depende do fato de todos possuírem as mesmas capacidades (COSTA, 1999). No processo de discussão acerca de uma idéia e na procura de noções comuns, os estudantes de um mesmo grupo têm de informar freqüentemente os colegas acerca de procedimentos e significados, argumentar acerca de descobertas e avaliar a evolução das tarefas (COSTA, 1999).

Outro aspecto que merece destaque em nosso trabalho é o impacto positivo no sentido de melhorar os escores dos estudantes a respeito da natureza do conhecimento científico nas subescalas criativo, testável e unificado. Ou seja, aspectos do conhecimento científico envolvidos diretamente no ambiente de experimentação. Deste modo, é possível dizer que nossos cursos de férias são capazes de melhorar, ao menos em parte, a visão que os estudantes têm a respeito da natureza da Ciência.

Também merece especial destaque o fato de os estudantes terem obtido os piores escores nas subescalas amoral e parcimonioso. Eles demonstraram, principalmente, não concordar que a Ciência seja passível de julgamento moral e, da mesma forma, tenderam a achar que a Ciência tem entre suas características um elevado nível de complexidade.

Dentre as principais justificativas para o levantamento das concepções dos estudantes, BENARROCH (2000) cita que se podem utilizar os esquemas epistemológicos para selecionar e seqüenciar o ensino de ciências, problemas que se colocam ao se tentar uniformizar a multiplicidade das investigações realizadas. Neste sentido, a História e a Epistemologia da Ciência podem ser utilizadas no ensino de diversas maneiras (GAGLIARDI, 1988) como, por exemplo, na identificação dos obstáculos epistemológicos, na definição dos conteúdos do ensino e como complemento de ensino de outras disciplinas.

Além disso, a introdução de aspectos da História da Ciência possibilita que os estudantes compreendam melhor como a Ciência é construída e desenvolve-se e que repercussões sociais têm estes conhecimentos, considerando a Ciência como parte inseparável do saber humano (SOLBES & TRAVER, 2001). O entendimento da construção deste saber humano ao longo da história permite também uma melhor assimilação pelos estudantes das entidades e idéias que constituem o mundo da Ciência. Isto sem a necessidade de que este precise redescobri-las através de seu próprio empirismo, em outras palavras, implica o estudante ser iniciado no mundo e na linguagem da Ciência, contribuindo, desta forma, para a construção de uma sociedade mais crítica e consciente a respeito da Ciência e seus produtos.

Outra contribuição desta literatura é compreender as relações entre a Ciência e a sociedade a fim de se evitar uma fragmentação social, os cientistas de um lado e os cidadãos de outro. Além do fato de que a compreensão da Ciência e da Tecnologia é necessária para viver em sociedades científica e tecnologicamente avançadas (BLANCO, 2004). A Ciência é mais do que um corpo de informação e um modo de acumular e validar essa informação. É também uma atividade social que incorpora certos valores humanos. A alta estima votada à curiosidade, criatividade, imaginação e beleza não é algo que se confine à Ciência - como também o ceticismo e o desagrado pelo dogmatismo não se restringem a ela (RUTHERFORD & AHLGREN, 1995). Ao aprender Ciência, os estudantes devem encontrar estes valores como parte da sua experiência e não como afirmações vazias.

A ausência de correlação entre fenômenos cotidianos e conhecimento científico acaba ocasionando uma contribuição negativa no processo de ensino-aprendizagem. Existe uma falta de estímulo à curiosidade científica dos estudantes, evidenciada em seu conhecimento insuficiente acerca do mundo e da Tecnologia que o cerca. Além disso, os estudantes parecem diferenciar a Ciência encontrada no seu dia-a-dia da Ciência estudada na escola. Devido a essa grande lacuna entre cotidiano e Ciência, torna-se urgente contextualizar o mundo das fórmulas e dos conceitos abstratos dados em sala de aula, utilizando para isso a própria curiosidade dos estudantes como guia (NANNI, 2004). Certamente, as aulas necessitam ter uma conexão mais dinâmica com o cotidiano do estudante, sem se prender somente a fórmulas, gráficos ou conceitos.

Já há algum tempo, John Dewey apontou que o sistema educacional pode acabar por constituir “um perigo”. Isto por que a escola muitas vezes torna-se um fim e não um processo, disponibilizando aos estudantes um material de instrução que é

da escola e não da vida (DEWEY, 1975). Segundo o mesmo autor, outro erro é aceitar a teoria de que a educação é simples preparação para a vida, o que acaba por justificar todo o isolamento e artificialismo com que se organiza a escola.

Outra questão levantada por Dewey é a maneira como a Ciência e as principais descobertas científicas são apresentadas na escola. Ele diz que são expostas leis e, com elas, no máximo, algumas poucas indicações do modo como se chegou até elas. Com isso, "*os alunos aprendem `uma ciência', em vez de aprenderem o modo científico*" (DEWEY, 1975). Ele critica a metodologia tradicional que desconsidera aspectos da natureza da Ciência (como a produção do conhecimento e o fazer científico) em virtude das exposições de acontecimentos científicos que desprezam todo o contexto histórico-cultural onde o cientista estava inserido na época de sua pesquisa.

Para finalizar, inspirando-se na obra de Dewey (DEWEY, 1959; 1975), para que a aprendizagem que se integra diretamente na vida cotidiana ocorra são necessárias algumas condições, as quais a escola formal não tem oferecido devido a sua organização atual. São elas:

a) *Só se aprende o que se pratica.* A escola tradicional só permite que se pratiquem certas habilidades mecânicas, sem cogitar a prática de traços morais e emocionais. É necessário que a escola ofereça um meio social vivo, cujas situações sejam tão reais quanto as de fora da escola;

b) *Não basta apenas praticar.* Aprende-se através da reconstrução consciente da experiência. Não é possível adquirir um novo modo de agir, se não há a intenção de adquiri-lo;

c) *Aprende-se por associação.* Não se aprende somente o que se tem em vista, mas também outras coisas que estão associadas com o objetivo principal.

d) *Não se aprende nunca uma coisa só.* À medida que se aprende uma coisa, várias outras são simultaneamente aprendidas;

e) *Toda a aprendizagem deve ser integrada à vida,* isto é, adquirida em uma experiência real de vida, onde o que for aprendido tenha o mesmo lugar e função que tem na vida. Se a criança ou o jovem percebe o lugar e a função que tem aquilo que vai aprender, sua vontade de aprender acaba dando-lhe impulso para fazer isso naturalmente.

10 PERSPECTIVAS

Nas duas avaliações divulgadas pelo PISA até agora (PISA, 2000; 2003), os resultados absolutos relativos ao Brasil são insatisfatórios. O país ocupa uma das últimas posições na avaliação internacional e é pequena a proporção dos alunos que apresentam as competências adequadas às séries que freqüentam. A crise mundial do ensino de Ciências pode ficar mais evidente com os resultados da maior avaliação internacional de educação, edição 2006 do PISA, a qual foi realizada em agosto do ano passado com a participação de 57 países. O Brasil tem cerca de 12 mil estudantes de 15 anos avaliados nesse ano que foca o ensino em Ciências.

O diagnóstico do problema, e suas soluções, apontam para discussões óbvias como: a formação docente muitas vezes superficial e pouco realista; os baixos salários do setor, desmotivando os professores; os investimentos na área educacional, que além de não serem prioritários parecem ser mal empregados; a estrutura curricular que dificulta a interdisciplinaridade e a transdisciplinaridade necessárias nos novos tempos; além da escassez de computadores, bibliotecas e laboratórios de Ciências, notadamente no Ensino Fundamental. Além disso, no caso específico do ensino de Ciências no Brasil o número elevado de estudantes em cada classe e a heterogeneidade de suas capacidades e suas formações têm sido complicadores adicionais.

Da mesma forma, por razões históricas, sociais e raciais muitos dos jovens atuais estão alijados do mundo da cultura e da Ciência por falta de oportunidade e de informação, fatores que levam à descrença em suas potencialidades e na possibilidade de se integrarem e de vencerem na sociedade. Portanto, é de fundamental importância promover a socialização do jovem, fornecendo-lhe um ponto de referência adequado às suas especialidades e particularidades, favorecendo sua promoção e integração social. Num mundo globalizado e dinâmico, é preciso que os estudantes investiguem, questionem, construam conhecimentos, utilizem os novos meios tecnológicos disponíveis e, sobretudo, ganhem autonomia ao longo da aprendizagem adquirindo, assim, a capacidade de resposta às situações complexas que irão encontrar no futuro.

Para que isto ocorra, faz-se necessário por em prática uma nova perspectiva educacional onde estudantes e professores atuem como produtores do conhecimento no próprio ambiente escolar e descubram a importância de aprender continuamente para enfrentarem os desafios de uma sociedade e de um mercado de

trabalho em constante modificação. Além disso, é importante proporcionar aos professores de Ciências um contato direto com o processo de fazer Ciência e tentar criar uma mentalidade investigativa nos professores dentro do ambiente de suas escolas, buscando identificar quais os fatores que afastam ou dificultam a aproximação dos estudantes do ensino básico das Ciências.

Os objetivos gerais dos projetos desenvolvidos por nosso grupo têm sido melhorar o ensino nas escolas públicas por meio de atividades experimentais em laboratórios de pesquisa e nas salas de aulas, escolher jovens talentosos de baixa renda para direcioná-los à vida acadêmica (fazendo pesquisa em laboratórios de Biologia e Química, ou no ensino destas Ciências). Subjacente a este compromisso está a idéia de que a melhoria da educação científica depende de um trabalho conjunto dos diferentes atores que lidam, no seu cotidiano profissional, com o conhecimento, seja na validação científica dos mesmos ou na sua divulgação por meio de ações de ensino formal ou não formal. Outra idéia importante é que o conhecimento científico e os produtos que dele decorrem só têm valor quando provocam impacto positivo na qualidade de vida da sociedade como um todo, o que torna a mediação entre o conhecimento científico e o popular uma atividade complexa que exige uma formação específica que caracteriza, em última análise, o profissional de ensino de Ciências.

A aplicação das atividades dentro do ambiente escolar, agora com a participação dos professores como instrutores, junto com os pesquisadores e pós-graduandos, tem sido animadora (ROCHA & SOARES, 2005). Uma boa parcela dos estudantes se envolve espontaneamente nas atividades dos cursos experimentais e uma parte significativa das questões experimentais, levantadas pelos estudantes, não pode ser teoricamente respondida (ROCHA & SOARES, 2005).

Concluindo, acreditamos que a execução de cursos experimentais baseados na RP deva ser estimulada como uma forma de melhorar o ensino de Ciências no Brasil. Todavia, isto requer recursos e competência técnico-científica para realizá-los. Muitos dos programas de pós-graduação em Ciências estariam aptos a realizar esta tarefa. Também, a formação dos futuros professores deve incluir atividades onde realmente se valorize e se vivencie a atividade científica de forma criativa e libertadora. Assim, nas suas práticas educacionais futuras, tais professores de Ciências talvez ensinem de um modo mais próximo da Ciência real.

11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, I.A. & MEGID NETO, J. Qualidade do livro didático de Ciências: o que define e quem define? *Ciência & Ensino*, Campinas, n.2, p. 13-14, 1997.
- AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE (AAAS). *Benchmarks for science literacy, Project 2061*. New York: Oxford University Press, 1993.
- AUSUBEL, D.P.; NOVAK, J.D.; HANESIAN, H. *Psicologia Educacional*. 2 ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.
- BACHELARD, G. *A formação do Espírito Científico: Contribuição para uma psicanálise do conhecimento*. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.
- BENARROCH, A. El desarrollo cognoscitivo de los estudiantes em el área de la naturaleza corpuscular de la materia. *Ensenanza de las Ciencias*. vol. 18, p. 235-246, 2000.
- BENCZE, J.L. Correlational studies in school science: Breaking the science-experiment-certainty connection. *School Science Review*, vol. 78, p. 95-101, 1996.
- BLANCO, A. Relaciones entre la Educación Científica y la Divulgación de la Ciencia. *Revista Eureka*, vol. 1, p. 70-86, 2004.
- BRASIL. “LEI n.º 9394, de 20.12.96, Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional”, In *Diário da União*, ano CXXXIV, n. 248, 23.12.96, 1996.
- BRASIL. *Guia de Livros Didáticos: 1ª a 4ª séries – PNLD 2000/2001*. Brasília: SEF/FNDE/CEALE/CENPEC, 2000.
- CACHAPUZ, A.; PRAIA, J.; GIL-PÉREZ, D.; CARRASCOSA, J.; TERRADES, F.M. A emergência da didáctica das ciências como campo específico de conhecimento. *Revista Portuguesa de Educação*, vol.14, p. 155, 2001.
- CARR, W. & KEMMIS, S. *Teoria crítica de la enseñanza – la investigación-acción em la formación del profesorado*. Barcelona: Martinez Rocca, 1988.
- COSTA, J.A. O papel da escola na sociedade actual: implicações no ensino das ciências. *Millenium (Revista do Instituto Superior Politécnico de Viseu)*, vol. 15, p. 56-62, 1999.
- COSTA, S.S.C. & MOREIRA, M.A. Resolução de problemas I: diferença entre novatos e especialistas. *Investigações em Ensino de Ciências*, vol. 1, 176-192, 1996.

- COSTA, S.S.C. & MOREIRA, M.A. Resolução de problemas II: Propostas de metodologias didáticas. *Investigações em Ensino de Ciências*, vol. 2, 5-26, 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*, vol. 2, 65-104, 1997b.
- COSTA, S.S.C. & MOREIRA, M.A. Resolução de problemas I V: Estratégias para resolução de problemas. *Investigações em Ensino de Ciências*, vol. 2, 153-184, 1997c.
- DANTE, L.R. *Didática da Matemática: Uso ou Abuso?* Brasília: Em Aberto, n.69, jan/mar,1996.
- DE MEIS, L.; MACHADO, R.C.P.; LESSA, F.; RUMJANEK, V.M.B.D. Science and industry in developed and developing countries. *Ciência e Cultura*, vol. 43, 278, 1991.
- DELIZOICOV, D. & ANGOTTI, J. A. *Metodologia do ensino de Ciências*. São Paulo: Cortez, 1992.
- DEMO, P. *Educar pela pesquisa*. São Paulo: Autores Associados, 1998.
- DEWEY, J. *Como pensamos. Como se relaciona o processo reflexivo com o processo educativo: uma reexposição*. 3ª. Edição. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1959.
- DEWEY, J. *Vida e Educação*. 9ª. Edição. São Paulo: Edições Melhoramentos, 1975.
- DRIVER, R.; ASOCKO, H.; LEACH, J.; MORTIMER, E.; SCOTT, P. Constructing scientific knowledge in the classroom. *Educational Researcher*, vol. 23, p. 5, 1994.
- FREIRE, P. *Pedagogia da Autonomia – saberes necessários para a prática educativa*. Rio de Janeiro: Paz e Terra. 9ª edição, 1998.
- GAGLIARDI, R. Cómo utilizar la historia de las ciencias en enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 6, p. 291-296, 1988.
- GÓMEZ-MOLINÉ, R.M. & SANMARTÍ, N. El aporte de los obstáculos epistemológicos. *Educación Química*, vol. 13, p. 61-68, 2002.
- HABERMAS, J. *Theory and Practice*. Londres: J. Viertel, Heinemann, 1974.
- HUGHES, W. *Critical thinking: An introduction to the basic skills*. (3ª ed.). Toronto: Broadview Press, 2000.

- KEMPA, R.F. Science education research: some thoughts and observations. *Studies in Science Education*, vol. 3, p. 97, 1976.
- KRALSICHIK, M. Reformas e realidade o caso do ensino das ciências. São Paulo: *Perspectivas*, vol.14, p. 85-93, 2000.
- LEMEIGNAN, G. & WEIL-BARAIS, A. A developmental approach to cognitive change in mechanics. *International Journal of Science Education*, vol. 16, p. 99-120, 1994.
- MALDANER, O.A. & SCHNETZLER, R.P. Em Ciência, Ética e Cultura na Educação; Chassot, A.; Oliveira, J. R., orgs.; ed. São Leopoldo: Unisinos, 1998.
- MANFREDI, S. M. Política e educação popular. 2.ed. São Paulo: Cortez, 1981.
- MATTHEWS, M. Construtivism and empirism: an incomplete divorce. *Research in Science Education*, vol. 22, p. 299, 1992.
- MEGID NETO, J. & FRACALANZA, H. O Livro didático de ciências: Problemas e soluções. *Ciência & Educação*, vol. 9, p. 147, 2003.
- MELO, M.R. Ensino de Ciências: uma participação ativa e cotidiana, 2000. Disponível em: <<http://www.rosamelo.hpg.com.br/>>.
- MOREIRA, M.A. Aprendizagem significativa. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1999.
- MORTIMER, E.F.E. & CARVALHO, A.M.P. Referenciais teóricos para análise do processo de ensino de ciências. *Caderno de Pesquisas*, n. 96, p. 5, 1996.
- NANNI, R.A. A natureza do conhecimento científico e a experimentação no ensino de ciências. *Revista Eletrônica de Ciências*, n. 26, maio, 2004. Disponível em: http://www.cdcc.sc.usp.br/ciencia/artigos/art_26/natureza.html
- PCN - PARÂMETROS CURRICULARES NACIONAIS. Ministério da Educação e do Desporto, Secretaria do Ensino Fundamental, Distrito Federal: MEC/SEF,1996.
- PISA - Programme for International Student Assessment. Disponível em: <http://www.pisa.oecd.org/>.
- PISA - Programme for International Student Assessment. Disponível em: <http://www.pisa.oecd.org/>.
- POZO, Juan Ignacio. A crise da Educação científica: voltar ao básico ou voltar ao construtivismo? In: BARBERÁ, Elena. *O Construtivismo na prática*. Porto Alegre: Artmed, 2004.
- ROCHA, J.B.T. & SOARES, F.A. O ensino de ciências para além do muro do construtivismo. *Ciência & Cultura*, vol. 57, p. 26-27, 2005.

- ROCHA, J.B.T.; BARBOSA, N.B.V.; SCHETINGER, M. R.C.; PEREIRA, M.E. A concepção sobre a natureza do conhecimento científico de estudantes e professores do ensino médio da região de Santa Maria: influência de um curso baseado na resolução de problemas. *Ciência & Natura*, vol. 22, p. 83-102, 2000.
- RODRIGUES, P.S. & DE MEIS, L. Challenges for science education in the western hemisphere: A Brazilian perspective. In *Science and Development*, Martine Barrère (ed.), vol. 5. Paris: IÓRSTOM, 1996.
- ROSÁRIO LIMA, V.M. & PAAZ, A. Reflexões sobre o ensino de Ciências na Educação de Jovens e Adultos. *Ciências & Letras*, julho/dezembro, n. 40, 2006). Disponível em: <http://www.fapa.com.br/cienciaseletras/publicacao.htm>.
- ROZEMBERG, N. & BIRDZELL, L.E. Science, technology and the western miracle. *Scientific American*. Novembro, p. 42, 1990.
- RUBBA, P. Nature of scientific knowledge scale, school of education. Indiana University, Bloomington, Indiana, 1976.
- RUBBA, P.A. & ANDERSEN, H. 'Development of an Instrument to Assess Secondary School Students' Understanding of the Nature of Scientific Knowledge'. *Science Education*, vol. 62, p. 449-458, 1978.
- RUTHERFORD, F.J. & AHLGREN, A. *Ciência para todos*. Lisboa: Gradiva, 1995.
- SANTOS ROSA, M.I.F.P. & SCHNETZLER, R.P. A investigação-ação na formação continuada de professores de ciências. *Ciência & Educação*, vol. 9, p. 27, 2003.
- SANTOS, M.E.V.M. *Mudança Conceptual na sala de aula*. Lisboa: Livros Horizonte, 1991.
- SANTOS, P.O.; BISPO, J.S.; OMENA, M.L.R.A. O Ensino de Ciências Naturais e Cidadania sob a Ótica de Professores Inseridos no Programa de Aceleração de Aprendizagem da EJA - Educação De Jovens E Adultos. *Ciência & Educação*, vol. 11, p. 411, 2005.
- SCHNETZLER, R. P. Como associar ensino com pesquisa na formação inicial e continuada de professores de Ciências? Atas do II Encontro Regional de Ensino de Ciências. Piracicaba: UNIMEP, 18-20 out, 1996.
- SCHNETZLER, R.P. A pesquisa em ensino de química no Brasil: conquistas e perspectivas. *Química nova*, vol. 25, p. 14, 2002.
- SCHWARTZMAN, S., KRIEGER, E., GALEMBECK, F., GUIMARÃES, E.A., BERTERO, C.O. *Science and technology in Brazil: A new policy for a global world*. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1995.
- SOLBES, J. & TRAVER, M. Resultados obtenidos introduciendo historia de la ciencia

- en las clases de física y química: mejora de la imagen de la ciencia y desarrollo de actitudes positivas. *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 19, p. 151-162, 2001.
- SOUZA, S.B. *Introdução a uma ciência pós-moderna*. Rio de Janeiro: Graal, 1989.
- UNESCO. *Science for the twenty-first century: a new commitment*, 2000. Disponível em: <http://www.unesco.org/science/wcs/eng/declaration_e.htm>.
- VILLANI, A. & PACCA, J.L.A. Construtivismo, conhecimento científico e habilidade didática no ensino de ciências. *Revista da Faculdade de Educação*, São Paulo, vol. 23, 1997.
- WANDERSEE, J. H. Can the History of Science help Science Educators anticipate student's misconceptions? *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 23, p. 581-597, 1985.