

CARLOS ALBERTO DOS SANTOS
ALINE FERREIRA DE QUADROS
organizadores

Utopia em busca de Possibilidade

Abordagens interdisciplinares no ensino
das ciências da natureza



Utopia em busca de possibilidade

**Abordagens interdisciplinares no ensino
das ciências da natureza**

Universidade Federal da Integração Latino-Americana

Reitor

Hélgio Trindade

Vice-Reitor

Gerónimo de Sierra Neves

Pró-Reitora de Graduação

Maria Adélia Aparecida de Souza

Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação

Andrea Ciacchi

Pró-Reitora de Extensão e Ação Comunitária

Luisa Maria Nunes de Moura e Silva

Pró-Reitor de Administração, Finanças e Infraestrutura

Paulino Motter

Pró-Reitor de Planejamento e Desenvolvimento Institucional

Gláucio Roloff

Secretaria de Relações Institucionais

José Renato Vieira Martins

Secretaria de Gestão de Pessoas

Antonio Warner Lucas Alves

Secretaria de Relações Internacionais

Eliane Vieira Rocha

Secretaria de Assuntos Estudantis e Comunitários

José Renato Vieira Martins (interino)

Secretaria de Comunicação Social

Carlos Castilho

Procuradoria

Marcelo Cardoso Nassar

Utopia em busca de possibilidade

Abordagens interdisciplinares no ensino das ciências da natureza

CARLOS ALBERTO DOS SANTOS
ALINE FERREIRA DE QUADROS
Organizadores

Coleção
Integração Disciplinar



Foz do Iguaçu
2011

© dos autores
1ª edição: 2011

Direitos reservados desta edição: Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA)

Capa: Gustavo Demarchi

Revisão: Luciana Balbueno

Editoração eletrônica e impressão: Evangraf

Comissão Editorial *ad hoc*:

Alberto Villani, Aline Ferreira Quadros, Ângela Maria Hartmann, Carlos Alberto dos Santos, Érika Zimmermann, Glória Regina Pessoa Campello Queiroz, Márcia Gorette Lima da Silva, Maria Elena Infante-Malachias, Maria Helena Steffani.

Esta obra foi financiada pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (Capes), Itaipu Binacional e Universidade Federal da Integração Latino-Americana.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

U91 Utopia em busca de possibilidade : abordagens interdisciplinares no ensino das ciências da natureza / organizadores Carlos Alberto dos Santos, Aline Ferreira de Quadros. – Foz do Iguaçu : UNILA, 2011.

288 p. : il. – (Coleção Integração Disciplinar)

Trabalhos apresentados no Seminário Latino-Americano sobre Interdisciplinaridade no Ensino de Ciências da Natureza, realizado na UNILA, em Foz do Iguaçu, em 2010.

Inclui bibliografia e informações dos autores.

ISBN 978-85-7727-315-7

1. Ciência - Estudo e ensino. 2. Ciência - Abordagem interdisciplinar do conhecimento. 3. Professores - Formação. 4. Currículos - Planejamento. I. Santos, Carlos Alberto dos. II. Quadros, Aline Ferreira de. III. Série.

CDU 372.85

CDD 372.35

Bibliotecária Responsável Sabrina Leal Araujo CRB 10/1507

Universidade Federal da Integração Latino-Americana – Unila
Av. Tancredo Neves, 6731, Caixa Postal 2044, 85856-970, Foz do Iguaçu, PR
Fone: 55 (45) 3576.7307 / Fax: 55 (45) 3576.7306 / unila@unila.edu.br

Sumário

Prefácio	7
<i>Hélgio Trindade</i>	
Apresentação	9
<i>Carlos Alberto dos Santos e Aline Ferreira de Quadros</i>	
Para um modelo reflexivo de formação de professores	13
<i>Olga Pombo</i>	
Epistemologia e ensino das ciências	27
<i>Olga Pombo</i>	
Interdisciplinaridade no ensino da ciência	51
<i>Rodolpho Caniato</i>	
Revisitando experiências interdisciplinares no ensino de ciências	63
<i>Alberto Villani e Juarez Melgaço</i>	
Energia e Matéria: conceitos-chave para a interdisciplinaridade no ensino de ciências da natureza	79
<i>Carlos Alberto dos Santos</i>	
Interdisciplinaridade e resolução de problemas: algumas questões para quem forma futuros professores de ciências	93
<i>Maria Elena Infante-Malachias</i>	
O curso de Licenciatura em Ciências Naturais da Faculdade UnB Planaltina	105
<i>Maria de Lourdes Lazzari de Freitas</i>	
Planejamento de projetos para colaboração entre professores	119
<i>Érika Zimmermann e Ângela Maria Hartmann</i>	
Utilização de mapas conceituais para planejamento de projetos interdisciplinares em ciências	131
<i>Jeremias Borges da Silva, André Maurício Brinatti e Sílvio Luiz Rutz da Silva</i>	

Interdisciplinaridade e processo seletivo para a graduação: da influência inevitável à interação desejável	147
<i>Ricardo Gauche</i>	
Formação política na universidade: um olhar para as diretrizes das licenciaturas em ciências naturais	161
<i>Berenice Lurdes Borssoi, Renata Greco de Oliveira e Maria Elly Herz Genro</i>	
Uma adaptação curricular de física para ciências agrárias	173
<i>Ana Lucia Figueiredo de Souza Nogueira</i>	
O uso de reportagens científicas como alternativa para a construção do conhecimento científico	185
<i>Glória Regina Pessôa Campelo Queiroz</i>	
Processo argumentativo no ambiente escolar envolvendo questões sociocientíficas	199
<i>Liz Mayoly Muñoz Albarracín, Washington Luiz Pacheco de Carvalho, Francisco Nairon Monteiro Júnior e Amadeu Moura Bego</i>	
Ensino de química na EJA: compreensões e práticas docentes	209
<i>Marcelo Lambach</i>	
A Terra como um grão de pimenta	221
<i>Maria Helena Steffani</i>	
Fotossíntese – revisitando a enigmática questão: por que as plantas são verdes?	235
<i>Marco Sacilotti, Euclides Almeida, Cláudia C. Brainer de O. Mota, Thiago Vasconcelos, Frederico Dias Nunes, Marcelo Francisco Pompelli e Anderson S. L. Gomes</i>	
Movimento biológico: matemática no ensino de ciências da natureza ...	263
<i>Jair Koiller</i>	
Sobre os autores	279

Prefácio

Sinto-me gratificado, como Reitor, em prefaciá-lo este livro coletivo – *Utopia em busca de possibilidade: abordagens interdisciplinares no ensino das ciências da natureza* – organizado por dois professores da Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA). Tomo a liberdade, como espectador privilegiado do processo de sua construção acadêmica, de explicitar as razões que me conduzem a essa apreciação.

Primeiramente por se tratar de um livro fundador do projeto editorial da UNILA que pretende instituir, de forma gradual, coleções de livros, em diferentes áreas de conhecimento, para difundir os resultados de sua produção acadêmico-científica. Este livro certamente será uma referência para outras obras do gênero.

Outra razão importante decorre de ser uma obra coletiva, estruturada a partir de uma problemática comum, construída a partir de diferentes abordagens, com o objetivo de produzir uma reflexão inovadora para desvendá-la, introduzir novos enfoques e experiências, visando o seu aprofundamento teórico e analítico.

No entanto, o fato de definir um problema de interesse comum, numa determinada área do conhecimento, não é suficiente. Torna-se pré-condição a capacidade convocatória de pares acadêmicos decorrente da elaboração de uma proposta consistente a ser difundida entre acadêmicos reconhecidos no respectivo campo do saber.

A boa estratégia também recomenda convidar previamente alguns nomes de referência na área que, por sua qualidade legitimadora junto aos pares, demonstre ao público-alvo e às agências de fomento, o perfil científico do evento a ser organizado e estimule pesquisadores, professores e estudantes a se inscrever para participarem do mesmo.

Finalmente, um colóquio científico não se esgota no espaço das apresentações e discussões produzidas em seu âmbito, por mais rica que seja a dialética desse processo coletivo. Para que as reflexões e a sedimentação dos conhecimentos sejam apropriadas plenamente por seus integrantes, recomenda-se que os organizadores publiquem os resultados do evento.

Este foi o caminho seguido pelos professores Carlos Alberto dos Santos e Aline Ferreira de Quadros, cujo produto está reunido neste livro de grande interesse para os professores, alunos e o avanço da discussão nessa área complexa e fundamental na estratégia pedagógica da UNILA.

Resta ressaltar que este livro resultou do primeiro evento acadêmico organizado por professores da nova universidade e um esforço pioneiro que contou com financiamento da CAPES.

Além de contribuir substancialmente para o avanço do estado da arte sobre o tema, espera-se que esta publicação sirva de estímulo aos professores, em suas atividades acadêmico-científicas futuras, na realização da missão da UNILA: contribuir para a integração latino-americana pelo conhecimento compartilhado e a cooperação solidária entre os povos irmãos da América Latina e Caribe.

Hélgio Trindade
Reitor da UNILA

Apresentação

Os capítulos deste livro foram apresentados sob a forma de palestras e oficinas convidadas ou comunicações orais selecionadas entre os trabalhos inscritos para apresentação em painéis no Seminário Latino-Americano sobre Interdisciplinaridade no Ensino de Ciências da Natureza, realizado na Universidade Federal da Integração Latino-Americana (Unila), em Foz do Iguaçu, de 8 a 11 de dezembro de 2010, com apoio financeiro da própria Unila, da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (Capes) e da Itaipu Binacional.

Diversos aspectos do tema foram abordados em 12 conferências, 3 oficinas, 6 comunicações orais e 92 painéis. Do tratamento de conceitos fundamentais ao relato de experimentos pontuais, apresenta-se neste livro o que de mais relevante se discutiu no evento. Trata-se de um repertório de reflexões representativo do que há de mais recente na literatura, ao lado de relatos de vivências importantes para o estabelecimento de um cenário definidor de iniciativas para o futuro imediato. Esse diálogo entre o presente e a perspectiva do futuro e uma retrospectiva histórica de um passado recente está bem representado pelos dois capítulos de Olga Pombo e pelo capítulo de Rodolpho Caniato.

Os capítulos de Maria Elena Infante-Malachias e Maria de Lourdes Lazzari de Freitas relatam experiências dos cursos interdisciplinares de formação de professores de ciências na Escola de Artes, Ciências e Humanidades (EACH) da Universidade de São Paulo (USP) e na Faculdade UnB Planaltina. São depoimentos relevantes e instrutivos para educadores e gestores de cursos similares em implantação ou a serem implantados em outras instituições. Neste sentido, cabe destacar partes do relato de Infante-Malachias:

Os conhecimentos gerados nas diversas áreas das ciências da natureza ao longo dos séculos foram separados e fragmentados, infelizmente, na ciência escolar não se percebe que esta separação em disciplinas é de natureza artificial (...). Uma situação que ilustra de maneira clara esta compreensão sobre a ciência e o conhecimento (...): um aluno universitário perguntou tranquilamente durante uma atividade de laboratório: professor, o carbono da Química é o mesmo da Biologia ou não?

Para evitar essa visão distorcida, entre outras relatadas na literatura, a Unila oferecerá a partir de 2011 uma licenciatura em ciências da natureza com uma proposta pedagógica radical no que se refere ao caráter interdisciplinar dos conteúdos didáticos abordados, conforme relata Carlos Alberto dos Santos. Aproximadamente 75% da grade curricular atinente à biologia, física e química é composta de material didático centrado nos conceitos de energia e matéria, a partir dos quais se dá uma extensiva articulação entre as três áreas do conhecimento. Ao estudar simultaneamente o carbono na biologia, química e física, espera-se que o aluno supere a dificuldade relatada acima pela professora Infante-Malachias.

No seu capítulo, Alberto Villani argumenta que apesar dos esforços em escala mundial para o estabelecimento “de um ensino mais próximo dos estudantes, e mais preocupado com a ampliação da cultura científica”, não se tem observado “resultados concretos satisfatórios: não parece haver um avanço na promoção da literacia científica, no desenvolvimento curricular do ensino das ciências e na correspondente prática de sala de aula da maioria das escolas.”. Na sua opinião, os pesquisadores têm dado pouca importância ao estudo das “influências das subjetividades dos participantes, no sucesso ou no fracasso das metas pleiteadas. Influência que atravessa praticamente todas as iniciativas que pretendem atingir mudanças curriculares significativas.”. Ele aborda esse aspecto revisitando alguns casos concretos envolvendo mudanças curriculares progressivamente mais complexas.

Érika Zimmermann (*in memoriam*) e Ângela Maria Hartmann, assim como Jeremias Borges da Silva e colaboradores relatam iniciativas concernentes ao planejamento de projetos interdisciplinares, algo que tem pontos de contato com o relato de Villani.

Também na linha metodológica similar àquela apresentada por Villani, Liz Mayoly Muñoz Albarracin e colaboradores discutem o desenvolvimento de um processo argumentativo em sala de aula com alunos do 2º ano do Ensino Médio de uma escola pública localizada no município de Botucatu, SP. O caráter interdisciplinar da pesquisa foi favorecido pela composição da equipe constituída por um biólogo, um físico, um matemático e dois químicos.

Estratégias pedagógicas específicas são apresentadas por Glória Regina Pessôa Campelo Queiroz, que apresenta o uso de reportagens científicas como alternativa para a construção do conhecimento científico, Ana Lúcia Figueiredo de Souza Nogueira que apresenta uma adaptação curricular de física para as ciências agrárias e Marcelo Lambach, que aborda o ensino de química na educação de jovens e adultos.

Berenice Lurdes Borssoi e colaboradoras examina a formação política na universidade como mecanismo de articulação interdisciplinar na formação e atuação de professores de ciências da natureza na educação básica.

Partindo do parecer do Conselho Nacional de Educação sobre a Reforma do Ensino Médio de 1998, que reconhece o “poder que as exigências para ingresso no Ensino Superior exercem, e continuarão exercendo, sobre a prática curricular e pedagógica das escolas médias”, Ricardo Gauche faz uma retrospectiva histórica dessa questão e apresenta a experiência do Programa de Avaliação Seriada da Universidade de Brasília – PAS/UnB – criado em 1995.

Nos três últimos capítulos são apresentados materiais interdisciplinares úteis para utilização em sala de aula. Maria Helena Steffani apresenta “sugestões para tratar adequadamente as dimensões características do Sistema Solar, como os diâmetros do Sol e dos planetas e, também as distâncias interplanetárias”. Marco Sacilotti e colaboradores apresentam uma abordagem moderna da fotossíntese, baseada em conceitos avançados de física. Jair Koiller apresenta um profundo e exaustivo ensaio sobre as possibilidades de utilização da matemática no ensino de biologia.

Finalmente, mas de modo algum de somenos importância, cabe destacar que a obra inaugura a Coleção Integração Disciplinar, fundadora do projeto editorial da UNILA que, como afirma o Magnífico Reitor no seu prefácio, “pretende instituir, de forma gradual, coleções de livros, em diferentes áreas de conhecimento, para difundir os resultados de sua produção acadêmico-científica.”

Carlos Alberto dos Santos e Aline Ferreira de Quadros
Organizadores

Para um modelo reflexivo de formação de professores

Olga Pombo

Introdução

Trata-se aqui de tornar a formação de professores, em especial a formação inicial, como objeto de uma tríplice operação. “Operação de distanciamento e recuo” face a um conjunto de práticas rotineiras de formação de professores em que estamos imersos e que, muitas vezes, corremos o risco de aceitar sem discutir, sem questionar; “operação de sobrevoos e integração” que procure deslindar a multiplicidade dessas práticas para identificar as principais perspectivas em jogo e encontrar os pontos de referência, as coordenadas que permitam dar um enquadramento amplo às diversas posições e teorias existentes sobre formação de professores; “operação ainda de diálogo e suspensão do juízo” na medida em que se procurará perceber o sentido e argumentação das várias perspectivas em confronto sem imediatamente rejeitar como falsas aquelas que, por uma razão ou outra¹, caíram em desgraça. O que supõe, portanto, a reconstrução discursiva de certas perspectivas hoje condenadas, desclassificadas, banidas.

A conjugação destas três operações exige, como é óbvio, uma “postura crítica e questionante” que não evitará discutir as evidências, as certezas da moda, os valores estabelecidos, as verdades tidas como assentes. Posição crítica que se quer “construtiva” e que, por isso, se arrisca à apresentação, ainda que esquemática, de uma proposta de modelo para a formação de professores.

Assim, num primeiro momento, procederemos a um estudo comparativo das “três grandes perspectivas” (que propomos designar por experiencial, mimética e descritiva) que, embora com inúmeras variantes, nos parecem ser determinantes na formação de professores. Será nosso objetivo, em cada caso,

¹ De fato, tem sido sempre por razões mais ou menos circunstanciais que, entre nós, se tem assistido ao abandono de uma perspectiva de formação de professores em favor de uma outra. Em caso algum, a substituição de um modelo por outro foi feita na sequência de uma aprofundada análise do anterior, dos seus resultados, dificuldades e fracassos, razão pela qual, sob o regime de um total desperdício do cabedal de experiência que vai sendo adquirido, cada novo modelo de formação de professores é tão arbitrariamente escolhido e adotado como aquele que vem substituir.

identificar os pressupostos, perceber a lógica, repor em discurso cada uma delas. Num segundo momento, procuraremos definir os contornos e apresentar algumas breves indicações do que poderia ser “uma proposta de modelo reflexivo” de formação de professores. Relativamente a cada um dos modelos considerados, estaremos atentos ao papel que, em cada caso, a “Universidade” é aí chamada a desempenhar.

Será necessária a formação de professores?

As primeiras verdades estabelecidas que gostaríamos de questionar dizem respeito à própria indispensabilidade da formação de professores. Diz-se vulgarmente hoje — e disso estamos todos porventura demasiados convencidos — que, assim como não é permitido exercer a profissão de médico ou advogado sem, para lá de uma adequada formação científica, ter adquirido formação profissional, da mesma maneira não pode o professor (não deve) exercer a sua profissão de professor sem formação específica para a actividade docente. O argumento parte da consideração, aparentemente óbvia, de que o trabalho do professor é uma “profissão”, uma profissão como qualquer outra², o que, por seu lado, abre caminho à completa absorção da figura do professor pela do “funcionário”³. Ser professor é então exercer uma atividade profissional que, como todas as outras, tem os seus “segredos de ofício”, os seus requisitos e procedimentos próprios pelo que, de pleno direito, a atividade docente exige uma adequada formação profissional.

² Trata-se, no fundo, de laicizar a função docente, de lhe retirar a conotação religiosa com que, a civilização ocidental, a determinou. Na verdade, ao longo de um processo histórico mais que milenário, a Igreja Cristã, herdeira das instituições escolares greco-romanas, vai, antes do estado, em nome do estado, ao lado do estado e, em alguns momentos, mesmo contra o estado, lutar pelo controle das instituições educativas europeias (veja-se, por exemplo, o papel dos Jesuítas). Não é pois de estranhar que o trabalho docente tenda a ser pensado sob as categorias da *vocação*, da *missão* e mesmo da *função sagrada*. Profissão secular e não vocação, profissão laica e não missão, a verdade é que, ainda hoje, a figura do professor conserva alguns traços inesperados da sua proximidade à figura do sacerdote. Do púlpito à cátedra e da cátedra ao estrado e à secretária sobranceira, das vestes sacerdotais aos trajes académicos, dos votos de celibato à dedicação exclusiva aos alunos e à vida da escola, muitas são as marcas simbólicas que, hoje ainda, atestam o passado de uma figura e de uma função.

³ Se a *profissionalização* da função docente tem a ver com a *laicização* progressiva da figura do professor, a absorção do estatuto do professor pelo do *funcionário* tem a ver com a *docilidade* que lhe é exigida pelos poderes educativos estabelecidos e por estes recompensada em termos de *segurança* e *estabilidade* de emprego. Digamos que, aquilo que a função docente ganha com o passar a ser uma profissão (densidade, independência, autonomia) se perde, em grande medida, com a aquisição pelo professor do estatuto do funcionário. Para uma análise das relações do professor com o corpo docente, com o *corpus* ensinado e com o corpo sociopolítico, cf. Derrida, Jacques. *Onde começa e como acaba um corpo docente*. In: Grisoni, Dominique. (Org.). *Políticas da filosofia*. trad. port. de José Saramago. Lisboa: Moraes, 1977. (col. Temas e Problemas, Série Filosofia). p. 43-69.

Não vou discutir o argumento, tão discutível aliás, como todos os argumentos, mas tão só recordar que sempre houve professores sem haver “formação de professores”. A “formação de professores” (pelo menos a sua institucionalização) é algo relativamente recente e seria interessante procurar perceber as razões da importância crescente que ela tem vindo a adquirir⁴.

Sempre houve professores sem haver “formação de professores”! Bons e maus professores, diga-se em abono da verdade! Isto é, nem todos eram maus pelo fato de não terem tido uma formação específica para professores. E alguns eram mesmo muito bons...

Primeira perspectiva de formação de professores

Daqui decorre uma primeira perspectiva acerca da formação de professores. Para ser professor o único investimento exigível é de natureza *científica* e, quanto muito, também *moral*. Nesta ordem de ideias, é à Universidade que cabe a responsabilidade inteira da formação do professor. Mais do que um certificado que atesta e consagra a aquisição de competências científicas específicas de grau superior, o diploma de *licenciatura* requerido ao candidato a professor revela-se aqui, inteiramente, na sua origem histórica e etimológica, enquanto *licença* para ensinar⁵. Como vimos, para quem defende esta perspectiva pode ainda ser considerado exigível que o professor apresente credenciais abonatórias do seu “bom nome” e da “moralidade” dos seus costumes, isto é, da conformidade do seu comportamento aos padrões socialmente estabelecidos (“mores”). Referira-se, como exemplo, o assim designado “atestado de bom comportamento” requerido entre nós para o exercício público da docência e que, como é sabido, foi um dos instrumentos que permitiu afastar muitos professores do ensino oficial antes do 25 de Abril.⁶

Quanto à *formação pedagógica*, ou ela é considerada como não-necessária, ou não é sequer considerada. O que nesta perspectiva unicamente importa é a

⁴ Aquém ou além das inúmeras razões de ordem pedagógica que podem (e devem) ser invocadas para justificar a necessidade da formação de professores, a sua institucionalização dificilmente escapa ao paralelismo com o fenómeno da democratização do ensino e da massificação generalizada que o acompanha.

⁵ Manifestação do carácter corporativo que caracterizou a criação da instituição universitária, a *licencia docendi* foi, de fato, o mais antigo grau concedido pela Universidade, grau através do qual os mestres reconheciam aos estudantes o direito e a capacidade para, por sua vez, exercerem a função docente. Para uma informação mais detalhada, veja-se, por exemplo, *Les Universités au Moyen Âge* de Jacques Verger, Paris: Puf, 1973, em especial, p. 64 e segs.

⁶ Ao ter que ser visado pela polícia política, ex-Pide/Dgs, o documento impediu o acesso e permitiu o afastamento por razões políticas e ideológicas de muitos professores, tanto em nível do ensino primário como secundário e universitário. Veja-se, por exemplo, de Joaquim Barradas de Carvalho, *O obscurantismo salazarista*, Lisboa: ed. Seara Nova, 1974, (col. argumentos n. 10), em especial p. 13-26 e 41-57.

preparação científica do professor. Os modos, os meios da comunicação são pensados, ou como *indiferentes*⁷, ou como *naturalmente* decorrentes da própria competência científica. Se o professor é cientificamente competente - dir-se-á - ele saberá encontrar os meios comunicativos necessários ao ensino da sua disciplina. Ainda segundo esta perspectiva, em geral defendida pelos professores universitários, a formação pedagógica é considerada como não podendo ser adquirida senão pela *experiência pessoal*, por definição singular e intransmissível. A preparação pedagógica do professor será assim qualquer coisa para a qual, sem dúvida, uns são mais dotados do que outros, mas que, cada um, por si próprio, se pode ir adquirindo ao longo da vida, experiencialmente.

Há aqui, apesar de tudo, o desenhar de um certo *modelo* (ainda que não institucional) de formação de professores no qual esta é pensada como “saber de experiência feito”. Este modelo, que designaremos por *experiencial*, pode, conforme os casos, estar na origem de um valioso processo de *autoformação*, mediante o qual o professor, ao longo da sua vida como professor, vai apurando as suas habilidades e competências no sentido da descoberta de um estilo pessoal harmonioso ou, ao invés, dar lugar a uma *prática repetitiva* em que o professor, abandonado a si próprio, tende a reproduzir o *modus faciendi* dos seus próprios professores, efeito que, como se sabe, é uma das causas do tendencial conservadorismo da instituição escolar.

Trata-se de uma perspectiva que não está tão ultrapassada como se poderia pensar. Digamos que ela tem, ainda hoje, muitos adeptos. Para além dos professores universitários que, como vimos, tendencialmente a defendem (o que é compreensível se pensarmos que, nesta perspectiva, a Universidade é a fonte decisiva da formação do professor), outros adeptos são por vezes provenientes de lugares surpreendentes. É o caso do Ministério da Educação que, com grande facilidade e desenvoltura, aceita como professores pessoas sem qualquer preparação pedagógica (o que não acontece, por exemplo, ao nível do médico e do advogado que são impedidos de “exercer” sem a respectiva formação profissional).⁸ É o caso também de todos aqueles professores (e são muitos, infelizmente) aos quais antes / durante / após um processo institucional de formação de professores, ouvimos pronunciar declarações do tipo: “Tudo o que aprendi ao longo do processo de formação de professores em que estive

⁷ A palavra *indiferença* esconde, aliás, uma pluralidade de sentidos com que podem ser pensadas as formas comunicativas capazes de fazer passar um saber: algo de simplesmente transparente, neutro ou inócuo, ou algo de subsidiário, secundário, ou mesmo desprezível. Em ambos os casos, o que falta é o reconhecimento da espessura da determinação pedagógica enquanto fenómeno comunicativo.

⁸ O Ministério da Educação em Portugal (e não só) vai mesmo às vezes mais longe aceitando como professores pessoas sem sequer a necessária preparação científica.

inserido é para esquecer” ... “A minha verdadeira formação começou quando, finalmente, me vi livre de todos os formadores e fiquei sozinho com os meus alunos”. O que equivale a dizer, quando pude construir sozinho, *experencialmente*, o meu caminho como professor.

Provavelmente, muitos desses professores têm fortes razões para dizer o que dizem. O que é que eles dizem, afinal? Recusam qualquer modelo de formação de professores que não seja experiencial. Numa palavra, a perspectiva experiencial não é tão escandalosa, tão ultrapassada como se poderia pensar. Ela tem, do seu lado, *três grandes verdades*:

1. a formação científica de um professor é um elemento decisivo da sua formação (porventura, o mais decisivo);
2. a experiência pessoal tem, na formação de um professor, uma importância irrecusável;
3. há na atividade do bom professor algo que é da ordem do artístico. Dois bons professores não podem ser dois professores iguais. Para serem ambos bons, têm necessariamente que ser diferentes, inimitáveis...

Curiosamente os defensores desta perspectiva fazem destas três verdades uma *utilização*, a meu ver, *sofismática*. Porque é verdade que não se pode ser bom professor sem uma sólida formação científica (1º elemento), eles tendem a dizer que basta ter uma sólida formação científica para se ser bom professor. De modo paralelo, do reconhecimento da importância insubstituível da experiência pessoal na formação de um professor (2º elemento) tende-se a sublinhar, muito para lá do razoável, o carácter de radical intransmissibilidade da própria experiência⁹. Finalmente, da afirmação da componente artística na actividade de um bom professor (3º elemento), porque não há de fato modelos únicos nem regras universais para se ser bom professor, tende-se a remeter para a ordem do mistério e do inefável a responsabilidade inteira pelo sucesso de um ensino. A *profissão* de professor tenderá então a ser, uma vez mais, absorvida pela categoria da *vocação* pensada esta agora, não em termos religiosos, mas em termos psicológicos e estéticos (como *dom, dote, estilo*).

Segunda perspectiva de formação de professores

A segunda perspectiva de formação de professores que me parece pertinente analisar constrói-se com base numa lógica muito diferente. Ao

⁹ Com o que, em limite, aqueles que defendem uma tal tese acabam por cair em contradição performativa pois que, implicitamente, condenam à partida o fundamento primeiro do próprio ensino que se propõem ministrar.

contrário da primeira, parte-se aqui do reconhecimento da necessidade de, para além da formação científica, dar ao professor, no início da sua carreira, uma formação específica para professor (o que obriga à constituição de um modelo necessariamente institucionalizado).

O processo é o seguinte: o professor começa por ter que conquistar o seu diploma de estudos superiores (licenciatura, bacharelado etc). Tal diploma é adquirido na *Universidade* e não visa diretamente a profissão docente, antes permite o acesso a diversas profissões. O diploma universitário vai ser utilizado pelo futuro professor para a entrada na *instituição escolar* na qual, com outros professores, se dará início ao processo da sua formação como professor. Isto é, o diploma universitário (e a formação científica que lhe corresponde) funciona aqui, não apenas para consagrar uma competência ou garantir uma licença de ensino, mas também como aquilo que permite ao futuro professor adquirir o estatuto de *par*. A formação pedagógica realiza-se depois, fora da universidade. O futuro professor é recebido no grupo de professores de uma escola e é aí – *inter pares* – que se desenrola o processo da sua formação como professor.

Trata-se, portanto, de uma perspectiva que se traduz num *modelo sequencial* que comporta dois momentos de formação distintos, sucessivos e heterogêneos: a formação científica e a formação pedagógica. Em termos de aprendizagem, a formação do professor é aqui pensada como um *processo mimético* de *iniciação* e *imitação*. Em termos de princípio motor da formação, o elemento mais determinante é a *pessoa concreta do formador*. Tudo será diferente consoante o formador for, ou uma figura prestigiada, de elevada competência científica, de reconhecida capacidade pedagógica e qualidade humana, ou uma personagem parda, pardacenta, por quem a comunidade escolar (colegas e alunos) não manifesta qualquer especial respeito ou apreço, ou mesmo, no pior dos casos, um desses tipos humanos risíveis e amargos que povoam o “bestiário” escolar. Como se compreende, quanto menos clara for a qualidade do formador, mais precárias são as possibilidades de formação que se oferecem ao futuro professor. Nuns casos, os mais duvidosos, o formador desencadeará a emergência de *tristes cópias*, sempre inferiores e mais pobres que o original. Cópias que tentarão fazer e dizer aquilo que o modelo, apesar de tudo, diria e faria melhor, que ficam por isso expostas à crueldade do formador, em regra proporcional à sua incompetência científica e pedagógica¹⁰. No entanto, pode também acontecer que a qualidade do formador faça dele um *exemplo exaltante*,

¹⁰ O formador fica então reduzido à categoria de pedagogo-inspector, aquele que, como observa Alain, “tem por tarefa verificar, não se os alunos aprendem, mas se o professor trabalha (...), se preparou a sua lição” (cf. Alain, *Propos sur l' éducation*, Paris: Puf, 1932, p. 91-92), isto é, *vigiar* se o professor se conforma ou afasta do modelo por si estabelecido. Só que, como Alain sublinha também, “o trabalho de vigilância torna quem o realiza irremediavelmente estúpido e ignorante” (ibid).

alguém que apela à excelência, sugere e estimula a constituição, não agora de cópias, imagens decalcadas, imitações que, no processo da sua reprodução perderam qualidade e vigor, mas de *imagens dotadas de realidade própria*, imagens que, na textura e densidade que é a sua, afirmam algo que o modelo (por si próprio) não fez nem disse mas que, o seu exemplo, de alguma maneira desencadeou, impulsionou, sugeriu¹¹.

Terceira perspectiva de formação de professores

É, em grande parte, contra esta perspectiva que se vai constituir a terceira perspectiva de formação que propomos designar por *descritiva*. Trata-se agora de, recusando a formação construída com base na relação direta do professor em formação com um formador concreto (seja ele o “modelo” de tristes “cópias” ou o “exemplo” para “imagens” vigorosas) identificar e descrever *os ingredientes que fazem de alguém um bom professor*, escarpelizar, organizar e seriar os componentes que definem (abstratamente, portanto) o comportamento de um professor (médio). É o tão falado *perfil do professor*. A formação consiste, depois, no *treino / aquisição* dessas componentes, isto é na aproximação ao perfil previamente traçado. Processo de formação que só não é *manipulação* pura e simples em virtude da intervenção de um mecanismo subtil: o fato de o próprio professor dever participar na determinação dos objetivos da formação e dever tê-los aceitado como objetivos da *sua* formação. A ideia é a de que, a partir do momento em que o professor reconhece determinado objetivo de formação e, além disso, o aceita como objetivo da *sua* própria formação, fica salvaguardada a legitimidade do programa de treino e aquisição dos *skills* correspondentes a que esse professor deverá ser submetido¹². Em termos de fundamentação encontramos aqui em jogo dois grandes princípios:

1. um *postulado behaviorista* - o professor é ajustável a um perfil constituído por elementos comportamentais determinados como os desejáveis para um bom professor (médio);

¹¹ Sobre a possível dualidade do conceito de imagem, remetemos o leitor para a obra clássica de Hans-Georg Gadamer, *Wahrheit und Methode*, Tübingen: J.C.B. Mohr, 1960 onde é estabelecida, tematizada e magnificamente explorada a diferença entre aquilo que o autor designa por *Abbild* (imagem-cópia) e *Urbild* (imagem-modelo).

¹² Esta é sem dúvida uma das razões que pode explicar porque razão a chamada “pedagogia por objetivos”, hoje amplamente desacreditada enquanto processo de ensino/aprendizagem, tenha um tão grande sucesso na formação de professores. A aplicação sistemática desta “pedagogia” permite, de fato, transferir a responsabilidade da formação do formador para o formando que, deste modo, para além de *sujeito* em formação assume igualmente o papel de *agente* da sua própria formação. Para uma análise crítica da pedagogia por objetivos cf. O nosso estudo: *Pedagogia por Objetivos/Pedagogia com objetivos*, In: O. Pombo, *A escola, a reta e o círculo*, Lisboa: Relógio d’Água, 2002, p. 96-123.

2. um *postulado pedagogo* - há um conjunto de qualidades e comportamentos desejáveis em qualquer professor, independentes dos conteúdos do seu ensino e que, quando aplicados, conduzem ao sucesso do processo de ensino - aprendizagem de qualquer aluno (médio).

Em termos de formação, trata-se de substituir a *dinâmica de prestígio* da perspectiva anterior pela *tecnologia da média*, tranquilizadora nos seus efeitos de normalização e uniformização dos comportamentos. Trata-se de substituir a inquietante *presença concreta* do formador, e o processo mimético que ela desencadeava, por um *perfil abstrato* que todos os candidatos a professor devem, não agora *imitar*, mas *repetir*... O progresso é pouco, ou talvez mesmo, nenhum. Se a imitação, mesmo no pior dos casos, é da ordem da (re)produção, do desenho fidedigno e fiel, nela há ainda a possibilidade (mesmo que mínima) da participação de quem imita no vigor do gesto imitado¹³. A repetição, essa, é uniformização, puro automatismo.

Resta acrescentar que esta perspectiva descritiva da formação de professores se traduz normalmente em modelos institucionais em que são reconhecíveis duas tendências:

1. a inclusão no modelo de *um conjunto muito amplo de ingredientes de formação pedagógica*. Porque se parte de uma lógica (atomista) de decomposição do ato educativo nos seus elementos constituintes, porque se visa identificar todos (?) os elementos que intervêm no processo de ensino/aprendizagem, a tendência é para sobrecarregar o modelo, multiplicando o número de disciplinas de formação pedagógica, subdividindo-as em semestres, fragmentando-as em módulos; numa palavra, abrindo espaço à poeira das chamadas “ciências da educação”;

2. quantitativamente reforçado em termos de formação pedagógica, o modelo tende a *descurar a formação científica*, quer limitando-a, restringindo-a ou reduzindo-a, quer (mais grave ainda) orientando-a logo de início para o ensino. Esquece-se que, como escrevia Alain, “aprender para ensinar é aprender mal”¹⁴. Aprender apenas o necessário para ensinar é, diríamos nós, porventura nada aprender.

¹³ Na imitação pode mesmo haver lugar para a mestria. Que o digam os infatigáveis desenhadores orientais que se preparam a vida inteira para se tornarem capazes de imitar a frágil ondulação de uma pequena haste de bambu... Sobre o conceito de imitação enquanto processo que exige a constituição, naquele que imita, de uma matriz de competências capaz de desencadear uma rede indefinida de performances corretas, veja-se de Gérard Genette, *Palimpsestes. La littérature au second degré*, Paris: Seuil, 1982 (col. Points Essais n. 257), em especial p. 106-128.

¹⁴ Alain, op. cit., p. 85.

Esta tendência, que está na base da constituição dos *modelos integrados*, constrói-se argumentativamente do seguinte modo: há uma competência pedagógica do professor que é independente, que nada tem a ver com a sua competência científica. É por essa razão que se pode saber muito e não ser bom professor, fato inegável de que todos temos imensos exemplos a referir. Assim sendo, mais valerá sacrificar uma parte da formação científica substituindo-a por (ou orientando-a *ab initio* para) componentes de formação pedagógica.

A questão porém é outra: poder-se-á ser bom professor sem uma sólida formação científica?

Três perspectivas

Estamos perante três perspectivas muito diferentes de formação de professores cada qual dando origem a diferentes modelos de formação, cada qual com os seus pressupostos, a sua lógica, os seus argumentos, cada qual com maiores ou menores potencialidades e limitações.

Se as olharmos agora em conjunto, apercebemo-nos de um traço interessante. Se, na perspectiva *experencial*, a formação científica, e portanto a Universidade, é tudo ou quase tudo na formação de um professor; se na perspectiva *mimética*, há, por assim dizer, um certo equilíbrio entre a formação científica universitária — condição *sine qua non* para a conquista do estatuto de par — e a formação pedagógica que se realizará *inter pares*, não já na Universidade mas na escola onde o futuro professor vai exercer a sua profissão; agora, na perspectiva *descritiva*, é a formação pedagógica (pensada em termos de ciências da educação) que ganha preponderância, que toma, por assim dizer, a dianteira do processo de formação, ao ponto de limitar ou sujeitar a formação científica do futuro professor às suas previsíveis necessidades como professor.

Em termos institucionais, o recurso às ciências da educação tende ainda a traduzir-se na criação e preponderância de uma *instituição intermédia* de formação de professores, entre a Universidade e a escola do ensino básico e secundário. Tal instituição, conforme os casos, poderá ser ou uma *Faculdade de Pedagogia* ou de *Ciências da Educação* a quem são cometidas funções de formação de professores, ou então, instituições que têm por objetivo ocupar-se integralmente de toda a formação (científica e pedagógica) do professor.

Três conclusões

Em 1º lugar, o fato de não ser porventura ocasional que cada uma das perspectivas e modelos de formação de professores aqui analisados mantenha

uma relação diferenciada com a *Universidade*, isto é, que se revele uma tão forte imbricação entre o Ensino Superior e a Formação de Professores.

Em 2º lugar, o fato de a formação de professores não parecer poder escapar a uma relação de proporcionalidade *inversa* (e perversa) entre formação científica e formação pedagógica. Não reconhecer a necessidade de uma componente pedagógica na formação de professores é ignorar uma dimensão decisiva da sua futura capacidade enquanto agentes de transmissão dos saberes científicos. Mas, uma vez reconhecida a importância dessa componente pedagógica (seja ela de que natureza for), a solução tenderá a passar pela redução, maior ou menor, da formação científica do futuro professor de molde a dar lugar à formação pedagógica. Porém, qualquer sacrifício ao nível da formação científica de um professor se paga muito caro, mesmo em termos do seu futuro desempenho pedagógico.

Terceira conclusão. Se, como vimos, cada uma das perspectivas de formação de professores aqui analisadas propõe uma diferente forma de *articulação* entre formação científica e formação pedagógica; se, em cada caso, a formação do professor resulta de uma diferente *dosagem* entre componentes científicas e componentes pedagógicas, nenhuma delas comporta, ou parece sequer estar atenta, à importância decisiva de *uma terceira componente* para a qual gostaríamos agora de chamar a vossa atenção.

Trata-se de uma componente, que designaremos por *reflexiva*. Ela implica do futuro professor uma atividade de *distanciamento crítico* relativamente à sua própria competência científica e pedagógica e, simultaneamente, um esforço de *integração compreensiva* dos vários componentes da sua formação e a *busca interrogativa* de um sentido harmonioso e coerente para a sua futura actuação como professor. O que pretendemos é que, para lá da *competência científica* % sem a qual é impossível ser-se um bom professor, sem a qual o ensino perde porventura todo o sentido % para lá do domínio, da mestria, na utilização de metodologias, técnicas e processos de ensino que têm a ver com o *trabalho do professor em termos pedagógicos e performativos*, há na função do professor, no seu papel, na sua ideia, uma exigência de flexibilidade que nenhuma das perspectivas e modelos de formação de professores que procuramos caracterizar explicitamente reconhece.

Uma proposta

Daqui decorre uma proposta concreta para a formação de professores. Ela passa pelo reconhecimento *explícito* da importância de uma componente reflexiva consistente a aprofundada na formação de um professor. São fundamentalmente três os níveis a que, a nosso ver, essa componente deve intervir:

1. o de uma *reflexão educativa* que interrogue e tematize as grandes finalidades da educação, que deslinde e dê conta do emaranhado de problemas e antinomias que se colocam a quem queira pensar seriamente as questões educativas;
2. o de uma *reflexão institucional* que interrogue o significado e funções da instituição escolar.
3. o de uma *reflexão epistemológica e interdisciplinar* que suscite a consciência crítica do professor relativamente ao seu próprio saber e lhe permita equacioná-lo na complexa situação atual de saberes.

Em termos de modelo, trata-se de introduzir estas três componentes reflexivas no currículo da formação de professores reservando-lhes para tal os adequados espaços e tempos curriculares. Porém, seja qual for a solução adotada, há que salvaguardar duas condições: 1) que seja *explicitamente reconhecida* a importância de cada uma dessas componentes curriculares; 2) que seja encontrada, para cada uma delas, uma correspondência *própria e autónoma* no *curriculum* de formação de professores.

É que a *reflexão* tem as suas regras e exigências. Ela é uma atividade interrogativa intencionalmente orientada que não se compadece com espontaneísmos bem intencionados mas acríticos. Ela não pode ser *diluída* nas diferentes disciplinas que constituem o currículo da formação de professores, qual tonalidade humanizante e beata que permitisse adoçar as suas agruras e asperezas. A reflexão não é a reelaboração de opiniões, memórias ou conhecimentos já adquiridos. Uma tal prática, frequentemente confundida com a reflexão, nada mais faz do que reforçar pressupostos e convicções em que cada um está já embrenhado. Sob pena de se transformar numa patinagem/derrapagem no vazio, a reflexão supõe o alargamento da informação, a aquisição de novos conhecimentos. Por outras palavras, a reflexão só pode ser provocada e alimentada pelo afastamento relativamente ao senso comum e pela entrada num universo específico de sentido: o da tradição reflexiva da humanidade — a *filosofia*.

Como acontece com todos os outros saberes, a filosofia não é propriedade de ninguém, antes pode ser partilhada por todos. Há nela, aliás, uma irreprimível vocação comunicativa. Porém, como também acontece com todos os outros saberes, ela exige um enorme *esforço* de alargamento cultural e cognitivo, passa pela dedicada *submissão* às determinações próprias de um saber historicamente constituído, obriga à *humildade* de um estudo atento, aturado e rigoroso de novos e amplos conteúdos.

Uma última questão!

Qual a institucionalização adequada deste modelo? Pensamos que na institucionalização deste modelo há um lugar irrecusável, se bem que de modo algum exclusivo, para a Universidade, tanto em nível de formação inicial, como da formação contínua.

Não queremos com isto dizer que a formação de professores se possa realizar *apenas* na universidade. Se, inegavelmente, é à universidade que cabe a responsabilidade inteira no que toca à aquisição das competências científicas de nível superior que são exigíveis ao professor, já na formação pedagógica há, segundo cremos, um lugar insubstituível para o contato direto com a realidade escolar, tanto na perspectiva experiencial (de autoformação) como na perspectiva da formação interpares (heteroformação mimética).¹⁵ No entanto, para lá da formação *na e pela* escola, há elementos na formação pedagógica de um professor que lhe devem ser proporcionados na universidade: o futuro professor é assim convidado a encarar a sua formação pedagógica na linha de continuidade e em estreita articulação com a sua formação científica. É que não há uma maneira de ser professor que seja aplicável a qualquer tipo de ensino¹⁶.

Para além disso, só a universidade, pelo seu recuo face às exigências profissionais imediatas, pelo fato de resguardar o professor de uma imediata inserção na situação concreta da escola e dos alunos, garante condições para um alargamento cognitivo da experiência e para o desenvolvimento de uma reflexão consciente e informada.

Em termos de *formação inicial*, só a universidade, ao manter o futuro professor na condição de *aluno*, isto é, retardando por mais algum tempo o reconhecimento do seu estatuto de par, não lhe permitindo o salto para a outra instituição — a escola — que fará dele definitivamente um professor, dá tempo ao professor para ampliar a sua compreensão dos problemas educativos (*reflexão educativa*), aprofundar a consciência da sua função de professor (*reflexão institucional*), equacionar de forma crítica e informada a importância, o significado e o valor *daquilo* que se propõe ensinar (*reflexão epistemológica e interdisciplinar*).

¹⁵ Para dar apenas um exemplo, refira-se a experiência insubstituível que consiste em assistir a uma aula e ter oportunidade de a discutir com o professor que a deu.

¹⁶ Na verdade, pensar a atividade do professor como independente daquilo que ele ensina é acreditar na existência de métodos e técnicas de ensino supostamente neutros (“científicos”), aplicáveis a qualquer domínio disciplinar, independentes das particularidades regionais de cada uma das áreas do saber. Aqui reside, a nosso ver, o grande pecado do discurso pedagógico e, bem entendido, uma das razões decisivas para o vazio epistemológico das auto-intituladas “ciências da educação”.

Em termos de *formação contínua*, só a universidade oferece ao professor oportunidade de abandonar, por um breve espaço de tempo, o seu estatuto de professor e reencontrar-se na situação de *aluno*.

E que melhor formação para um *professor* que a da consciência da sua eterna condição de *aluno*?

Numa época como a nossa, devastada por todas as guerras e crueldades, por todos os desequilíbrios, intransigências e injustiças, não podemos limitar o professor a um mero técnico. Não podemos permitir que o professor não tenha a reflexibilidade necessária para reconhecer o valor da sua atividade (reflexão educativa e institucional) e o sentido de um saber que vale a pena ser ensinado (reflexão epistemológica e interdisciplinar).

Por outras palavras, *como professores*, cabe-nos manter acesa a chama de uma certa esperança. Ela não é para hoje, nem para nós. Mas talvez seja *amanhã*, para os nossos *alunos*.

Apêndice

A título de apêndice, gostaríamos de ilustrar a possibilidade de concretização de algumas destas teses e propostas mediante o desenho de um modelo de formação de professores que abra espaço às três componentes reflexivas acima referidas, a saber: a reflexão educativa, a reflexão institucional e a reflexão epistemológica e interdisciplinar.

Em primeiro lugar, a inclusão de uma cadeira de História e Filosofia da Educação, lugar curricular exato e explicitamente vocacionado para a *reflexão educativa*. Trata-se de uma cadeira absolutamente decisiva para todos aqueles que pretendam conquistar uma compreensão historicamente sustentada dos grandes problemas educativos e das suas implicações filosóficas, éticas e políticas. A sua inclusão num *currículum* de formação de professores mostra bem até que ponto os seus autores estavam conscientes de que a formação de professores não deve deixar-se instrumentalizar por orientações de natureza meramente descritiva ou tecnicista.

Em segundo lugar, uma cadeira de Observação e Análise da Instituição Escolar, capaz de facultar aos estudantes-futuros-professores um contato direto e antecipado com a instituição escolar na qual vai desenrolar-se a sua futura atividade como professores. Cadeira que pode facilmente constituir-se como espaço curricular capaz de promover uma *reflexão institucional* centrada sobre a realidade escolar.

Finalmente, um Seminário Interdisciplinar componente que, porventura, constitui a maior novidade deste modelo. Tratar-se-ia desejavelmente de um espaço curricular aberto, de índole indeterminada, no qual seria proposta aos estudantes-futuros-professores um programa de estudos em que fosse estabelecida uma fecunda relação entre Epistemologia e Ensino das Ciências. A cadeira constituiria assim o momento curricular no qual, aos futuros - professores de ciências, era dada a oportunidade de contato, discussão e confronto com as principais formas de pensar a ciência do seu tempo e com a problemática da interdisciplinaridade e articulação dos saberes. Uma outra possibilidade seria a oferta de duas cadeiras, uma votada à entrada nas questões da epistemologia e outra, autônoma, unicamente vocacionada para a teorização e prática da interdisciplinaridade. Em ambos os casos, o que importa é que aos futuros professores seja dada a possibilidade de reunirem elementos que lhes permitam aprofundar e fundamentar as suas próprias concepções epistemológicas e consciência interdisciplinar, daí podendo - depois - vir a retirar algumas indicações quanto aos métodos e procedimentos a adotar, futuramente, no seu ensino.

Referências

ALAIN, ÉMILE CHARTIER. **Propos sur l' éducation**. Paris: Puf, 1932.

CARVALHO, JOAQUIM BARRADAS DE. **O obscurantismo salazarista**, Lisboa: ed. Seara Nova, 1974, (col. argumentos n. 10).

DERRIDA, JACQUES. Onde começa e como acaba um corpo docente. In: Grisoni, Dominique. (Org.). **Políticas da filosofia**. trad. port. de José Saramago. Lisboa: Moraes, 1977. (col. Temas e Problemas, Série Filosofia).

GADAMER, HANS-GEORG. **Wahrheit und Methode**. Tubingen: J.C.B. Mohr, 1960.

GENETTE, GÉRARD. **Palimpsestes. La littérature au second degré**. Paris: Seuil, 1982 (col. Points Essais n. 257).

POMBO, O. **A escola, a reta e o círculo**. Lisboa: Relógio d' Água, 2002.

VERGER, JACQUES. **Les Universités au Moyen Âge**. Paris: Puf, 1973.

Epistemologia e ensino das ciências

Olga Pombo

Da filosofia ao ensino das ciências. Relato de uma experiência

Com formação acadêmica de base na filosofia e com alguma experiência dos problemas do ensino da filosofia, quando iniciei o meu trabalho na Faculdade de Ciências de Lisboa, procurei ver de que maneira poderia colocar essa experiência ao serviço daqueles que aqui encontrei – alunos das diversas licenciaturas em ensino das ciências.

O meu trabalho iniciou-se com a leccionação de uma cadeira que tinha como objetivo facultar aos alunos – futuros professores – a oportunidade de, a partir da Universidade, contatar com a Escola Secundária, isto é, realizar “ações de observação e análise” da realidade escolar na qual se iria desenvolver a sua atividade futura como professores.

A cadeira apresentava uma situação muito curiosa: os estudantes que a frequentam eram nela confrontados com a especificidade e ambiguidade do seu estatuto de alunos-futuros-professores. Na verdade, esses estudantes eram fundamentalmente ainda *alunos*. Todo o seu *passado* escolar era de alunos e o seu *presente*, enquanto “estudantes universitários”, era também de alunos. Além disso, três anos antes – a cadeira funcionava no terceiro ano das licenciaturas em ensino – esses estudantes eram ainda alunos da escola secundária, isto é, da escola que, agora, a cadeira de “Ações Pedagógicas de Observação e Análise” tinha justamente por objetivo levá-los a “ver” do “ponto de vista” do professor. Mas, simultaneamente, esses estudantes, eram já *futuros professores*, convidados, portanto, pelo próprio processo de formação em que estavam inseridos, a projetarem-se como professores que em breve seriam.

Havia sem dúvida, nessa cadeira, um imenso efeito enriquecedor que decorria justamente do fato de, nela, ser proposto ao aluno um salutar deslocamento de perspectiva. No entanto, pareceu-me poder existir aí um efeito extremamente perverso: mal acabava de sair da escola secundária (apenas três anos depois), ainda *aluno* da faculdade e com um passado inteiramente de aluno, já o seu *olhar* estaria a ser precocemente dirigido, não apenas para o seu

futuro *local de trabalho*, como também para a sua futura *profissão* de professor. Pareceu-me que tudo isso podia ser demasiado rápido, prematuro, que havia o perigo de a cadeira adoptar uma orientação excessivamente profissionalizante. A ser assim entendida, a cadeira perdia-se enquanto oportunidade de uma inestimável experiência humana (o fato de, nela, o aluno poder ser convidado a um certo distanciamento crítico, à experiência de uma certa rotação perspectivista, a tentar, pelo menos uma vez na vida, adoptar a perspectiva do outro). A ser assim entendida, a cadeira podia resvalar, com facilidade, para mais um subtil mecanismo de doutrinação, de indicação normativa de procedimentos, regras, técnicas, recomendações e receitas com as quais, constantemente, somos bombardeados e que, de uma forma ou de outra, com mais ou menos inocência, subtileza ou perversidade, visam orientar a nossa acção.

Pareceu-me que, àqueles alunos – futuros professores – o que faltava não era tanto um encaminhamento precoce para a acção, mas, ao invés, *tempo* para pesar (e pensar) o sentido do ensino das ciências antes de serem chamados às responsabilidades e urgências da sua futura vida ativa. O que importava era contrapor, à precoce especialização e profissionalização tendencial da sua formação, uma oportunidade para *parar* e refletir, de forma livre e global, sobre o significado da sua função futura enquanto professores de ciência(s).

Queres ser professor de ciência(s)? Mas, que pensas da ciência que irás ensinar? O que é para ti “A Ciência”? E, o que é a ciência particular (biologia, geologia, matemática, física) que amanhã serás chamado a representar? Terás que introduzir os teus alunos no método experimental. Mas, que sentido tem falar de método experimental? Haverá um método comum às várias ciências? Dir-te-ão, por exemplo, que convém ensinar a ciência tal como ela se foi construindo. Mas, como é que ela se foi construindo? E, o que é hoje a ciência? Que novidades epistemológicas, culturais e institucionais a caracterizam? Que fazer para contornar os efeitos da sua especialização extrema junto dos alunos? Donde decorre o enorme prestígio e poder de que a ciência hoje desfruta? Como encarar as responsabilidades éticas daí decorrentes para o ensino das ciências?

Quis-me parecer que, num *curriculum* de formação de professores de ciências, deveria haver um *lugar* para este tipo de reflexão epistemológica. Tal obrigava à criação de um novo componente curricular no qual, aos estudantes, seria proposta a aprendizagem de um novo tipo de informações e conhecimentos, designadamente na área da filosofia das ciências.

O que estava em causa era a criação de um *novo espaço curricular* no qual os estudantes seriam solicitados a suspender por um momento a aquisição aditiva de novos saberes científicos, motivados a adquirir conhecimentos heterogêneos relativamente àqueles a que estavam habituados, convidados a

parar para pensar (e pesar), o mesmo é dizer, um espaço para semear a inquietação própria da filosofia da ciência.

No caso da formação de um professor de ciências (e não só), parece não haver *tempo* para mais do que a aquisição das competências especializadas que constituem os rígidos currículos da sua formação. Referimo-nos à quase total ausência (a nosso ver, de lamentar), de cadeiras de opção nos currículos científicos e, mesmo no interior das diversas licenciaturas científicas, à extrema compartimentalização (por cadeiras) que inviabiliza, ou pelo menos dificulta, uma perspectiva ampla, abrangente, da área disciplinar em questão.

Ora, no modelo semi-integrado de formação de professores em que estavam inseridos os alunos das licenciaturas em ensino da FCUL, parecia estar aberta essa possibilidade. Referimo-nos, em especial, a uma cadeira intitulada “Seminário Interdisciplinar”, pensada como espaço curricular de índole indeterminada, com conteúdo variável e aberto, e onde, portanto, me pareceu ser possível iniciar a reflexão epistemológica que tão urgente me parecia.

A “invenção” de um novo componente curricular. Epistemologia e ensino das ciências

Foi justamente para esta cadeira – “Seminário Interdisciplinar” – que me pareceu legítimo propor um programa de estudos em que fosse estabelecida alguma relação entre epistemologia e ensino das ciências. Poderia assim, finalmente, pôr ao serviço dos meus alunos-futuros-professores de ciências alguma faceta técnica da minha formação filosófica.

Neste contexto, e pela primeira vez em 1985-1986, apresentei um programa de epistemologia que designei por “Epistemologia e Ensino das Ciências”. A cadeira funcionou tanto em nível de licenciatura como de mestrado, tendo-se constituído como o momento curricular no qual, ao aluno-futuro-professor de ciências, era dada a oportunidade para:

- a. questionar a natureza e significado da *sua* ciência, refletindo sobre a especificidade do seu objecto e método, a singularidade do seu regime teórico e heurístico, o valor e alcance objetivo dos seus resultados;
- b. recolher uma informação minimamente estruturada sobre algumas das mais importantes perspectivas epistemológicas contemporâneas, seus argumentos, problemas e pontos de controvérsia;

c. identificar e reconhecer a fundamentação epistemológica das várias propostas pedagógicas, metodológicas e didáticas e, inversamente, determinar as implicações para o ensino das ciências das diversas concepções epistemológicas.

O *objetivo fundamental* era o de permitir que, pelo contato, discussão e confronto com as principais formas de pensar a ciência do seu tempo, os futuros professores de ciências reunissem elementos que lhes permitissem formular, aprofundar e fundamentar as suas próprias concepções epistemológicas, daí podendo vir a retirar algumas indicações quanto aos procedimentos pedagógicos, metodológicos e didáticos a adotar futuramente no seu ensino.

Diversos *pressupostos* (pressentimentos) estiveram subjacentes à proposta desta cadeira:

1. não há uma pedagogia uniforme, uma metodologia específica ou uma didática geral aplicáveis, indiscriminadamente, ao ensino de qualquer disciplina científica (e não só);
2. cada disciplina científica (e não só), na especificidade do seu objeto e do seu método, na singularidade de processos e mecanismos cognitivos que a caracteriza, determina as modalidades da sua própria veiculação pedagógica;
3. em nenhuma disciplina científica (e não só) existe um entendimento uniforme e neutro da sua própria “natureza”; todas elas, em maior ou menor grau, são atravessadas por diversas (e conflituais) perspectivas, cada uma das quais prescrevendo, implícita ou explicitamente, determinadas formas de ensino das ciências (e não só);
4. inversamente, cada proposta pedagógica, cada metodologia de ensino, cada processologia didática, tem subjacente uma opção epistemológica, seja ela ou não assumida pelos seus proponentes e pelos professores que as adotam;
5. a concepção que o professor tem da ciência particular que se propõe ensinar (seja ela consciente ou tenha o estatuto de um impensado) está, necessariamente, implicada no modo como ele vai ensinar essa ciência;
6. o bom professor de ciências (e não só) é alguém que está consciente das suas opções epistemológicas e que procura ser coerente com elas quando escolhe as orientações pedagógicas, as metodologias e os procedimentos didáticos que se propõe adotar no seu ensino.

Melhor dito, um dos “segredos” do *bom professor*¹ de ciências (e não só), é porventura a *harmonia* entre as suas concepções epistemológicas e os procedimentos pedagógicos, metodológicos e didáticos que utiliza, a *coerência* assumida entre a sua concepção de ciência e a sua prática de ensino.

Essa *harmonia* poderá mesmo constituir suspeitamos — nós ainda hoje — uma das marcas mais indelévels (rebelde a toda a formação imediatamente profissionalizante) da *excelência* de um professor. Inversamente, a ausência dessa harmonia, a falta dessa coerência, o conflito possível entre a concepção de ciência do professor e aquela que, sem disso muitas vezes se dar conta, está subjacente aos procedimentos pedagógicos, metodológicos e didáticos por ele utilizados, pode constituir uma razão de fundo (invisível a um olhar técnico e sem sensibilidade epistemológica) para o fracasso (ou tristonha mediocridade) do desempenho de um professor.

“Epistemologia e Ensino das Ciências”: tal foi o tema do programa que, ao que julgo saber, pela primeira vez em Portugal, terá integrado um currículo universitário de formação de professores de ciências².

Trata-se de um título que estabelece uma articulação copulativa entre dois termos independentes e de natureza heterogênea: um primeiro — *epistemologia* — que identifica uma determinada área de investigação teórica; um segundo — *ensino das ciências* — que remete, de forma indeterminada, para a prática do ensino das disciplinas científicas, sobretudo em nível do ensino secundário.

O primeiro termo: Epistemologia

Relativamente ao primeiro termo — Epistemologia — a dificuldade maior consistia no confronto que era exigido aos estudantes-futuros-professores de

¹ Sendo, a nosso ver, impossível determinar *a priori* o perfil de competências a que o bom professor de ciências (e não só) se deveria conformar, falar das determinações de um bom professor em termos de “segredos” significa considerá-las enquanto “índices”, “marcas” cuja presença só *a posteriori* é perceptível e identificável. Por outras palavras, ainda que não possamos determinar com antecedência o perfil ideal do bom professor, sabemos sempre reconhecer (apontar ostensivamente) um bom professor quando o vemos actuar, na diversidade das suas manifestações e qualidades. Sobre o conceito de “bom professor” e as contradições e aporias dos diversos modelos de formação de professores, veja-se Pombo (1993).

² Só posteriormente vim a verificar que, aproximadamente pela mesma altura, havia sido constituído, a nível internacional, um grupo cujo principal objectivo era a defesa da introdução de uma componente de “História e Filosofia das Ciências” nos currículos de formação de professores de ciências. Referimo-nos ao *International History, Philosophy and Science Teaching Group*, que promoveu a sua primeira conferência internacional de 6 a 10 de Novembro de 1989 nos Estados Unidos (Florida State University).

ciências com uma disciplina muito diferente de todas aquelas que, até então, o seu percurso universitário lhes havia oferecido³, metodologias de abordagem inusitadas que exigem distanciamento crítico e capacidade de interrogação. Para um estudante com formação científica, o mais surpreendente na aproximação a uma disciplina como “a epistemologia” é o desaparecimento dos consensos, a necessidade de procurar caminho por entre um solo plural (e conflitual) de diferentes “epistemologias”. Mas, para que o ensino das ciências possa ser questionado nas suas implicações epistemológicas, não será necessário que, de forma preliminar, o aluno-futuro-professor se aperceba da especificidade do próprio *trabalho crítico e reflexivo* que vai ser convidado a realizar? E, para que tal seja possível, não deverá uma cadeira de epistemologia, enquanto componente curricular da formação de professores⁴, assumir-se, simultaneamente, como uma iniciação à especificidade da *metodologia* nela envolvida?

Nesse sentido, pareceu-me indispensável que, *num primeiro momento*, o futuro professor de ciências, ainda que de forma necessariamente breve, tivesse oportunidade de se aproximar criticamente do *objeto* da nova disciplina, reconhecê-la enquanto “ciência da ciência”, ou melhor, “discurso sobre a ciência”⁵, tentativa para pensar, tanto a ciência na sua globalidade (epistemologia geral), como cada uma das ciências particulares (epistemologias regionais), reflexão sobre os seus fundamentos e princípios, sobre a natureza dos seus axiomas, postulados, hipóteses e teorias, sobre os seus métodos e

³ É certo que, nessa altura, todos os estudantes universitários tinham dois anos de filosofia no ensino secundário. Porém, essa disciplina, estava pensada, a nosso ver acertadamente, como uma *introdução geral à filosofia* e não enquanto instrumento de análise epistemológica de uma experiência científica que, aliás, os alunos do ensino secundário ainda não possuem.

⁴ De notar que, com a inclusão de uma componente epistemológica num currículo de formação de professores, não se pretende, de modo algum, reduzir a especificidade ou interesse especulativo da Epistemologia enquanto disciplina autónoma, mas tão só extrair, das principais teses que se confrontam no seu interior, as aplicações pedagógicas e didáticas nela implícitas. Da abundante literatura dedicada a esta articulação entre Epistemologia e Ensino das Ciências, referiremos apenas quatro títulos: Hodson (1985), um precursor, que dá conta dos diversos enredos que acompanharam o desenvolvimento desta abordagem nos anos 60 e 70, o volume da prestigiada revista *Synthèse* sob o tema genérico *History, Philosophy and Science Teaching* (v. 80, n. 1, Julho 1989) de que foi editor convidado Michael Matthews e que inclui, entre outros textos, uma síntese histórica dos principais momentos em que os filósofos da ciência se interessaram pelas questões do ensino das ciências (Matthews, 1989a) e uma bibliografia circunstanciada sobre o tema (Matthews, 1989b), Ennis (1979) que faz um levantamento dos principais pontos de cruzamento entre a filosofia da ciência e o ensino das ciências, e Duschl (1994), um estudo de natureza abrangente (aliás publicado no *Handbook of Research on Science Teaching and Learning* do mesmo ano) que cobre os desenvolvimentos mais recentes desta linha de investigação.

⁵ Mais do que estudar o “objeto” ciência, a epistemologia tem como objeto a procura do seu “sentido”. A análise da oposição interna à dupla determinação etimológica da palavra epistemologia (*episteme*, na sua oposição a *doxa*, enquanto conhecimento seguro e verdadeiro e *logia* enquanto “discurso”, na sua derivação a partir de *logos*) é a esse respeito eloquente.

processos de funcionamento, sobre o modo de engendramento e validação dos seus enunciados, sobre o sentido do seu desenvolvimento e o alcance dos seus resultados, sobre o seu significado, enfim, no quadro da vida e da cultura humanas.

Porque se trata de uma disciplina que abarca um conjunto muito amplo de questões, tornava-se necessário que, num *segundo momento*, os estudantes-futuros-professores de ciências soubessem pelo menos identificar *as grandes questões* que mobilizam a reflexão epistemológica, que se dessem conta das *diversas respostas* historicamente apresentadas para cada problema e que fossem capazes de pôr em diálogo as maiores e mais pertinentes *teses em confronto* no interior de cada um dos *grandes domínios* da epistemologia contemporânea.

O objetivo desta cadeira não era o de oferecer um programa completo de epistemologia mas tão só o de confrontar os estudantes-futuros-professores de ciências com *alguns dos problemas* que aí se colocam e com *as principais teses* que, em cada caso, têm sido formuladas, de forma a permitir compreender as aplicações pedagógicas e didáticas nelas implícitas. No entanto, o respeito pela natureza reflexiva da cadeira impunha o esforço de um alargamento cultural e cognitivo, obrigava à aquisição de novas informações, ao estudo atento de novos e amplos conteúdos. A reflexão não é a reelaboração de opiniões, memórias ou conhecimentos já adquiridos, mas a entrada nos meandros da tradição filosófica, o contato com as determinações próprias de um saber historicamente constituído.

Num *terceiro momento*, pareceu-nos que seria enriquecedor para o estudante-futuro-professor de ciências aperceber-se dos estreitos laços que ligam a epistemologia à história das ciências, compreender que, enquanto disciplina de cruzamento entre a filosofia e a ciência, cujos antecedentes devem ser procurados na tradição reflexiva sobre o conhecimento em geral (Teoria do conhecimento)⁶, a emergência da epistemologia no século XX, como disciplina autónoma, se fica a dever, em grande parte, às profundas transformações ocorridas no campo científico na segunda metade do século XIX e às sucessivas alterações produzidas, de então para cá, na relação entre a filosofia e as ciências. Por outras palavras, pareceu-nos necessário que os estudantes-futuros-

⁶ Na verdade, embora tendo como objeto o conhecimento em geral, a Teoria do Conhecimento, enquanto disciplina filosófica, privilegiou sempre o conhecimento científico, quer para reconhecer a sua singularidade face a outras formas possíveis de conhecimento (Platão, Descartes, Bergson, por exemplo), quer porque o considerava como a forma por excelência do conhecimento humano (Kant, Husserl), quer ainda porque o tomava como a única forma de conhecimento válido, aquela na qual as exigências de verdade e coerência unicamente podem ser observadas e analisadas (positivismo lógico). Nesta ordem de ideias, a epistemologia seria também herdeira da lógica aplicada ou metodologia, estudo comparativo (e normativo) dos métodos das diferentes ciências que visa o apuramento das formas lógicas implicadas no conhecimento científico.

professores de ciências se apercebessem das dificuldades mesmas de determinação do *estatuto disciplinar* da epistemologia.

O segundo termo: ensino das ciências

Uma primeira questão se coloca de imediato: ensino das ciências. Mas, de que ciências se trata? Ciências matemáticas? Ciências da natureza? Ciências humanas? “As ciências” não são um terreno uniforme⁷. Cada ciência tem o seu objeto e método próprios, a sua especificidade de processos e problemas. Nessa medida, é certamente muito diferente ensinar matemática, biologia ou psicologia sendo que, uma tal diferença resulta, quer das indiscutíveis singularidades dos respectivos *objetos* de cada uma destas disciplinas, quer da *estrutura*, dos *métodos*, dos *processos* e *estilos* de funcionamento de cada uma delas.

Não será então exigível que a preparação de um professor de “ciências” inclua um momento de reflexão sobre a *especificidade* da “ciência particular” que esse professor se propõe ensinar? Não será que só uma ainda que rudimentar reflexão epistemológica pode ajudar a equacionar as diferenças fundamentais entre as várias ciências, destacar as especificidades de cada uma delas, chamar a atenção para os aspectos que, em cada caso, possam revelar-se de maior importância para o seu ensino?

Se, por exemplo, a matemática, pela sua estrutura essencialmente demonstrativa, pela linguagem universal e unívoca que utiliza é, num certo sentido, a ciência mais simples, mais fácil de ensinar - etimologicamente, “matemática” significa, justamente, aquilo que se pode ensinar⁸ - por outro lado, a abstração extrema do seu objeto, a sua infinita distância relativamente ao mundo concreto da experiência dos alunos, pode levantar (e frequentemente levanta) agudíssimas dificuldades de ensino e de aprendizagem. Em contraposição, se a proximidade e concretude do objeto das ciências da vida - e mais ainda do das ciências humanas - é um fator decisivo para uma maior

⁷ Entre os alunos da Faculdade de Ciências (e não só), a designação “as ciências” tem unicamente como referente as disciplinas científicas com que esses alunos directamente contactam durante a licenciatura que se encontram a terminar. Se é obviamente compreensível que a estrutura universitária seja um poderoso fator de modelação das representações subjetivas de ciência, é também inegável que, na tendência redutora que assinalamos, se fazem sentir os efeitos de um outro *idola fori* - a relutância generalizada entre os praticantes e estudantes das chamadas ciências duras relativamente ao alargamento do âmbito da palavra ciência às ciências sociais e humanas.

⁸ *Mathemata* - aquilo que pode ser ensinado, *mathesis* - aquilo que se ensina, *mathemathlein* - ensinar. Para uma análise extremamente sugestiva da etimologia da palavra matemática, veja-se Martin Heidegger (1971, pp. 81-88) e também F. Gil (1984, pp. 405-410). Sobre a ensinabilidade da matemática e sua proximidade à essência do ensino enquanto processo de “dar a ver”, veja-se o nosso estudo, Pombo (1994a).

facilidade de compreensão, por outro lado, as ambiguidades terminológicas e conceituais decorrentes do recurso constante à linguagem natural que nestas ciências se verifica, a complexidade, a multiplicidade dos fatores explicativos em jogo, a existência conflitual de interpretações teóricas diferentes e mesmo rivais, são elementos altamente perturbadores do ensino e da aprendizagem destas disciplinas científicas.

Não será de toda a vantagem que cada um destes aspectos possa ser objeto de problematização e tematização por parte do futuro professor de ciências? Não será mesmo indispensável que o futuro professor de ciências se possa aperceber das principais características e particularidades epistemológicas da ciência que se propõe ensinar?

Atentemos num segundo tópico. Não são só “as ciências” que são diferentes entre si. Relativamente a cada uma delas, *no seu próprio interior*, não existe um entendimento uniforme e neutro da sua natureza, dos seus fundamentos, métodos e processos. Pelo contrário, há debates internos, polémicas entre escolas, *diferentes orientações e perspectivas*.

Facilmente se compreende que, por exemplo, o ensino da matemática deverá ser conduzido de forma substancialmente diferente conforme se concebam os seus fundamentos como verdades evidentes, logicamente acessíveis a qualquer ser racional (logicismo), fruto de uma intuição que os dá a ver enquanto determinações objetivas de uma realidade transcendente e necessária (intuicionismo realista), ou, pelo contrário, sejam pensados como extrapolações da experiência, generalizações mais ou menos próximas dos fatos experimentais (construtivismo), ou ainda como meras convenções cuja verdade só operativamente, e portanto *a posteriori*, pode ser estabelecida (axiomatismo).

Da mesma maneira, o ensino das ciências da natureza e da vida vai ser em grande medida determinado pelo entendimento que for feito do que possa ser o método utilizado na ciência em causa. Qual a natureza dos problemas suscetíveis de desencadear a investigação nessas disciplinas científicas? Quais as condições e os limites da observação que nela se pratica? Qual o estatuto da hipótese e o seu papel norteador da experimentação? Qual o fundamento da generalização? Qual o valor e a “realidade” da lei? Que sentido faz falar de um método experimental? Qual a especificidade dos processos em jogo em cada uma das ciências ditas experimentais? Estas e outras são questões a que o ensino da física, da química ou da biologia, não é necessariamente indiferente.

Na particularidade dos seus métodos e objetos, serão as ciências actividades em permanente crise e revolução, como pretendem Bachelard e Popper ou, pelo contrário, actividades fundamentalmente estáveis e conservadoras como defende Thomas Kuhn? Actividades isomorfas do

desenvolvimento psicológico individual e, portanto, previsíveis na lógica dos seus desenvolvimentos futuros (Piaget) ou atividades que se deixam caracterizar pela sua inesgotável capacidade crítica e conjectural (Popper)?

As consequências para o ensino das ciências de cada uma destas perspectivas são enormes⁹. Em cada ciência particular, cada uma destas respostas tem diferentes implicações pedagógicas, metodológicas e didáticas. Assim, se se encara a ciência como uma atividade fundamentalmente estável e paradigmática, o seu ensino deverá consistir na iniciação ao paradigma vigente na comunidade dos praticantes dessa mesma ciência, ao seu quadro conceitual, às suas opções teóricas, às técnicas e “regras de jogo” que o próprio paradigma estabelece. Trata-se então, fundamentalmente, de *treinar* as capacidades de observação, experimentação, registo e interpretação dos dados, de *iniciar* o estudante no interior de tradições pré-estabelecidas de resolução de problemas, de *impôr* uma disciplina, de valorizar a repetição, os célebres “exercícios de dedo” de que fala Kuhn¹⁰. Se, pelo contrário, se defende ser essa ciência uma

⁹ Como é óbvio, a questão do ensino das ciências recebe, em cada autor, um tratamento diferenciado. Se privilegiamos Bachelard, Piaget e Kuhn foi porque nestes três autores se encontra uma tematização explícita da questão do ensino das ciências. Em Bachelard e Kuhn porque, ainda que por diferentes razões, o processo de ensino das ciências é interno à própria constituição do conhecimento científico (para Bachelard, condição da progressividade e cumulatividade essencial daquele tipo de conhecimento; para Kuhn, condição da constituição e sobrevivência de um paradigma). Por seu lado, em Piaget, porque a questão é explicitamente tematizada enquanto consequência de uma determinada posição epistemológica. É certo que, se aceitarmos como boa a descrição que Piaget faz de si mesmo como não sendo um psicólogo mas, acima de tudo, um epistemólogo (Bringuier, 1977, p. 93) não apenas as suas teses sobre o ensino das ciências mas toda a sua obra psicológica, pedagógica e educativa adquire o estatuto de *consequência*. No entanto, a exploração por Piaget da articulação entre epistemologia e ensino das ciências esteve na origem de obras hoje incontornáveis, como por exemplo, no caso do ensino das Matemáticas, o volume em que Piaget reúne, não apenas um estudo seu sobre o tema (Piaget, 1955a), como colaborações de matemáticos como Jean Dieudonné ou André Lichnerowicz (Piaget, 1955b). Para um estudo sobre as implicações pedagógicas da epistemologia de Piaget, ver Rowell (1989). De Bachelard, para além de *La Formation de l'Esprit Scientifique. Contribution à une Psychanalyse de la Connaissance Objective* (1938) e do Prefácio e capítulos I e II de *La Philosophie du non. Pour une Philosophie du Nouvel Esprit Scientifique* (1940) onde são tematizadas três noções (obstáculo epistemológico, psicanálise do conhecimento científico e perfil epistemológico) com importantes implicações no ensino das ciências, vejamos sobretudo o capítulo “Le rationalisme enseignant et le rationalisme enseigné” de *Le Rationalisme Appliqué* (1949, p. 12-25) e “Connaissance commune et connaissance scientifique” de *Le Matérialisme Rationnel* (1953, p. 207-224) onde se encontra uma meditação desenvolvida, não apenas sobre o ensino das ciências mas também sobre a relação Ciência e Escola.

¹⁰ Para além da obra clássica *The Structure of Scientific Revolutions*, (Kuhn, 1962: em especial, cap. XIII), há dois textos de Kuhn particularmente relevantes para o estudo da sua concepção de ensino das ciências: o célebre ensaio “The Essential Tension: Tradition and Innovation in Scientific Research” (Kuhn, 1977, p. 225-239) e o não menos interessante ensaio publicado em língua portuguesa, “A Função do Dogma na Investigação Científica” (Kuhn, 1979). Para um estudo sobre a teoria kuhniana no ensino das ciências, ver Savary (1978), Barnes (1982) e Henry e Hodysh (1977).

atividade essencialmente crítica e conjectural, como pretende Popper, então o seu ensino deverá apontar fundamentalmente à constituição do novo, passará a ter como objetivo central o desenvolvimento do espírito crítico e da capacidade inventiva, a resolução de problemas de forma divergente e imaginativa¹¹. Os valores implicados no ensino das ciências serão agora o repúdio de qualquer autoridade, a confiança nos poderes argumentativos da razão, a capacidade de crítica e autocrítica, a humildade face ao erro¹².

Mais uma vez, só uma reflexão epistemológica minimamente estruturada pode permitir ao futuro professor tomar consciência do que está em jogo em cada uma destas questões, avaliar as consequências pedagógicas, didáticas e metodológicas das várias posições e das múltiplas soluções ainda hoje em aberto¹³.

¹¹ Apesar de o problema do ensino das ciências não ter um lugar tão importante na filosofia da ciência de Popper como tem em Bachelard, Piaget ou Kuhn e de não haver em Popper nenhuma tematização explícita da questão do ensino das ciências, encontram-se na obra de Popper inúmeras alusões e referências ocasionais e mesmo algumas passagens mais desenvolvidas. É o caso de *Objective Knowledge* (1972) (vejam-se, em especial os §§ 12-25 do cap. 2 onde Popper faz a crítica da teoria do conhecimento do senso comum ou teoria do balde, e o cap. 7 sobre o lugar do problema e do erro no crescimento do conhecimento. Cf. ainda os caps. 3 e 4 de *Conjectures and Refutations* (1963) e *Normal Science and its Dangers*, (Lakatos; Musgrave (eds.), 1970, p. 63-71). Para um estudo sobre as implicações no ensino das ciências do falsificacionismo de Popper, em confronto com aquilo a que o autor chama o “relativismo” de Kuhn, ver Donnelly (1986).

¹² Referimos aqui alguns dos doze preceitos da “ética profissional do cientista” defendida por Popper (1981, p. 171-183). Como pretendemos mostrar noutro lugar (Pombo, 1989), a possibilidade de contornar e compensar o carácter moralizador da instituição escolar passaria pelo assumir da racionalidade inerente ao projecto cognitivo da ciência e do seu ensino, nomeadamente, dos princípios éticos acima referidos, princípios esses de que a ciência seria aplicação, resultado, exemplo, consequência e critério provado.

¹³ Para além dos autores estudados no programa de Epistemologia e Ensino das Ciências acima referido, outras posições epistemológicas há com fortes implicações no ensino das ciências. É o caso do anarquismo epistemológico de Feyerabend que descreve mesmo o seu projeto como tendo por objetivo “o problema do conhecimento e da educação numa sociedade livre” (Feyerabend, 1978, p.107-122). De alguma maneira, a posição de Feyerabend situa-se a meio caminho entre Kuhn e Popper: Feyerabend está de acordo com Kuhn relativamente ao carácter dogmático do ensino das ciências, mas, ao contrário de Kuhn, que defende o valor heurístico da submissão às regras da tradição, Feyerabend sujeita as práticas usuais de ensino das ciências a uma crítica demolidora, acusando-as de simplificar, distorcer, impedir a criatividade, a autonomia e a independência de espírito dos jovens. Em Feyerabend tal como em Popper, o que importa no ensino das ciências é proteger o espírito crítico e a imaginação dos estudantes contra todas as formas de autoritarismo e doutrinação. Mas, ao contrário de Popper e do seu intransigente racionalismo crítico, Feyerabend recusa-se a ver na ciência algo mais do que uma tradição, tão particular e restrita como todas as outras, fazendo por isso a defesa de um ensino que, por intermédio de um método histórico-comparativo, prepare os cidadãos para escolher entre diversas tradições alternativas. Os textos mais significativos de Feyerabend sobre as questões do ensino das ciências e da problemática educativa que lhe está associada, são *Science in a Free Society* (1978), *How to defend Society against Science* (1981) e *Philosophy of Science 2001* (1984). Encontram-se ainda elementos interessantes em *Against Method* (1975) e *Dialogo sul metodo* (1989) e em *Consolations for the Specialist*, (Lakatos, Alan Musgrave (eds.), 1970, p. 244-284). Para um estudo sobre as implicações educativas do anarquismo epistemológico de Feyerabend, ver Crittenden (1983).

Ao professor da cadeira de “Epistemologia e Ensino das Ciências” compete, a nosso ver, iniciar os seus alunos (futuros-professores) nessa reflexão, fornecer as aparelhagens técnicas (terminológicas e conceptuais) necessárias à formalização e tematização mínima desses problemas, dar conta da diversidade das teses em confronto, do sentido e legitimidade dos seus argumentos, assinalar os pontos mais importantes de conflito entre os diferentes entendimentos que hoje atravessam o corpo próprio de cada ciência. Aos (alunos) futuros-professores compete retirar de tudo isso as implicações que acharem mais adequadas para a sua futura atividade no “Ensino das Ciências”.

Grandes transformações na ciência contemporânea

Entretanto, para além da boa receptividade em geral dada ao programa de “Epistemologia e Ensino das Ciências” pelos estudantes da licenciatura (alunos-futuros-professores), a cadeira (que foi também lecionada em nível de mestrado) começava a ter alguns efeitos junto a grupos de professores do ensino secundário. Nos colóquios, conferências ou seminários organizados pelos professores nas suas escolas e nas suas associações profissionais, a articulação entre epistemologia e ensino das ciências começava a aparecer com alguma frequência. Solicitada por diversas vezes nesse sentido, tive oportunidade de me ir apercebendo, não só da pertinência dos temas e problemas cobertos pelo programa da cadeira, como de um conjunto de inquietações, emergentes no discurso dos professores, que aquele programa não visava nem tematizava diretamente.

Tais inquietações diziam sobretudo respeito à necessidade de uma reflexão sobre as grandes transformações ocorridas na *ciência contemporânea* e as suas consequências no ensino das ciências.

Como pode o professor de ciências responder ao volume crescente de conhecimentos científicos e à conseqüente sobrecarga dos programas que o *progresso acelerado* da ciência contemporânea arrasta consigo? Como conciliar a necessidade de uma exigente e permanente atualização com a consciência da impossibilidade de uma atualização efetiva? Como ultrapassar as dificuldades decorrentes do afastamento cada vez maior da ciência face à experiência imediata dos alunos? Que fazer face à situação paradoxal em que a ciência hoje nos coloca a todos, quando, apesar de cada vez mais abstrata e distante, invade a nossa vida quotidiana, rodeando-nos de aparelhos técnicos que manipulamos as mais das vezes sem compreender? Que fazer face à ruptura cada vez mais funda entre a tecnociência e o homem comum, cada vez mais afastado, não só da ciência que se faz, da sua sofisticada metodologia e instrumentação, dos

seus mecanismos e funcionamento, como da compreensão mínima dos seus resultados e aplicações? De que modo tem hoje o ensino das ciências que assumir as suas responsabilidades face ao recrudescimento das soluções mágicas e irracionais que, em grande medida, têm a sua raiz naquele afastamento?

Como lidar, no ensino das ciências, com as implicações da revisibilidade patente no tecido científico? Como conciliar a estabilidade dos conteúdos necessária a qualquer processo de ensino com a fragilidade e *efemeridade dos paradigmas*? E, face à ruptura entre investigação e ensino resultante do fenómeno contemporâneo da *institucionalização da ciência*, como pensar hoje a relação do professor de ciências com a ciência particular que ele é chamado a representar face aos seus alunos? Que modificações acarreta, no estatuto do professor, o afastamento crescente entre as instituições de produção e de transmissão do conhecimento?

Qualquer destas determinações se reveste de grande impacto naquilo que hoje pode (e deve) ser o ensino das ciências. Indiscutivelmente, qualquer uma deve merecer especial atenção de todos aqueles que se preparam para assumir essa responsabilidade.

Foram, porém os problemas decorrentes de um outro traço caracterizador da ciência contemporânea — a sua *especialização exponencial* — que me pareceram mais decisivos e urgentes para o futuro da escola e do ensino das ciências.

Trata-se de uma tendência que nada tem de acidental mas que, ao contrário, é expressão das exigências analíticas que caracterizam o desenvolvimento do conhecimento científico e que são condição de possibilidade do próprio progresso do conhecimento em geral. Mas trata-se também de uma tendência que, independentemente das circunstâncias próprias a cada sistema e a cada país, coloca a Escola numa situação de crise sem precedentes, obrigando-a a lançar mão de soluções contraditórias, que apontam para uma retração e, simultaneamente, para um reforço da escolaridade. Porque tem cada vez mais coisas para ensinar, a escola vê-se obrigada a proceder ao alargamento dos conteúdos programáticos das diferentes disciplinas que ministra, à sua atualização mais frequente (os programas tendem a ser cada vez maiores e de mais curta duração), à criação de novas disciplinas curriculares que possam veicular as aquisições das disciplinas científicas que se vão constituindo¹⁴. Mas, por outro lado, para que tal seja possível sem uma excessiva sobrecarga dos horários dos alunos, a escola tem que reduzir o número de horas semanais disponíveis para cada disciplina¹⁵, erradicar mesmo algumas disciplinas

¹⁴ Refira-se, por exemplo, a entrada nos currículos de disciplinas como a Ecologia, a Informática ou a Eletrónica.

¹⁵ É o caso da História, da Geografia ou do Desenho.

(nomeadamente, as línguas clássicas) e, simultaneamente, proceder ao prolongamento da própria escolaridade¹⁶.

Soluções contraditórias, mediante as quais a escola, ao procurar acompanhar o processo de fragmentação e especialização da ciência contemporânea, se transforma na sua vítima. Limitando-se a gerir os efeitos desse processo no tecido escolar, a escola adota um conjunto de medidas que mais não fazem do que agravar as consequências, junto dos alunos, do carácter fragmentário, especializado e conseqüentemente abstrato dos conhecimentos científicos transmitidos, isto é, daquilo mesmo para cuja solução elas se propunham contribuir.

A questão da interdisciplinaridade

Foi neste contexto que me aproximei do problema da *interdisciplinaridade*. Reconhecendo embora, todos os equívocos que rodeiam a utilização da palavra, todos os abusos provenientes da sua excessiva vulgarização¹⁷, a ideia da interdisciplinaridade começou a aparecer-me como uma *virtualidade duplamente significativa* — uma *resposta* face aos fenómenos de parcelização da cultura e de especialização e fragmentação dos saberes e, simultaneamente, uma *reação* face à compartimentação disciplinar que configura a instituição escolar e as suas práticas de ensino, isto é, uma determinação significativa, tanto em nível da *ciência* como em nível da *escola*.

Na verdade, face à situação de extrema fragmentação e especialização que caracteriza o estado atual do conhecimento científico, a interdisciplinaridade, quer enquanto “cooperação entre várias disciplinas no exame de um mesmo e único objeto” (Marion, 1978, p. 17), quer como “transferência de problemáticas, conceitos e métodos de uma disciplina para outra” (Thom, 1990, p. 637), é uma *exigência* do próprio progresso do conhecimento especializado e da criatividade dos seus investigadores que, um pouco por toda a parte, ensaiam, selecionam, adotam e procuram mesmo institucionalizar novas *práticas* claramente interdisciplinares, novos modelos de investigação, novos métodos de trabalho, novos sistemas de organização. Por seu lado, na escola, em contraposição à tendência a uma cada vez maior compartimentação e abstração dos conteúdos programáticos, assistimos também à emergência de uma forte *aspiração interdisciplinar* que se traduz na realização,

¹⁶ A criação do 12º ano na escolaridade secundária ganha maior sentido quando posta em paralelo com o movimento de proliferação de cursos de pós-graduação, mestrados, doutoramentos, pós-doutoramentos, criação de numerosos cursos de especialização, formação contínua, formação permanente etc.

¹⁷ Sobre o conceito de interdisciplinaridade, suas ambigüidades e equívocos, vejam-se os nossos estudos Pombo (1994b e 1994c).

com uma frequência crescente, de diversos tipos de *experiências de ensino* que visam alguma integração dos saberes disciplinares e implicam algum tipo de trabalho de colaboração entre duas ou mais disciplinas. De valor muito desigual, realizadas, na maior parte dos casos, pela iniciativa dos próprios professores, muitas vezes sem uma clarificação prévia das razões epistemológicas que justificam a sua realização, quase sempre sem qualquer tipo de apoio ou retribuição, o que de mais significativo essas experiências têm em comum é uma grande vontade de superação das barreiras disciplinares a que o ensino está institucionalmente confinado.

Palavra pertencente, simultaneamente, ao vocabulário da construção do conhecimento e da sua transmissão, a questão da interdisciplinaridade situava-se assim no cruzamento dos dois domínios — Ciência e Escola — que o programa da cadeira de “Epistemologia e Ensino das Ciências” já articulava, permitindo-me manter, por algum tempo, a ilusão de que se tratava apenas de dar continuidade a um trabalho já iniciado.

Porém, uma vez centrada no conceito de interdisciplinaridade, a minha investigação iria mudar de natureza. De *retrospectiva* ela passaria a *prospectiva*, *comprometida* com o futuro da instituição escolar. Tratava-se agora de trabalhar um conceito — interdisciplinaridade — que remete para uma realidade em grande parte ainda por inventar, elemento de uma situação epistemológica *muito recente* — porventura *demasiado recente* para poder ser reconhecida e pensada — em qualquer caso, ainda *em desenvolvimento*. Situação de que se não podem, por enquanto, conhecer senão algumas *manifestações* mais ou menos esporádicas, alguns *sinais* mais ou menos eloquentes.

Na medida em que corresponde a dados objectivos da nossa contemporaneidade, na medida em que, como diz Gusdorf (1985, p. 28), “é a própria dispersão analítica que tem suscitado a afirmação crescente da exigência interdisciplinar”, a ideia de interdisciplinaridade tem implícita uma indisfarçável *vontade de transformação*, não apenas dos mecanismos organizativos da investigação científica, como das instituições escolares e das suas práticas de ensino. Digamos que a interdisciplinaridade traduz um projeto de mais ou menos voluntarista. Como diz Vaideanu (1987, p. 538), à interdisciplinaridade corresponde o projecto de “melhoramento lógico e pedagógico da concepção de cada disciplina e do conjunto das disciplinas ensinadas num mesmo grau ou num mesmo ciclo escolar”.

Nesse sentido, pensar a interdisciplinaridade implica repensar, não apenas o ensino das ciências, mas o ensino em geral, explorar as possibilidades — porventura já ao nosso alcance — de construir modelos de ensino que apostem na convergência de diversas formas de conhecimento e atividades humanas de modo a compensar, ou mesmo superar, os efeitos perversos da especialização e

fragmentação dos saberes na consciência dos alunos. Nas palavras de Palmade (1979, p. 18-19): “a interdisciplinaridade pode ser considerada como um motor de transformação, o único capaz, ao que parece, de dar de novo vida a uma instituição com grande frequência esclerosada”.

Em termos teóricos, a minha investigação orientou-se em dois sentidos fundamentais.

Em primeiro lugar, procurar perceber as *causas, mecanismos e efeitos* da “disciplinaridade”. Quais os factores que concorrem para a emergência de uma nova disciplina? São esses fatores de natureza fundamentalmente cognitiva ou, como pretende a sociologia da ciência, há também fatores externos a ter em conta? Qual o peso relativo dos diferentes tipos de fatores? De que modo se opera a subdivisão no interior de uma disciplina? Quais as razões decisivas para a delimitação de domínios no interior de uma disciplina científica? Como são constituídos os diferentes domínios de investigação? Como são selecionados os domínios que merecem ser investigados? A que leis obedece a contínua ramificação de domínios científicos, a proliferação de inexplorados e por vezes inesperados novos campos de pesquisa?

Em segundo lugar, procurar compreender as *razões* da “aspiração interdisciplinar” emergente, tanto na ciência, como na escola. Qual a natureza desse apelo interdisciplinar? Que sinais da sua existência poderiam ser apontados? A que se fica a dever o aparecimento explosivo de um novo tipo de disciplinas – também designadas por *interdisciplinas ou interciências* – constituídas, quer nas fronteiras, quer pelo cruzamento das disciplinas tradicionais? Como explicar a contínua proliferação de novos campos de pesquisa na confluência de várias disciplinas, seja entre disciplinas das ciências da natureza (a bioquímica ou a geofísica), seja entre estas e as ciências sociais (etologia, biologia social), seja entre as ciências naturais e as disciplinas técnicas (engenharia genética), seja entre as técnicas e as ciências sociais (inteligência artificial), seja entre diversas disciplinas de diferentes áreas de conhecimento que, até hoje, tinham vivido de costas voltadas umas para as outras (ciências cognitivas)? Que argumentos podem ser convocados em favor da importância cognitiva e heurística da interdisciplinaridade para o futuro do conhecimento humano?

E na escola, a que corresponde um interesse tão generalizado pela interdisciplinaridade? Qual o desejo que explica o investimento que os professores fazem na interdisciplinaridade? Como explicar a frequência com que os professores, por sua própria iniciativa, sem apoios, sem modelos, sem qualquer retribuição, em espaços que verdadeiramente não existem, em horas extra dos seus horários, apesar disso realizam experiências de ensino dos mais variados tipos, as quais, melhor ou pior, apontam no sentido da articulação e do cruzamento dos saberes disciplinares, suscitam a confluência de

diferentes perspectivas disciplinares para o estudo de problemas concretos? De que modo pode a interdisciplinaridade permitir enfrentar a entrada da nossa civilização na nova era da sua história, aquilo a que McLuhan (1962) chamou “a galáxia eletrônica”? Época ainda, em grande medida, à espera de ser inventada mas que, desde já, se deixa caracterizar pela crescente velocidade da informação e pela multiplicidade e complexidade dos meios técnicos de seu processamento. Época, portanto, que parece exigir que a humanidade aprenda a utilizar, rápida e simultaneamente, os seus vários sentidos, que seja capaz de considerar e integrar as muitas e diversas informações provenientes de diferentes locais, áreas, atividades, disciplinas, quer dizer, época que exige métodos interdisciplinares de trabalho, descoberta e aprendizagem.

Comecei, no entanto, a sentir necessidade de efectuar um “recoo teórico” relativamente ao conceito de interdisciplinaridade. Ganhar distância para ver melhor!

Compreendi que era necessário procurar o *conjunto de manifestações similares* no interior das quais a interdisciplinaridade se deixaria pensar de forma comparativa, como uma forma de articulação disciplinar entre outras. Percebi que era urgente procurar determinar o *fundamento*, o *solo firme* relativamente ao qual todas essas formas de articulação disciplinar se deixariam pensar enquanto determinações historicamente significativas. Só assim me parecia possível olhar a interdisciplinaridade como algo mais que uma mera manifestação circunstancial, mais que um fenómeno epocal, uma moda passageira e efêmera como todas as modas. Só assim a interdisciplinaridade se deixaria ver enquanto *determinação fundamental da nossa contemporaneidade*.

Encaminhei-me então para a seguinte “hipótese”: se a interdisciplinaridade era o *resultado* (sinal, resposta, reacção) da situação de extrema especialização do conhecimento científico a que chegamos, ela era, simultaneamente, o *sintoma* de uma carência, a *manifestação atual do velho ideal de unidade do conhecimento*, essa aspiração constitutiva da própria razão que teve na Grécia o seu local de origem e que, desde então, nunca deixou de se manifestar, dando corpo e alma a alguns dos mais significativos movimentos de ideias da história do pensamento ocidental. Se a situação de fragmentação disciplinar extrema em que nos encontramos é um efeito (perverso) da *tendência à especialização*, espécie de preço que temos que pagar pelo extraordinário progresso científico e tecnológico que só ela torna possível, a interdisciplinaridade, por seu lado, seria a manifestação atual da *tendência para a unidade do conhecimento*, tendência esquecida, aparentemente ultrapassada, mas que atravessa toda a história da cultura e está na raiz de qualquer tentativa

de compreensão da condição do homem no mundo, seja ele de natureza científica, artística ou filosófica¹⁸.

Por outras palavras, no *percurso* da minha investigação, havia passado da interdisciplinaridade à unidade das ciências. *Deslocamento* que não implicava o abandono da interdisciplinaridade, mas a sua perspectivação enquanto manifestação segunda de uma instância mais radical. Doravante, a interdisciplinaridade constituía-se como a *manifestação atual da ideia de unidade das ciências*.

A questão da unidade das ciências

A nova fase da minha investigação implicava procurar, sob a fragmentação das disciplinas, o que pode querer hoje dizer a velha ideia da unidade das ciências, sob que formas e figuras se manifesta ela ainda; perseguir, sob a poeira das disciplinas, a vocação da ciência enquanto perspectivação compreensiva de esferas progressivamente mais alargadas da realidade natural e humana; reconhecer o imprescindível valor do princípio da unidade das ciências na construção de uma cultura que não seja a mera acumulação de saberes especializados mas a sua integração num todo significativo. Uma dupla operação, em suma: procurar perceber os mecanismos disciplinares responsáveis pela “fragmentação e especialização” exponencial que, de forma avassaladora, ameaçam hoje o secular (e majestoso) edifício da ciência; por outro lado, colocar a questão da sua “unidade”¹⁹.

É que, para lá de todas as diferenças entre as diversas disciplinas científicas, de todas as fronteiras que delimitam os seus territórios, de todas as clivagens de linguagens, métodos e propósitos que as animam, todas “as ciências” são “Ciência”. A sua multiplicidade deixa-se dizer e pensar na dimensão holística deste singular magestático — “A ciência”.

Quer isto dizer que — e regressando à questão do ensino das ciências ao ser professor de física, de química ou de geologia, o professor de cada uma dessas ciências *representa*, isto é, está investido da sagrada missão de representar — tornar *presente* pela palavra e pela sua própria *presença* — quer *a ciência particular* para o ensino da qual especifica e profissionalmente se preparou, quer *A ciência na sua globalidade* para a qual, honestamente, não deve — e verdadeiramente não pode nunca — sentir-se preparado.

¹⁸ É esta hipótese que organiza o nosso livro, Pombo (2004), *Interdisciplinaridade: Ambições e Limites*.

¹⁹ Esta investigação deu origem ao nosso estudo Pombo (2006), *Unidade da Ciência. Programas, Figuras e Metáforas* e, mais recentemente, O. Pombo; J. Symons; J.M. Torres (Eds.), (2010), *Unity of Science: New Approaches - Otto Neurath and the Unity of Science*.

Ora, é justamente aqui, na compreensão do que possa ser *A ciência*, que, a nosso ver, mais se faz sentir a utilidade para o ensino *das ciências* de uma reflexão minimamente informada e exigente que procure descortinar a natureza específica dessa específica atividade humana, que procure compreender a origem da sua fragmentação e o sentido da sua unidade.

Se, como pretendemos, a formação de um professor de ciências tem que incluir uma reflexão epistemológica e interdisciplinar aprofundada que lhe permita desenvolver uma consciência crítica relativamente ao seu próprio saber, à natureza, métodos e limites da ciência particular que se propõe ensinar, às relações que essa ciência estabelece com todas as outras, que as várias ciências estabelecem entre si, e que “A ciência”, enquanto específica atividade humana, estabelece com todas as outras atividades humanas; se, porventura hoje mais que nunca, é necessário, a um futuro professor de ciências, pensar os traços fundamentais da ciência contemporânea, face aos quais unicamente poderá procurar uma direção geral, orientadora do seu ensino; se, nessa situação actual, é urgente destacar o problema da especialização exponencial dos conhecimentos cujos efeitos na escola e no ensino das ciências são demasiado graves e urgentes para poderem ser ignorados; por outro lado, importa reconhecer os sinais, por enquanto tímidos, de uma racionalidade transversal que, em conflito com essa fragmentação, teria na interdisciplinaridade a sua forma atual de manifestação e na ideia de unidade das ciências a sua raiz primordial. Reconhecer (na Ciência) a pregnância (epistemológica) desses sinais para, (na Escola), remediar a perda do sentido de unidade, ou pelo menos de convergência, das diversas formas de conhecimento e atividade humanas e tentar obstar ao empobrecimento cultural daí decorrente.

Por outras palavras, se a fragmentação do conhecimento científico constitui o perigo maior a que o projeto racional da ciência (enquanto meio de alargamento da compreensão do homem no mundo) e da escola (sem a qual a própria ciência não seria possível) parecerem hoje condenadas, há *sinais* que nos permitem manter uma certa esperança na continuidade dessas magníficas instituições humanas.

Não se trata de propôr soluções de regresso a uma irrecuperável unidade do saber, mas tão só de apontar, na ciência e na escola que são hoje as nossas, arranjos estruturais que permitam vias integradas de acesso à complexidade do mundo e dos seus problemas. Num primeiro momento, bastará talvez reconhecer, sob as turbulências, as rupturas, os farrapos, sob o mar agitado das superfícies, a tranquilidade antiquíssima daquele oceano ao qual, como dizia Leibniz, o corpo inteiro das ciências pode ser comparado²⁰. Bastará talvez (re)começar por (re)conhecer, na pluralidade das suas figuras e manifestações, a unidade da razão que, hoje como ontem, atravessa a ciência e a escola.

²⁰ Como Leibniz escreve (1903, p. 530-531): “o corpo inteiro das ciências pode ser considerado como o oceano, que é inteiramente contínuo e sem interrupção ou separação, ainda que os homens nele concebiam partes e lhes dêem nomes de acordo com a sua comodidade”.

Referências

BACHELARD, G. **La Formation de l'Esprit Scientifique, Contribution à une Psychanalyse de la Connaissance Objective**. Paris: Vrin, 1975.

_____. **La Philosophie du non. Pour une Philosophie du Nouvel Esprit Scientifique**. Paris: Presses Universitaires de France, 1975.

_____. **Le Rationalisme Appliquée**. Paris: Presses Universitaires de France, 1975.

_____. **Le Matérialisme Rationnel**. Paris: Presses Universitaires de France, 1980.

BARNES, B. **T.S. Kuhn and Social Sciences**. London: The Macmillan Press.

BRINGUIER, J.-C. **Conversations Libres avec Jean Piaget**, (trad. port. de Luís Soczka, Conversas com Jean Piaget), Lisboa: Bertrand, 1978.

CRITTENDEN, P. J. "Anarchistic Epistemology and Education", **Methodology and Science**, 16, 211-229, 1983.

DONNELLY, J. The Work of Popper and Kuhn on the Nature of Science. In: J. BROWN; A. COOPER; T. HORTON; F. TOATES; D. ZELDIN (edrs.) **Science in Schools**. Milton Keynes: Open University Press, 1986.

DUSCHL, R.A. Research on the History and Philosophy of Science. In: D.L. GABEL (org.), **Handbook of Research on Science Teaching and Learning**. p. 443-465, New York: The Macmillan Publishing Company, 1994.

ENNIS, R. H. Research in Philosophy of Science bearing on Science Education. In: P. D. ASQUITH (ed.). **Current Research in Philosophy of Science**. p. 138-170, East Lansing: Philosophy of Science Association, 1979.

FEYERABEND, P. K. Philosophy of Science 2001. In: R. COHEN; M. WARTOFSKY (eds.), **Methodology, Methaphysics and the History of Science**. p. 137-147, Dordrecht / Boston / Lancaster: D.Reidel Publishing Company, 1984.

_____. **Against Method**. London/New York: Verso, 1988. (edição revista).

_____. **Science in a Free Society**. London: New Left Books, 1978.

_____ How to Defend Society Against Science. In: I. HACKING (ed.), **Scientific Revolutions**. p. 157-167, Oxford: Oxford University Press, 1981.

_____ **Dialogo sul metodo**. (trad. port. de António Guerreiro). Lisboa: Presença, 1991.

GIL, F. **Mimésis e Negação**. Lisboa: Imprensa Nacional, 1984.

GUSDORF, G. Refléxions sur l'Interdisciplinarité (trad. port. de Homero Silveira). **Convivium**, v. XXIV, nº 128, p. 19-50, 1985.

HEIDEGGER, M. **Die Frage Nach Dem Ding**. (trad. franc. de Jean Reboul e Jacques Taminiaux). Paris: Gallimard, 1971.

HENRY, W.; HODYSH, E. The Kuhnian Paradim and it's Implications for The Historiography of Curriculum Change, **Pedagogica Histórica**, v. 17, nº 1, p. 75-87, 1977.

HODSON, D. Philosophy of Science, Science and Science Education, **Studies in Science Education**, v. 12, p. 25-57, 1985.

KUHN, T. S. **The Structure of Scientific Revolutions**. Chicago: University of Chicago Press, 1962.

_____ **The Essential Tension. Selected Studies in Scientific Tradition and Change**. Chicago: The University of Chicago Press, 1977.

_____ A Função do Dogma na Investigação Científica. In: M.M. Carrilho (org.). **História e Prática das Ciências**, p. 43-75, 1979.

LAKATOS, I.; MUSGRAVE, A. **Criticism and the Growth of Knowledge**, (trad. port. de Octávio Mendes Cajado e Pablo Mariconda), São Paulo: Cultrix, 1979.

LEIBNIZ. **Opuscules et Fragments Inédits de Leibniz. Extraits des Manuscrits de la Bibliothèque Royale de Hannover par Louis Couturat**. Paris: Alcan, 1903.

MCLUHAN, M. **The Gutenberg Galaxy: The Making of Typographic** (trad. franc. de Jean Paré) 2 vols. Paris: Gallimard, 1977.

MARION, J.-L. **A Interdisciplinaridade como questão para a Filosofia**. Presença Filosófica, nº IV, v. 1, p. 15-27, 1978.

MATTHEWS, M. History, Philosophy and Science Teaching. A Brief Review, **Synthèse, History, Philosophy and Science Teaching**, v. 80, nº 1, p. 11-7, 1989a.

_____. History, Philosophy and Science Teaching. A Bibliography, **Synthèse, History, Philosophy and Science Teaching**, v. 80, nº 1, p. 185-196, 1989b.

PALMADE, G. **Interdisciplinariedad e Ideologias**. Madrid: Narcea, 1979.

PIAGET, J. (Org.) Les Structures Mathématiques et les Structures Opératoires de l'Intelligence. In: J. Piaget (Org.). **L'Enseignement des Mathématiques**. Paris / Neuchâtel: Delachaux e Niestlé, 1955a. p. 1-33.

_____. (Org.) **L'Enseignement des Mathématiques**. Paris/Neuchâtel: Delachaux e Niestlé, 1955b.

POPPER, K. R. **Conjectures and Refutations. The Growth of Scientific Knowledge**. London: Routledge and Kegan Paul, 1972.

_____. **Objective Knowledge. An Evolutionary Approach**. Oxford: Oxford University Press, 1986.

_____. **Auf der Suche nach einer besseren Welt**. (trad. port. de Teresa Curvelo e João Carlos Espada). Lisboa: Fragmentos, 1989.

POMBO, O. Eticidade / Racionalidade na Comunicação e Ensino do Conhecimento Científico, **CTS. Ciência, Tecnologia e Sociedade**, v. 10, p. 76-81, 1989.

_____. Para um Modelo Reflexivo de Formação de Professores, **Revista de Educação**, v. III, nº 2, p. 37-45, 1993.

_____. A Matemática e o Trabalho de 'Dar a Ver'. In: **PROFMAT/92, Actas do Encontro Nacional de Professores de Matemática de 1992**. Viseu: Associação de Professores de Matemática, 1994a, p. 35-39.

_____. Contribuição para um Vocabulário sobre Interdisciplinaridade. In: O. Pombo, T. Levy e H. Guimarães. **A Interdisciplinaridade: Reflexão e Experiência**. Lisboa: ed. Texto, 1994b, p. 92-97.

_____. Problemas e Perspectivas da Interdisciplinaridade, **Revista de Educação**, v. IV, nº 1/2, p. 3-11, 1994c.

_____ **Interdisciplinaridade: ambições e limites.** Lisboa: Relógio d'Água, 2004.

_____ **Unidade da ciência. Programas, figuras e metáforas.** Lisboa: Duarte Reis, 2006.

POMBO, O; SYMONS, J.; TORRES, J.M. (Eds.) **Unity of Science: New Approaches- Otto Neurath and the Unity of Science.** Dordrecht/Heidelberg/ London/New York: Springer, 2010.

ROWELL, J. A. Piagetian Epistemology: Equilibration and the Teaching of Science, **Synthèse**, v. 80, n° 1, p. 141-162, 1989.

SAVARY, C. La Conception kuhnienne de la Science et le Concept d'Idéologie, **Dialogue**, v. XVII, n° 2, p. 266-285, 1987.

THOM, R. Vertus et Dangers de l'Interdisciplinarité. In: R. Thom, **Apologie du Logos.** Paris: Hachette, 1990, 9. 636-643.

VAIDEANU, G. L'Interdisciplinarité dans l'Enseignement: Essai de Synthèse, (trad. port de Ana Paula Jordão Esboço de Síntese). In: Guimarães; Conceição; Pombo; Levy (Orgs). **Antologia II.** Lisboa: Projecto Mathesis /DEFCUL, 1992, p. 99-39.

Interdisciplinaridade no ensino da ciência

Rodolpho Caniato

A interdisciplinaridade é entendida como um contato ou diálogo entre, pelo menos, duas áreas, além das fronteiras que costumam definir as disciplinas. Ela é altamente desejável e frequentemente indispensável para o crescimento do conhecimento, mas pressupõe troca: troca implica em ter algo também para oferecer, mais do que intenções. Além disso, é preciso lembrar que as delimitações que definem as disciplinas surgiram como impossibilidade de se entender ou estudar tudo ao mesmo tempo; são, portanto, circunstanciais. O entendimento do mundo não é delimitado por fronteiras. Para meus alunos, costumo chamar a ciência de gramática, que usamos para decifrar, ler e entender o funcionamento do mundo.

A ciência que desenvolvemos e a cultura em que vivemos imersos, e que pretendemos ensinar, tem sua origem principal na cultura grega e que começa a tomar forma mais definida a partir do século V a.C. É com Aristóteles (384-322 a.C) que esse paradigma se desenvolve. É essa busca pelo entendimento do mundo que começa a tomar formas mais definidas, e que teria sua vigência por muitos séculos, chegando incólume até a revolução de Galileu em 1609. Essa primeira grande síntese do conhecimento, pelo menos ocidental, é nitidamente uma visão multidisciplinar. Aristóteles é o primeiro a sistematizar todo o conhecimento de forma global, isto é, envolvendo as diferentes áreas do saber. Seus estudos sobre os seres vivos e sobre a constituição das coisas com os quatro elementos (terra, água, ar e fogo), embora em áreas diferentes, se articulam com os dos movimentos e o da própria astronomia. Mesmo as categorias de coisas tão distintas como os movimentos na superfície da Terra, a queda dos corpos e os movimentos do céu, embora diversos em sua natureza, se articulavam numa visão integrada que pretendia ser um modelo de funcionamento, um paradigma para o mundo. Os corpos na superfície da Terra só se moveriam com a aplicação de uma força. A queda dos corpos era explicada como a busca do centro do universo, a Terra. Os movimentos do céu pertenciam a uma categoria especial e as estrelas estavam fixas na superfície interna da esfera celeste. Com a subida do Cristianismo ao poder temporal, o modelo aristotélico foi, além de incorporado, sacralizado. Só a revolução do heliocentrismo, a partir

da hipótese de Copérnico, que culminou com as descobertas de Galileu em 1609, abalou a hegemonia e vigência do universo aristotélico. Se, por um lado, esse modelo foi suplantado ou superado, não se lhe pode tirar o grande mérito de ter sido, tanto quanto sabemos, o modelo, mais que isso, o paradigma que harmonizou todas as áreas do conhecimento durante muitos séculos: um paradigma multidisciplinar.

Desde a revolução de Galileu e o triunfo da Mecânica de Newton, o conhecimento se expandiu, criando novas disciplinas: astronomia, mecânica, ótica, espectroscopia, uma nova matemática com o cálculo infinitesimal, apenas como exemplos. A partir daí, o mundo parecia entendível, portanto “estudável” em seus diferentes aspectos: aparecem as diferentes áreas do conhecimento, ou disciplinas. Até o fim do século XIX muitas outras áreas de conhecimento foram surgindo, aumentando muito o espectro dos campos a serem estudados: novas disciplinas. Mesmo assim ainda era possível o conhecimento enciclopédico. Era possível a uma pessoa culta estar a par dos novos avanços nas diferentes áreas do conhecimento. Quase toda a física conhecida ou estudada, por exemplo, estava contida num *Traité de Physique*, como o de Alphonse Ganot, publicado nos fins do século XIX. Tão completo ele parecia que muitas edições ainda foram feitas no início do século XX. Eu ganhei e ainda estudei num desses velhos “tratados”, editado em fins do século XIX e que pretendia ser a síntese de quase tudo de que tratara a física, até então. Esse e outros livros franceses foram a fonte quase exclusiva para a publicação de livros didáticos de física no Brasil, até mais da metade do século XX. Eu comecei minha carreira docente em 1957, como assistente do Prof. Aníbal de Freitas, autor de muitas das primeiras grandes edições de livros didáticos no Brasil.

Nos últimos anos do século XIX, e logo no início do século XX, abriram-se muitas novas áreas do conhecimento, como: microbiologia, radiatividade, ondas de rádio, raios X, efeito fotoelétrico, relatividade e inúmeras outras. O aumento rápido dessas áreas e as subdivisões dessas, foram criando a necessidade das especializações, com campos cada vez mais estreitos e aprofundados. Especialmente ao longo da segunda metade do século XX, as especializações se tornaram campos quase autônomos, levando a uma grande fragmentação do conhecimento. Essa fragmentação teve dois principais efeitos: um deles altamente benéfico, o progresso vertiginoso em muitos campos do conhecimento e que resultou em muitos dos grandes benefícios de que desfrutamos hoje em tantas áreas. Quase todos os benefícios, desde a medicina, até os maiores avanços científicos e tecnológicos de que dispomos em nosso dia a dia, resultaram de muita especialização. Esses avanços produzidos pela ultra-especialização moldaram um *novo mundo* e a *era espacial*. Por outro lado, essa ultra-especialização levou também a uma deformação na visão global da vida no mundo. Para muitos desses especialistas, na vanguarda de suas áreas,

tornou-se impossível acompanhar todas as publicações, dada a plethora de novas informações. Conheço pessoalmente grandes pesquisadores que se dizem incapazes de acompanhar as novidades de sua própria e delimitada área. Alguns se confessam “ignorantes” em quase tudo que está fora do foco de seu estudo e atuação, por absoluta impossibilidade de dividir sua atenção e tempo. A pressão e a inevitável concorrência pela produção intelectual dentro das instituições contribuem para essas deformações.

Uma volta à interdisciplinaridade, hoje, parece uma tendência com duas grandes motivações principais. A primeira delas tem a ver com aspectos puramente científicos. Na medida em que se penetrou mais fundo no conhecimento científico, muitos novos desafios exigem o conhecimento além da fronteira de cada uma das áreas ou disciplinas. É evidente, por exemplo, que o desafiador estudo quântico sobre a separação de cargas elétricas no interior de uma folha, implica conhecimentos diferentes e tradicionalmente separados: a física quântica, a quem “pertenceria” a disciplina da separação das cargas, e a biologia, a quem “pertenceria” a que trata da fisiologia vegetal. Esse estudo, além de fundamental para se entender um fato central da *ciência*, é indispensável ao entendimento global da *vida* na *Terra* e pode ter grandes consequências, tanto na produção de mais alimentos quanto na de energia. Parece ser desejável, senão indispensável, que os conhecimentos das duas áreas se interpenetrem além das habituais fronteiras de cada uma. Muitas outras situações poderiam ser lembradas nas quais a interação de duas ou mais disciplinas, além da fronteira de cada uma, pode ser imprescindível para que se conquiste um conhecimento que não é propriedade exclusiva de nenhuma delas, e que está além, numa área interdisciplinar. A separação e o fracionamento das disciplinas se fez ao longo da história mais recente e, como vimos, teve suas grandes virtudes. Essa necessidade de diálogo entre diferentes áreas tem evidenciado e sugerido, em alguns grandes centros de pesquisas, a criação de equipes interdisciplinares de modo a facilitar e promover um constante e próximo diálogo de áreas distintas. Mas, hoje, como desde a antiguidade, o homem busca também em termos pessoais uma compreensão do *mundo* na sua totalidade. Sempre houve essa aspiração e a história está, senão cheia, pelo menos pontilhada de grandes homens que buscaram um maior entendimento do *mundo* na sua totalidade e integralidade, além das fronteiras de qualquer disciplina. Bastaria lembrar um Leonardo da Vinci, no Renascimento, um Einstein, na primeira metade do século XX. Todos buscamos uma compreensão mais completa do ambiente em que vivemos: como se estivéssemos constantemente à caça de mais uma peça a ser “encaixada” no grande “quebra-cabeças” do entendimento global do Mundo.

A Idade Moderna fez expandir o desejo e a possibilidade da instrução e do estudo. O século XX trouxe a possibilidade da massificação do conhecimento

e a busca do entendimento dos processos pelos quais se aprende. O prêmio Nobel de Medicina dado a Ivan Pavlov (1896-1934), em 1904, abria não só um campo novo na fisiologia, mas introduzia grandes desdobramentos e consequências no processo da aprendizagem. No prolongamento dessas descobertas nascia a psicologia experimental e a teoria comportamentista de Burrhus Skinner (1904-1986), e seu produto: a instrução programada. Era uma forma nova de aprendizagem e que até podia dispensar o professor. Essa corrente de pensamento chegou forte a Brasília, no começo da década de 1960, através de Fred Simmons Keller (1899-1996), com seu método individualizado, seu “PSI”, e que preconiza a independência do aluno no ritmo de sua aprendizagem. Em São Paulo, um projeto de Física da Luz, patrocinado pela UNESCO e orientado pelo físico sueco Pär Bergval, nos primeiros anos 60, se materializou numa série de volumes na forma de instrução programada. Meu primeiro contato com o IBECC/UNESCO ocorreu no início dos anos 60, quando adquiri a coleção Física da Luz para uso com meus alunos da licenciatura, na PUC de Campinas.

Ainda bem no início do século XX, Lev Vigotsky (1896-1934), na Rússia, realizava experimentos com a aprendizagem de crianças, num trabalho pioneiro e que se assemelhava ao que mais adiante seria desenvolvido de forma mais ampla e profunda por Jean Piaget (1896-1994), com sua epistemologia genética e o estudo da relação entre a formação de alguns conceitos com a idade das crianças.

Ao longo do século XX muitos autores contribuíram para que se entendesse o processo de *educação, ensino* e a *construção do conhecimento*. Alguns desses devem ser lembrados, dentre muitos outros, como Karl Popper (1902-1994), na filosofia da ciência, com o critério para ciência (falseabilidade) e a impossibilidade de se provar que uma teoria científica é certa. Thomas Kuhn (1922-1996) abordava o estudo da história por outro ângulo, a estrutura das revoluções científicas e a evolução dos “paradigmas”. David Ausubel (1918-2008) e Jerome Bruner (1915-) estudaram a aprendizagem significativa, o construtivismo e a importância da descoberta para o estudante. Carl Rogers (1902-1987) propõe o processo ensino-aprendizagem centrado no aluno. Benjamin Bloom (1913-1999) estuda os processos de avaliação e propõe uma taxionomia, hierarquizando as categorias de conceitos adquiridos no processo de aprendizagem. Os conhecimentos reunidos por esses pensadores, entre outros, já não permitiriam que o ensinar fosse tratado como simples transmissão da “fonte”, a fala do professor, para o “receptáculo” passivo, o aluno. Já se dispunha de um verdadeiro arsenal de conhecimentos e ingredientes necessários à construção do conhecimento pelo próprio indivíduo. Todos esses novos conhecimentos, mesmo com enfoques muito diferentes, já não admitiriam a tradicional postura do aluno como simples “receptáculo” de conhecimento de outrem. Também já não caberia o jargão “para ensinar física basta saber física”, comum em grandes instituições dedicadas a esse saber. Se por um lado é

inegável que muitos físicos se formaram e podem se formar, de forma independente dos métodos de ensino, também se constatava e continua-se a constatar que, para uma imensa maioria, o resultado de tais cursos era parecido ao ensino de natação feito por correspondência: sobrava pouco ou quase nada, depois de se ter apenas ouvido sobre o assunto. Essa constatação tem sido feita por este autor desde os últimos anos 50 e começo dos anos 60, estando em sua tese de doutorado, concluída em janeiro de 1974.

A partir do fim da década de 1950, multiplicaram-se os projetos, principalmente americanos que, embora com maneiras, enfoques e objetivos diferentes, incorporavam conceitos e procedimentos sobre as formas de se construir o conhecimento. Esses incluíam a experiência dos autores já mencionados e outros. Apareceram então muitos projetos de ensino para as diferentes áreas. Bastaria citar alguns dos principais e que chegaram ao Brasil, a partir do início dos anos 60: “PSSC” (Physical Study Science Committee), “IPS” (Introduction to Physical Science), “NSTP” (Nuffield Science Teaching Project), de física, “BSCS” (Biology Study Curriculum System), de biologia, “Chem Study” e “CBA” (Chemical Bond Approach), em Química e “ESCP”, (Earth Science Curriculum Project), em ciências da Terra.

Esses projetos chegaram ao Brasil a partir de 1962, por iniciativa, principalmente do Dr. Isaias Raw, diretor do IBECC/UNESCO. Apesar das grandes inovações que traziam, só atingiram poucos professores universitários e ainda com fortes reservas, resistências e até hostilidade. A meu ver, por várias principais razões. Uma delas era motivada por uma visão “ideologizada” de resistência, ou mesmo repúdio a coisas e principalmente projetos educacionais vindos dos Estados Unidos. Isso acontecia também num momento em que se discutia de forma politicamente polarizada, o acordo MEC-USAID. Por mais independentes que pudessem ser essas importantes inovações, era compreensível que elas fossem contaminadas com uma “ideologização”, e até rejeição, por virem dos Estados Unidos. Por razões tanto nacionais como internacionais, vivíamos um clima de forte polarização política. O acirramento da “guerra fria” no âmbito internacional se refletia também numa forte tensão política no Brasil, que discutia as “reformas de base” e culminaria com o golpe militar de 1964. Outra razão considerável era o forte preconceito da “academia” com coisas relacionadas ao ensino que não fosse “superior”. Tudo que se relacionasse com ensino e educação tinha pouco ou nenhum reconhecimento da academia, especialmente no Brasil. A razão maior, no entanto, a meu ver, era e continua sendo de outra natureza: o despreparo e o receio das discussões por parte dos professores.

Na década de 1950 já havia, especialmente entre os americanos, uma sensação de que seria indispensável à formação de mais cientistas, especialmente de mais físicos, que garantissem a hegemonia do conhecimento pelos Estados Unidos, frente ao bloco liderado pela União Soviética. Esse

sentimento se acentuou quando do lançamento do Sputnik I, em outubro de 1957. Esse fato produziu verdadeira comoção no meio científico de todo o mundo, que estava mobilizado para o Ano Geofísico Internacional. Na visão americana seria necessário e urgente aumentar as “vocações”, especialmente para a física. Com esse propósito, um grupo de físicos dos maiores centros de pesquisas em física dos Estados Unidos, a começar por Jerrold Zacharias, um dos mais eminentes físicos do MIT (Massachusetts Institute of Technology), com apoio da NSF (National Science Foundation). Esse grande projeto tornou-se mais urgente quando a vantagem da União Soviética na corrida espacial, ostensivamente deixava dúvidas sobre a vanguarda científica dos Estados Unidos. Nunca antes no mundo se investira tanto, e com a ajuda de tantos dos maiores centros de física de americanos. Aqui, esse projeto, o PSSC, chegou em janeiro de 1962. O curso foi ministrado por vários dos autores do projeto, liderados por Uri Haber-Chaim. Outra participação notável foi de Aaron Lemonick, físico ilustre e reitor da Universidade de Princeton. Deste último pude ver algo que nunca vira antes: o empenho quase passional para que, durante as discussões, fossem vivenciados os conceitos que ministrava. Só recentemente, pelas homenagens e honrarias que lhe foram prestados em sua morte aos 80 anos, pude ver que havia tido aulas, mais do que com um físico ilustre, com um grande *mestre* na arte de ajudar a *aprender*. O curso se realizou durante seis semanas de tempo integral na Faculdade de Medicina da USP, ficando todos os participantes alojados num dos primeiros prédios da cidade universitária da USP, no Butantan. Simultaneamente, no mesmo prédio, foi ministrado, também pela primeira vez no Brasil, o projeto BSCS de biologia. O PSSC foi oferecido para quarenta professores em exercício no ensino superior de quase todos os países do continente latino-americano. Desses quarenta, vinte eram brasileiros e eu, um destes. Entre os que tomavam o curso estavam o prof. Pierre H. Lucie e o prof. Antonio S. Teixeira Jr, este já então autor de vários livros didáticos de física, ambos meus colegas de turma nos experimentos. No ano seguinte (1963), era dado o primeiro PSSC no Brasil com corpo docente nacional, chefiado pelo prof. Pierre H. Lucie, na PUC do Rio de Janeiro. Juntamente com o prof. Teixeira e Prof. Pinto Guedes, da PUC do Rio, fui um dos integrantes desse corpo docente. Como visitante, para uma série de palestras, especialmente sobre os estudos de Fermi, veio o Prof. Phylip Morrison, um dos autores do projeto PSSC e participante do projeto Manhattan (da bomba A). Um visitante tão ilustre, que tratava de assuntos além das fronteiras habituais da física evidenciava a importância que os autores do projeto PSSC davam ao curso que se estava ministrando. Num dos dias, coube a mim traduzir uma das palestra do Prof. Morrison. A avidez com que eu buscava inovações para meus cursos na PUC de Campinas, logo me fez ministrar partes do PSSC, incluindo seus experimentos e discussões, a meus alunos da licenciatura. Também tomei parte na tradução daquele projeto, logo publicada pela Editora EDART. Nos anos

seguintes coube-me ministrar outros cursos PSSC, um de caráter nacional no prédio do Instituto de Química da USP, em 1967, e outro regional, na Unesp de Presidente Prudente, em 1968. Em ambos fui ajudado por um meu ex-aluno, Prof. Eikite Tengnon.

Eram evidentes as grandes inovações e a amplitude da nova proposta materializada no PSSC. Vários dos participantes afirmaram, na ocasião, que o curso lhes tinha valido mais que os feitos em suas instituições de origem, ao longo de vários anos. Seria natural esperar que grande fosse o efeito dessas inovações no ensino vigente no Brasil, carente de discussão e de atividades experimentais. Mas é justamente aí que se situava, a meu ver, a principal razão para a resistência contra sua aplicação. Um dos ingredientes daquele projeto era justamente uma de suas características: a discussão de situações novas e imprevisíveis, especialmente nos experimentos originais. Obviamente, os debates colocavam à mostra nossas carências: nossos professores não estavam, e continuam a não estar, preparados, resultado de um ensino quase que exclusivamente discursivo, desde os anos fundamentais. Admitir isso exige ingredientes pessoais e profissionais a que não estamos habituados em nossa cultura e docência, mesmo superior. Muitas vezes, se constata que superior tem apenas o sentido de colocado por cima de uma base de pouca ou nenhuma consistência.

Em 1970 chegava ao Brasil, ainda por iniciativa da FUNBECC, dirigida pelo Dr. Isaias Raw, o Dr. Fletcher Watson, da Universidade de Harvard. Esse professor vinha preparar o curso que seria dado ainda nesse mesmo ano nas instalações do Instituto de Física da USP. Coube a mim, coordenando um grupo de professores do sistema FUNBECC-CECISP, acompanhar o visitante nessa preparação. Tratava-se de um grande projeto com enfoque predominantemente histórico e humanista, desenvolvido e orientado pelo Prof. Gerald Holton, físico de Harvard. Nesse mesmo ano foi ministrado o curso para quase quarenta professores de física das Américas. O corpo docente era constituído por quatro professores: dois americanos e dois brasileiros. Fui um dos brasileiros e a mim coube ministrar duas das seis unidades: mecânica e astronomia. A mecânica foi abordada iniciando-se pela revolução industrial. A astronomia desenvolvia a história das grandes ideias, a evolução, a revolução e o novo paradigma pós-revolução de Copérnico/Galileu. Os experimentos de astronomia iam desde um modelo para reproduzir epiciclos até a determinação da órbita de Marte, com dados e procedimento semelhantes aos de Brahe e Kepler. Apesar de muito interessante, tanto pela abordagem quanto pelo conteúdo, o projeto logo se mostrou inviável para o Brasil pela grande quantidade de material escrito e pelo alto custo para as traduções. Nesse momento já vivíamos assoberbados pela grande tarefa de traduzir e fazer funcionar partes do PSSC. Depois de terminado o curso, estivemos na sede do projeto, na Universidade de Harvard,

e não pudemos encorajar seus promotores a insistir em sua repetição e menos ainda na implantação no Brasil.

Foi essa experiência, rica por um lado, mas reveladora da sua inviabilidade para o Brasil, que me inspirou a começar o trabalho numa alternativa brasileira. Ainda em 1970, redigi os primeiros capítulos de *O céu*. A convite do Prof. Luiz de Oliveira, da UFPE, em dezembro de 1970 fui dar o curso de Astronomia no Cecine, localizado na cidade universitária de Recife. Aí usei pela primeira vez meus textos, método e experimentos originais. Foi também a primeira aplicação do meu “planetário de pobre”. O público, o mais variado: professores universitários, estudantes secundários e uma freira italiana de escola primária do sertão de Pernambuco. Essa primeira edição de *O céu* foi feita no Instituto de Física da USP, graças ao oferecimento do prof. José Goldemberg, então diretor daquela instituição e meu orientador na tese de doutorado.

Além dos textos e experimentos originais, o método de trabalho estava baseado em cinco verbos: ler, discutir, fazer (atividade), acrescentar e cooperar (no trabalho em grupo). Já terminada e entregue a tese, embora ainda não tivesse sido defendida publicamente, recebi o convite do diretor do CLAF (Centro Latino-Americano de Física), Prof. Roberto Bastos da Costa, para dar o meu curso durante um CURCAF (Curso Centro-Americano de Física), em Tegucigalpa (Honduras), em janeiro de 1974. O curso seria ministrado para um grupo de professores de departamentos de Física dos países da região. Cada um desses participantes tratou de organizar outro dos meus cursos em seu país. Alguns desses cursos foram pedidos diretamente à embaixada do Brasil, obtendo total financiamento da Divisão de Cooperação Técnica do Itamaraty. Até 1988, além dos muitos no Brasil, estive ministrando uma proposta brasileira para o ensino de física na maioria dos países da América Latina. O Brasil exportou uma proposta inovadora com material simples e de baixo custo, enquanto aqui quase virou as costas para ela. Enquanto eu estava sendo cassado na Educação da Unicamp, estava também sendo patrocinado, com todas as despesas e dois assistentes, com todos os custos do projeto, pagos pelo governo porque ao Brasil, naquele momento, interessava atender uma solicitação feita através de suas embaixadas, pelas autoridades, tanto de Honduras quanto da Guatemala. Na Universidade Oficial de San Carlos de Guatemala, nosso curso se dirigiu aos professores de todas as áreas do Instituto de Ciências. Foi, portanto, um curso interdisciplinar. Durante o curso fomos sempre assistidos pela Embaixada brasileira e o encerramento se fez com discurso do nosso embaixador naquele país.

Nos anos seguintes, até 1988, muitos outros dos meus cursos se repetiram em diversos países do continente, além do Brasil. Isso produziu um grande acúmulo de experiência e informações que evidenciavam as graves carências e deformações no ensino fundamental, que permaneciam através do ensino

superior. Algumas formas das deficiências ou enganos, como os ilustrados na história do “Joãozinho da Maré”, foram o motivo para uma nova investigação nossa: o ensino do primeiro grau. Mas a academia resistia a estudar coisas que considerava de “baixo nível”. Foram a coragem e disposição da, então, Decana de Graduação da UFRRJ, Profa. Yacy Andrade Leitão, que permitiram e nutriram o projeto que se tornaria uma pesquisa inédita e uma contribuição para o ensino fundamental, a partir de 1977. Da pesquisa aí realizada resultaram tanto o emblemático episódio do “Joãozinho da Maré”, como dois livros e grande quantidade de informações equivocadas (as “tiriricas”), fáceis de serem derrubadas pelos argumentos de uma criança que fosse convidada a pensar. Isso indicava claramente a origem de grande quantidade de mal entendidos, o “quase nada que fica do quase tudo que pensamos haver ensinado”, além de uma passividade cultivada pelo grande treinamento de uma postura passiva e indiferente. Formamos muito mais “sentistas”, resultado do treinamento da postura passiva de tanto sentar e ouvir.

Nosso propósito de pesquisa teve que ser adiado para se transformar em “socorro urgente”, solicitado pelos professores dos primeiros grupos, onde realizamos as primeiras entrevistas, em 1977. Desse socorro nasceu nosso projeto para primeiro grau materializado nos livros *A Terra em que vivemos*, (reedição Átomo, Campinas, 2007) e o ideário da proposta em *Com(ns)Ciência na Educação*, (Papirus, Campinas, 1987).

A partir de 1978 multiplicaram-se pelo país as solicitações de cursos para professores, especialmente do ensino fundamental, conferências e seminários. As primeiras dezenas de instituições que participaram estão relacionadas naqueles livros lembrados acima. Essas atividades ultrapassaram a centena, com resultados resumidos num capítulo do livro da UNESCO, *Innovation in Science and Technology Education* (Paris, 1992), traduzido para outros idiomas por aquela instituição.

Aí estão resumidos a pesquisa, o trabalho e o ideário de uma proposta brasileira, que representa um grande esforço para oferecer uma visão interdisciplinar, usando os cinco verbos: *ler, discutir, fazer* (atividades experimentais), *acrescentar* (sua contribuição ou visão) e *cooperar* (com o trabalho em grupo).

Os textos e atividades foram desenvolvidos e ensaiados com conteúdos de caráter mais universal e interdisciplinar, de amplo espectro em seu significado. No caso do projeto aplicável ao ensino fundamental, por exemplo, duas esferas de isopor representarão a Terra e a Lua, onde são discutidas distâncias, proporções, medidas, achatamento, quadrante, como padrão de medida (metro), irregularidades da superfície, definição de biosfera, movimentos de rotação, translação, pontos cardeais, estações e movimento aparente do céu, coordenadas,

fusos horários etc. Automaticamente aparece a definição natural da espessura da biosfera. No caso do ensino médio, e mesmo superior, foi usada a astronomia como grande cenário para exercitar o uso de conceitos fundamentais em qualquer área do conhecimento básico no mundo da ciência. A história do aquário hermético sobre a balança discute a conservação da matéria (lei de Lavoisier) em um sistema biológico para, depois deste, estender a ideia aplicável ao nosso grande “aquário”, a Terra. Enfim, uma proposta interdisciplinar para o ensino fundamental.

As características principais da proposta, muito resumidamente, são:

1. O processo de construção do conhecimento deve ter como “motor” o aluno, através de ações visíveis: ler, discutir, fazer (atividades com material simples), acrescentar (ideia, opinião, informação, etc.), cooperar (trabalho em grupo).
2. O professor, poupado de dizer as coisas óbvias que devem ser lidas pelo aluno, deve ser o orientador do processo. A ele caberá mostrar a relevância do que vai ser estudado, balancear a discussão e ajudar, sem dar sempre as respostas, mas ajudando para que os alunos as descubram.
3. Os textos e atividades, longa e previamente submetidos a ensaios, têm caráter interdisciplinar, isto é, são sempre relacionados a outras áreas de conhecimentos importantes para se entender o mundo.
4. Os alunos devem saber que estarão sendo acompanhados no seu desempenho e que este está sendo registrado na folha de desempenho, onde estão seus nomes e as colunas com os cinco verbos: leu, discutiu, fez (atividade), acrescentou e cooperou.
5. Os alunos devem saber que sua aprovação não dependerá de provas acompanhadas de riscos e sobressaltos, mas de um trabalho contínuo, tranquilo, lúdico e construtivo.
6. Os grupos, nunca maiores que seis, devem saber que, embora sejam estimulados a ler e discutir, devem fazê-lo em voz audível apenas para o grupo, mas de modo a não perturbar o conforto geral com um alto nível do ruído.
7. As atividades são feitas com material simples, de baixo custo e não exigem recinto especial (laboratório). A maior parte pode, e algumas até foram planejadas para serem realizadas ao ar livre.
8. Ao fim do trabalho com os textos e atividades, caberá ao professor fazer o resumo do discutido, das conclusões e fazer uma síntese do que se adquiriu em termos de conhecimento.

9. Todos os alunos devem ter à sua frente o texto completo (livro) para ler um trecho em voz alta e vê-lo escrito, enquanto ouvem a leitura do colega do grupo. Para que os alunos nunca sejam compelidos a comprar livros, a escola deve ter uma coleção de livros para empréstimo durante as aulas, como material permanente.

10. O professor pode e deve interromper o trabalho dos grupos quando achar oportuno, ou tiver algo que julga relevante para enriquecer o trabalho em andamento. A ele cabe o papel de dar o tom das discussões, estimular à ação os mais tímidos e reforçar todos os comportamentos desejáveis. Também a ele cabe moderar ou evitar que uns fiquem muito tempo com a palavra em prejuízo dos outros. Ao professor cabe também, além de orientar de todo o processo, estimular um ambiente lúdico, mas de convívio respeitoso e gentil.

Não é preciso nem adianta pretendermos que a escola “ensine tudo o que os jovens vão precisar na sua vida futura”. Também temos que admitir que diferentes pessoas aprendem sobre as mesmas coisas em extensões e profundidades diferentes. O ritmo em que cresce o conhecimento geral, e no qual se transforma a sociedade, torna vã a pretensão que a escola ensine tudo. Cada vez mais precisaremos de outras ou novas coisas e conhecimentos. O mais importante e urgente é aprender a aprender e a exercitar a iniciativa. O avanço vertiginoso de conhecimentos e meios exige um constante aprender coisas e conceitos novos. Os meios eletrônicos a cada dia colocam à nossa disposição mais informações. As informações sobre quase tudo estão à nossa disposição. O que cada vez mais precisaremos é saber o que fazer com elas e a iniciativa para fazer e usá-las. À nossa frente se vai abrindo um mundo cada vez mais interdisciplinar.

Termino com meu reconhecimento ao Prof. Dr. Carlos Alberto dos Santos da UNILA por esta oportunidade de expor algumas das ideias e da gênese do trabalho de considerável parte de minha vida. Também alimento a esperança de que esta jovem Universidade Federal para Integração Latino-Americana, a Unila, se disponha a conhecer estas ideias na sua gênese e na sua prática, para capacitação de professores em escala maior em nosso continente.

Revisitando experiências interdisciplinares no ensino de ciências

Alberto Villani e Juarez Melgaço

Introdução

Em muitos países, têm sido promovidas diversas disposições e recomendações curriculares em favor da inclusão escolar e/ou de um ensino mais próximo dos estudantes, e mais preocupado com a ampliação da cultura científica¹. Entretanto, estas iniciativas não têm produzido resultados concretos satisfatórios: não parece haver um avanço na promoção da literacia científica, no desenvolvimento curricular do ensino das ciências e na correspondente prática de sala de aula da maioria das escolas. No caso específico do Brasil, pudemos observar que, apesar dos esforços de projetos como os Parâmetros Curriculares Nacionais (Brasil, 1997) ou a Escola Plural (Belo Horizonte, 1995)² – políticas públicas que, em princípio, constituíram um avanço na promoção de relações institucionais inovadoras entre professores, alunos, escolas e conhecimentos científicos –, estamos longe de poder constatar a promoção generalizada de uma nova maneira de ensinar as ciências.

Nesse cenário, alguns dos aspectos que nos parecem peculiares na educação em ciências para a cidadania, têm tido pouco destaque na literatura, apesar de sua relevância: estamos nos referindo aos desafios que dizem respeito às influências das subjetividades dos participantes, no sucesso ou no fracasso das metas pleiteadas. Influência que atravessa praticamente todas as iniciativas que pretendem atingir mudanças curriculares significativas.

Neste trabalho revisitaremos alguns casos concretos, por nos pesquisados, referentes a situações diferenciadas envolvendo mudanças curriculares progressivamente mais complexas. Com o auxílio de um referencial que organiza as relações grupais em vários níveis, procuraremos discutir, sem pretender esgotar o tema, vários condicionantes das mudanças curriculares,

¹ Por exemplo, as várias tentativas de reforma curricular na educação em ciências nos Estados Unidos (Bybee, 2005) ou na Inglaterra (Ryder; Banner, 2011).

² A Reforma Escola Plural foi realizada no ensino básico e médio das escolas municipais de Belo Horizonte envolvendo grandes mudanças no currículo, na gestão das escolas e na atuação dos professores. Uma análise da reforma pode ser encontrada em Valadares (2008).

que dependem tanto da relação dos docentes com o conhecimento em jogo, quanto das relações entre os docentes, os alunos, os grupos, as escolas e os gestores institucionais.

Um referencial para as mudanças curriculares

O modelo teórico proposto por Kaës (1993) para dar conta dos fenômenos grupais e institucionais, sugere a necessidade de um aparelho psíquico de ligação, organização, contenção e transformação: o Aparelho Psíquico Grupal (APG). Por um lado, os investimentos institucionais são destinados a provocar o ocultamento dos conflitos entre os âmbitos socioculturais, político-jurídicos e psíquicos numa tentativa de homogeneização e criação de um sentimento de pertencimento por meio de matrizes identificadoras. A construção de um grupo numa escola ou numa instituição que atua no campo da educação envolve a produção de uma relação isomórfica entre seus membros e a instituição, a partir de uma trama de discursos e valores instituídos historicamente, cujos ideais compartilhados são transmitidos entre as gerações, dos quais o sujeito deve se apropriar e interiorizar. Por outro lado, níveis de heterogeneidade, facilitadores de espaços psíquicos diferenciados e que servem de sustento a certa flexibilidade de ação por parte de seus membros, bem como uma abertura às novas regulamentações, não somente são toleráveis, mas também desejáveis no desenvolvimento do grupo, pois permitem processos de subjetivação, com as correspondentes originalidades, cujo funcionamento é denominado por Kaës de homomorfismo.

Na gênese e transformação da história de um grupo, Kaës salienta quatro momentos organizadores do APG, caracterizados pelo aumento da complexidade das formações específicas: o momento originário; o da constituição do grupo; o momento ideológico e mitopoético. Cada um desses momentos comporta organizadores psíquicos grupais, que tendem a reduzir a diversidade dos elementos envolvidos na economia e na dinâmica das relações. Os grupos e as instituições se transformam a partir das representações que têm de si e de seus membros, da tarefa proposta e da realidade na qual estão inseridos. O APG é, portanto, particular de cada grupo, e dependente do contexto social.

Kaës (1993), por sua vez, centra sua análise nas relações entre os elementos que caracterizam a dinâmica grupal, procurando perceber os processos de ligação, desvinculação e os novos vínculos que podem (ou não) ser gerados a partir de mudanças nas práticas institucionais. Conforme mencionamos, existe um “momento originário” de fundação do grupo, quando alguém capta as ansiedades presentes no contexto e as transforma em um projeto portador de promessas especiais, que possui a capacidade de antecipar uma

experiência prazerosa (ilusão). Articulado a esse momento temos uma “fase inicial de constituição” do grupo, que tem uma função unificadora, apontando as maneiras adequadas de realizar a tarefa e construindo a identificação de cada um dos membros com o grupo, para a realização de seus desejos (contrato narcísico comum), bem como os mecanismos de defesa contra os perigos que podem ameaçar a grupalidade em andamento (pactos denegativos). Uma “segunda fase” começa com a emergência de exigências individuais dos sujeitos e de novas tarefas, bem como de compromissos elaborados pelo próprio grupo: é o “momento ideológico” com a colocação de um “envelope grupal”, com o enunciado das primeiras regras em comum que deverão facilitar a realização da tarefa do grupo. Nessa fase, entra em cena uma tensão específica: a inclusão do semelhante e a possibilidade de excluir o diferente. Se o grupo conseguir evoluir ulteriormente, alcançará, finalmente, a “fase mitopoética” na qual são colocadas em prática outras relações grupais e estabelecidas relações singulares no grupo, bem como são promovidas as contribuições originais dos membros.

Para pensar nos processos associativos entre sujeito, grupo e instituição, percebidos na história do grupo, utilizamos o conceito de “intermediário”, suficientemente consistente na obra de Kaës (1993). Segundo o autor, estas formações intermediárias promovem a partilha do prazer e dos meios utilizados para realização dos desejos, sustentam a renúncia e sacrifício exigidos para a segurança de seus membros; também fomentam a reciprocidade dos investimentos cruzados que asseguram o fundo coletivo no qual se apoiam a vinculação e a identidade dos membros (contrato narcísico) e mantém o acordo inconsciente (pacto denegativo) do que deve ser recalcado ou fora de qualquer representação para garantir as condições psíquicas e sociais do agrupamento institucional.

Uma experiência interdisciplinar na formação de professores (Caso 1)

Uma experiência de mudança curricular na formação de professores de física e biologia foi realizada em 2000 no departamento de Metodologia da Universidade Federal de São Carlos. Nossa narrativa e análise será baseada nas informações fornecidas pelos trabalhos de Villani et al (2008). A mudança fundamental consistiu no planejamento e realização das aulas em conjunto por parte das professoras responsáveis pelas disciplinas de Prática de Ensino de Física e de Biologia e no planejamento e realização dos correspondentes Estágios supervisionados em grupos mistos de licenciandos em física e biologia.

O momento originário

As professoras responsáveis pelas disciplinas de Prática de Ensino de Física e de Ensino de Biologia apresentaram uma proposta especial para os futuros professores, procurando estabelecer novas relações entre eles e novas formas de ensino. Duas atividades iniciais traduziram essa proposta no plano concreto: a primeira foi um debate entre dois grupos constituídos por físicos e biólogos sobre um texto que explorava o planejamento detalhado de uma professora e os efeitos sobre seus alunos durante a sua aplicação em sala de aula. A tarefa dos licenciandos era localizar os elementos positivos e negativos de planejamento e apresentar os argumentos em sessão plenária. A segunda atividade consistiu em uma visita a uma fábrica de lápis da região, buscando informações sobre o processo de produção. A sugestão das professoras foi de começar o planejamento das aulas do estágio articulando o “conhecimento” adquirido com o debate e a visita. O convite tornou-se o momento inicial de um novo agrupamento. A maioria dos licenciandos foi capturada pela imaginação fundadora das professoras, que buscavam mudar a relação dos futuros professores com os conhecimentos disciplinares e com os seus respectivos alunos no estágio. Eles receberam a ideia com entusiasmo, porque parecia uma oportunidade interessante e inesperada, e por causa da variedade dos eventos envolvidos. Pelos comentários registrados, ninguém podia duvidar (pacto denegativo) de que as professoras seriam capazes de acompanhar adequadamente cada grupo composto por dois biólogos e dois físicos; a meta inovadora era conceber e organizar projetos em sala de aula de escolas públicas, trabalhando de forma interdisciplinar (contrato narcísico).

O intermediário mais eficiente para o desenvolvimento dos futuros professores foi a ajuda das professoras para superar as dificuldades práticas de ensino interdisciplinar e as lacunas pedagógicas e conceituais encontradas no planejamento. Para tanto elas tinham que seguir as reuniões dos grupos, fornecendo subsídios para as propostas, principalmente quando os grupos enfrentavam impasses. As relações estabelecidas no momento em que o grupo foi fundado continuaram durante quase todo o processo de constituição do grupo. Em particular, as professoras exploraram sua própria experiência na condução e organização de atividades em sala de aula para mostrar que a cooperação interdisciplinar era possível e construtiva. O processo se tornou mais solidificado após os diferentes grupos realizarem os primeiros projetos de estágio, cada um à sua maneira. Para alguns, este foi o início de um trabalho criativo, enquanto, para outros, foi uma experiência difícil, caracterizada pela indisciplina dos alunos.

Em particular, um grupo (G1) foi seguido em detalhes pelos pesquisadores, através da observação e entrevistas. O grupo foi muito receptivo

em relação às propostas específicas das professoras e aceitou a sugestão de usar como estratégia de ensino a história da ciência para desenvolver com seus alunos o tema fotossíntese e energia. As professoras sugeriram concentrar-se sobre as ideias prévias dos estudantes e a utilização da história da ciência. Para o grupo G1 foi delineando um contrato narcísico específico (o planejamento de aulas interessantes e experiências estimuladoras) e um pacto denegativo específico (a repressão de qualquer questionamento da colaboração grupal). Os membros do grupo pareciam muito confortáveis em seu novo papel, pois eles responderam ao apelo aderindo às sugestões das professoras, mesmo que em algum momento de forma acrítica. No nosso entendimento, durante esta fase inicial as iniciativas do grupo e as sugestões das professoras operaram efetivamente para intermediar a consolidação do grupo.

A fase do envelope grupal

O momento ideológico para os grupos de futuros professores surgiu quando os projetos de estágio foram discutidos e avaliados; todos os futuros professores participaram dessa etapa do processo, apresentaram as dificuldades encontradas durante a experiência de ensino e também assumiram suas responsabilidades e suas falhas. Além disso, durante esta fase, foi possível comparar as atividades dos diversos grupos e melhorar sua programação. Os grupos mais bem sucedidos foram capazes de aproveitar as diferentes áreas do conhecimento dominado pelos seus membros, contribuindo assim para melhorar o conhecimento científico dos seus estudantes do ensino médio bem como aquele dos próprios licenciandos.

No caso do grupo G1 o desenvolvimento desta fase foi peculiar, em virtude da emergência de duas contribuições significativas. Por um lado, o papel decisivo da liderança de um membro (Guido), que proporcionou um bom funcionamento do grupo, incorporando também o modo de agir das professoras: ele sustentava o ideal comum de fazer bem o trabalho e reprimir a hostilidade entre seus membros. Por outro lado, o papel das professoras foi tanto de corte como de apoio ao grupo: elas introduziram implicitamente limites para o funcionamento do grupo, chamando a atenção de que para o avanço da eficácia da educação seria necessário olhar para a realidade dos alunos.

Em uma sessão de discussão em que o tema foi o controle da disciplina da escola, uma fala de Guido gerou grande debate. Ele relatou que em sua turma havia um estudante (Louís) que, além de não querer participar nas aulas tinha forte influência sobre os seus colegas para eles também não participarem. Vários futuros professores sugeriram que o aluno em questão “queria aparecer” e seria melhor desprezá-lo completamente. A professora chamou a atenção

para a reação de Louis durante as aulas: ele parecia sentir-se negligenciado. Para ela, manter Louis nesta posição não contribuiria para qualquer mudança do aluno, bem como para melhorar o ambiente escolar. Naquele momento Guido mostrou para os outros grupos a escolha feita por seu grupo: identificar o líder (da bagunça) foi o ponto de partida no sentido de tentar envolver o aluno, convidando-o para participar das atividades escolares e, especialmente, para conduzir uma delas. O “sucesso” do grupo com esta atuação foi reforçado pelos comentários da professora, que geraram a curiosidade e admiração dos colegas de outros grupos. A partir desse momento o grupo foi capaz de compreender melhor as razões psicológicas para a escolha feita intuitivamente e confirmar a qualidade da orientação, que havia governado o processo todo, desde a identificação do aluno até o desenvolvimento de um tratamento mais adequado.

O momento mitopoético

No que diz respeito à conclusão da disciplina, o grupo classe, constituído pelo conjunto de licenciandos, não atingiu a fase mitopoética, ou seja, não conseguiu se tornar articulado e cooperativo, mostrando as características de criatividade de um grupo maduro. Uma das causas para este problema foi que os vários grupos interdisciplinares estavam focados em suas experiências no estágio e, apesar do esforço das professoras, era limitado o interesse no desenvolvimento da sala de aula e na articulação da colaboração entre os vários grupos. De fato, os licenciandos conseguiram fazer algumas melhorias na estruturação de seus grupos, porém poucos conseguiram atingir a autonomia e a realização de seus projetos originais. Entretanto, o caso do G1 foi singular, pois os membros estavam satisfeitos com sua própria formação científica e atingiram o momento final de maturação, como um grupo. Durante a fase final do estágio, seus membros procuraram envolver seus alunos em diversas atividades. Eles orientaram um trabalho de pesquisa de seus alunos mediante recortes de jornal, desenvolveram um experimento sobre a fotossíntese no laboratório (raramente utilizado pelos professores na escola), promoveram uma discussão sobre diferentes formas de energia a partir da apresentação de um aparelho de Van der Graaf (que quebrou a rotina da sala de aula). Eles também realizaram uma atividade sobre a reciclagem da coleta de lixo da escola, tentando recuperar os conhecimentos adquiridos durante a visita da fábrica de lápis. Além disso, os membros do grupo começaram a dar sugestões sobre as aulas dos colegas, a fim de trabalhar mais eficientemente com seus alunos. Nos dados coletados aparece claramente que o grupo se comprometeu a identificar problemas, propor ideias e enfrentar desafios. Podemos dizer que o grupo trabalhou bem como um intermediário entre o projeto e os seus membros,

articulando os diversos sujeitos e práticas escolares: cada um tinha as suas opiniões e sugestões para a sala de aula, sem medo das diferenças.

Uma reforma compatível com as possibilidades dos professores (Caso 2)

Um caso interessante, ocorrido numa escola de ensino básico na cidade de Uberlândia, nós fornece indícios sobre a peculiaridade do desenvolvimento e adaptação a uma mudança curricular por parte dos professores e autoridade de uma escola. O projeto foi desenvolvido ao longo de quase três anos, contando com a assessoria em loco de uma pesquisadora da Universidade (Barcelos; Villani, 2006). Trata-se de uma experiência de formação continuada numa escola que favoreceu o desenvolvimento de uma mudança curricular mediante a adoção de uma metodologia de projetos, num período no qual a Secretaria de Educação de Minas Gerais (SEE-MG) estava propondo, para o ensino básico, os ciclos e a progressão continuada, a colaboração interdisciplinar e a avaliação continuada. Durante o primeiro ano a pesquisadora idealizou e realizou a formação continuada *sui generis*, mediante uma assessoria sistemática, principalmente no campo do ensino das ciências, visando sustentar e melhorar as iniciativas dos professores da escola. Para tanto, ela explorou também a ajuda de alguns licenciandos, seus alunos ou ex-alunos na universidade, que colaboraram na realização de várias atividades da escola, como a visita ao Parque Ecológico, as Oficinas de Orientação Sexual ou a Feira de Ciências. Durante este período os professores da escola não manifestaram interesse em discutir a LDB (Lei de Diretrizes Básicas), PCN's ou as propostas da SEE-MG. Consideravam estas propostas pouco adaptadas para o clima da escola, e apenas os aspectos pertinentes à nova forma de avaliação dos alunos chamaram a atenção dos professores e provocaram efeito extremamente desestabilizador na comunidade escolar pesquisada. A assessoria continuada da pesquisadora conseguiu acalmar os professores, promovendo discussões e procurando esclarecer os vários aspectos das reformas propostas. Assim, a atuação contínua e discreta da pesquisadora permitiu que ela conquistasse a confiança dos professores e fosse reconhecida como competente para ajudá-los na solução dos problemas cotidianos.

O convite originário

No início do segundo ano de assessoria, a pesquisadora convidou os professores (momento originário da estruturação do grupo) a participarem da elaboração de um projeto interdisciplinar, constituído de vários subprojetos

que conseguiram envolver quase todos os professores. A natureza e o conteúdo do tema – “Vida em sociedade” - prometia tornar-se uma ponte adequada (contrato narcísico do grupo) para enfrentar o impacto das mudanças propostas pela Secretaria. Implicitamente isso apontava para o pacto denegativo dos professores (abafar o medo de um ensino com estratégias diferentes da simples rotina disciplinar instituída). Assim, o segundo ano de assessoria da pesquisadora foi utilizado para continuar a apoiar as iniciativas da escola, inclusive com a participação de licenciandos, e a elaborar o projeto Vida em Sociedade junto com os professores. O intermediário que efetivamente sustentou o esforço dos professores foi ter encontrado um ponto de equilíbrio entre tradição e mudança, exigência inicialmente levantada principalmente pelos professores de ciências e matemática. De fato, as reuniões para a discussão do projeto, nas quais quase todos os professores participavam de forma sistemática, foram organizadas de modo a permitir uma divisão do tempo que incluía tanto o diálogo entre as disciplinas quanto o tratamento disciplinar. Na visão dos professores, a proposta não deveria constituir um abandono dos conteúdos disciplinares, mas uma busca de novas relações com a incorporação de outros elementos ao currículo, atendendo a uma preocupação dos docentes de ciências e matemática. Entretanto, a passagem do planejamento à realização encontrava a resistência de vários professores, que, apesar de apoiarem a ideia de ampliar seu repertório de aplicações, tinham medo de não cumprir com o currículo tradicional: no final do semestre o desânimo da pesquisadora era evidente e ela quase abandonou a ideia do projeto em conjunto. Um evento mudou completamente a situação da escola, abafando o medo da diretora e dos professores e tornando-se o intermediário mais eficiente para a realização do projeto: a Secretaria da Educação, ao tomar conhecimento do projeto que estava sendo elaborado na escola, elogiou fortemente a iniciativa e, sobretudo, considerou uma realização original das diretrizes curriculares por ela emanadas. Assim, no início de 2001, após quase dois anos de assessoria da pesquisadora, começaram a ser introduzidas modificações curriculares numa perspectiva interdisciplinar. Um efeito quase imediato dessa escolha foi que vários professores perceberem uma mudança na participação dos alunos nas aulas e nas discussões: assim as eventuais perdas de tempo em relação ao desenvolvimento do conteúdo curricular tradicional das disciplinas eram compensadas pelo ganho em discutir conteúdos mais próximos da vida cotidiana e pelo favorecimento de atitudes e valores ligados ao exercício da cidadania.

A fase de envelope grupal

A adesão dos professores às regras estabelecidas para dar conta do projeto, pode ser localizado na percepção e aceitação de que a dicotomia projeto – disciplina não correspondia à realidade e que, de fato, os alunos, em geral,

tinham uma aprendizagem muito limitada durante o tratamento exclusivamente disciplinar. Para alguns professores, o projeto estava ajudando os alunos a aprenderem os conteúdos disciplinares até mais do que anteriormente, pois o envolvimento e a satisfação de todos, alunos e professores, parecia mais evidente do que anteriormente, como no caso, por exemplo, da utilização da estatística na análise de acidentes de carro e no estabelecimento dos períodos de maior probabilidade. Um ponto importante a ser salientado é que a estrutura do projeto, ou seja, a escolha de um equilíbrio entre o tradicional e a inovação, parece ter permitido por em jogo o saber pessoal dos professores e ter auxiliado sua lenta modificação. Um intermediário fundamental foi a atuação da pesquisadora como assessora, por ter percebido como essencial e ter sustentado sistematicamente a exploração dos saberes dos professores. Assim, aos poucos, o projeto foi reconhecido e sustentado também internamente na instituição escolar, porque conseguia atingir o desejo implícito da maioria dos professores de aderir às Reformas Educacionais, sem abandonar suas competências e seus saberes. Em razão disso, tornou-se uma reforma de acordo com as possibilidades dos professores. O projeto era reconhecido pela SEE-MG como inovador, enquanto os professores estavam sentindo-se à frente da demanda externa e reivindicando espaço para lideranças locais. Essa mudança foi bastante significativa, pois no início da experiência a Secretaria Regional de Ensino exercia apenas um papel perturbador da prática dos professores, ao passo que, quando as perspectivas dos professores se acoplaram à demanda da SRE, o efeito foi reforçador e contribuiu fortemente para a criação de um clima final positivo.

A fase final

Um ponto interessante a ser refletido foi o impacto causado pela saída da pesquisadora, e, sucessivamente, de duas lideranças entre os professores. Terminado o projeto, no final do primeiro semestre, a pesquisadora teve que assumir um compromisso em outras escolas e conseguiu acompanhar somente de forma indireta as novas iniciativas dos professores que reestruturaram seus projetos até o final do ano. Na perspectiva de aprender na ação, a escola propôs um novo projeto institucional, “Viajando pelos continentes”, no qual deveriam ser explorados os valores, costumes e crenças das sociedades. Um evento peculiar do período (o atentado de 11 de setembro nos Estados Unidos) reforçou a participação nas atividades escolares, que conseguiram acoplar o interesse e a comoção geral do período com a reflexão sobre o exercício da cidadania universal e o respeito das peculiaridades culturais dos vários povos.

Entretanto, quando duas lideranças entre os professores assumiram a docência em outros lugares, no início do ano seguinte, o efeito foi desestruturador.

De fato, em pouco mais de um ano o grupo dos professores perdeu sua capacidade de iniciativas criativas e não conseguiu elaborar intermediários que sustentassem a promoção de novos projetos coletivos interdisciplinares, compatíveis tanto com a manutenção das mudanças curriculares e do espaço de ação coletiva quanto com o retorno às práticas disciplinares anteriores.

Um grupo de professores comprometido com as mudanças curriculares (Caso 3)

Uma pesquisa, referente à evolução das relações de um grupo de professores (Valadares, 2002) durante um período de sete anos, forneceu informações singulares sobre o processo e as etapas de uma mudança curricular ampla numa escola. O grupo de professores do período noturno trabalhou no sentido de programar e aperfeiçoar uma mudança curricular nos moldes da proposta da Escola Plural. Tratou-se, portanto, de uma mudança curricular mais ampla do que a reorganização do ensino das ciências e da matemática, entretanto esta última condicionou fortemente a possibilidade de sucesso de todo o projeto.

A análise por nós realizada localizou duas grandes etapas na experiência: a) o processo de implantação coletiva da reforma, que durou aproximadamente quatro anos e correspondeu à conquista progressiva de uma atuação objetiva (com abandono das ilusões iniciais por parte do grupo); b) a estabilização das mudanças mais significativas respondendo às tentações de atividades rotineiras, que correspondeu ao desafio enfrentado pelo grupo maduro para a manutenção de sua criatividade. A primeira etapa foi interpretada de maneira bastante direta pelo modelo proposto por Kaës (1993), explorando tanto os organizadores grupais quanto o APG e caracterizando as mudanças a partir dos intermediários construídos. A segunda fase focalizou a oscilação do grupo entre o polo homeomorfo e isomorfo, localizando os intermediários que contribuíram para os sucessos e os que falharam na manutenção de um clima produtivo satisfatório. O desenvolvimento deste grupo permite apontar para uma espécie de caminho comum e interpretar os encontros e desencontros que podem acontecer em nossas escolas, mesmo quando os professores estão fortemente motivados para realizar mudanças curriculares.

O convite originário

O diretor “seduziu” um grupo de professores do período noturno para elaborar e promover um projeto coletivo e uma mudança curricular nos moldes da Escola Plural (Belo Horizonte, 1995), que tinha como objetivo a construção

de uma escola inclusiva. A proposta de um projeto interdisciplinar (“BH ontem e hoje”) tinha como meta enfrentar as dificuldades no turno da noite, principalmente o absentismo dos professores e os altos índices de evasão e repetência dos alunos. Há, neste momento inicial fundador, uma identificação ainda “confusa” com o objeto de desejo do diretor. Os professores estão reunidos em torno de um ideal comum: direcionar a escola para novas formas de aprender e ensinar (contrato narcísico). Porém, esse acordo se sustenta na construção de uma “zona de silêncio”: as hostilidades estão recalçadas, as dúvidas sobre a validade do projeto e sobre a capacidade do grupo em realizá-lo não serão levantadas e propostas de retorno aos tempos anteriores à fundação estão proibidas (pacto denegativo).

O projeto foi articulado em torno de um somatório de conteúdos relacionados com as várias disciplinas: organização da cidade, fundação e transferência da capital, construções e vias públicas (traçados, formas), transformação do espaço, problemas atuais (saúde, transporte, saneamento). Este projeto se baseou na autoridade do diretor e permitiu localizar o lugar de cada membro bem como engendrar fantasias de realização pessoal. Entretanto, a insegurança de não corresponder às expectativas e o medo de ser excluído diminuíram a capacidade de tomar decisões, culminando no nascimento de um líder do grupo: uma coordenadora, com alguma experiência em projetos coletivos, tornou-se depósito das expectativas e ansiedades do grupo. O vínculo grupal estabelecido carregava consigo a passividade. De fato, ela conseguiu manter o grupo operante durante todo o projeto, mesmo se afastando do projeto original (explorou materiais elaborados precedentemente em outros contextos e os ofereceu para o grupo). Durante sua coordenação contou com o “silêncio” do grupo, que assegurou uma coesão grupal inicial: parecia aos membros do grupo que expressar ou reivindicar o retorno ao projeto inicial poderia ter o significado de quebrar a harmonia que estava sendo estabelecida. Essa dependência teve um caráter transitório, pois a volta dos desejos individuais e as exigências do trabalho em equipe proporcionaram novas alternativas para a tarefa. No final deste projeto, outro coordenador foi eleito pelo grupo, iniciando-se outra fase grupal.

A fase de envelope grupal

Uma nova fase, segundo o relato do grupo, iniciou-se com o projeto “Arte de viver”, em 1996. Nesse momento, duas normas foram consideradas prioritárias para o funcionamento do grupo: a substituição do colega quando este faltasse e a separação entre professores que trabalhavam com o ensino fundamental e médio. As aulas foram distribuídas pelos professores em função do projeto e os membros do grupo deviam se dedicar integralmente ao ensino

médio, pois em caso contrário não se poderia contar com a disponibilidade plena de cada um para enfrentar os desafios que surgissem. Estes desafios e o surgimento de novas tarefas (o projeto foi construído em parceria com os alunos) garantiram um investimento de cada um, provocando relações novas de solidariedade e coordenação de tarefas. A organização curricular, como aparece nos textos organizados pela escola, manifesta uma complexidade ausente no projeto anterior. O objetivo mais importante foi compreender as causas das doenças sexualmente transmissíveis, relacionando-as às questões sociais, políticas e econômicas. Todas as disciplinas estruturaram seu conteúdo de acordo com esta meta.

No folder feito pelos coordenadores para o relato do projeto em outras escolas e instâncias da Secretaria Municipal foram destacadas as estratégias coletivas de trabalho como o grande avanço conseguido, mas também foi mencionado o não engajamento e a saída de dois professores do projeto naquele ano. A ilusão grupal funcionou aqui em sua versão ideológica, como resolução de conflitos pela abolição do espaço psíquico.

O momento mitopoético

A partir de 1997, o grupo impulsionou-se no sentido de ser mais criativo e autônomo. Um novo projeto foi elaborado: “BH 100” (cem anos da cidade de Belo Horizonte). Os professores assumiram o compromisso de identificar os problemas, propor ideias e enfrentar os desafios. As reuniões pedagógicas passaram a ser um espaço no qual as contradições e conflitos eram explicitados, onde cada um apresentava as suas opiniões e sugestões para o trabalho, agora sem receio de perder sua identidade e sem medo de se defrontar com o diferente. O espaço institucional foi utilizado em toda a sua potencialidade: (re) agrupamentos constantes dos alunos entre turmas referência, grupos temáticos e por dificuldades de aprendizagem; dois ou mais professores por turma, em função da temática; leitura da obra literária por todos os professores com seus alunos; participação de todos os professores nos movimentos extra-escola, independente das disciplinas que lecionavam; e, planejamento em conjunto de todas as ações.

Em resumo, podemos ver que nesta fase cada membro cooperava na atividade de acordo com a sua capacidade individual e as exigências impostas pelo seu submetimento ao grupo, e defrontava-se, em estreito contato com a realidade externa, com a necessidade de resolver os obstáculos que surgiam. A construção curricular, principalmente a relacionada com o ensino das ciências e matemática, contemplou o perfil e as concepções prévias dos alunos, as questões mais urgentes no campo da saúde coletiva e os conteúdos disciplinares;

conseguiu ultrapassar tanto o currículo orientado fundamentalmente pelos livros didáticos quanto às prescrições *a priori* das intervenções interdisciplinares, que pretendem ignorar as competências disciplinares dos docentes participantes. Podemos inferir que, à medida que ocorreram processos de diferenciação entre os membros houve uma maior aproximação entre os conteúdos selecionados, o perfil dos alunos e as necessidades temáticas dos professores. Além disso, a instituição, representada pelo diretor, fundador do grupo em sintonia com o ideário e o movimento da Escola Plural, forneceu um reconhecimento e um aval implícito à atuação do grupo durante toda sua primeira etapa. Podemos considerar esta sustentação contínua como o intermediário mais fundamental para a evolução do grupo.

Em síntese, uma característica importante do desenvolvimento do grupo analisado durante a primeira fase foi a prevalência do homomorfismo, caracterizada por uma melhora na comunicação entre os membros do grupo, por sua passagem de uma situação de passividade inicial para outra de grande criatividade e por uma flexibilidade na forma do grupo se relacionar com outros grupos, internos e externos à escola.

O desenvolvimento do grupo analisado após atingir a fase mitopoética permitiu colocar algumas questões e propor algumas reflexões. A partir de 1998, cada membro procurava cooperar nas atividades de acordo com a sua capacidade individual e as exigências impostas pela sua adesão ao grupo, e defrontava-se, em estreito contato com a realidade externa, com a necessidade de resolver os obstáculos que iam surgindo. Foi promovido sistematicamente o planejamento em conjunto de todas as ações por parte dos professores, independente das disciplinas que lecionavam; entretanto, esse processo não aconteceu sem dificuldades, sendo a principal a necessidade de encontrar uma rotina capaz de sustentar-se com pouco esforço e simultaneamente de fomentar as iniciativas novas.

Considerações e comentários finais

Ao longo desse trabalho analisamos os caminhos trilhados por professores e futuros professores na implementação de propostas curriculares que incluíam a construção de projetos coletivos e interdisciplinares. Procuramos mostrar, paralelamente a uma evolução curricular, os dilemas enfrentados nas relações intersubjetivas ao longo do percurso do grupo; salientamos as obrigações, renúncias e benefícios aos quais os sujeitos se submetem ao estar em grupo. As mudanças curriculares longe de apresentarem uma “resistência meramente cognitiva à inovação”, apontaram como fundamentais os aspectos emocionais que acompanharam e influenciaram a gênese, o desenvolvimento e a sustentação dos grupos, assim como os correspondentes processos de mudança curricular.

Em resumo, nos parece que a promoção de mudanças curriculares numa perspectiva interdisciplinar é um desafio complexo em todas as instâncias, sugerindo que a estabilidade dos resultados somente possa ser garantida mediante articulação entre os processos de formação inicial e continuada, a organização da escola e o suporte institucional das Secretarias de Educação. Uma das condições para que a mudança curricular se torne estável é a introdução da interdisciplinaridade na formação de professores. Pudemos perceber que a situação em geral apresenta uma complexidade própria, devido às ansiedades dos licenciandos em relação à regência de uma sala de aula: assim a colocação de um desafio ulterior pode constituir uma tarefa difícil. No caso 1, as várias intervenções das professoras auxiliaram o grupo do Guido a desenvolver-se sistematicamente até elaborar iniciativas criativas e originais. Ou seja, nesse caso, as próprias professoras conseguiram elaborar de forma positiva seu saber sobre o sustento do processo de seus licenciandos nas condições dadas: saber que constitui um elemento importante no sucesso do processo de formação. A literatura fala pouco desse saber, e as pesquisas a respeito nos parecem extremamente limitadas.

Outro desafio muito comum em nossas escolas é a presença de uma comunidade coletivamente pouco articulada e com limitada competência pedagógica, como aconteceu na escola do caso 2, na qual apareceram resistências iniciais em relação às mudanças curriculares propostas pela SE-MG. A análise desta experiência aponta para dois nós das reformas curriculares: de um lado, encontrar e promover lideranças locais, das escolas, para que elas assumam o projeto e o conduzam de acordo com as possibilidades cognitivas e psíquicas dos professores envolvidos; de outro lado, fomentar um gerenciamento institucional e disponibilizar assessorias externas que sejam reconhecidas e aceitas pelas comunidades escolares e que possam fornecer os subsídios necessários para o avanço das reformas.

A análise dos três casos revelou também que as maiores dificuldades na implementação dos projetos interdisciplinares vieram da área de ciências e matemática, pelo forte compromisso dos professores com os correspondentes conteúdos. Esta consideração sugere que haja um esforço, nas pesquisas, para localizar modalidades e condições que possam facilitar o deslocamento do professor de uma perspectiva fortemente ancorada na estrutura do conteúdo científico disciplinar, para uma perspectiva interdisciplinar ancorada na formação para o exercício da cidadania. As resistências podem ser inicialmente vencidas se as políticas públicas puderem convocar efetivamente as escolas para um processo de mudança, fundamentado nas necessidades efetivas das escolas públicas, dos professores e dos alunos.

O caso 3, dos professores de uma escola de Belo Horizonte que aderiram rapidamente à proposta da Escola Plural, forneceu informações detalhadas

sobre o processo de mudança curricular, pois teve longa duração e foi conduzido por um grupo muito envolvido e comprometido com o sucesso da proposta. O caminho seguido por esse grupo específico pode constituir uma forma de compreender a construção de trabalhos coletivos. De acordo com o modelo de Kaës (1993), o momento inicial constitui-se na busca de mecanismos identificatórios que sustentam uma mediação entre cada indivíduo e o grupo e vinculam o espaço imaginário com um novo espaço determinado pelo contexto institucional. É necessária a fantasia da unidade – crenças, representações e sentimentos partilhados – para acalmar toda a angústia de cisão do sujeito e possibilitar, em outro momento, a restauração do sujeito. Desta cisão decorre a importância dos pactos e da presença do líder que faça a travessia entre os sujeitos singulares e a situação grupal.

Pode-se dizer que a tarefa convoca, mas não estrutura o grupo. Em cada experiência o gerenciamento das mudanças foi de acordo com um ritmo próprio, que permitiu explorar as potencialidades do grupo e da situação. Por outro lado, o apoio institucional é importante fonte de convocação para os trabalhos coletivos e de sustentação no caminho para o amadurecimento. A distância entre as normas institucionais e os organizadores psíquicos necessários para o desenvolvimento do grupo pode estar na base da dificuldade para manter ou transformar as relações entre os professores e sua tarefa.

Deve-se, portanto, esperar que cada escola, com seu ritmo próprio, gerencie o seu coletivo, pois somente dessa maneira poderá explorar suas potencialidades. Por outro lado, o apoio institucional é importante fonte de convocação para os trabalhos coletivos e de sustentação no caminho para o amadurecimento. A distância entre as normas institucionais e os organizadores psíquicos necessários para o desenvolvimento do grupo pode estar na base da dificuldade para manter ou transformar as relações entre os professores e sua tarefa. Conflitos entre os organizadores psíquicos e sociais são comuns em nossas escolas, e refletem, por um lado, a distância das políticas públicas com as mudanças propostas, e, por outro, a resistência dos professores em se inserirem em projetos coletivos.

A peculiaridade do grupo de Belo Horizonte de sustentar as mudanças por um longo período de tempo e de atingir uma fase de amadurecimento nas relações entre os membros do grupo, nos permite uma nova consideração sugerindo a hipótese de que o caminho de um grupo possa admitir uma fase final nova, na qual suas escolhas sejam guiadas simplesmente pelo compromisso com a melhoria da realidade, incluindo a satisfação das necessidades do grupo. A única sugestão que podemos dar é que quem ocupa o lugar de referência do grupo não procure manter o controle do grupo afetivamente ou ideologicamente e que o próprio grupo tente esvaziar a satisfação da ilusão grupal se preparando por outro tipo de satisfação.

Referências

- BARCELOS, N.N.S. ; VILLANI, A. Troca entre universidade e escola na formação docente: uma experiência de formação inicial e continuada. **Ciência & Educação**, Bauru- SP, v. 12, n. 1, p. 73-97, 2006.
- BELO HORIZONTE. Prefeitura Municipal/SMED. **Construindo uma referência curricular para a Escola Plural**: uma reflexão preliminar. Belo Horizonte: PBH, 1995.
- BYBEE, R.W. **Science Curriculum Reform in the United States**. National Academy of Science, 2005.
- KAËS, R. **Le groupe et le sujet du groupe**. Paris: Dunod, 1993.
- RYDER, J. ; BANNER, I. Multiple aims in the development of a major reform of the national curriculum for science in England. **International Journal of Science Education**, v. 33, n.5, p.709-725, 2011.
- VALADARES, J. M. **As formas e a construção da subjetividade em um grupo de professores**: análise de uma prática e seus discursos. *Dissertação (Mestrado em Física)* - Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
- VALADARES, J. M. **A Escola Plural**. Tese (Doutorado em Educação) - Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- VILLANI, A.; FRANZONI, M.; VALADARES, J. M. . Desenvolvimento de um grupo de licenciandos numa disciplina de prática de ensino de Física e Biologia. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 13, n. 2, p. 143-168, 2008.

Energia e Matéria: conceitos-chave para a interdisciplinaridade no ensino de ciências da natureza

Carlos Alberto dos Santos

Introdução

No livro *A Unila em construção*, publicado pelo Instituto Mercosul de Estudos Avançados constam, entre outros, os seguintes objetivos da Universidade (CI-UNILA, 2009, p. 15):

1. Formar recursos humanos com competência para contribuir com o desenvolvimento e integração cultural e econômica latino-americana, fomentando o intercâmbio científico e tecnológico entre as universidades e institutos de pesquisa da região;
2. Oferecer cursos e desenvolver programas de pesquisas em áreas de interesse mútuo dos países latino-americanos com ênfase nos recursos naturais, estudos sociais e linguísticos, relações internacionais e áreas consideradas estratégicas para o desenvolvimento e integração regional.

Mais adiante, na página 46, delinea-se o contexto no qual se insere a justificativa da reflexão apresentada na sequência deste trabalho:

Hoje, diante dos desafios da sociedade do conhecimento e da integração regional, deve-se considerar a importância das mudanças nas áreas de ciência e tecnologia, suas transformações futuras e incidência sobre a educação, na perspectiva das próximas décadas. Como ressalta Hebe Vessuri, estas mudanças têm a ver com “a estrutura estratificada e hierárquica da ciência nessa fase de globalização; a nova convergência tecnológica, em particular as nanotecnologias, as biociências e a TIC; o papel da ciência e seu impacto sobre a educação superior; a produção e consumo do conhecimento, e o tipo de ‘sistema ciência’ que se promove cada vez mais para apoiar a busca do desenvolvimento sustentável” (Vessuri, Hebe. *Tendências de la educación superior en America Latina y El Caribe*, 2008, p.12).

Um dos vetores para a implementação desse ideário consiste na formação de professores para a educação básica, em especial a formação de professores de ciências da natureza que apresentem as seguintes competências e habilidades:

- Ministrar sua disciplina contextualizando-a no ambiente social da escola e tendo como objetivo primordial a formação cidadã;
- No processo de contextualização, apresentar sua disciplina em um cenário de conhecimento científico e tecnológico interdisciplinar;
- Além do domínio do conteúdo específico, ser capaz de orientar os alunos para selecionar, criticar, comparar e elaborar novos conceitos a partir dos que se tem.

Tais competências e habilidades só podem ser desenvolvidas por meio de uma formação com uma abordagem pedagógica interdisciplinar. Além disso, é interessante que esta formação possibilite a capacitação de professores para todos os níveis da educação básica, conforme as orientações firmadas nos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Básico baseadas nas seguintes premissas, entre outras:

- Facilitar o desenvolvimento dos conteúdos, numa perspectiva de interdisciplinaridade e contextualização;
- A interdisciplinaridade não tem a pretensão de criar novas disciplinas ou saberes, mas de utilizar os conhecimentos de várias disciplinas para resolver um problema concreto ou compreender um determinado fenômeno sob diferentes pontos de vista;
- Tratar os conteúdos de ensino de modo contextualizado, aproveitando sempre as relações entre conteúdos e contexto para dar significado ao aprendido, estimular o protagonismo do aluno e estimulá-lo a ter autonomia intelectual;
- A interdisciplinaridade supõe um eixo integrador, que pode ser o objeto de conhecimento, um projeto de investigação, um plano de intervenção.

Embora possam ser aceitas quanto à pertinência, tais premissas estabelecem um amplo espaço para a controvérsia quando se considera a passagem da teoria à prática. Uma abordagem interdisciplinar das ciências da natureza é uma tarefa complexa, qualquer que seja o nível de aprofundamento desejado. A inexistência de cursos de licenciatura e de livros-textos genuinamente interdisciplinares sugere a complexidade desse tipo de abordagem.

A última premissa relacionada acima define o eixo integrador como condutor do processo interdisciplinar, mas a definição do que constitui um eixo é vaga. A nosso ver, no plano pedagógico a genuína interdisciplinaridade só é possível, ou pelo menos consideravelmente facilitada se efetuada por intermédio de conceitos significativos pertencentes às diferentes áreas de estudo. Nesse sentido, considerando que os conceitos de energia e matéria permeiam todo o espaço cognitivo ocupado pela biologia, física e química, é razoável admiti-los como conceitos-chave para o desenvolvimento de materiais instrucionais em cursos de formação em ciências da natureza.

A proposta de um curso de Licenciatura em Ciências da Natureza (LCN), com uma abordagem interdisciplinar objetiva transformar em realidade as premissas dos PCN. Para atender as necessidades mencionadas acima, a UNILA oferecerá uma LCN com componentes curriculares referentes a biologia, física e química estruturados a partir dos conceitos-chave energia, matéria e artefatos. Trata-se de um curso interdisciplinar com formato Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS).

Iniciativas inspiradoras

Considerando que a terminologia exposta na literatura pertinente à área em pauta é tão diversa quanto carente de consenso, convém estabelecer um referencial terminológico. Adotarei as definições utilizadas na Universidade Estadual da Virgínia, no contexto do projeto norte-americano para o ensino de ciências na escola secundária, *Science, Technology, Engineering, and Mathematics* (STEM), conforme relato de Figliano (2007).

- **Currículo Integrado** - Uma sequência educacional organizada transversalmente ao conjunto das disciplinas, de modo a ensinar a transferência do conhecimento para o mundo real.
- **Instrução Integrada** - Seleção e uso de estratégias instrucionais para intencionalmente transferir conhecimento de uma disciplina para outra.

• **Instrução Multidisciplinar** - Uso de um tópico ou tema comum para organizar lições ou unidades incorporando duas ou mais áreas de conhecimento.

• **Instrução Interdisciplinar** - Utilização de metodologia e linguagem de mais de uma disciplina para conectar conteúdos pertencentes a diferentes áreas de conhecimento.

No âmbito desse referencial terminológico, os exemplos apresentados na literatura nacional indicam que é a instrução multidisciplinar a mais frequentemente utilizada, embora alguns autores mencionem suas práticas como interdisciplinar. De fato, tendo em conta as definições acima, há circunstâncias em que a instrução multidisciplinar pode ser facilmente confundida com a interdisciplinar. O uso dos eixos temáticos energia e matéria é um exemplo típico. Ambos os conceitos podem ser tratados na biologia, na física e na química, por intermédio de um esquema instrucional multidisciplinar. Ao mesmo tempo, a abordagem desses temas enquadra-se no esquema interdisciplinar, na medida em que a metodologia e a linguagem das ciências mencionadas são utilizadas para tratá-los.

Em linhas gerais, é possível enquadrar a instrução contextualizada no esquema multidisciplinar, no qual partes do contexto são abordados por disciplinas pertinentes. Por outro lado, a instrução baseada na aprendizagem significativa, na qual a ideia de conceitos subsunçores desempenha papel relevante, parece ser mais facilitada se for concebida no esquema interdisciplinar.

Em trabalho recente, Santos e Infante-Malachias (2008) também comentam a falta de esclarecimento nos documentos do MEC, do que seja uma abordagem interdisciplinar, ao mesmo tempo em que mencionam várias fontes para mostrar posições conceituais divergentes na literatura.

Dúvidas conceituais e nomenclaturas imprecisas em torno do tema são frequentes tanto na literatura nacional, quanto na estrangeira. Por exemplo, Barton e Smith (2000) entendem que a melhor forma de implementação de uma instrução interdisciplinar é por intermédio de unidades temáticas. Por outro lado, ao discutir relatos de fracassos do uso desse tipo de instrução, eles argumentam que em muitos casos, em vez de um tema unificador, os professores usam apenas motivos instrucionais, que em nada contribuem para uma aprendizagem significativa.

Se a comunidade brasileira assemelha-se à estrangeira quanto às dúvidas conceituais, ela difere bastante quanto ao encaminhamento dado à pesquisa nessa área.

De tempos em tempos, educadores e cientistas preocupam-se com a situação do ensino de ciências nas escolas primárias e secundárias. A literatura registra vários movimentos internacionais, sendo aqueles surgidos nos anos 1950 e 1960 os de maior impacto. Os professores de ciência, pelo menos aqueles formados nos anos 1970 e 1980, conhecem bem o PSSC (*Physical Science Study Committee*), o BSCS (*Biological Science Curriculum Study*), o *Harvard Project* e o *Nuffield Science Teaching Project*. A partir dos anos 1980, começa a surgir o movimento que hoje é conhecido genericamente como ciência, tecnologia e sociedade, e que deu origem a vários projetos com denominações específicas. A literatura é extensa, e não cabe aqui uma revisão exaustiva. Mencionaremos aqueles que consideramos os mais relevantes.

Digno de nota é a participação nesse debate do Prêmio Nobel de Física, Leon Lederman. Em colaboração com Marjorie Bardeen ele escreveu um artigo na *Science*, defendendo proposta da *American Association for the Advancement of Science* e do *National Science Education Standards*, segundo a qual todo estudante deve adquirir razoável alfabetização científica, matemática e tecnológica (Bardeen; Lederman, 1998), por intermédio de uma instrução interdisciplinar.

Pesquisadores na *Virginia Polytechnic Institute and State University* cunharam a expressão *Science, Technology, Engineering and Mathematics* (STEM) e criaram, em 2006, o primeiro curso de pós-graduação norte-americano dedicado à educação STEM integrada. Em sua dissertação de mestrado, defendida em 2007, Figliano apresenta algumas estratégias para a integração de conteúdos no âmbito do STEM. Trata-se de um estudo exploratório, no qual o autor determina uma série de estratégias a partir da análise de procedimentos adotados por professores exemplares. O estudo apresenta os procedimentos organizacionais e não faz qualquer referência aos conteúdos tratados.

Um exemplo instrutivo é o projeto *Science Teacher Training in an Information Society* (STTIS), financiado pela Comissão Européia, no âmbito do *Targeted Socio-economic Research* (TSER). Cinco universidades (Denis-Diderot, Paris VII, Federico II da Napoli, Oslo, Autònoma de Barcelona, Sussex) participam do projeto, cujos principais objetivos têm a ver com o desenvolvimento e utilização de material instrucional inovador, com ampla participação de professores de escolas secundárias (Boohan, Stylianidou et al.; Stylianidou e Ogborn; Stylianidou e Ogborn; Bliss e Ogborn, 1985; Ogborn, 1990; Nicholls e Ogborn, 1993; Stylianidou e Boohan, 1997; 1998; Pinto e Gómez, 1999; Stylianidou e Ogborn, 1999; Boohan, Stylianidou et al., 2000; Pinto, Couso et al., 2005). A título de ilustração destaco o relatório da Universidade de Sussex (Stylianidou; Boohan, 1999). O objetivo da equipe era investigar duas inovações curriculares do ensino secundário, ambas concernentes com o ensino sobre energia. Uma dessas inovações era a recomendação nacional para a introdução do conceito

da transferência de energia em vez de transformação de energia. A outra inovação era um experimento de pequena escala para a produção de material instrucional sobre energia e mudança.

As conclusões do relatório servem de alerta para quem pretende introduzir inovações curriculares em grande escala. É necessário ter em conta o nível de comprometimento e entendimento das propostas pedagógicas por parte de quem vai implementá-las. É grande a possibilidade de que uma inovação não passe de uma maquiagem do modelo antigo quando os responsáveis pela aplicação não a entendem ou não estão comprometidos com ela.

No que se refere à literatura brasileira, do ponto de vista conceitual, cabe destaque ao trabalho de Angotti (1993), pela densidade de propostas apresentadas com vinculação direta ao fazer pedagógico, e ao recente trabalho de Santos e Infante-Malachias (2008) pela referência a uma proposta inovadora de formação de professores.

Energia e matéria como conceitos-chave

Existem dois limites aceitos sem restrições pela maioria dos professores e pesquisadores das ciências da natureza. A inevitável abordagem pedagógica interdisciplinar nas séries iniciais da educação básica e a compartimentalização nos níveis mais avançados. O debate que se desenrola há muito tempo refere-se à dificuldade de se definir em que ponto da linha do tempo educacional se dá ou tem início a transição. Mesmo quando hipóteses razoáveis são apresentadas em favor de uma definição, observa-se a dificuldade de implementação das propostas pedagógicas. É com esta perspectiva de uma fase experimental que devemos encarar a presente proposta.

De acordo com as modernas abordagens pedagógicas das ciências da natureza, independente do caráter disciplinar ou interdisciplinar, dois parâmetros essenciais devem ser predefinidos: conceitos-chave e contextos pedagógicos. Os primeiros devem ser tratados de modo mais fiel possível à sua definição científica, ao passo que os contextos pedagógicos devem ser selecionados entre aqueles relevantes para a vida cotidiana do aluno.

É quase unanimidade entre professores e pesquisadores educacionais a hipótese de que aprendizagem significativa inicia com a boa escolha de conceitos-chave, e tem seu caminho pavimentado através de contextos pedagógicos relevantes para a experiência cotidiana do público-alvo. Apenas como ilustração, transcrevo alguns comentários sobre o uso de energia como conceito-chave:

There is a general agreement among science teachers on the importance of choosing the teaching of energy as a focus of interest in the science curriculum, since this is a central idea which provides an important key to understanding of the way things happen in the physical, biological and technological world. (Driver; Millar, 1986)

Energy is a unifying concept in physics, and its teaching can no longer be viewed as a notion that looks different to learners in different science domains. (Le Maréchal; El Bilani, 2008)

Biologists use energy to describe the relationships between organisms in an ecosystem; chemists routinely interpret chemical reactions by tracking energy changes; geologists use the conservation of energy to build models that describe plate tectonics; astrophysicists rely on energy conservation when deducing the shape and structure of the universe. Regardless of its application, the law governing energy is strikingly simple – the total amount of energy in any closed system must be the same at any two points in time. (Nordine, 2007)

Pelas razões expostas, os conceitos de energia e matéria podem ser pedagogicamente abordados a partir de inúmeros contextos, entre os quais, meio ambiente e desenvolvimento sustentável parecem ser suficientemente relevantes. A proposta curricular apresentada a seguir tem uma estrutura que pode se ajustar a diferentes contextos. Como referência, vou centralizar a discussão a seguir na licenciatura em física. Geralmente, a grade curricular dessa licenciatura consiste basicamente em um bloco de disciplinas externas (educação, matemática e química) e um bloco de disciplinas da física: mecânica, termodinâmica, ótica, eletromagnetismo, física nuclear, teoria quântica, tópicos de física contemporânea, entre outras. Em cada uma dessas disciplinas, os conceitos de energia e matéria são abordados. E em cada uma delas, fenômenos naturais são utilizados em artefatos industrializados. Portanto, os conceitos de energia e matéria e as aplicações tecnológicas poderiam constituir um tripé para o desenvolvimento da grade curricular. É possível cobrir toda a área da física, assim como da biologia e da química, a partir desse tripé, embora não seja trivial a definição do melhor encadeamento conceitual.

O mapa conceitual abaixo ilustra uma possibilidade. É interessante observar que os conceitos podem ser facilmente agrupados nos blocos temáticos sugeridos nos PCN: vida e ambiente, terra e universo, tecnologia e sociedade.

O projeto pedagógico de uma licenciatura interdisciplinar em ciências da natureza pode ser desenhado para permitir que o licenciado atue em todos os níveis da educação básica. Ou seja, durante os três primeiros anos os alunos cursam componentes curriculares interdisciplinares, o que lhes dá o direito de atuar como professor de ciência no ensino fundamental, e os prepara para disciplinas avançadas de biologia, física e química, cursadas no quarto ano,

oportunidade em que o aluno escolhe uma especialização (biologia, física ou química), para adquirir o direito de lecionar sua especialidade no ensino médio. Portanto, podemos denominar os três primeiros anos de licenciatura em ciências, e o quarto ano de licenciatura em física, em biologia ou em química. Em cada semestre da licenciatura em ciências, será oferecida uma ou mais disciplinas de humanidades para estabelecer o contexto sociocultural do tema científico tratado no período. Cabe salientar que esse tipo de proposta curricular permite que o aluno obtenha quatro diplomas em seis anos.

Inspirado no projeto *Science Teacher Training in an Information Society* (STTIS), quanto à escolha do conceito de energia como centro difusor do currículo, o presente projeto pedagógico é absolutamente inédito quanto à proposta curricular. Embora similar em vários aspectos aos cursos oferecidos pela USP-São Carlos, Escola de Artes, Ciências e Humanidades da USP (EACH-USP), e Universidade Federal do ABC (UFABC), a presente proposta difere dessas em aspectos fundamentais da concepção pedagógica da abordagem interdisciplinar. Difere também de exemplos inspiradores encontrados em instituições estrangeiras, conforme relato a seguir.

Não há consenso quanto ao melhor formato de uma abordagem pedagógica interdisciplinar das ciências da natureza. Nikitina e Mansilla (2003), da *Harvard Graduate School of Education*, distinguem três estratégias. A primeira, que elas denominam *essentializing* (não identifiquei um vocábulo equivalente em português) baseia-se na identificação de conceitos-chave pertencentes a duas ou mais disciplinas. A segunda estratégia é denominada *contextualizando*, e é bem conhecida pela comunidade brasileira. Finalmente, a terceira, talvez a mais utilizada, denomina-se *centrada em problema*. Trata-se da estratégia mais conhecida como resolução de problemas. Pessoalmente, considero limitada essa classificação. Contextualização e resolução de problemas não são estratégias distintas. Na verdade, é muito conveniente que estejam presentes em qualquer abordagem pedagógica, quer seja disciplinar, multidisciplinar ou interdisciplinar.

A primeira estratégia referida pelas autoras coincide com a nossa proposta, sendo *matéria* e *energia* os conceitos-chave primários, e *artefatos* o resultado da utilização desses conceitos pela humanidade, constituindo-se assim em conceito-chave secundário.

Atividades complementares

As atividades complementares, regulamentadas pela Resolução CNE/CP 2-2002, serão utilizadas para compatibilizar a apropriação do conteúdo específico com a transversalidade definida pelo projeto pedagógico. Além de

atividades a serem definidas pela legislação da UNILA, tais como participação em programas de extensão universitária, iniciação científica, monitoria e disciplinas de outros cursos, seminários especiais serão programados para potencializar essa transversalidade prevista no projeto pedagógico, conforme detalhamento apresentado na tabela abaixo.

Semestre	Temas abordados nas disciplinas	Temas dos seminários
Segundo	Energia gravitacional, energia nas reações químicas celulares, fontes de energia renováveis.	Contexto contemporâneo em que se insere a crise energética; meio ambiente e desenvolvimento sustentável.
Terceiro	Termodinâmica, átomos, moléculas, combustíveis.	Máquinas a vapor e a revolução industrial no século 18; repercussões socioeconômicas da escassez das fontes de energia
Quarto	Energia eletromagnética, artefatos mecânicos.	A revolução industrial do século 20; problemas ambientais gerados pela nanotecnologia.
Quinto e Sexto	Energia nuclear, teoria quântica, artefatos eletromagnéticos, artefatos nucleares.	Impacto ambiental da tecnologia nuclear.
Sétimo e Oitavo	Temas específicos de biologia, física e química.	Efeitos biológicos das alterações ambientais; inovações tecnológicas com relevantes contribuições da biologia, física e química.

Estrutura curricular

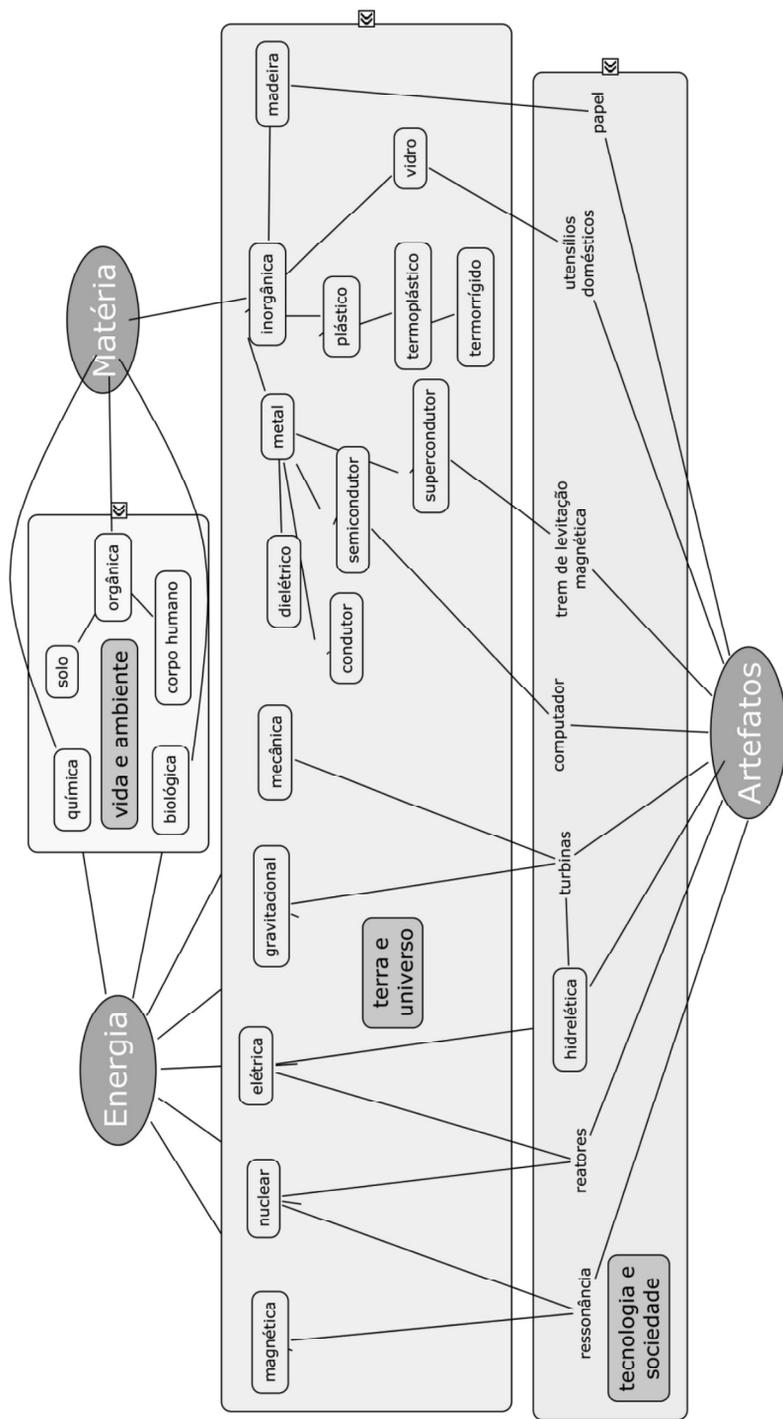
A grade curricular do curso foi inteiramente estruturada a partir de uma concepção interdisciplinar tendo como conceitos-chave, ou eixos estruturantes, *energia e matéria*, e a perspectiva de que o desenvolvimento científico contribui para as aplicações tecnológicas, aqui denominadas *artefatos*. As possibilidades de transversalidade são ilustradas nos mapas conceituais apresentados para alguns semestres.

Abaixo dos eixos estruturantes, as disciplinas podem ser distribuídas em dois espaços denominados *espaço pedagógico contextual* e *espaço pedagógico instrumental*. Como sugerem os nomes, é no espaço pedagógico contextual que se dá o processo de transversalidade.

Considerações finais

Temos consciência do tamanho do desafio para a implementação dessa proposta. Excetuando notáveis profissionais, com larga experiência de pesquisa científica interdisciplinar ou de longa atividade pedagógica interdisciplinar, nossos professores universitários de biologia, física e química, geralmente oriundos de cursos de bacharelado só poderão contribuir para esta proposta depois de um período de capacitação, no qual o diálogo entre as áreas de conhecimento seja exercitado com o objetivo de contemplar os conteúdos propostos na grade curricular.

Outro desafio não menos importante refere-se ao material instrucional. O caráter interdisciplinar proposto é de tal ordem que não corresponde a qualquer livro didático existente no mercado editorial. Então, a produção e testagem de material instrucional específico deverá ser uma tarefa indispensável para a implementação da proposta.



Referências

ANGOTTI, J. Conceitos Unificadores e Ensino de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física** [S.I.], v. 15, n. 1-4, p. 191-198, 1993.

BARDEEN, M.; LEDERMAN, L. Science education: Coherence in Science Education. **Science** [S.I.], v. 281, n. 5374, p. 178, 1998.

BARTON, K. C. Themes or Motifs? Aiming for Coherence through Interdisciplinary Outlines. **Reading Teacher** [S.I.], v. 54, n. 1, p. 54-63, 2000.

BLISS, J.; OGBORN, J. Children's choices of uses of energy. *International Journal of Science Education* [S.I.], v. 7, n. 2, p. 195-203, 1985.

BOOHAN, R. et al. TEACHING ABOUT ENERGY AND TRAINING FOR INNOVATION.

_____. Training teachers for innovation: Energy transfer and the direction of change. **STTIS UK National Report WP5 (part 1)**, University of Sussex, UK [S.I.], 2000.

BRASIL, M. D. E., SECRETARIA DE EDUCAÇÃO BÁSICA. **Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias**. Brasília: MEC, 2006. (Orientações curriculares para o ensino médio, 2).

CSTA. **Integrated Science**: A logic and sequence for meaningful instruction. Disponível em: <http://www.casience.org/csta/pub_ISmodels.asp>. Acesso em: 10/04/2009.

DRIVER, R., MILLAR, R. Teaching energy in schools: Towards an analysis of curriculum approaches. In: DRIVER, R., MILLAR, R. (Eds.) **Energy Matters**. Leeds: University of Leeds, 1986. p. 9-24. Citado por DOMÉNECH et al. (2007).

EACH-USP. <http://www.uspleste.usp.br/cursos.php?pagina=ciencias-natureza>. Acesso em: 10/04/2009.

FIGLIANO, F. **Strategies for integrating STEM Content**: A Pilot Case Study. 2007.

MICHIGAN STATE UNIVERSITY. http://dsme.msu.edu/gradprg_stuff/grad_gen.htm. Acesso em: 10/04/2009.

NICHOLLS, G.; OGBORN, J. Dimensions of children's conceptions of energy. **International Journal of Science Education** [S.I.], v. 15, n. 1, p. 73-81, 1993.

NIKITINA, S., MANSILLA, V.B. **Three Strategies for Interdisciplinary Math and Science Teaching**: A Case of the Illinois Mathematics and Science Academy. 2003. Disponível em: <<http://pzweb.harvard.edu/eBookstore/PDFs/GoodWork21.pdf>>. Acesso em: 10/04/2009.

OGBORN, J. Energy, Change, Difference and Danger. **School Science Review** [S.I.], v. 72, n. 259, p. 81-85, 1990.

PINTO, R. et al. Using research on teachers' transformations of innovations to inform teacher education. The case of energy degradation. **Science Education** [S.I.], v. 89, n. 1, p. 38-55, 2005.

PINTÓ, R.; GÓMEZ, R. Teaching about energy in Spanish Secondary Schools: Teachers' transformations of innovations. **STTIS Spanish National Report on WP1**. Universitat Autònoma de Barcelona, 1999.

PRINCETON UNIVERSITY. <http://www.princeton.edu/integratedscience/>. Acesso em: 10/04/2009.

SANTOS, S.; INFANTE-MALACHIAS, M. E. Interdisciplinaridade e resolução de problemas: algumas questões para quem forma futuros professores de ciências. **Educ. Soc** [S.I.], v. 29, n. 103, p. 557-579, 2008.

STYLIANIDOU, F.; BOOHAN, R. Exploring pupils' learning about the nature of change using an abstract picture language. **Science Education Research in Europe proceedings**, Rome, Italy [S.I.], 1997.

_____. Understanding why things happen: Case-studies of pupils using an abstract picture language to represent the nature of changes. **Research in Science Education** [S.I.], v. 28, n. 4, p. 447-462, 1998.

_____. **Teaching about energy in English secondary schools**: teachers' transformations of a national curriculum innovation. University of Sussex, 1999.

_____. Teaching about Energy in Secondary Schools: The case of two innovations and teachers' transformations of them. **Proceedings of Second International Conference of ESERA (European Science Education Research Association)** [S.I.], v. 2, p. 450-453, 1999.

STTIS. Portal do projeto disponível em: <<http://antalya.uab.es/crecim/websttis/general/index.html>>. Acesso em: 10/04/2009.

UFABC.http://www.ufabc.edu.br/index.php?option=com_content&view=article&id=24&Itemid=79. Acesso em: 10/04/2009.

Aberta do Brasil. <http://www.uab.capes.gov.br/>. Acesso em: 10/04/2009.

USP-SCarlos.<https://sistemas2.usp.br/jupiterweb/jupGradeCurricular?codcg=90&codcur=90010&codhab=204&tipo=N>. Acesso em: 10/04/2009.

VESSURE, Hebe. **Tendências de la educación Ssuperior en America Latina y El Caribe**. 2008, p.12.

Interdisciplinaridade e resolução de problemas: algumas questões para quem forma futuros professores de ciências

Maria Elena Infante-Malachias

Introdução

Nos últimos anos tem aparecido na literatura especializada uma caracterização do imenso desinteresse que as aulas de ciências suscitam nos estudantes (Cachapuz, 1989; Fourez, 2003; Cachapuz, 2004; Gil Pérez et.al. 2001, 2005; Lemke, 2006). Conhecer sobre a ciência tem se tornado uma tarefa entediante onde as ideias, em geral “transmitidas” pelo professor apenas devem ser memorizadas, sem exigir nenhum esforço intelectual do estudante e sem valorizar a sua inteligência. A atividade científica parece ser uma atividade que não tem relação com a vida real dos jovens e de alguma forma, o exercício da curiosidade e do pensamento crítico, fundamentais para o desenvolvimento moral dos indivíduos até alcançar a autonomia, foram suprimidos das atividades escolares.

Os conhecimentos gerados nas diversas áreas das ciências da natureza ao longo dos séculos foram separados e fragmentados, infelizmente, na ciência escolar não se percebe que esta separação em disciplinas é de natureza artificial, e esta situação não ocorre apenas na escola, carregamos essas deformações em relação ao conhecimento e a ciência pela vida afora. Uma situação que ilustra de maneira clara esta compreensão sobre a ciência e o conhecimento e que mesmo tempo carrega uma perigosa visão de mundo foi relatada há alguns anos atrás pelo professor Dr. Bayardo B. Torres do Instituto de Química da Universidade de São Paulo: um aluno universitário perguntou tranquilamente durante uma atividade de laboratório: “professor, o carbono da Química é o mesmo da Biologia ou não?” A surpresa aqui não é a coragem do aluno, que tenta entender o mundo com a visão de ciência que lhe foi apresentada desde os tempos escolares, o que surpreende e assusta é que mesmo no ensino superior não conseguimos superar a fragmentação do conhecimento e a visão neopositivista da ciência. Neste contexto, parte importante do desafio de devolver o sentido ao ensino de ciências proposto por Fourez (2003), reside na formação de professores de ciências. A proposta disciplinar de formação de professores de biologia, química ou física atuando no ensino de ciências para alunos do

ensino fundamental, infelizmente não atende à necessidade de conectar ou religar os conteúdos pertencentes a áreas diferentes nem a necessidade de contextualizar não apenas o cenário de produção da ciência senão também da realidade dos estudantes. Nesta perspectiva, têm surgido propostas interdisciplinares de formação de professores de ciências, no âmbito nacional e, a partir de uma delas em particular, a proposta do curso de Licenciatura em Ciências da Natureza da Escola de Artes, Ciências e Humanidades (EACH) da Universidade de São Paulo, é que discutiremos a interdisciplinaridade e os desafios para a formação de professores de ciências nestas primeiras décadas do século XXI.

As reflexões expressas neste texto surgiram a partir da releitura de um artigo escrito em parceria com a Dra. Silvana Santos da Universidade Estadual da Paraíba (Santos; Infante-Malachias, 2008). Por outra parte, as mudanças e desafios que a Licenciatura em Ciências da Natureza da EACH suscita, motivaram a atualização da discussão em torno à formação de professores de ciências.

Alguns desafios para o ensino de ciências

O ensino de ciências hoje apresenta inúmeros desafios e entre eles a necessidade de considerar os professores como profissionais que contribuem efetivamente para o desenvolvimento social e crítico da sociedade. Para Saraiva e Infante-Malachias (2011), estes profissionais são formadores de cidadãos capazes de emitir julgamentos e opinar sobre diversas questões e problemas, eles são fundamentais para o desenvolvimento humano menos individualista e menos mercadológico. Entre os desafios Villani (2001) questiona se os professores de ciências deveriam estimular também os seus alunos a participar ativamente na sociedade promovendo inclusive lutas políticas, como, por exemplo, para a preservação do meio ambiente, ou para o reconhecimento do direito das minorias? A resposta a essa questão parece-nos evidente, essa deveria ser uma das tarefas do professor nestes tempos de mudanças aceleradas. Torna-se urgente o apelo para que o professor de ciências se assuma como um intelectual transformador (Giroux, 1997). Pela sua natureza o ensino de ciências ou a educação em ciência como uma área emergente do saber e que se encontra em estreita relação com a ciência precisa da epistemologia para ter uma orientação com fundamentos (Praia et al, 2002). Não basta apenas a transposição didática da ciência erudita para a ciência escolar, os profissionais da educação precisam na atualidade enfrentar e superar as barreiras epistemológicas que lhes são impostas durante todo o seu processo formativo (Infante-Malachias; Correia, 2009), em particular com relação a três aspectos: interdisciplinaridade; culturas disciplinares e alfabetização científica.

O conceito de interdisciplinaridade tem sido definido por muitos autores uma vez que propostas curriculares de todos os níveis de escolaridade definem a interdisciplinaridade como seu foco e objetivo central, no entanto não existe consenso para definir quais deveriam ser as características de práticas educativas sustentadas por este conceito (Santos; Infante-Malachias, 2008). Neste ponto, aderimos ao conceito de interdisciplinaridade de Klein (1990), caracterizado como um processo de construção de conhecimentos que se opõe à fragmentação, à especialização e a construção de um conhecimento híbrido. Voltando para o nosso exemplo inicial, isto significaria um processo em que o aluno pudesse estudar o átomo de carbono a partir da biologia, por exemplo, e também a partir da química, da física, da história, cruzando informações de diversos campos do conhecimento para melhor se apropriar do objeto de estudo, o carbono, que é o mesmo na química e na biologia...

Outra barreira que os docentes da área enfrentam são as perspectivas das culturas disciplinares. Isto significa que as disciplinas acadêmicas, e em particular as disciplinas das áreas das ciências da natureza, são análogas a diferentes culturas (Bauer, 1990). Para o autor, os valores que sustentam a prática dos profissionais das ciências humanas e das ciências básicas são diferentes. No entanto, para nós estas culturas emergem também dentro das ciências básicas, assim, as disciplinas não se diferenciam apenas pelo seu objeto de estudo: a vida, o universo físico ou químico, entre outras; ou em relação aos seus métodos de estudo o que verdadeiramente as diferencia e cria linguagens e perspectivas diferentes, é aquilo que é aceito e reconhecido como valor dentro do grupo. Isto significa que é difícil negociar com um colega de outra área, se defendemos diferentes “visões de mundo”. Dito de outra maneira, alguns falam *biologués*, outros *quimiqués* e ainda outros falam *fisiqués* e outras línguas, isto é, não há acordo e muitas vezes, tentando falar a mesma coisa, estes profissionais não se entendem.

Dentro deste panorama, o terceiro desafio para o professor de ciências é a necessidade da alfabetização científica. Assim como o conceito de interdisciplinaridade é polissêmico o de alfabetização científica, surgido na década de 1950, também o é. A alfabetização científica é um processo que aproxima os indivíduos da produção do conhecimento científico, para que compreendam e discutam o impacto do mesmo (Byee, 1997). Os estudantes devem ter acesso a um conhecimento suficiente que lhes permita opinar, pensar coletivamente, tomar decisões e também participar regulando de alguma maneira a produção da mesma ciência. Isto significa que o professor deveria transcender a visão tradicional e neopositivista do ensino de ciências, e tentar o esforço de se adequar às demandas urgentes do século XXI, isto é inserir e recontextualizar o conhecimento científico dentro da realidade e das demandas histórica, política e social dos indivíduos.

Interdisciplinaridade em contexto

Para compreender o contexto da interdisciplinaridade, uma vez que é um conceito polissêmico, apresentaremos de maneira resumida a partir de Santos e Infante-Malachias (2008) o desenvolvimento histórico do mesmo.

Na década de 1980 muitas propostas curriculares de universidades dos Estados Unidos destacavam a utilização de abordagens interdisciplinares. Nessas propostas se incluíam discussões multiculturalistas, étnicas e feministas. Na década de 1990, as instituições que ofereciam programas dessa natureza praticamente duplicaram. Segundo Santos e Infante-Malachias (2008) “esse movimento das universidades americanas em prol da interdisciplinaridade usualmente focava sobre tópicos, assuntos ou questões que pudessem ser tratados por diferentes disciplinas”.

No Brasil durante a década de 1930 foi concebido o dispositivo formativo de professores que consistia em três anos de formação específica e mais um ano de formação pedagógica, conhecido como “3+1”. A formação pedagógica tinha apenas um caráter de complementação para a formação profissional que era eminentemente disciplinar. A partir da década de 1970, as rápidas mudanças no universo produtivo propiciam também mudanças na mentalidade no setor educacional: se busca melhorar o crescimento econômico e a produtividade no campo educacional e definitivamente se vincula o grau de instrução da população ativa com o desenvolvimento econômico. Com a idéia de “capital humano”, os estados foram pressionados para elaborar e implantar políticas públicas que visavam à universalização e a melhoria da educação básica e como consequência da formação de professores. Neste cenário, bem mais complexo do que relatado aqui, o Conselho Nacional de Educação (CNE, 2001) elaborou as diretrizes curriculares nacionais e indicou explicitamente a necessidade de uma perspectiva interdisciplinar, que não é explicada neste documento:

[...] Ela deve permitir o exercício permanente de aprofundar conhecimentos disciplinares e ao mesmo tempo indagar a esses conhecimentos sua relevância e pertinência para compreender, planejar, executar e avaliar situações de ensino e aprendizagem. Essa indagação só pode ser feita de uma perspectiva interdisciplinar. (CNE, 2001, p.43)

Novamente, em outro documento oficial de referência para os professores, os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), a interdisciplinaridade aparece como um princípio ou “eixo articulador”, entretanto, não se explica a compreensão que o professor deve desenvolver sobre esta abordagem.

A partir da breve exposição anterior sobre como o conceito de interdisciplinaridade aparece em textos oficiais, é possível inferir que na literatura e nas propostas curriculares de um modo geral, existem diversas compreensões sobre o mesmo, e, principalmente, sobre o que constitui uma abordagem interdisciplinar. Esta situação não constituiria um conflito, se a abordagem interdisciplinar escolhida por uma determinada instituição tivesse seus fundamentos teóricos bem definidos e estes fossem amplamente discutidos por todos os membros participantes de tal proposta (Infante-Malachias; Correia, 2007). Nesta perspectiva, abrir espaços de discussão coletiva a partir de uma proposta interdisciplinar, que promova a efetiva colaboração e participação democrática dos indivíduos, pode transformar a proposta em um modelo de atuação coletiva. Isto significa que os estudantes de graduação que estão inseridos no processo e que irão intervir na escola básica e média, como é o caso do curso de Licenciatura em Ciências da Natureza da Escola de Artes, Ciências e humanidades da EACH-USP que propõe ambiciosamente que seus graduandos tenham uma visão integrada das ciências, poderão efetivamente vivenciar esse modelo formativo na sua prática educativa.

Uma inovação na educação superior: o curso de licenciatura em ciências da natureza da each-usp

A Escola de Artes, Ciências e Humanidades (EACH) da Universidade de São Paulo foi inaugurada em janeiro de 2005 e se localiza na região leste da cidade de São Paulo, não possui uma organização departamental e funciona como uma única unidade. A EACH foi pensada dentro de uma proposta de inclusão social para favorecer o aumento de matrículas no Ensino Superior e com um projeto interdisciplinar para os dez cursos novos oferecidos pela unidade.

Atualmente os cursos da EACH são: Ciências da Atividade Física; Gerontologia; Gestão Ambiental; Gestão de Políticas Públicas; Lazer e Turismo; Licenciatura em Ciências da Natureza; Marketing; Obstetrícia; Sistemas de informação, Tecnologia Têxtil e Moda. Dentro da proposta inovadora da EACH, o ciclo básico constitui um diferencial:

O Ciclo Básico para todos os cursos, com disciplinas que respondem, de certa maneira, à demanda de discussões pós-modernas, como o multiculturalismo, feminismo, violência, direitos humanos e questões étnicas, à semelhança do movimento das escolas americanas. (Santos; Infante-Malachias, 2008)

Dentro da proposta do ciclo básico são oferecidas disciplinas que tentam criar um diálogo entre diversas áreas do conhecimento como, por exemplo, Ciências da Natureza; Tratamento e Análise de Dados e Informações; Sociedade, Multiculturalismo e Direitos; Psicologia, Educação e Temas Contemporâneos; Sociedade, Meio Ambiente e Cidadania; Arte, Literatura e Cultura no Brasil; Estudos Diversificados. Dentro das disciplinas oferecidas pelo ciclo básico a grande inovação, com duração de um ano letivo, foi à criação da disciplina “Resolução de Problemas”, na qual os estudantes são convidados a desenvolver projetos, com o auxílio de docentes que atuam como tutores. A disciplina Resolução de Problemas na EACH se inspira na proposta de *Problem Based Learning* (PBL), mas se constitui em uma abordagem que reúne elementos da problematização de Paulo Freire e da produção do conhecimento científico.

Dentre os cursos oferecidos pela EACH o curso Licenciatura em Ciências da Natureza (LCN) se propõe a formar profissionais com preparo pedagógico adequado e uma visão abrangente das ciências da natureza (Ciências do Universo, da Terra, da Vida, Física e Química). Os graduandos estudam as relações entre os processos biológicos e os conceitos físicos e químicos presentes na natureza. O profissional é preparado para promover nas escolas, a formação de cidadãos conscientes e críticos, capazes de emitir julgamento sobre as ações humanas no desenvolvimento da sociedade, no que diz respeito às relações com a natureza, o ambiente e a tecnologia (Infante-Malachias; Guridi, 2010).

Para Infante-Malachias e Guridi (2010), o profissional que se forma no curso pode lecionar ciências entre o sexto e o nono anos do ensino fundamental, atendendo à enorme demanda no Brasil de professores dessa disciplina. O professor formado pelo curso de LCN pode atuar na educação não formal em programas interdisciplinares de educação ambiental; na produção de material educativo e de divulgação científica e em atividades educacionais em museus, centros de ciência e organizações não governamentais, entre outros.

A estrutura curricular do curso de LCN apresenta uma característica comum a todos os cursos de graduação da EACH: 60% das atividades letivas do 1º ano estão vinculadas ao Ciclo Básico (CB). O CB tem como objetivo aumentar a capacidade de compreensão das questões complexas da sociedade do conhecimento. Disciplinas específicas e introdutórias ao campo específico de conhecimento do curso de LCN compõem os 40% restantes das atividades letivas do 1º ano. A partir do segundo ano, o curso desenvolve-se contemplando simultaneamente disciplinas de caráter pedagógico e disciplinas vinculadas à área específica de conhecimento relacionado às ciências naturais (Infante-Malachias; Guridi, 2010).

Na organização da grade curricular do curso existe uma evidente preocupação em expor o estudante aos conteúdos de diferentes campos do

conhecimento, como exemplo, citamos as disciplinas que compõem o terceiro semestre: Astronomia do Sistema Solar; Atividades Acadêmicas, Científico Culturais; Modelagem Matemática; História Natural; Linguagem Química e Reações Químicas; Psicologia da Educação e Laboratório de Física. As disciplinas pedagógicas fazem parte da formação dos professores de ciências, a partir do primeiro semestre e as mesmas estão distribuídas ao longo do curso. Por outra parte, existe um acompanhamento que permite repensar e reorganizar tanto o conteúdo das disciplinas quanto a sua localização dentro da grade do curso. A organização diferenciada do projeto de estágio curricular distribuído em blocos foi idealizada pelo grupo de professores das disciplinas pedagógicas do curso e busca proporcionar aos estudantes a oportunidade de entrar em contato com o ensino de ciências na realidade escolar, mediante a elaboração de um projeto de estágio realizado ao longo de três semestres (6º, 7º e 8º semestres) em uma única escola pública (Barreyro et al, 2010).

A proposta do curso de Licenciatura em Ciências da Natureza da Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo se constitui em uma proposta inovadora, não apenas pelo desafio de formar profissionais com uma ampla visão com relação à ciência e a educação, como indicam Barreyro et al. (2010):

[...] Além disso, almeja-se que estes professores tenham consciência e conscientizem seus alunos sobre a importância de uma perspectiva de sustentabilidade como alternativa frente aos graves problemas que enfrenta a humanidade; e que vejam a ciência, assim como outras produções culturais, como uma atividade humana que está sempre inserida em um contexto histórico-social, sofrendo suas interferências. Em outras palavras, é fundamental ter clareza sobre a natureza do conhecimento científico, especialmente no que se refere à característica temporária e dinâmica das verdades científicas paradigmáticas.

Além dos aspectos relacionados especificamente com o ensino de ciências, este curso tem a intenção de formar professores que sejam capazes de compreender a instituição escolar de uma maneira mais ampla. Pretende-se que as suas atuações em sala de aula sejam coerentes com os diferentes contextos que possam encontrar em sua trajetória profissional. (Barreyro et al, 2010)

O principal desafio do curso de LCN é tentar superar e dialogar com as barreiras epistemológicas impostas tanto pela formação dos profissionais de diversas áreas envolvidos no curso quanto pela visão limitada que alguns setores da sociedade têm sobre a formação de professores no Brasil.

Finalmente, é possível o ensino interdisciplinar das ciências da natureza?

A resposta a esta questão não é trivial, exige um exercício disciplinar por um lado que despreziosamente valorize os objetivos de estudo e procedimentos de uma determinada área e aquilo que se considera como conhecimento reprodutível, válido ou verdadeiro; que considere a construção estética do conhecimento e que com humildade compreenda que um saber problematizador e cientificamente organizado resulta da superação do senso comum.

A continuidade do desafio é a abertura para o diálogo com outros saberes, com outras concepções e visões de mundo, o diálogo que a través da linguagem nunca pode ser neutro e inconsciente. Para Freire (1996), o processo educativo deve ser problematizador e sob este ponto de vista o diálogo democrático, que dê voz ao aluno como sujeito e não objeto do processo educativo deve partir do próprio saber do senso comum do aluno. A valorização do saber do aluno pode permitir ao professor ajudar ao aluno a cruzar informações de diferentes campos do saber, a não fragmentar nem dividir, mas compreender, ou pelo menos vislumbrar o todo.

Para poder ensinar aos nossos alunos a olhar o todo – devemos necessariamente utilizar a linguagem – e a linguagem sempre impõe um ponto de vista não apenas sobre o mundo, mas também ao uso da mente em relação a esse mundo (Bruner, 2004). Para o autor, a linguagem impõe uma perspectiva a partir da qual se podem ver as coisas e uma atitude com relação ao que olhamos, “[...] el mensaje en si puede crear la realidad que el mensaje encarna y predisponer a aquellos quienes lo oyen a pensar de um modo particular com respectu a el”.

Isto significa que além da contar o que a ciência faz, o professor de ciências, através do diálogo com colegas e com os seus alunos, poderia estimular a pensar no que a ciência faz como o faz e por que o faz. Esta é a diferença fundamental entre ciência e filosofia da ciência (Gonçalves, 1991 apud Praia et al, 2002). Neste sentido, cremos que o processo formativo dos professores formadores e dos próprios professores de ciências deve incluir a perspectiva epistemológica como um processo reflexivo e problematizador que possibilita, entre outras coisas, o diálogo interdisciplinar.

Uma boa formação em epistemologia tem importantes consequências como afirmam Praia et al, (2002):

Non temos, pois, receio em afirmar que professores bem preparados nesta vertente estão em condições privilegiadas para promover estratégias de ensino e propor atividades de aprendizagem, longe já de uma mudança conceptual redutora, mas, neste contexto, de

verdadeiramente interessar os estudantes pela vivência de situações problemáticas, capazes de suscitar uma autêntica compreensão dos múltiplos e complexos problemas que se colocam, hoje em dia, ao cidadão. Trata-se de gerar uma mudança de atitudes, de promover novos valores, de pensar e refletir na e sobre a ciência a partir de novos quadros de referência. Trata-se, agora, de discutir situações dilemáticas e de incerteza – para uma consciência dos problemas que afetam a humanidade, para uma ética da responsabilidade. Também este conhecimento é indispensável para outra compreensão do conteúdo científico, abandonando o factual, o episódico e melhorando, assim, o entendimento da complexidade da construção do conhecimento científico. (Praia et al. 2002, p.141)

Como defendido por Infante-Malachias e Correia (2007), uma proposta interdisciplinar que enriqueça a formação universitária dos alunos precisa ser fundamentada teoricamente e compreendida por todos os seus membros e também:

É necessário que os profissionais envolvidos no processo de criação e implantação de grades curriculares baseadas na interdisciplinaridade e na resolução de problemas reflitam sobre a sua própria formação disciplinar e dialoguem sistemática e continuamente com os profissionais de outras áreas com a intenção de produzir conhecimento teórico e empírico que possa orientar e alimentar as transformações inseridas nos currículos de cursos de graduação e, mais do que isto, seja modelo de atuação coletiva para os graduandos que estão embebidos nesse processo. (Santos; Infante-Malachias, 2008)

Para Freire (1996), o diálogo é condição essencial para a prática educativa que visa à autonomia do aluno. O que podemos chamar de método tradicional *sui generis* de deposição de conteúdo não cede espaço para uma relação aluno-professor verdadeiramente democrática e dialógica. Pensamos, ao igual que Praia et al (2002), que a epistemologia pode ajudar os professores de ciências a melhorarem as suas próprias concepções sobre a ciência e a fundamentar a sua prática educativa. Esta visão pode contribuir com o diálogo interdisciplinar, uma vez que o questionar, discutir e refletir acerca da pertinência de conexões entre ciência/epistemologia/educação em ciência o professor fará as suas opções científico-educacionais com fundamentos (Praia et al, 2002).

Para finalizar estas reflexões, nos parece importante destacar que o ensino de ciências da natureza, deveria ser também um caminho para a reflexão e o pensar certo freireano. Isto significa que a partir da especificidade e da visão de mundo das disciplinas, se poderiam abrir espaços de diálogo, de reflexão e de encantamento interdisciplinar.

Uma possibilidade de abordagens interdisciplinares no ensino de ciências na utopia de Freire que é sempre esperançosa, uma vez que a história é tempo de possibilidades, é sem dúvida para nós a proposta da professora Dra. Olga Pombo “conduzir os nossos alunos da *Doxa* para a *Episteme*.”

Agradecimentos

Agradeço a dedicação e o profissionalismo do professor Dr. Carlos Alberto dos Santos, da professora Dra. Aline Quadros e da equipe de coordenação do SLIEC, empenhados na tarefa de idealizar o seminário sobre Interdisciplinaridade e de organizar este livro para divulgar e democratizar a discussão. À colega professora Dra. Silvana Santos pela parceria e ricas discussões e aos meus alunos do Grupo de Pesquisas em Epistemologia e Ensino de Ciências – GruPEPEC, pelo estímulo constante a pensar e a duvidar das nossas certezas.

Referências

BARREYRO, G. B., VIVIANI, L. M., LIMA, A. L.; INFANTE-MALACHIAS, M. E, CAZETTA, V., DOMINGUEZ, C. Uma proposta inovadora de estágios para os professores de ciências: a experiência do curso de Licenciatura em Ciências da Natureza (EACH-USP) em São Paulo, Brasil. **Experiências em Ensino de Ciências** (UFRGS), v.5, 2010.

BAUER, H.H. Barriers against interdisciplinary: Implications for studies of Science, Technology, and Society (STS). **Science, Technology & Human Values**, v. 15, n.1, p. 105-119, 1990.

BRUNER, J. **Realidad mental y mundos posibles. Los actos de la imaginación que le dan sentido a la experiencia**. Barcelona: Gedisa. 2004.

BYBEE, R. Towards na Understanding of Scientific Literacy. In: GRAEBER, W.; BOLTE, C. (Eds). **Scientific Litracy**. Kiel: IPN, 1997.

CACHAPUZ, A. Linguagem metafórica e o ensino das ciências. **Revista Portuguesa de Educação**. v.2, n.3, p.117- 129. 1989.

CACHAPUZ, A; PRAIA, J; JORGE, M. Da educação em ciências às orientações para o ensino das ciências: um repensar epistemológico. **Ciência & Educação**. v.10, n.3, p. 363-381, 2004.

CONSELHO NACIONAL DE EDUCAÇÃO. Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação de Professores da Educação Básica. **Parecer CNE/CP 9/2001**. Disponível em: <http://www.mec.gov.br>. Acesso em: 08 fev. 2011.

FOUREZ, G. Crise no Ensino de Ciências? **Investigações em ensino de ciências**. V.8, n.2, 2003.

GIL-PÉREZ, D; MONTORO, I. F; ALÍS, J.C; CACHAPUZ, A; PRAIA, J. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**. v.7, n.2, p. 125-153, 2001.

GIL PÉREZ, D; SIFREDO, C; VALDÉZ, P; VILCHES, A. Cuál es la importancia de la Educación Científica en la Sociedad Actual? In: **Como promover el interés por la cultura científica?** Una Propuesta Didáctica Fundamentada Para La Educación Científica de Jóvenes de 15 a 18 Años. Santiago: OREALC/UNESCO. 2005.

INFANTE-MALACHIAS, M. E, CORREA, P. Elaboración colaborativa de mapas de conceptos. **Novedades Educativas**, v.219, 2009.

INFANTE-MALACHIAS, M. E, CORREA, P. Problema complejos en el mundo post-industrial. **Novedades Educativas**, v.203, 2007.

INFANTE-MALACHIAS, M.E; GURIDI, V. A reflexão epistemológica de estudantes de Licenciatura em Ciências suscitada no marco de uma disciplina na formação inicial de professores. **Caderno de resumos da I Conferência Latino-americana do International History, Philosophy, and Science Teaching Group (1ª IHPST-LA)**. Maresias São Sebastião, Brasil, 19 a 21 de agosto de 2010.

KLEIN, J. T. **Interdisciplinarity: History, Theory and Practice**. Detroit: Wayne State University Press, MI, 1998.

LEMKE, J. Investigar para el futuro de la educación científica: nuevas formas de aprender, nuevas formas de vivir. **Enseñanza de las Ciencias**, v.24, n.1, p.5-12. 2006.

FREIRE, P. **Pedagogia da Autonomia**: saberes necessários à prática educativa. Rio de Janeiro: Paz e Terra. 1996.

GIROUX, H. A. **Os professores como intelectuais**: rumo a uma pedagogia crítica da aprendizagem. Porto Alegre: Artes Médicas, 1997.

PRAIA, J, F.; CACHAPUZ, A. F. C.; GIL-PÉREZ, D. Problema, teoria e observação em ciência: Para uma reorientação epistemológica da educação em ciência. **Ciência & Educação**. v.8, n.1, p. 127-145, 2002.

SANTOS, S; INFANTE-MALACHIAS, M. E. Interdisciplinaridade e Resolução de Problemas: algumas questões para quem forma futuros professores de Ciências. **Educação e Sociedade** , v.103, p.557 - 579, 2008.

SARAIVA, K; INFANTE-MALACHIAS, M.E. Concepções sobre a prática educativa de professores de ciências: subsídios para repensar as necessidades formativas docentes In: CAPELLINI, Vera Lúcia Messias Fialho; MANZONI, Rosa Maria (Org.). **Políticas públicas, práticas pedagógicas e ensino-aprendizagem**: diferentes olhares sobre o processo educacional. (no prelo) 2011.

VILLANI, A. Filosofia de Ciência e Ensino de Ciência: Uma analogia. **Ciência & Educação**, v.7, n.2, p. 169-181, 2001.

O curso de Licenciatura em Ciências Naturais da Faculdade UnB Planaltina

Maria de Lourdes Lazzari de Freitas

Introdução

Sabemos que o ensino de ciências no Brasil apresenta desafios importantes no que diz respeito à sua qualidade e à sua utilidade. A seguir está um pouco da história do Curso de Licenciatura em Ciências Naturais da Faculdade UnB Planaltina – DF, seu início, a proposta de ensino e, particularmente, seu Projeto Político Pedagógico construído pelos professores do curso.

No curso queremos construir junto com nossos alunos um conhecimento rico sobre as possibilidades de ensinar e divulgar ciência considerando as adversidades das nossas escolas e também a diversidade do nosso público.

Aqui, consideraremos a diversidade e a adversidade elementos possibilitadores de uma educação inovadora, que trabalha com as possibilidades locais, mas vislumbrando as competências globais necessárias para o aprendizado de ciências. Ensinar e aprender ciências é oportunizar aos alunos uma reflexão coletiva sobre os fenômenos humanos e sociais a partir da leitura, interpretação e discussão dos fenômenos naturais. Ao ensinar ciências, estaremos estimulando nossos alunos a olhar o mundo, interpretar os fenômenos, procurar relações entre eles e levantar possibilidades de resoluções de problemas do cotidiano. O que defendemos neste curso é o ensino contextualizado de ciências, voltado para a promoção da vida e da sua qualidade, priorizando a formação docente dos nossos alunos.

Faculdade UNB PLANALTINA – FUP

Inaugurada no dia 16 de maio de 2006, nasceu dentro do planejamento estratégico de expansão da UnB que visa, não apenas a ampliação da oferta de vagas no ensino superior gratuito de boa qualidade para a população do Distrito Federal e entorno, mas a implantação de cursos superiores comprometidos com

o desenvolvimento regional. A FUP está localizada a 40 quilômetros da sede da Universidade, Campus Universitário Darcy Ribeiro, na Asa Norte e possui 30 hectares na entrada de Planaltina – DF.

A infraestrutura da FUP conta com: prédio central com aproximadamente 2 mil metros de área construída. Possui oito salas de aula, biblioteca, auditório, laboratório de informática, dois laboratórios multidisciplinares, lanchonete, espaço administrativo, espaço de manutenção e estacionamento; Unidade de Ensino e Pesquisa (UEP) com duas salas de aula, 24 salas de professor, um laboratório de informática, dois laboratórios de ensino de ciências, uma litoteca, 1 laboratório de alimentos e lanchonete; Unidade Acadêmica (UAC) possui biblioteca, salas de aula, laboratórios de informática, química, artes e biologia, auditório e museu.

Criação do curso

O Curso de Licenciatura em Ciências Naturais - diurno da Faculdade UnB Planaltina – FUP, foi concebido em 2006 por um pequeno grupo de professores. Em 2008, com a chegada de novos docentes e a inclusão da FUP no Programa de Apoio ao Plano de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais (REUNI), lançado pelo Governo Federal, Ministério da Educação, foi criado também o curso noturno.

De 2006 a 2008, o curso sofreu ajustes em sua estrutura curricular que, objetivou ampliar a atuação do futuro professor no Ensino Básico. Atualmente o curso oferece 80 vagas a cada semestre (40 vagas para cada turno – diurno e noturno), privilegiando as comunidades de Planaltina, Sobradinho e regiões adjacentes, ampliando assim o acesso ao ensino superior no Distrito Federal (DF).

Desta forma, o curso busca atender aos objetivos inerentes à sua criação: democratização de acesso ao ensino superior de camadas da população historicamente excluídas e promoção do desenvolvimento socioeconômico e cultural da região. Planaltina possui uma população de aproximadamente 250.000 habitantes, há predominância de atividade agrícola e empreendimentos voltados ao setor primário da economia, com pouca absorção da mão de obra local.

Esta constatação embasa o compromisso da UnB em buscar soluções para a qualificação profissional dos jovens em sua comunidade, dentro de uma política de combate às desigualdades sociais existentes no Distrito Federal, entre centros e periferias e, além disso, promover a fixação da população local, evitando o deslocamento ou a migração para o Plano Piloto.

A educação brasileira

O sistema educacional brasileiro vem enfrentando repetência e evasão ao longo do tempo. Estudos sistemáticos realizado pelo Ministério da Educação (MEC)/Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep) indicam um alto índice de evasão e repetência no primeiro ano de alfabetização e no 6º ano, antiga 5ª série, do Ensino Fundamental. Carraher et al (1988) referem-se a pesquisas em diversas áreas que indicam que a repetência leva à evasão e à desistência dos alunos logo no início de escolaridade, muitas vezes, pela diferença cultural entre o aluno e o que a escola oferece. Para os alunos do 6º ano, o problema se agrava pela adaptação à nova estrutura escolar (divisão das disciplinas por grade horária, muitos professores, processos de ensino e de avaliações estanques, entre outras tantas modificações em relação às séries iniciais), aliada à entrada destas crianças na adolescência, em torno de 11 anos de idade.

Pensar na formação de professores na própria comunidade pode ajudar a diminuir a distância entre os alunos e a escola, uma vez que o professor pertence à própria comunidade.

Por outro lado, a formação de professores de ciências para as séries finais do Ensino Fundamental, no Brasil, desde a década de 1960 tem sido um apêndice na Licenciatura em Ciências Biológicas, que, por sua vez, é uma adaptação do biólogo como professor. Esse profissional é preparado para ministrar aulas de biologia para adolescentes quase adultos, a partir de 15 anos de idade, que já possuem outro perfil, totalmente diferenciado do pré-adolescente.

Na organização das Licenciaturas no Brasil, existe uma proposta específica para a formação de professores para o ensino infantil, para as séries iniciais do Ensino Fundamental e para o Ensino Médio, mas não existe uma formação específica para professores de ciências para as series finais do Ensino Fundamental. Essa lacuna permanece ao longo do tempo e cria uma ruptura na continuidade da educação.

Por outro lado, a carência de professores de ciências de 6º ao 9º ano do Ensino Fundamental é antiga, sendo suprida por profissionais de várias áreas, tais como biólogos, engenheiros, agrônomos, médicos, enfermeiros, matemáticos, químicos, físicos e etc. Uma estimativa da demanda de professores de ciências para a década 2001-2010, considerando a universalização obrigatória do Ensino Fundamental, mostra que seriam necessários 32 mil professores de ciências – um terço dos 95 mil novos postos – para atender o segundo segmento do ensino fundamental (Chaves; Shellard, 2005). Além disso, as novas exigências legais indicam que o professor de 6º ao 9º ano deve ter formação específica em Ciências Naturais (Parecer CNE/CP 9/2001).

Eixos norteadores do curso

Temos como eixos os princípios colocados pelo Projeto Acadêmico Orgânico dos Cursos Noturnos de Licenciatura da UnB (1993) “indissociabilidade de ensino, pesquisa e extensão; do conteúdo específico a cada licenciatura e a formação psicopedagógica correspondente; de conhecimento acadêmico e experiência (profissionalizante) dos processos e sistemas da escolaridade fundamental e média.” (p. 21); e os princípios colocados pelos PCNs (Brasil, 1998, p.21) - 1) dignidade da pessoa humana; 2) igualdade de direitos; 3) participação; 4) co-responsabilidade pela vida social.

Em síntese, este curso de Licenciatura em Ciências Naturais propõe-se a formar profissionais privilegiando a prática, o aprender fazendo, e a pesquisa como ferramentas de uma educação comprometida com a sociedade e com o momento presente.

Objetivos do curso

O curso tem como objetivo formar licenciados em ciências naturais para atuar na área de ciências naturais no ensino básico formal. Mais especificamente, preparar professores para lecionar a disciplina Ciências Naturais nas séries finais do ensino fundamental e atuar com abordagem interdisciplinar no ensino de ciências da natureza, matemática e suas tecnologias no nível médio atendendo as novas posturas do MEC.

Também pretende oferecer uma formação pedagógica voltada não só para os conteúdos específicos de ciências da natureza, mas também para a compreensão de que a construção do conhecimento é histórica, cultural, contextualizada e vai além do campo da ciência, visando à formação de um profissional com atuação ética e responsável na sociedade, com uma visão de ciência como construção humana, dentro de um contexto sociohistórico e cultural.

Além disso, se preocupa em preparar educadores capazes de investir em sua formação continuada, de criar inovações em sala de aula, de pesquisar e questionar sua prática e de atuar dentro do ambiente escolar, discutindo o projeto político pedagógico e as questões relevantes para a comunidade na qual a escola está inserida.

Perfil do egresso

Ao final do curso, o licenciado em ciências naturais da FUP deve ter desenvolvido capacidade de:

- Atuar como professor de ciências naturais das séries finais do Ensino Fundamental, e como professor de ciências da natureza no Ensino Médio e na educação não-formal, em áreas que requeiram conhecimentos específicos de ciências naturais;
- Trabalhar em grupo de forma crítica e cooperativa, construindo conhecimento, planejando e realizando ações;
- Utilizar diferentes instrumentos e recursos (leitura, observação, experimentação, conceitos científicos, registro e tratamento de dados, discussão, etc.) para analisar situações-problema reais e propor soluções pedagógicas;
- Adotar estratégias de ensino diversificadas a partir da visão crítica de ensino de ciências e das diversas abordagens pedagógicas;
- Atualizar constantemente seus estudos para acompanhar as grandes transformações do conhecimento humano, seja do campo educacional geral e específico, seja de campo de conhecimento científico-tecnológico, bem como da vida humana em geral;
- Como professor, estimular o aluno à autonomia intelectual e o gosto pelas ciências naturais, valorizando a expressão de suas ideias, seus saberes cotidianos e levando em conta a heterogeneidade desses saberes e habilidades;
- Desenvolver uma ética de atuação profissional e a consequente responsabilidade social, compreendendo a ciência como conhecimento histórico, desenvolvido em diferentes contextos sociopolíticos, culturais e econômicos;
- Elaborar, executar e avaliar projetos interdisciplinares ou não, que tomem como referência os conteúdos das ciências naturais;
- Aplicar os princípios da pesquisa nas diversas possibilidades no cotidiano do professor;
- Contextualizar questões locais em contextos globais.

Formação de competências e habilidades

A proposta do curso é que o estudante exercite de forma crescente, desde o início, a independência e a autonomia para buscar conhecimentos, por meio de pesquisas e atuação prática. Os licenciandos participam de projetos de pesquisa e de extensão, desenvolvendo habilidades para trabalhar

coletivamente. O curso é adequado àqueles que se interessam pelas áreas de ciências da natureza e, ao mesmo tempo, desejem atuar como educadores, com uma formação pedagógica sólida, dentro de uma perspectiva humanista e contextualizada.

Para a formação de competências e habilidades, o curso segue dois grandes eixos: o primeiro diz respeito aos conteúdos específicos e o segundo é a formação de educadores com a identidade profissional de professor. Não se trata de um apêndice de um bacharelado que se amplia incorporando a formação pedagógica, mas a visão de formação de professores de ciências que incorpora conteúdos específicos de ciências naturais com a formação pedagógica, que ocorrerá em estreita relação com as disciplinas específicas e com a realidade local, regional e com as diretrizes educacionais brasileiras.

Como orientação geral do projeto pedagógico, são contempladas em todas as disciplinas a:

- Língua portuguesa: leitura, redação e expressão oral;
- Informática: uso de processadores de texto, planilhas de cálculo, preparação de apresentações no computador, uso da internet para aprendizagem presencial e semipresencial;
- Metodologia científica: compreensão das etapas da pesquisa, leitura de publicações científicas na área de ensino de ciências, de educação e das áreas das ciências naturais e elaboração de textos científicos;
- Abordagem de aspectos de interesse regional e local;
- Exploração do potencial didático dos recursos naturais locais e de espaços de educação não-formal como zoológicos, unidades de conservação, museus, o entorno da escola, a comunidade e outros espaços públicos.

Um diferencial importante do nosso curso é o fato de ser oferecido por uma equipe de professores de uma mesma faculdade, e com experiência em ensino, apesar de formação em diversas áreas de ciências da natureza, possibilitando maior interação entre as disciplinas e um olhar pedagógico sobre estas. A diversidade de metodologias de investigação é explorada ao longo do curso, de forma que o licenciado se familiarize com diversas formas de produção de conhecimento, assumindo o papel de sujeito desta produção.

Salienta-se ainda que existe uma intencionalidade em buscar recortes menos disciplinares e mais temáticos e se voltar mais para a realidade, em várias disciplinas ou por integração de mais de uma disciplina. Há uma orientação geral do corpo docente para o uso de métodos e materiais alternativos aos laboratórios tradicionais de ciências, adequando a formação do professor de ciências à estrutura que encontrará nas escolas, e maximizando o uso do entorno da escola. Ênfase é dada a práticas experimentais que possam ser realizadas em sala de aula ou fora dela sem a necessidade de laboratórios específicos.

O curso também se preocupa em preparar educadores capazes de investir em sua formação continuada e de atuar dentro dos ambientes educativos, discutindo o projeto político-pedagógico e as questões relevantes para a comunidade e para a escola.

Buscar um novo modo de olhar para o conteúdo, identificando grandes temas unificadores (saúde, meio ambiente, cidadania) que fazem parte das diversas disciplinas criando condições para que estes temas sejam trabalhados de forma interdisciplinar, passa a ser um desafio a ser enfrentado pela Licenciatura em ciências naturais da FUP.

Embora a proposta curricular do curso tenha a pretensão de trazer uma abordagem interdisciplinar, esbarramos nas diferentes concepções das formações específicas do corpo docente que, embora apareça a resistência em romper os limites disciplinares, avança no fortalecimento das disciplinas e no diálogo entre as áreas, o que pode ser percebido nitidamente na organização curricular. Por outro lado, entendemos que o curso se trata de formação de professores e que será um desafio constante alcançar propostas mais interdisciplinares de abordagem dos conteúdos, como temas unificadores, projetos que envolvam as três dimensões acadêmicas – a pesquisa, o ensino e a extensão.

Além disso, compõe o currículo do curso, a disciplina de Libras, bem como a disciplina O Educando com Necessidades Especiais, que visam ofertar ao professor uma reflexão sobre a inclusão dos estudantes com necessidades especiais.

Integração ensino, pesquisa e extensão

A proposta do curso e o perfil do profissional egresso exigem uma forte relação entre ensino, pesquisa e extensão. A Universidade de Brasília tem hoje uma política clara de extensão, que permite não só a vasta produção de conhecimento nos projetos de extensão, desenvolvidos como projetos de

pesquisa, como também a participação dos estudantes nestas atividades, por meio de bolsas ou de trabalho voluntário, contabilizados como créditos.

O trabalho com as escolas tem sido realizado no sentido de incentivar a aproximação do campus Planaltina com as escolas e a relação entre escola e comunidade, como forma de melhorar a qualidade do ensino e o diálogo entre as famílias e a escola, na busca de soluções para diversos problemas que afligem escola e comunidade. Procura também instrumentalizar os professores para, dentro das condições de infraestrutura da escola, realizar trabalhos práticos e criativos, que possam envolver seus alunos na construção do conhecimento e envolver o licenciando na realidade escolar, onde atuará como futuro profissional.

Por meio das atividades de extensão possuímos uma rede de escolas parceiras, que possibilitam aos licenciandos o acesso às escolas, viabilizam o cumprimento das horas de “prática como componente curricular” (Resolução nº 02/2002, CNE/CP-MEC), dos projetos de extensão e dos estágios supervisionados. Podemos citar alguns projetos como o **Prodocência** (incentivo à prática docente) – os licenciandos desenvolvem projetos (Horta, Parque Sucupira, Rádioescola), material de apoio, saídas de campo, atualmente com quatro escolas públicas da região; **Projetos Interdisciplinares – A FUP vai para a escola de ensino básico** – Proporciona a primeira experiência dos licenciandos com a escola, divulga a licenciatura da FUP nas escolas de Planaltina/Sobradinho e promove a realização de minicursos com temas relevantes, mas pouco tratados na sala de aula e **Escola nas Estrelas** – Estimula a reflexão participativa dos alunos acerca do tema astronomia e cosmologia, difunde nas escolas a visão científica do universo, promove acesso ao conhecimento e experiências observacionais na astronomia.

Estrutura e carga horária do curso

De acordo com o exposto nos itens anteriores, temos os princípios definidos pela Resolução nº1/2002, CNE/CP-MEC, que em seu artigo 3º define

A formação de professores que atuarão nas diferentes etapas e modalidades da educação básica observará princípios norteadores desse preparo para o exercício profissional específico, que considerem:

I – a competência como concepção nuclear na orientação do curso; II – a coerência entre a formação oferecida e a prática esperada do futuro professor... III – a pesquisa, com foco no processo de ensino e de aprendizagem, uma vez que ensinar requer, tanto dispor de conhecimentos e mobilizá-los para a ação, como compreender o processo de construção do conhecimento.

Atendendo a estes princípios, o curso conta com disciplinas voltadas para a prática de ensino, tais como Ensino de Ciências, Didática da Ciência e os Estágios Supervisionados e disciplinas de investigação, como Metodologia de Pesquisa em Educação e o próprio Trabalho de Conclusão de Curso. Estas disciplinas são organizadas no fluxograma de tal forma que há a integração entre elas e com as demais disciplinas do curso, com o objetivo de priorizar a relação teoria-prática e aproximar o estudante da realidade escolar e da pesquisa. Procura-se, durante o curso, entrelaçar os conteúdos específicos, o ensino e a pesquisa, possibilitando a construção da autonomia do licenciando para uma formação continuada e para a investigação e reflexão da própria prática.

No final do curso, a disciplina Sistemas Ecológicos, com oito créditos, traz uma visão das ciências naturais, integrando os conteúdos das diversas áreas, desenvolvidos durante o curso, a fim de compreender a organização dos sistemas da superfície terrestre. A prática é o forte da disciplina, na qual os estudantes buscam, por meio de trabalhos de campo, conhecer e descrever os diversos ambientes. Esse formato apresenta vantagens para os futuros professores de ciências, com relação às disciplinas tradicionais, pois exige o trabalho prático e interdisciplinar do próprio corpo docente do curso, sendo exemplo para a formação dos estudantes e um grande desafio para a equipe envolvida.

A estrutura da grade curricular e a distribuição da carga horária apoiam-se na resolução nº 002/2002, CNE/CP – MEC e no Parecer nº 009/2001 CNE/CP – MEC.

Carga horária

O curso é realizado no turno diurno e noturno, com 40 vagas ofertadas semestralmente para cada turno. A permanência mínima do aluno no curso é de 7 semestres e a máxima, 18 semestres, e os estudantes deverão cumprir um total de 3065 horas ou 204 créditos, incluindo as 200 horas de atividades “acadêmico-científico-culturais”. Dos 204 créditos, 145 são referentes às disciplinas obrigatórias, 46 são créditos optativos, sendo que o aluno é orientado a cursar disciplinas optativas de uma determinada área (escolhida pelo aluno) para ampliar sua possibilidade de atuação no Ensino Médio. O aluno pode também incorporar em seu histórico escolar até 24 créditos de Módulo Livre e 20 créditos de extensão. Os créditos de extensão podem, ainda, ser incorporados como atividades acadêmico-científico-culturais quando devidamente adequados dentro dos critérios estabelecidos.

No curso está previsto também um mínimo de 405 horas de práticas curriculares (“prática como componente curricular”), como parte de disciplinas de formação geral do professor ou pedagógica e uma carga horária de 405

horas de estágios supervisionados (27 créditos). Os estágios contemplam a interdisciplinaridade, a integração dos conteúdos específicos, os pedagógicos e a prática docente, junto com a escola formadora (Resolução nº 01 CNE, p. 6). “O estágio supervisionado tem o objetivo de consolidar e articular as competências desenvolvidas ao longo do curso por meio das demais atividades formativas, de caráter teórico ou prático.” (p. 3).

O Estágio Supervisionado curricular (1, 2, 3 e 4) é desenvolvido em quatro semestres e torna-se espaço destinado à imersão do licenciando na profissão docente e na identificação do papel do professor na sociedade. Os dois primeiros estágios são desenvolvidos no Ensino Fundamental e se voltam para o estudo do ambiente escolar, buscando a compreensão da contextualização da escola, envolvendo o levantamento da avaliação institucional e de aprendizagem, dos aspectos socioculturais e econômicos e, também, da elaboração de projetos didáticos voltados para a resolução de problemas em sala de aula, no ensino de ciências, apoiados nas investigações da área de ensino de ciências e áreas correlatas, incluindo a pesquisa em didática da ciência. O Estágio 3 é o momento de imersão no ensino de ciências no Ensino Médio e o Estágio 4 pode ser a continuação do Estágio 3 ou a imersão em uma outra realidade do ensino de ciências, no nível Fundamental, ou na Educação de Jovens e Adultos, ou em escolas de ensino especial ou outra localidade que trabalhe o ensino de ciências ou educação ambiental de forma sistemática.

Os alunos a serem encaminhados para o estágio seguem as orientações, normas e procedimentos da Diretoria de Acompanhamento e Integração Acadêmica (DAIA) da Universidade de Brasília (UnB) e o Regulamento de Estágio Curricular Supervisionado do Curso de Licenciatura em Ciências Naturais. Os estágios supervisionados da UnB são regidos pela Lei no. 6494 de 07/12/1997 e atualizada pela Portaria n. 08 de 23 de Janeiro de 2001, do Ministério da Educação.

Em relação às 200 horas de “atividades acadêmico-científico-culturais”, previstas na Resolução nº 02/2002 CNE/CP, constituem formação complementar, centrada nas escolhas e interesses pessoais dos alunos. São atividades não previstas nas disciplinas curriculares, desenvolvidas ao longo da graduação, que guardam correlação e conexão com a área de formação do aluno e são distribuídas em três eixos: 1) Atividades Acadêmicas; 2) Atividades Científicas e 3) Atividades Socioculturais. O aluno deverá cumprir às 200 horas, buscando um equilíbrio entre as diversas atividades realizadas, e deverá apresentar atividades dentro de, pelo menos, dois dos três eixos. A comissão de avaliação (quatro professores) recebe os certificados, orienta e discute com o estudante a pertinência das atividades e cargas horárias cumpridas, aprovando o cumprimento final das referidas horas, de acordo com a decisão de colegiado.

Trabalho de conclusão de curso (TCC)

O Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) é condição essencial para a conclusão do curso e obtenção de grau de Licenciado em Ciências Naturais. É desenvolvido em dois semestres – disciplinas TCC 1 e TCC 2, com dois créditos cada. É exigido do estudante o desenvolvimento de uma pesquisa, cujo projeto será apresentado ao final do TCC 1. Durante o TCC 2 a pesquisa será desenvolvida e o relatório final apresentado no final do semestre. O trabalho é apresentado à turma, professores e público em geral.

Corpo docente do curso

O corpo docente é constituído por 93% de professores doutores, com dedicação exclusiva, contratados por concurso público. Os editais dos concursos têm buscado profissionais com perfil interdisciplinar em conformidade com a vocação do campus FUP. Atualmente estão designados em torno de 40 professores para o curso de Licenciatura em Ciências Naturais, diurno e noturno. Destes, temos 30% dos professores empenhados para as áreas específicas de ensino de ciências.

Para a orientação dos alunos e tratar das questões administrativas e pedagógicas do curso – diurno e noturno – contamos com dois coordenadores, eleitos pelo Órgão Colegiado da FUP. Atualmente estão na coordenação de curso diurno a profa. Maria de Lourdes Lazzari de Freitas e no noturno a profa. Elizabeth Maria Mamede da Costa.

Avaliação do curso

É realizada pela Comissão de Avaliação (Núcleo Docente Estruturante) incluindo professores do curso e discentes. Cabe à comissão elaborar os instrumentos de avaliação e submetê-los ao Colegiado do curso, aplicá-los e apresentar os resultados. Cabe também examinar os resultados das pesquisas semestrais realizadas oficialmente pela Universidade (avaliação institucional), assim como as demais formas de avaliação oficiais: Enade e avaliação do MEC. Os resultados da avaliação são divulgados na página do curso, assim como as medidas para solucionar os principais problemas apontados.

O curso conta com vários elementos para seu acompanhamento e avaliação: Avaliação da disciplina – avaliação oficial da Universidade (institucional), realizada no final de todos os semestres; Questionário para levantamento da situação socioeconômica dos alunos, formação escolar, época de conclusão do ensino médio, objetivando traçar o perfil discente, que serve de

base para as demais avaliações; Questionário anual sobre grau de satisfação dos discentes – sua relação com o curso e avaliação global do mesmo, da qualidade do corpo docente, do horário de funcionamento, da carga horária e características do curso; Avaliações oficiais do MEC – Enade.

Na medida do possível, os profissionais formados no curso são acompanhados para identificar em que estão trabalhando, a “utilidade” dos conhecimentos adquiridos em suas funções profissionais atuais e suas principais dificuldades.

Pós-graduação

Desde julho de 2010, o Curso de Licenciatura em Ciências Naturais da FUP oferece dois cursos de pós-graduação: Mestrado Profissionalizante em Ensino de Ciências – Área: Ensino de Ciências – único mestrado da UnB que acontece interunidades (Departamento de Química, Física, Biologia e FUP) e Ciência de Materiais com duas linhas de pesquisa: Materiais Nanoestruturados e o de Simulação. A primeira linha pesquisa os materiais mais adequados para serem usados em nanoestruturas e a segunda se dedica a simular, por meio de modelos matemáticos em computadores, quais são as características ideais dos materiais a serem utilizados em pequenas estruturas.

Considerações finais

O curso de Licenciatura em Ciências Naturais, que assumimos, é um espaço no qual professores e alunos podem dialogar, pensar, duvidar, discutir, questionar e compartilhar saberes, onde há lugar para criar, colaborar, discordar e transformar. Um curso com autonomia onde todos os envolvidos possam, pensar, refletir e avaliar o processo de construção do conhecimento, que não deve ser tratado de forma dogmática e esvaziado de significado. O texto acima, que fundamenta o Projeto-Político-Pedagógico do Curso, representa um desafio no nosso cotidiano e busca efetivamente uma educação alicerçada em valores éticos, na promoção da Paz, na construção da cidadania e principalmente na formação docente. Aqui não posso deixar de citar os principais atores e autores dessa construção, professores: Marcelo Ximenes Bizerril, Antonio Luiz Melo, Catarina Labouré Benfica Toledo, Danilo Arruda Furtado, Dulce Maria Sucena da Rocha, Eduardo Leonardecz Neto, Eliane Mendes Guimarães, Gilvânia Coutinho Silva Feijó, Ivan Ferreira da Costa, Jeane Cristina Gomes Rotta, Mônica Castagna Molina, Nina Paula Ferreira Laranjeira, Paulo Eduardo de Brito e Renata Aquino da Silva de Souza.

Referências

BRASIL, Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica. **Parâmetros Curriculares Nacionais**. 3º e 4º ciclos do Ensino Fundamental. Temas Transversais. Brasília, 1998.

CARRAHER, Terezinha; CARRAHER, David; XCHLIEMANN, Ana Lúcia. **Na vida dez, na escola zero**. São Paulo: Cortez, 1988.

CHAVES, A.; SHELLARD, R.C. (eds.) **Pensando o futuro**: o desenvolvimento da física e sua inserção na vida social e econômica do país. São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, 2005.

CONSELHO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, Conselho Pleno. **Parecer CNE/CP nº 09/2001** - Relatores: Conselheiros Edla de Araújo Lira Soares e outros.

CONSELHO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, Conselho Pleno. **Resolução CNE/CP nº 01**, 18 fev. 2002.

CONSELHO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, Conselho Pleno. **Resolução CNE/CP nº 02**, 19 fev. 2002.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA. **Projeto Orgânico das Licenciaturas**. (*in mimeo*). 1993.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – FACULDADE UNB PLANALTINA. **Projeto Político Pedagógico do Curso de Licenciatura em Ciências Naturais – diurno**. Julho de 2010.

Planejamento de projetos para colaboração entre professores

Érika Zimmermann e Ângela Maria Hartmann

Introdução

A interdisciplinaridade é uma proposta que vem sendo inserida na educação brasileira desde a década de 1970, tendo se tornado, oficialmente, um princípio pedagógico escolar a partir da publicação dos Parâmetros Curriculares Nacionais em 1998. Nesse intervalo, experiências escolares interdisciplinares foram acontecendo por iniciativa de professores que acreditavam na possibilidade de tornar o processo educacional mais integrado. Pesquisas da década de 1990 apontavam uma proliferação indiscriminada de práticas intuitivas, mostrando que se passava a exercer e a viver a interdisciplinaridade sob diversas formas apoiadas numa literatura ainda pouco difundida (Fazenda, 1994).

A integração entre as ciências naturais (química, física, biologia, matemática) e as ciências humanas (história, geografia, filosofia e sociologia) tem-se tornado uma busca de professores da Educação Básica e daqueles que são responsáveis pela formação de novas gerações de educadores. Apesar dos desafios que a interdisciplinaridade representa em termos de organização e de interação interpessoal e de conhecimentos, ela tem ganhado importância em escolas (Hartmann; Zimmermann, 2007) e cursos de licenciatura (Milanese, 2004). Permeada por desafios, a importância da interdisciplinaridade, como princípio norteador da educação brasileira, tem-se tornado mais clara à medida que inspira reflexões e práticas escolares, mostrando que o aprofundamento de conhecimentos teóricos e a reflexão sobre a prática educativa precisam acontecer simultaneamente.

Tendo aceitado o convite para realizar uma oficina sobre projetos interdisciplinares, durante o SLIEC 2010, para professores ou futuros docentes da área de ciências da natureza e matemática, pensou-se em refletir com os participantes os desafios, limites e possibilidades que o trabalho interdisciplinar representa para aqueles que se propõem a atuar de forma integrada com colegas de escola ou universidade. Essa reflexão é o produto da nossa oficina, uma vez

que são raros os momentos, dentro dos espaços físicos e temporais dos nossos afazeres profissionais que, como professores, nos dedicamos a esclarecer nossas concepções e trocar ideias e experiências sobre o que, de fato, representa realizar um trabalho interdisciplinar. Acreditamos que essa reflexão pode ser um produto imaterial que os participantes, e também os leitores desse trabalho, terão para fundamentar suas ações e reflexões quando realizarem novos exercícios de interdisciplinaridade em seus locais de trabalho ou estudo.

Para isso, revisamos o que a literatura apresenta sobre o tema e resgatamos a pesquisa que realizamos com professores de Ensino Médio. A seguir, introduzimos a fundamentação teórica para depois relatar como foi a oficina.

Interdisciplinaridade: fundamentação teórica

A literatura e a experiência escolar e universitária mostram que existem diferentes entendimentos do que seja a interdisciplinaridade e de como ela pode ser colocada em ação. Yves Lenoir (2006) categoriza as concepções sobre interdisciplinaridade de acordo com três tipos de lógica: 1) a do sentido; 2) a da funcionalidade ou instrumental; e 3) a da intencionalidade fenomenológica. Segundo o autor, a lógica do sentido (europeia) tem como propósito construir uma síntese conceitual ou acadêmica do fato, chegando à unidade do saber. Especialmente para os franceses, a interdisciplinaridade é uma questão social e epistemológica de integração dos saberes e que busca unificar o saber científico.

Na segunda perspectiva, o objetivo da interdisciplinaridade é resolver problemas da existência cotidiana e não criar uma nova disciplina ou produzir um discurso universal. Essa segunda concepção epistemológica, denominada por Lenoir (2006) de lógica da funcionalidade ou instrumental (norte-americana), centra-se nas questões sociais empíricas e na atividade experimental. A interdisciplinaridade, nesta perspectiva, é uma prática política, uma negociação entre diferentes pontos de vista para decidir a como agir em uma dada situação. Essa perspectiva instrumental refere-se mais a uma categoria de ação do que a uma categoria de conhecimento.

A terceira perspectiva, é a da intencionalidade fenomenológica que, segundo Lenoir (2006) concebe a interdisciplinaridade como uma abordagem centrada na qualidade do ser humano. O olhar é dirigido, no plano epistemológico, para a subjetividade dos sujeitos e, no plano metodológico, para a sua intersubjetividade. Essa abordagem fenomenológica da interdisciplinaridade coloca em destaque a necessidade do autoconhecimento e do diálogo.

Se a lógica francesa é orientada em direção ao saber e a lógica americana sobre o sujeito aprendiz, parece-me que a lógica brasileira é dirigida na direção

do terceiro elemento constitutivo do sistema pedagógico-didático, o docente em sua pessoa e em seu agir (Lenoir, 2006).

Segundo o autor, as opções epistemológicas para a interdisciplinaridade escolar têm-se caracterizado pelo estabelecimento de conexões entre duas ou mais disciplinas (abordagem relacional), ou pelo estudo de conceitos ou temas de aspecto amplo, valorizando a substituição do conhecimento dividido em disciplinas por uma unidade do saber, por um tema (abordagem radical).

A concepção mais comum, encontrada na literatura e entre professores, é de que a interdisciplinaridade se constitui de uma integração de conteúdos. Conceber a interdisciplinaridade apenas como uma integração de conteúdos promove conexões forçadas e superficiais, que se mostram fictícias (Bochniak, 2003), frustrando as expectativas dos professores que realmente desejam realizar um trabalho integrado. Esses professores acabam resistindo à realização de um trabalho dessa natureza, argumentando que conteúdos importantes da sua disciplina deixam de ser apresentados e/ou aprofundados.

De um modo geral, os professores têm dificuldades na construção de um ensino que busque a integração de conteúdos de diferentes disciplinas, pois isto exige também um trabalho pedagógico de cooperação integrada entre eles. A cooperação integrada entre professores é um ponto chave para a interdisciplinaridade escolar ser possível. Este ponto é defendido por Fazenda (2003), para quem “a interdisciplinaridade caracteriza-se pela intensidade das trocas entre os especialistas e pelo grau de integração real das disciplinas no interior de um mesmo projeto de pesquisa” (p.25).

Entendemos ser importante a interação entre docentes com o objetivo de produzir atividades articuladas entre si e baseamos nossa concepção na definição de Heloísa Luck (1994), que define a interdisciplinaridade como:

[...] o processo que envolve a integração e o engajamento dos educadores, num trabalho conjunto, de interação das disciplinas entre si e com a realidade de modo a superar a fragmentação do ensino, objetivando a formação integral dos alunos, a fim de que possam exercer criticamente a cidadania mediante uma visão global de mundo e serem capazes de enfrentar os problemas complexos, amplos e globais da realidade atual. (p. 64)

Dentro dessa perspectiva, salientamos que os PCN+ (Brasil, 2002) recomendam que “é preciso um esforço consciente dos professores para que o aluno não tenha que fazer sozinho a tradução dos discursos disciplinares” (p. 29), assim como destacam que a organização do aprendizado não deve ser

“conduzida de forma solitária pelo professor de cada disciplina” (p. 13). Ou seja, uma abordagem interdisciplinar acarreta alterações de ordem prática sobre a organização do trabalho pedagógico, que envolvem tempo de planejamento, horário das aulas e recursos materiais. Uma vez que uma ação interdisciplinar articula o trabalho das disciplinas e promove as competências a serem desenvolvidas pelos alunos, é importante que as atividades pedagógicas promovidas sejam formuladas pelo conjunto de professores, de forma integrada, e não mais isoladamente ou por justaposição. Da mesma forma, não basta que os alunos realizem essa integração de saberes sozinhos, mas que tenham como suporte o trabalho integrado de seus professores para orientá-los a estabelecer as relações entre os conhecimentos disciplinares.

Os professores, ao realizar um trabalho interdisciplinar, defrontam-se, basicamente, com três desafios que podem ser descritos brevemente como: 1) o desafio intelectual de estabelecer relações entre objetos de conhecimento de diferentes disciplinas, sendo que para isso é necessário abolir as amarras da disciplina de formação e trabalhar com fontes de informação diferentes do livro didático usualmente adotado em cada disciplina; 2) o desafio emocional de interagir com colegas quando se está habituado a um trabalho individualizado; e 3) o desafio pedagógico de conduzir o estudante a perceber e compreender as relações existentes entre eventos de uma realidade ou conceitos que se referem ao mesmo objeto de conhecimento, mas são formulados de forma diferente pelas disciplinas escolares. Esse desafio compreende ainda promover e manter o diálogo entre docentes e informar os alunos do que foi combinado entre os docentes.

Mesmo enfrentando desafios, há professores que realizam trabalhos pedagógicos interdisciplinares. As razões apresentadas por eles podem ser resumidas em: 1) a aprendizagem que o próprio professor experimenta ao realizar um trabalho interdisciplinar, pois as leituras, o estudo e a troca de ideias com colegas de outras disciplinas o enriquecem culturalmente; 2) a integração que o trabalho interdisciplinar promove, pois há uma maior aproximação entre os conteúdos disciplinares, entre os docentes e entre estes e os alunos; 3) a eficiência com que o trabalho pedagógico é realizado, pois o diálogo respeitoso e a troca de informações sobre conteúdos e metodologias aumentam a harmonia com que a prática pedagógica é desenvolvida, fortalecendo vínculos importantes para tornar a atuação do docente mais eficaz; 4) a produção de saberes docentes durante o diálogo, a interação e a comunicação entre eles. Pode-se constatar que, fundamentalmente, os professores desenvolvem três saberes: 1) o saber ser interdisciplinar, que se mostra na superação do individualismo profissional, no ser aberto a críticas e sugestões e na capacidade de dialogar com docentes de outras disciplinas para realizar atividades escolares conjuntas; 2) o saber fazer interdisciplinar, que se mostra

pela capacidade de planejar e avaliar coletivamente, de contextualizar objetos de conhecimento disciplinares e trabalhar habilidades que, usualmente, são trabalhadas em outras áreas disciplinares; 3) o saber conhecer interdisciplinar, caracterizado pela capacidade de adotar outras linguagens como forma de expressão, e de outras metodologias para trabalhar conteúdos disciplinares, além do saber perguntar (e perguntar-se) a partir do ponto de vista de outras disciplinas (Hartmann; Zimmermann, 2007).

O saber ser interdisciplinar representa a sensibilidade que os docentes desenvolvem ao trabalhar com colegas, especialistas em outras disciplinas. Esse saber caracteriza-se pela abertura ao trabalho coletivo e à percepção de que, para ensinar as ciências naturais, é importante associar-se com docentes de outras disciplinas para atender às atuais necessidades de formação educacional. O saber conhecer interdisciplinar faz com que o professor reconheça a importância de estar constantemente aprendendo e atualizando o que conhece. O saber fazer interdisciplinar capacita os docentes para o trabalho pedagógico no qual as ações são planejadas, executadas e avaliadas coletivamente.

O intercâmbio de ideias e ações devido à abordagem interdisciplinar altera, por sua vez, o ritmo de trabalho dos docentes, inaugurando uma nova cultura dentro da escola: a do trabalho coletivo. As dúvidas, decisões e responsabilidades são partilhadas, promovendo uma proximidade e uma parceria entre os profissionais, fruto de um trabalho comum. A interação, como exigência profissional para a realização de atividades interdisciplinares, age sobre o sentimento de integração e solidariedade. A interação proporciona aos docentes a sensação de pertencer a uma comunidade docente capaz de realizar um trabalho pedagógico significativo junto à comunidade escolar.

Por outro lado, alguns pontos são fundamentais para que se criem condições favoráveis para a interdisciplinaridade acontecer no ambiente escolar ou universitário. Esses pontos foram levantados na pesquisa mencionada anteriormente (Hartmann, 2007):

Tempo para planejamento

Reuniões para planejamento e discussões constituem um dos fatores que favorecem a interação entre os docentes, conduzindo a uma comunicação mais eficiente entre eles.

Coragem de inovar

A interdisciplinaridade constitui uma inovação pedagógica, que exige abandonar velhas práticas consolidadas. Experimentar o novo significa coragem para enfrentar o desconhecido, pois, embora os exemplos de ações interdisciplinares se multipliquem ano a ano, em muitos casos o professor ainda se sente inseguro com os resultados.

Entusiasmo

O trabalho interdisciplinar é complexo e desafiador e, portanto, sujeito a fracassos e desânimos. É importante existir entusiasmo para não se deixar abater pelos desafios materiais e interpessoais que ele representa. Para sustentar o entusiasmo é importante a troca de experiências, a valorização e o estímulo por parte daqueles que acreditam no processo. O professor, para manter o entusiasmo pela tarefa de educar interdisciplinarmente, precisa acreditar que sua atuação é importante para o aprendizado dos alunos e para compor o trabalho realizado com os outros docentes.

Espírito de equipe

Cultivar o espírito de equipe, a cooperação profissional e o diálogo, de modo a permitir a troca construtiva de pontos de vista, e o estabelecimento de um clima de confiança no trabalho dos outros é essencial para a harmonia no processo coletivo exigido pela interdisciplinaridade. A realização de atividades interdisciplinares exige dos professores o desapego em relação a posições individualistas e o respeito ao tempo e à capacidade de cada um contribuir para o trabalho coletivo. Habitados a um trabalho individualizado, gerar dentro da escola uma cultura de cooperação, de entrosamento de conteúdos e de pessoas, é fundamental para que todos se sintam à vontade e dispostos a participar do trabalho interdisciplinar.

Flexibilidade

As escolas, geralmente, promovem reuniões para planejar como será o trabalho durante o ano letivo. O objetivo dessa decisão é existir uma unidade na escolha dos objetos de conhecimento e no tempo em que eles serão trabalhados durante o ano letivo. O problema nessa decisão está em que ela engessa o professor dentro de um conteúdo programático que ele se sente “obrigado” a cumprir para não fugir do acertado com os colegas da disciplina. O hábito de trabalhar um determinado conteúdo em cada série não ajuda na flexibilização necessária para chegar a um tema ou situação comum às várias disciplinas. O professor sente-se encurralado entre promover a interdisciplinaridade e cumprir o conteúdo programático. Integrar esses dois aspectos exige flexibilidade do professor em relação à forma como irá desenvolver o conteúdo disciplinar. Primeiro, eliminando o hábito de trabalhar os conteúdos de forma linear e estanque, distribuindo-os por bimestre. Segundo, aprendendo a trabalhar com projetos temáticos que sejam capazes de dar conta da dimensão sistêmica com que o conhecimento é construído.

Liderança

O planejamento e o desenvolvimento do trabalho interdisciplinar exigem um coordenador que motive, oriente e promova a resolução de conflitos. A existência de um coordenador é fundamental para criar e manter os elos do trabalho interdisciplinar. Quando dois professores decidem trabalhar interdisciplinarmente, o trabalho pode acontecer sem esse agente catalisador, porque a relação é mais imediata e a comunicação mais simples. No entanto, à medida que o número de professores envolvidos aumenta, é preciso que alguém seja o elo entre todos. O compromisso do coordenador é criar oportunidades para que os envolvidos dialoguem entre si em encontros para planejamento e avaliação do trabalho interdisciplinar. Entre as várias responsabilidades do coordenador estão: a) organizar encontros coletivos produtivos; b) buscar informações ou conseguir material necessário para o trabalho do grupo; c) conversar com os professores quando estes se mostrem desmotivados ou incapazes, mostrando-lhes a possibilidade de conexões e as oportunidades que a interdisciplinaridade representa para uma melhor aprendizagem; d) ajudar o grupo a resolver situações de impasse e até mesmo propor soluções. Ele deve ser um líder capaz de motivar e envolver outros no trabalho.

Formação inicial interdisciplinar

Uma formação inicial interdisciplinar é essencial para promover o gosto pela pesquisa e pelo aprender a conhecer de forma interdisciplinar. A interdisciplinaridade nos cursos de licenciatura deve propiciar a interação entre licenciandos de diferentes áreas do conhecimento para que eles desenvolvam um saber ser interdisciplinar. Para capacitá-los para uma prática interdisciplinar, é importante também o contato do licenciando-estagiário com o planejamento e a organização do trabalho interdisciplinar nas escolas. Dessa forma, o licenciando tem a oportunidade de interagir com professores e colegas, adquirindo experiência em organizar projetos interdisciplinares.

Formação continuada

Para realizar um trabalho interdisciplinar, o professor precisa conhecer profundamente: a) os aspectos teóricos e metodológicos da disciplina na qual é docente; b) conhecer como a sua disciplina está presente em outras áreas do conhecimento; c) estudar constantemente para manter-se atualizado em relação a novas descobertas e desenvolvimentos tecnológicos; d) entender como as questões científicas, tecnológicas, sociais, ambientais, econômicas e até mesmo religiosas afetam o cotidiano das pessoas, pois essa é a realidade que ele e seus alunos necessitam compreender e sobre a qual precisam refletir para atuar como cidadãos íntegros. Ao atuar interdisciplinarmente, o professor percebe concretamente quais são as contribuições das outras áreas do conhecimento na

construção do conhecimento e na melhoria da vida em sociedade. A permanente atualização profissional o ajuda a não repetir práticas que se mostram ultrapassadas e/ou ineficazes e a implementar novas ações, nas quais ele próprio pode ser um pesquisador. O trabalho interdisciplinar, quando realizado coletivamente, permite que as ações pedagógicas sejam discutidas e avaliadas em um contexto mais amplo, criando oportunidades de aprendizagem para o professor. Para que a atualização profissional seja possível, é importante que a instituição de ensino oportunize aos seus docentes estudos que ampliem seus conhecimentos e renovem suas práticas, bem como divulgue os trabalhos interdisciplinares promovidos por eles.

Projeto pedagógico adequado

Uma diretriz do sistema de ensino pode nortear e legitimar o trabalho em uma escola, mas a interdisciplinaridade não acontece por causa dessa disposição. O ponto de partida para ela acontecer dentro de uma escola é uma decisão do grupo de professores. Para isso, é importante que o projeto pedagógico, como resultado das discussões da comunidade escolar sobre como a escola deve organizar-se, contemple a interdisciplinaridade como um eixo norteador de suas atividades. Sendo resultado de uma construção coletiva, o projeto pedagógico tem efeito mobilizador sobre a comunidade (Veiga, 2004).

Material didático interdisciplinar

Para realizar atividades interdisciplinares, os professores têm usado como fonte de pesquisa filmes, revistas, jornais e a internet. Esses meios, em geral, apresentam informações atualizadas, contextualizadas, abrangentes e de fácil acesso. Novas fontes de consulta e pesquisa representam desafios metodológicos para o professor. Ao mesmo tempo em que o computador e a internet apresentam amplas possibilidades de trabalho, é preciso observar que essas ferramentas sejam utilizadas efetivamente para o aluno construir o conhecimento. Para isso, o professor precisa desenvolver com os alunos pesquisas do tipo investigativas e não apenas cópias do conteúdo acessível na rede internacional. A prática interdisciplinar exige dinamicidade, que se mostra na exploração de novos conteúdos, aprofundando naquele que é importante e necessário para responder e compreender questões levantadas pelo objeto em estudo, mas que nem sempre são abordadas nos livros didáticos disponíveis no mercado.

O Planejamento da oficina

Nossa dificuldade maior foi a de planejar uma oficina relativamente breve, uma vez que o tempo para sua realização foi de apenas uma hora e meia. Assim, a oficina foi planejada para ter três momentos: 1) inicialmente, os

participantes se apresentariam e descreveriam brevemente suas experiências interdisciplinares; 2) em seguida, listariam os desafios que enfrentam ao realizar atividades interdisciplinares e como superam esses desafios; 3) por fim, elencariam de forma conjunta os elementos considerados pelo grupo fundamentais para uma abordagem interdisciplinar de sucesso.

1ª etapa – Apresentação de experiências interdisciplinares

Para iniciar os trabalhos da oficina e provocar a apresentação dos participantes, à medida que as pessoas foram chegando solicitou-se que cada um escrevesse seu nome, instituição de origem e disciplina com que trabalha ou curso que realiza, respondendo também se já havia participado de alguma experiência interdisciplinar em escola ou curso superior. A partir desses relatos, e com a ajuda de uma das professoras, realizou-se um levantamento de quem eram os participantes e qual é seu histórico de atuação com abordagens interdisciplinares.

Dos vinte e seis participantes, sete eram professores da Educação Básica, dez do Ensino Superior e três trabalham nos dois níveis de ensino. Além destes, havia ainda três universitários e três professores que trabalham na educação não-formal. Vinte e um participantes relataram experiências interdisciplinares promovidas na Educação Básica, construídas a partir da realização de atividades pedagógicas conjuntas com professores de outras disciplinas, ou trabalhando em cursos de formação de professores com características interdisciplinares como é o caso da Univates, Unipampa (campus Uruguaiana/RS) e da Universidade de Brasília (campus Planaltina/DF). Uma das professoras participantes relatou que trabalha no desenvolvimento de materiais de ensino para surdos, com eixo interdisciplinar, e outro professor contou ter participado de atividades interdisciplinares durante a preparação de projetos para feiras de ciências. Além disso, estudantes de licenciatura e mestrado relataram a realização de práticas interdisciplinares nos cursos com essa proposta de formação. Da mesma forma os professores que atuam na Estação Ciência, localizada dentro do Parque Tecnológico de Itaipu, sede também da Unila, relataram que, atuando na educação não-formal, eles desenvolvem atividades para os visitantes com características interdisciplinares que envolvem matemática, biologia, química e física.

Com o propósito de tornar mais clara nossa perspectiva, apresentamos as três perspectivas epistemológicas de interdisciplinaridade categorizadas por Yves Lenoir (2006), realizando uma reflexão com os participantes a respeito delas. Lançamos, então, um novo questionamento solicitando aos professores que o respondessem por escrito: “Quais são os desafios enfrentados quando a escola se propõe a realizar um trabalho interdisciplinar?”

2ª etapa – Interdisciplinaridade: desafios e superações

Enquanto uma das professoras realizava uma categorização das respostas dos presentes na oficina sobre os desafios de uma abordagem interdisciplinar, discutimos brevemente a definição de Heloísa Lück (1994), que resume a concepção de interdisciplinaridade na qual nos pautamos para realizar atividades pedagógicas.

Os participantes da oficina, em suas respostas escritas, destacaram como desafios para alcançar essa integração: 1) a cultura disciplinar de alunos e professores; 2) a falta de incentivo por parte dos gestores das escolas, pois é necessária a abertura de espaços de formulação e produção de projetos interdisciplinares; 3) a resistência dos colegas que, por diversos motivos, recusam-se a realizar atividades interdisciplinares; 4) a necessidade de um conhecimento amplo, por parte do professor, a respeito de temas que não são abordados em suas disciplinas, e que se mostra na dificuldade de encontrar elos/ligações entre as disciplinas; 5) a falta de clareza de muitos professores do que é a interdisciplinaridade e sobre como se realiza um trabalho interdisciplinar.

A literatura mostra que desafios semelhantes foram apontados por um grupo de dezessete professores que empreendiam atividades interdisciplinares no Ensino Médio em uma escola pública do Distrito Federal e que foram sujeitos de uma pesquisa apresentada pela primeira vez em encontro regional da Associação Nacional de Pesquisa em Educação (ANPED) no Centro-Oeste (Hartmann; Zimmermann, 2006) e examinados com mais profundidade na dissertação de mestrado (Hartmann, 2007). Esses desafios foram discutidos durante a oficina para que os participantes pudessem perceber que as suas dificuldades são bastante semelhantes às apresentadas por muitos dos professores que se propõem a atuar interdisciplinarmente em suas instituições de ensino.

O fato de muitos professores presentes na oficina já terem vivido uma experiência interdisciplinar contribuiu para a reflexão instigada a seguir por meio da pergunta: Quais razões levam os professores a promoverem um trabalho interdisciplinar? A partir desse questionamento, iniciamos uma reflexão a respeito dessas razões, comparando-as com as apontadas na pesquisa anteriormente mencionada.

3ª etapa - Abordagem interdisciplinar de sucesso

Para concluir a oficina, planejamos solicitar aos participantes que, relembrando as dificuldades que enfrentaram para organizar e colocar em prática atividades interdisciplinares em seus locais de trabalho, apontassem os elementos que se mostraram fundamentais para vencer esses desafios.

Contudo, como o tempo da oficina já estava encerrando, resolvemos apenas apresentar os pontos levantados em nossa própria pesquisa sobre práticas interdisciplinares descritas no referencial teórico acima.

Mensagem para encerrar...

Como mostra a literatura e constatam na prática os professores participantes dessa oficina, o caminho interdisciplinar é trilhado interagindo com colegas de trabalho na Educação Básica ou Superior e instituições que promovem uma educação não-formal. A interdisciplinaridade não pode ser apenas a integração dos mais diversos conteúdos para promover o estudo de um objeto de conhecimento. Para ser autêntica deve acontecer a partir da interação entre docentes, que anseiam por conduzir integradamente o processo de aprendizagem. Os desafios para tal empreendimento não são poucos e se fazem presentes para testar nossa convicção pedagógica e nossa compreensão epistemológica de como ela deve acontecer. Para compreender realmente em que consiste a interdisciplinaridade nada melhor do que vivenciar no dia-a-dia as dificuldades que ela representa e os avanços que ela promove.

Referências

BOCHNIAK, R. **Questionar o conhecimento: a interdisciplinaridade na escola... e fora dela.** 2. ed. São Paulo: Loyola, 1998.

BRASIL. **PCN+ Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais – ciências da natureza, matemática e suas tecnologias.** Brasília: Ministério da Educação, 2002.

FAZENDA, I. C. A. **Interdisciplinaridade: história, teoria e pesquisa.** 11. ed. São Paulo: Papirus, 2003.

_____. **Integração e interdisciplinaridade no ensino brasileiro: efetividade ou ideologia?** 5. ed. São Paulo: Loyola, 2002.

HARTMANN, A. M. **Desafios e possibilidades da interdisciplinaridade no Ensino Médio.** 2007. 229f. Dissertação (Mestrado em Educação). Faculdade de Educação, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

HARTMANN, A. M.; ZIMMERMANN, E. Desafios da Prática Interdisciplinar no Ensino Médio. In: Encontro de Pesquisa em Educação da Região Centro-Oeste. (8:2006, Cuiabá, MT). **Anais...**, Anped, 2006.

_____. O trabalho interdisciplinar no Ensino Médio: a reaproximação das “duas culturas”. **Revista Brasileira de Educação em Ensino de Ciências**, v. 7, n.2, 2007. Disponível em: <<http://www.fae.ufmg.br/abrapec/revistas/V7N2/v7n2a4.pdf>> Acesso em: 17 jan. 2010.

_____. Estrategias interdisciplinares: Rompiendo las barreras disciplinares entre las ciencias naturales e las humanas. Congreso sobre Formación de Profesores de Ciencias. (3: 2007, Bogotá, Colômbia). **Anais...** Universidad Pedagógica Nacional, 2007.

LENOIR, Y. Três interpretações da perspectiva interdisciplinar em educação em função de três tradições culturais distintas. **Revista E-Curriculum**, São Paulo, v. 1, dez.-jul. 2005-2006. Disponível em: <<http://www.pucsp.br/ecurriculum>>. Acesso em: 10 mar. 2006.

LÜCK, H. **Pedagogia interdisciplinar: fundamentos teórico-metodológicos**. Petrópolis: Vozes, 1994.

MILANESE, I. **A interdisciplinaridade no cotidiano dos professores: avaliação de uma proposta curricular de estágio**. 2004. 154f. Tese (Doutorado em Educação). Faculdade de Educação da Unicamp, Unicamp, Campinas, 2004.

VEIGA, I. P. A. **Educação básica: projeto político-pedagógico; Educação superior: Projeto político-pedagógico**. Campinas: Papyrus, 2004.

Utilização de mapas conceituais para planejamento de projetos interdisciplinares em ciências

Jeremias Borges da Silva, André Maurício Brinatti e Sílvio Luiz Rutz da Silva

A Invenção dos mapas conceituais

Mapa conceitual é uma técnica desenvolvida em meados da década de 1970 por Joseph Novak e seus colaboradores na Universidade de Cornell, nos Estados Unidos, a partir do programa de pesquisa “A ciência da educação”, que levou ao desenvolvimento da ferramenta de mapeamento de conceitos a partir de um modelo de educação que tem seus fundamentos teóricos na Teoria Cognitiva de Aprendizagem, de David Ausubel (Moreira, 1999; 2010; Novak, 2004).

A necessidade de encontrar uma melhor maneira de representar o entendimento conceitual das crianças que possibilitasse observar alterações explícitas no conceito e estruturas proposicionais que constroem os significados levou ao desenvolvimento do que agora se tornou uma ferramenta poderosa de representação do conhecimento útil não só em educação, mas em praticamente todos os setores da atividade humana (Novak). A ideia foi desenvolvida para traduzir as transcrições de entrevistas em uma estrutura hierárquica de conceitos e de relações entre conceitos, ou seja, proposições, o que resultou em uma ferramenta que hoje se chama de mapa conceitual, que é composto de quadros organizados de conhecimentos derivados da aprendizagem significativa, servindo como base para o pensamento criativo e a produção de novos conhecimentos, constituindo-se em uma ferramenta muito poderosa para a representação do conhecimento, “uma ferramenta que iria mudar nosso programa de pesquisa a partir deste ponto” (Novak, 2004, p.32).

Para Moreira (2010) o importante é que o mapa conceitual seja um instrumento capaz de evidenciar significados atribuídos a conceitos e relações entre conceitos no contexto de um corpo de conhecimentos, de uma disciplina, de uma matéria de ensino:

O mapeamento conceitual é uma técnica muito flexível e em razão disso pode ser usado em diversas situações, para diferentes finalidades: instrumento de análise do currículo, técnica didática, recurso de aprendizagem, meio de avaliação. (Moreira; Buchweitz apud Moreira, 2010, p.2)

A caracterização dos mapas conceituais é apresentada na Figura 1 como ferramenta a ser empregada em diversas situações e diferentes finalidades no processo de ensino-aprendizagem, entretanto, sua utilização pode ser bem mais ampla, envolvendo procedimentos nas mais diversas áreas do conhecimento como no planejamento de projetos nas áreas da engenharia e da administração (Novak; Cañas, 2010).

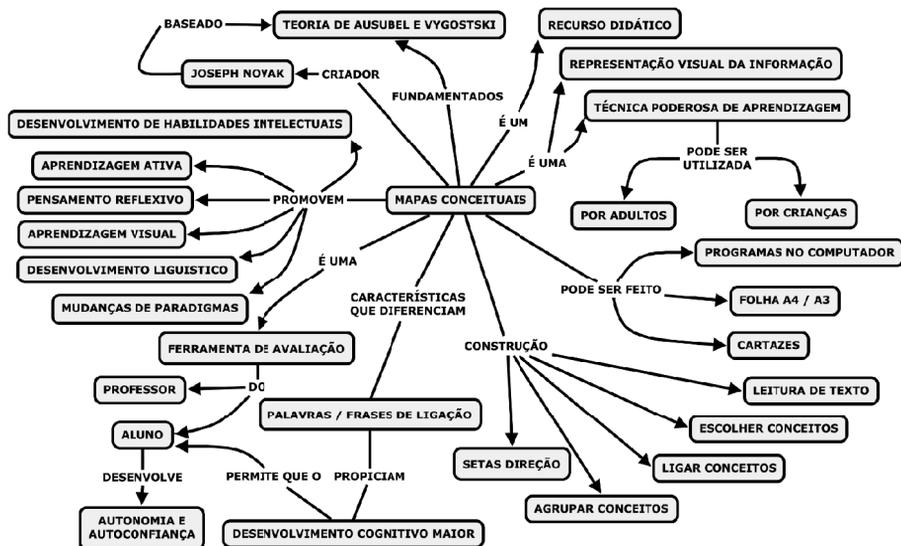


Figura 1 - Caracterização do mapa conceitual no processo de ensino aprendizagem. (Novak; Gowin, 1999)

A utilização dos mapas conceituais para o planejamento de projetos interdisciplinares.

Na elaboração de projetos podem-se empregar os conceitos de aprendizagem organizacional de Pawlowsky, ilustrados na Figura 2, que, de acordo com Reyes e Barberá (2004), consistem em identificar as dimensões fundamentais do processo e analisar as ações específicas a empreender de modo a permitir uma melhor compreensão de suas origens, seu desenvolvimento e seus efeitos. Ainda de acordo com Reyes e Barberá, Pawlowsky estabelece distinções entre os diferentes estágios de aprendizagem organizacional, de modo a atribuir a cada uma dessas fases as ferramentas e recursos adequados aos objetivos propostos:

A fase de identificação é a localização de informações que possam ser relevantes para a aprendizagem; a fase de geração refere-se à criação de novos conhecimentos; a terceira fase é a difusão do conhecimento através dos diferentes níveis (individual, grupal, organizacional) envolvidos no processo; a quarta fase é a integração do conhecimento gerado e disseminado nas 'estruturas cognitivas', geralmente chamadas de 'sistemas de conhecimento' da organização; a quinta e última fase envolve a transformação do conhecimento em ação e seu efeito no padrão de comportamento organizacional. (Pawlowsky apud Reyes; Barberá)

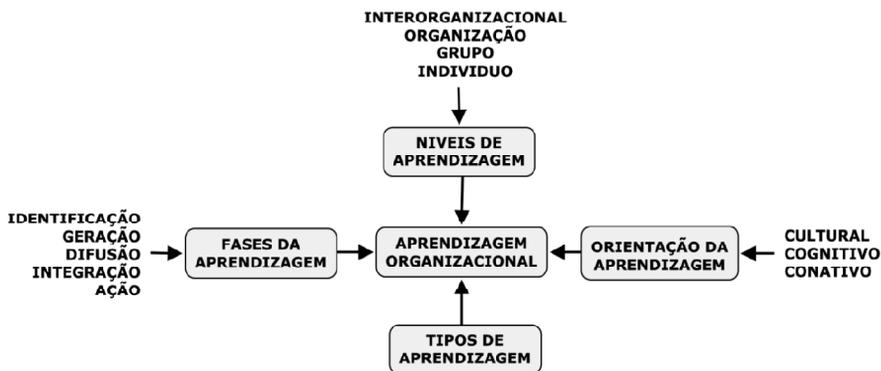


Figura 2 - Quadro de aprendizagem organizacional de Pawlowsky. (Reyes; Barberá)

Levando em consideração o uso do mapa conceitual em planejamento de projetos interdisciplinares, esta estratégia foi aplicada para planejar e definir projetos de estudos e pesquisa interdisciplinar em espaço não formal de Clube de Ciências com estudantes do Ensino Fundamental e Médio. Na elaboração e execução das ações propostas utilizou-se o mapa conceitual como instrumento para a organização e planejamento das atividades a partir de um tema central, construindo-se uma visão global e estruturada do conhecimento prévio para desenvolver ações relativas a três temas geradores: Aquecimento Global, Viagem ao Espaço e Energia. Este mapa é mostrado na Figura 3.

A estratégia permitiu a proposição de projetos em biologia, geociências, química e física que puderam ser trabalhados de forma interdisciplinar, levando os estudantes a compreender as interrelações entre essas ciências.

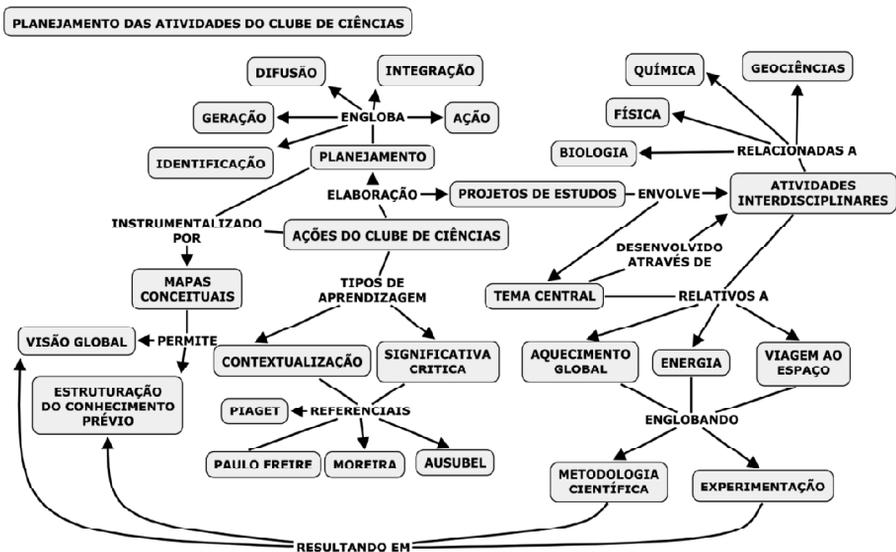


Figura 3 – Mapa de organização e planejamento das atividades do Clube de Ciências.

A estrutura de um clube de ciências

O ensino de ciências requer a utilização de metodologias capazes de tornar as atividades cada vez mais criativas e principalmente proporcionar situações que permitam a contextualização do conteúdo frente à realidade do educando. Para que o aluno aprenda, ele deve ser estimulado a estabelecer relações com o ambiente, ter posicionamento em relação à sociedade, compreender a influência e a importância que a Ciência e a Tecnologia envolvidas no respectivo conteúdo têm em sua vida e, então, por consequência, ter atitudes refletindo a assimilação e o aprendizado do conteúdo sendo estudado. A responsabilidade da elaboração de atividades neste contexto recai sobre o professor do qual se exige conhecimento, criatividade e competência para levar essas questões para a sala de aula. Mas uma formação inadequada, uma carreira não estimulante, uma rígida estrutura administrativa e curricular dificultam a dedicação capaz de proporcionar aulas estimulantes.

No entanto, mesmo com tais dificuldades e partindo do princípio que estas dificuldades possam ser superadas ou contornadas, um Clube de Ciências tem a finalidade de criar um ambiente propício para o ensino-aprendizagem tendo como base a Ciência, a Tecnologia, a Sociedade e Meio Ambiente, já que as questões científicas não estão isoladas do contexto social, político, ambiental

e econômico dos estudantes. A Figura 4 resume as características estruturais de um Clube de Ciências. O Clube de Ciências apresenta-se como local onde as atividades são desenvolvidas em horário de contra turno, sendo voltadas ao estudo, ao desenvolvimento de projetos e debates sobre temas que envolvem ciências. É um local onde os sócios expõem suas ideias, suas curiosidades e buscam construir os conhecimentos, usando a metodologia científica (Silva et al. 2008; 2009; Mayer et al. 2009, Andrade, 2007; Dayrell, 1999).

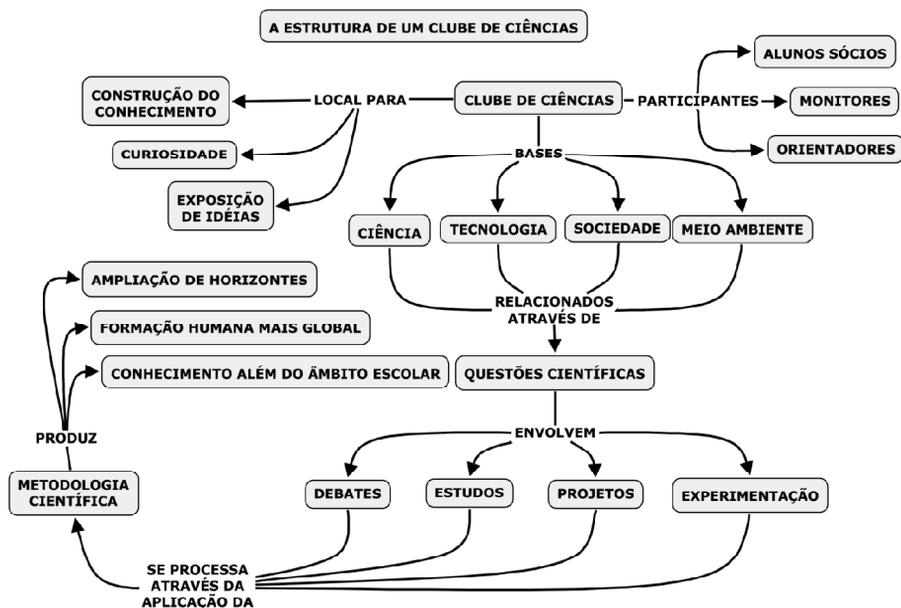


Figura 4 – Mapa da estrutura organizacional do Clube de Ciências.

Diante deste contexto, o Grupo de Instrumentação para o Ensino de Física (GIEF), do Departamento de Física da Universidade Estadual de Ponta Grossa, desenvolve o projeto de extensão “Criação de Clubes de Ciências”, que está inserido no do programa “Universidade Sem Fronteiras”, subprograma “Apoio às Licenciaturas” da Secretaria de Estado de Ciência, Tecnologia e Ensino Superior do Estado do Paraná no Brasil (SETI - PR). O projeto, do ponto de vista de extensão, se propõe a disseminar e a criar espaços não formais nas escolas de Ensino Básico que permitam a discussão de temas importantes para o cotidiano da sociedade, proporcionando uma forma diferenciada do aluno aprender Ciências. Outro objetivo do projeto, esse de característica mais acadêmica, é contribuir para a formação de professores proporcionando aos acadêmicos das áreas das

Ciências Naturais a interação com os estudantes e seu cotidiano e a escola em um ambiente sem a rigidez da sala de aula. Este convívio e a possibilidade de aprofundar estudos seguindo uma metodologia científica fornecem uma rica experiência extracurricular (Silva et al. 2008; 2009; Mayer et al. 2009).

O planejamento de projetos interdisciplinares em um clube de ciências

Para a elaboração de um projeto interdisciplinar ou multidisciplinar, é necessário que exista uma equipe disposta a trabalhar em grupo e que reconheça a importância bem como identifique as relações entre os conceitos fundamentais de cada disciplina. Isso facilita a escolha do tema inclusivo que deve ser reconhecido tanto pelo grupo que planeja quanto pelo grupo alvo do processo de aprendizagem.

Mapas conceituais facilitam o reconhecimento interdisciplinar a partir de um tema gerador. É fundamental escolher um tema que seja inclusivo e que faça sentido para todos os participantes envolvidos no processo possibilitando a diferenciação progressiva, com a inserção dos conceitos âncoras ou subsunçores, esses oriundos do conhecimento prévio de cada membro envolvido (Moreira, 1998; 2006a).

Os Parâmetros Curriculares Nacionais para Ensino Médio (PCNEM) – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias (Brasil, 2002; Kawamura; Hosoume, 2003), as Orientações Curriculares para o Ensino Médio (OCEM) – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias (Brasil, 2006) e Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) – Terceiro e Quarto Ciclos do Ensino Fundamental: Ciências Naturais (1998) colocam em destaque o ensino contextualizado e interdisciplinar a partir de eixos temáticos e temas transversais – PCN, e temas estruturadores e temas transversais – PCNEM.

No ensino fundamental o primeiro contato dos estudantes com os conceitos das ciências naturais é pela disciplina de ciências que poderia ser desenvolvida naturalmente de forma interdisciplinar. Segundo a proposta dos PCN, os eixos temáticos são: Terra e universo, Vida e ambiente, Ser humano e saúde e Tecnologia e sociedade (1998). Excelentes temas para fornecer aos estudantes explicações com fundamentos científicos sobre o cosmos, os fenômenos da natureza, condições adequadas para a vida saudável, benefícios das inovações tecnológicas e suas interações com o ser humano, sua vida em sociedade e o meio ambiente do ponto de vista indo da escala micro à macro.

De certa forma, esses documentos propõem que as Ciências Naturais – PCN ou as Ciências da Natureza – PCNEM (1998; 2002; Kawamura; Hosoume) sejam explicadas no contexto de vida dos estudantes, partindo de seu cotidiano. Portanto, considerando o mapa conceitual como uma ferramenta que pode ser usada de várias maneiras (Moreira, 2006a; 2006b), neste contexto de planejamento de projetos interdisciplinares em ciências naturais ou da natureza, a construção de um mapa conceitual usando esses temas propostos nos PCN ou PCNEM como conceito inclusivo é bastante oportuno.

Se o objetivo é a aprendizagem e o reconhecimento desta interdisciplinaridade por parte dos estudantes, então é essencial que se explore o seu conhecimento prévio com projetos adequados às suas condições de trabalho, de conhecimento e estudo. Dentro de uma perspectiva Ausubeliana, isso implica em realizar a diferenciação progressiva até os subsunçores, definir os projetos de estudo e pesquisa que explorem novos conceitos que irão se ancorar nos mesmos. No entanto, a interdisciplinaridade e a visão global da interligação entre as ciências naturais só serão reconhecidas pelos estudantes se a reconciliação integrativa for realizada no final de cada projeto ou à medida que novos conceitos sejam aprendidos (Moreira, 1998; 2006a).

Para iniciar um projeto interdisciplinar usando mapas conceituais é importante analisar o contexto de trabalho, os objetivos, o grupo de trabalho e a comunidade a qual será atendida.

O desenvolvimento da proposta foi realizado no âmbito de um Clube de Ciências com estudantes de escolas públicas estaduais de cidades com baixo índice de desenvolvimento humano (IDH) do Paraná, de ensino fundamental e médio. Eles foram orientados pela equipe do projeto composta por acadêmicos de licenciaturas em física, química e biologia, e professores da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Em geral, durante o ano os clubes desenvolveram estudos sobre um tema escolhido pelos estudantes. A partir do tema os professores e acadêmicos elaboraram uma dinâmica de planejamento com a construção de mapas conceituais. Esta dinâmica é reproduzida com participação dos estudantes integrantes dos clubes os quais montam também seus próprios mapas conceituais sobre o tema em tela.

Assim, exposto o tema os acadêmicos listavam conceitos relacionados e então montavam o mapa conceitual usando-se os elementos de ligação. Alguns elementos de ligação fizeram surgir novos conceitos contribuindo para a coerência do mapa. Em princípio isto poderia levar a um direcionamento do mapa, todavia também poderia ser mais uma forma externar conceitos não lembrados e contribuir para a sua fixação junto aos outros conceitos. Com uma

equipe interdisciplinar os conceitos surgidos eram naturalmente dotados dessa característica, mas à medida que o processo avançava a disciplinaridade surgia em ramos específicos.

Sabe-se que a utilização dos mapas não garante a aprendizagem interdisciplinar e o reconhecimento das interligações entre os conceitos, entretanto é importante que se proceda a reconciliação integrativa, que envolve a discussão e comparação dos mapas produzidos. Por isso, com a intenção de efetivar a reconciliação integrativa, a cada reunião semanal nos clubes todos os grupos apresentavam os trabalhos desenvolvidos e no final de cada ano uma apresentação de todos os trabalhos concluídos foi feita para a comunidade onde a escola se insere.

Aquecimento global: tema em tela em um clube de ciências

No primeiro ano os estudantes e acadêmicos não tinham uma noção clara do trabalho que poderia ser desenvolvido em um clube de ciências. Assim, foi proposto pelos professores o tema “Aquecimento global”, tema que atualmente está em destaque na mídia e no cotidiano dos estudantes em virtude dos fenômenos climáticos, e mais pontualmente naquele momento um fato se destacava e reforçou a escolha pela equipe: a aventura do padre paranaense Adelir de Carli, esse tema também contempla plenamente as propostas dos PCN e PCNEM (Brasil, 1998; 2002; Kawamura; Hosoume).

Os acadêmicos desenvolveram o mapa conceitual apresentado na Figura 5. A diferenciação progressiva foi desenvolvida até o ponto em que surgiam conceitos importantes das disciplinas onde projetos de investigação poderiam ser realizados para uma aprendizagem significativa. E os acadêmicos atribuíram maior importância a projetos que envolviam experimentos visto que os estudantes dos clubes não tinham aulas em laboratórios. Todos os projetos desenvolvidos seguiram aos critérios de observação, hipótese, experimentação, análise de dados e conclusão.

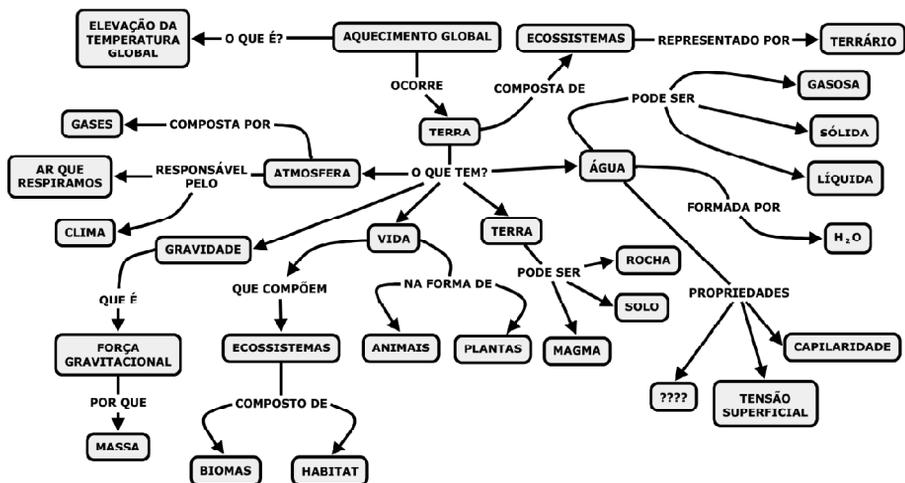


Figura 5 – Mapa conceitual do tema gerador Aquecimento global.

Em uma assembleia do clube os estudantes montaram, em grupo, seus próprios mapas a partir de uma dinâmica onde eram incitados a escrever uma lista de conceitos relacionados ao aquecimento global e aos conceitos. Os grupos foram naturalmente formados com estudantes da mesma série ou faixa etária o que permitiu observar que os mais velhos construíam mapas mais detalhados e maior profundidade de ramificação. Além disso, a ramificação mais destacada por eles ocorreu nos conceitos de maior interesse de aprendizagem (Mayer et al, 2009; Veronez et al, 2009a; Silva et al, 2009).

Para observação do problema do aquecimento global os estudantes montaram um terrário e fizeram observações sobre as mudanças que nele ocorriam. Foram desenvolvidos estudos sobre: a água (estrutura molecular, tensão superficial, capilaridade, densidade e tratamento); a evolução e reprodução das plantas; crescimento de bactérias; uso do microscópio; vulcão; pressão; empuxo e clima (com a montagem de uma estação meteorológica com materiais de fácil acesso e baixo custo). E como fato pontual, destaca-se a discussão e estudo realizado sobre a aventura do padre paranaense Adelir de Carli porque os estudantes reconhecerem o erro da aventura, mas poucos compreendiam, até então, os fenômenos climáticos envolvidos, sobre GPS ou outros equipamentos tecnológicos necessários para uma aventura com essa (Veronez et al, 2009a; 2009b; Silva et al, 2009; Colmann et al, 2009).

Um convite feito aos membros de um clube de ciências: vamos viajar ao espaço?

No segundo ano, como era o Ano Internacional da Astronomia, decidiu-se pelo tema: “Vamos viajar ao espaço?”. Não é preciso dizer que o tema, além de ser atual, estava em constância na mídia e contempla tanto os PCN e os PCNEM (Brasil, 1998; 2002; Kawamura; Hosoume). A partir das necessidades essenciais para realizar uma viagem simples, os acadêmicos e depois os estudantes, montaram uma lista de conceitos que resultou no mapa conceitual da Figura 6 no qual é possível observar os elementos resultantes das dinâmicas realizadas. Evidentemente que o mapa conceitual poderia ir além e ser mais ramificado, no entanto foi construído pelo grupo no momento inicial das atividades e neste ponto atendia aos objetivos propostos. Foram identificadas necessidades relacionadas à comunicação, a vestimentas, aos transportes e aos alimentos. Tais necessidades resultaram em trabalhos sobre: calorias dos alimentos; alimentos desidratados; aquecedor solar; condução térmica; calor; temperatura; foguetes; foguete à pressão; combustíveis; satélites; o olho humano; ótica geométrica e construção de uma luneta de Galileu (Gaudêncio et al, 2010; Passoni et al, 2010a; 2010b).

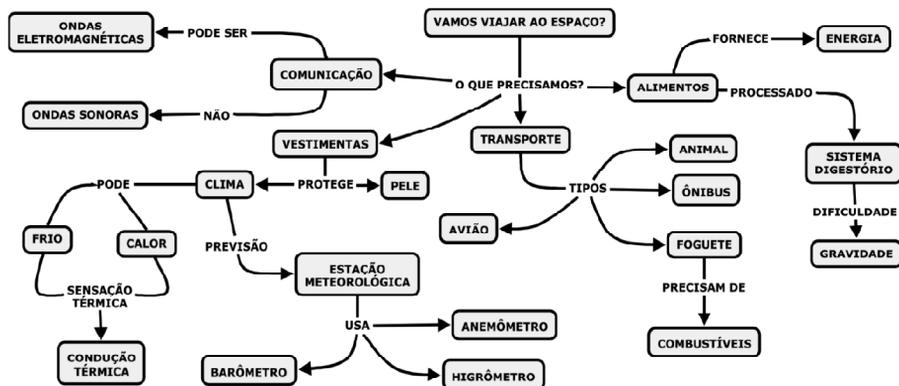


Figura 6 – Mapa conceitual do tema gerador Vamos viajar ao espaço?.

Energia: o princípio de conservação e as relações entre geração e utilização

No terceiro ano o tema gerador foi energia, a partir do qual os estudantes trabalharam com a proposição da montagem da maquete de um parque de diversões, forma na qual o tema estava totalmente inserido em um contexto próprio da idade dos estudantes integrantes dos clubes e em pleno acordo com os PCN e PCNEM (Brasil, 1998; 2002; Kawamura; Hosoume). Assim, Foram

desenvolvidas oficinas acerca dos principais modos de geração de energia com uma atenção especial ao princípio de conservação de energia. O mapa conceitual proposicional das atividades relativas ao tema energia é mostrado na Figura 7.

Para trabalhar o conceito de energia, transformações, fontes e utilização da energia, o motor simples tem um grande potencial e apelo didático para ser usado em clubes de ciências e salas de aulas do ensino formal. Tal procedimento deve-se ao fato de que em avaliação prévia foi observado que a maioria do grupo associou energia a aparelhos que funcionam usando o motor elétrico. O motor simples nada mais é do que uma bobina móvel ligada a uma bateria e próxima a um ímã permanente, utilizada para demonstrar a interação do campo magnético da bobina e do ímã. Esta interação causa na bobina um movimento rotativo, princípio básico dos motores elétricos. Na sequência das atividades foram trabalhados outros processos envolvendo formas diferentes de energia tais como processos de geração e ou transformação de formas de energia como, por exemplo: hidroelétricas, termoeétricas, baterias, geradores eólicos e geradores solares fotovoltaicos.

A construção de baterias e pilhas permitiu o estudo da energia química e conceitos como reações químicas, oxi-redução e ácidos e bases. Por outro lado, a produção de biodiesel permitiu o estudo de síntese química, calor de combustão, calorias, viscosidade e a ação poluente dos combustíveis. Foram abordados ainda aspectos relacionados à energia dos alimentos. Para finalização do projeto foi montada uma miniatura de um parque de diversões usando todas as formas de transformação de energia estudadas.

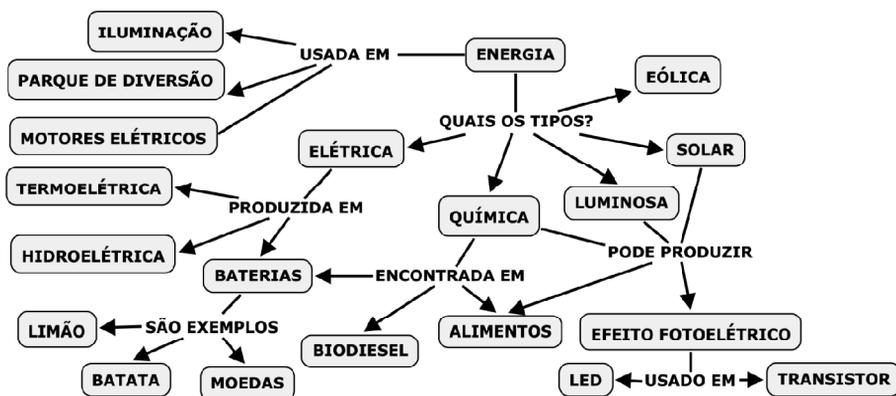


Figura 7 - Mapa conceitual do tema gerador Energia.

Com a realização dessas atividades percebeu-se que o ensino praticado nas escolas é calcado nos moldes tradicionais, apoiado apenas no uso do giz e quadro negro. Isto é percebido quando os alunos não conseguem entender os fenômenos físicos de um objeto tecnológico como um todo. O resultado final das atividades foi que a experimentação em clubes de ciências é um fator determinante para facilitar a compreensão mais aprofundada dos conceitos trabalhados no ensino formal.

Comentários sobre o uso de mapas conceituais em clubes de ciências

Em cada projeto desenvolvido surgem para os estudantes novos conceitos que se ancoram nos conceitos já conhecidos. Mapas conceituais podem ser construídos a partir dos conceitos ancoras permitindo aos estudantes a visualização da evolução de sua aprendizagem.

Deve-se observar que cada mapa traduz a visão do indivíduo ou grupo que o monta, isto precisa ser preservado para que a ancoragem de novos conceitos seja significativa. Mas deve-se limitar o número inicial de conceitos para evitar que se torne confuso e sem objetividade. A maior intervenção tolerada é a sugestão de elementos de ligação. Os mapas gerados nestes trabalhos, relatados anteriormente, geraram projetos e estudos que dariam conta do desenvolvimento curricular das disciplinas formais.

Conclusões

O uso de mapas conceituais no processo de planejamento e execução de projetos tem sido cada vez maior em função das facilidades de visualização e de exposição dos problemas e estratégias de solução que são encontrados, convertendo-se em um banco de recursos facilitador da determinação de competências e habilidades necessárias para a execução e desenvolvimento das proposições elaboradas em tal planejamento. E com este trabalho, pode-se ressaltar que o uso de mapas conceituais para o planejamento e execução de projetos permite:

- identificar as carências que geraram o problema, permitindo identificar e localizar as informações e conhecimentos capazes de suprir tais carências;
- gerar e disseminar o conhecimento em nível interorganizacional;
- integrar os diversos níveis e áreas de conhecimento;

- orientar sobre os conceitos fundamentais bem como indicar como estão vinculados e

- permitem representar iconograficamente um modelo didático que pode introduzir ao estudante novas concepções sobre o conhecimento e os processos de aquisição e desenvolvimento do mesmo.

Finalmente, os mapas conceituais constituem-se num instrumento pelo qual os estudantes podem aprender e representar seu próprio conhecimento, em um processo de aprendizagem colaborativo que requer que os mesmos compreendam que a aprendizagem decorre da indagação e que o conhecimento é uma propriedade que emerge quando se trabalha com as interações e interpretações adequadas das informações disponíveis.

Agradecimentos

Agradecemos o apoio da direção do Colégio Estadual Claudino dos Santos, em Ipiranga – PR, da Escola Estadual João Negrão, em Teixeira Soares – PR e da SETi/Programa Universidade Sem Fronteiras.

Referências

ANDRADE, K. A.; COSTA, M. C. D. Clube de Ciências e Cultura – uma integração escola e sociedade. **Revista Eletrônica Trabalho e Educação em Perspectiva**, n.2, Belo Horizonte: NETE – UFMG. 2007.

BRASIL. Ministério da Educação e do Desporto. Secretaria de Educação Fundamental Parâmetros Curriculares Nacionais: Terceiro e Quarto Ciclos do Ensino Fundamental – Ciências Naturais. Brasília: MEC/SEF, 1998. 139 p.

_____. Ministério da Educação e do Desporto. Secretaria de Educação Média e Tecnológica PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC/SEMTEC, 2002. 144 p.

_____. Ministério da Educação e do Desporto. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Orientações curriculares para o ensino médio. v.2. Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias / Secretaria de Educação Básica. – Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2006. 135 p.

COLMAN, J.; MAYER, N.; VERONEZ, W. M.; SILVA, J. B. da; BRINATTI, A. M.; DA SILVA, S. L. R.. Utilização de reportagens sobre acontecimentos que causaram impacto na sociedade no processo de ensino-aprendizagem em ambiente não formal. In: **Anais do I Simpósio Nacional de Ensino de Ciência e Tecnologia - I SINECT**, Ponta Grossa, PR: PPGECT-UTFPR, 2009. v.1. p. 462-471.

DAYRELL, J. **A escola como espaço sociocultural: múltiplos olhares sobre a educação**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 1999. p 136-161.

GAUDÊNCIO, J. da S.; MATSUSHITA, A. F. Y.; DA SILVA, S. L. R.; BRINATTI, A. M.; SILVA, J. B. da. O caráter ácido-base de substâncias do nosso cotidiano uma atividade em um clube de ciências. In: **Anais do II Simpósio Nacional de Ensino de Ciência e Tecnologia - II SINECT**, Ponta Grossa, PR: PPGECT-UTFPR, 2010. v.1. p. 1-12.

KAWAMURA, M. R. D.; HOSOUME, Y. A Contribuição da física para um novo ensino médio. **Física na Escola**, v.4, n.2, 2003.

MAYER, N.; SILVA, J. B. da; DA SILVA, S. L. R.; BRINATTI, A. M.; PASSONI, S.; COLMAN, J. Clubes de ciências como projeto de extensão para a melhoria do ensino básico. In: **Anais do X Congresso Iberoamericano De Extensión Universitaria** - Extenso 2009, Montevideo - Uruguay: Universidad De La Republica, 2009, v. 1. p. 1.

MOREIRA, M. A. **Teorias de aprendizagem**. São Paulo: EPU, 1999. 195 p.

_____. **A teorias da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula**. Brasília: UnB, 2006a. 186 p.

_____. **Mapas conceituais e diagramas V**. Porto Alegre: Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2006b, 103p.

_____. **Aprendizagem significativa crítica**. Porto Alegre: IFUFRGS, 2010. 24p. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/~moreira/apsigcritport.pdf>> Acesso em: dezembro de 2010.

NOVAK, J. D. ; GOWIN, D. B. **Aprender a aprender**. Tradução de Carla Valadares. 2 ed. Portugal: Plátano Edições Técnicas, 1999. 212p.

NOVAK, J. D. A science education research program that led to the development of the concept mapping tool and a new model for education. In: **Concept Maps: Theory, Methodology, Technology**. Proc. of the First Int. Conference on Concept

Mapping. Eds. A. J. Cañas, J. D. Novak, F. M. González, Eds. Pamplona, Spain 2004. Disponível em: <<http://cmc.ihmc.us/papers/cmc2004-286.pdf>> Acesso em: dezembro de 2010.

NOVAK, J. D. ; CAÑAS, A. J.. The universality and ubiquitousness of concept maps. In: **Concept Maps: Making Learning Meaningful**. Proc. of the Fourth Int. Conference on Concept Mapping. Eds. J. Sánchez, A. J. Cañas, J. D. Novak, Eds. Viña de Mar, Chile, 2010. Disponível em: <<http://cmc.ihmc.us/cmc2010papers/cmc2010-p1.pdf>> Acesso em: dezembro de 2010.

PASSONI, S.; MAIER, N.; SILVA, J. B. da; BRINATTI, A. M.; DA SILVA, S. L. R.. Contribuição para o Ensino de Ciências através de uma atividade experimental de condutividade térmica. In: **Anais do II Simpósio Nacional de Ensino de Ciência e Tecnologia – II SINECT**, Ponta Grossa, PR: PPGECT-UTFPR, 2010a, v.1. p. 1-14.

_____. Contribuição para o Ensino de Ciências por meio de uma atividade experimental de condutividade térmica. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 3, p. 32-48, 2010b.

REYES, E. de L. ; BARBERÁ, D.. Los mapas conceptuales como herramienta de aprendizaje organizacional: aproximación a un marco teórico y presentación de resultados parciales de un proyecto. In: **Concept Maps: Theory, Methodology, Technology**. Proc. of the First Int. Conference on Concept Mapping. Eds. A. J. Cañas, J. D. Novak, F. M. González, Eds. Pamplona, Spain 2004. Disponível em: <<http://cmc.ihmc.us/papers/cmc2004-183.pdf>> Acesso em: dezembro de 2010.

SILVA, J. B. da; COLMAN, J.; BRINATTI, A. M.; DA SILVA, S. L. R.; PASSONI, S. Projeto criação clubes de ciências. **Revista Conexão UEPG**, v. 1, p. 63-66, 2008.

SILVA, J. B. da; BRINATTI, A. M.; DA SILVA, S. L. R.. Clubes de Ciências: uma alternativa para a melhoria do ensino e alfabetização científica nas escolas. In: **Anais do XVIII SNEF**, 2009, Vitória - Es. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xviii/sys/resumos/T0301-1.pdf>> Acesso em: dezembro de 2010.

VERONEZ, W. M. ; SCHIBICHESKI, B. C. E. ; SUTIL, E.; BRINATTI, A. M. ; SILVA, J. B. da; DA SILVA, S. L. R. A utilização do terrário para conscientização ambiental de estudantes do ensino básico. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 2(3), p. 31-40, 2009a.

VERONEZ, W. M. ; BRINATTI, A. M. ; RIFERT, R.; SILVA, J. B. da; COLMAN, J. ; DA SILVA, S. L. R.. A utilização de um terrário como tema gerador para estudar fenômenos relacionados ao aquecimento global em um Clube de Ciências. In: **Anais do I Simpósio Nacional de Ensino de Ciência e Tecnologia - I SINECT**, Ponta Grossa, PR: PPGECT-UTFPR, 2009b. v.1. p. 430-439.

Interdisciplinaridade e processo seletivo para a graduação: da influência inevitável à interação desejável

Ricardo Gauche

No parecer do Conselho Nacional de Educação sobre a Reforma do Ensino Médio (Brasil, 1998), é explicitado o fato de a organização curricular desse nível de ensino brasileiro ter tido “como referência mais importante os requerimentos do exame de ingresso à educação superior” (p. 7). A razão atribuída ao fato, segundo o parecer, fundamentando-se em farta e conhecida documentação, é resumida à constatação de que os poucos que conseguem vencer a barreira da escola obrigatória e que chegam ao Ensino Médio destinam-se, majoritariamente, aos estudos superiores para concluir sua formação pessoal e profissional. Tal demanda, a de desejar a ascensão ao ensino superior, é incontestavelmente visível na sociedade (Gauche, 2001).

No que concerne ao papel das universidades, o parecer defende que

Do comportamento das universidades e outras instituições de ensino superior dependerá também, em larga medida, o êxito da concretização destas diretrizes curriculares para o ensino médio, com o qual elas mantêm dois tipos de articulação importantes: como nível educacional que receberá os alunos egressos e como responsável pela formação dos professores.

No primeiro tipo de articulação está colocada toda a problemática do exame de ingresso no ensino superior, que, até o presente, tem sido a referência da organização curricular do ensino médio. A continuidade de estudos é e continuará sendo – com atalhos exigidos pela inserção precoce no mercado de trabalho, ou de modo mais direto – um percurso desejado por muitos jovens que concluem a educação básica. E possível, com diferentes graus de dificuldades, para uma parte deles.

O ensino superior está, assim, convocado a examinar sua missão e seus procedimentos de seleção, na perspectiva de um ensino médio que deverá ser mais unificado quanto às competências dos alunos e mais diversificado quanto aos conhecimentos específicos que darão suporte à constituição dessas competências. E deverão fazê-lo com a ética de quem reconhece o poder que as exigências para ingresso no ensino

superior exercem, e continuarão exercendo, sobre a prática curricular e pedagógica das escolas médias.

A preparação de professores, pela qual o ensino superior mantém articulação decisiva com a educação básica, foi insistente e reiteradamente apontada como a maior dificuldade para a implementação destas DCNEM, por *todos* os participantes, em *todos* os encontros mantidos durante a preparação deste parecer. Maior mesmo que os condicionantes financeiros. Uma unanimidade de tal ordem possui peso tão expressivo que dispensa maiores comentários ou análises. Um peso que deve ser transferido às instituições de ensino superior, para que o considerem quando, no exercício de sua autonomia, assumirem as responsabilidades com o país e com a educação básica que considerem procedentes. (Brasil, 1998, p. 69-70).

Do trecho acima, ressaltamos, para nossa análise, o “poder que as exigências para ingresso no Ensino Superior exercem, e continuarão exercendo, sobre a prática curricular e pedagógica das escolas médias”.

Para melhor situar esse poder ao longo da história da educação brasileira, encontramos em Costa (1995) interessante e rica revisão sobre o acesso ao ensino superior, da qual nos utilizaremos a seguir.

Por meio da Lei Orgânica do Ensino Superior e do Fundamental na República, Decreto N.º 8.659, de 5 de abril de 1911, conhecida como Reforma Rivadávia, este então Ministro da Justiça e Negócios Interiores, sob a Presidência da República exercida pelo Marechal Hermes da Fonseca, almejou-se que o então nível médio tivesse papel formador de cidadãos, superando a perspectiva de mero promotor ao nível superior, transferindo os processos seletivos para ingresso no ensino superior para as faculdades.

No decreto supracitado, o processo seletivo destinado ao ingresso no ensino superior é referido como “exame de admissão”. Destaca-se, para os fins deste capítulo, o Art. 6.º:

Pela completa autonomia didática que lhes é conferida, cabe aos institutos a organização dos programas de seus cursos, devendo os do colégio Pedro II revestir-se de prática e libertar-se da condição subalterna de meio preparatório para as academias. (grifo nosso)

Depreende-se, do texto do artigo e do grifo realizado, que a inevitável influência destacadamente negativa dos processos seletivos não é recente na história da educação brasileira, ratificando a procedência do alerta expresso no parecer supracitado (Brasil, 1998).

As exigências para requer matrícula nos institutos de ensino superior (Art. 64) recaíam na prova de ter idade mínima de 16 anos e de ter idoneidade moral. Do exame de admissão em si constava “prova escrita em vernáculo”, que revelasse a “cultura mental” que se queria verificar e “de uma prova oral sobre línguas e ciências” (Art. 65, § 1.º).

Quatro anos depois, por meio do Decreto N.º 11.530, de 18 de março de 1915, conhecido como Reforma Carlos Maximiliano, então Ministro da Justiça e Negócios Interiores, agora sob a Presidência da República exercida por Venceslau Brás, reorganiza o ensino secundário e o superior. Surge a denominação “exame vestibular”, em lugar de “exame de admissão”, agora como exame de saída, cuja aprovação se junta aos dois critérios de idade mínima e idoneidade moral, exigidos no decreto anterior. O exame vestibular compreendia provas escrita e oral. A escrita consistia “na tradução de um trecho fácil de um livro de literatura francesa e de outro de autor clássico alemão ou inglês, sem auxílio de dicionário” (Art. 80). No mesmo artigo, incluiu-se um parágrafo, único, que proibia “a inclusão do título dos livros que” serviriam para o exame, fosse “no Regimento Interno ou nos programas dos cursos”, o que denota a preocupação de evitar a determinação do que ser estudado no ensino secundário, reafirmando o esforço contrário à influência negativa sobre esse nível do sistema de ensino, à época.

Já a prova oral versava “sobre Elementos de Física e Química e de História Natural, nas *Escolas de Medicina*; sobre Matemática Elementar, na *Escola Politécnica*; e sobre História Universal, Elementos de Psicologia e de Lógica e História da Filosofia por meio da exposição das doutrinas das principais escolas filosóficas, nas *Faculdades de Direito*” (Art. 81, grifo nosso). O destaque indica claramente, assim o entendemos, uma opção contrária a uma visão interdisciplinar do conhecimento escolar, de certa forma excluindo as Ciências da Natureza dos exames voltados aos cursos de Engenharia e de Direito.

Em 1925, com a Reforma João Luiz Alves/Rocha Vaz, o exame vestibular, antes um exame de saída, passa a ser um “exame de ingresso”, acentuando-se seu caráter “seletivo-discriminativo”, com a introdução de um número limite (*numerus clausus*) para ingresso nas instituições de ensino superior, ou seja, só era possível ser aprovado dentro de um número de vagas definido (Costa, 1995).

Ao analisarmos o período 1940/1960, é possível constatar o esperado, considerada a própria história do nosso país: aumento gradativo e expressivo de candidatos, carência de vagas disponíveis nas faculdades, com decorrente realização de exames sucessivos para a mesma instituição de ensino superior – IES –, antes desnecessária, pela baixa demanda.

Especificamente na década de 1950, cada IES organizava seus exames vestibulares, por meio de provas discursivas, provas escritas e provas orais. Em 1953, a Escola Paulista de Medicina introduz um teste de inteligência, passando, no ano seguinte, a adotar, pela primeira vez, o sistema de provas objetivas.

Na década seguinte, até por conta do desenvolvimento econômico do país, na chamada Era JK, constata-se um crescimento acentuado da demanda às escolas superiores. Para se ter uma ideia desse crescimento, “de aproximadamente 100.000 matrículas em 1960 nos cursos superiores, o contingente passou para mais de 800.000 em 1973” (Costa, p. 6). Como decorrência do aumento na demanda por vagas foram implantadas modificações na forma de seleção, abolindo-se, por razões óbvias, provas orais. Adotaram-se, em grande escala, os chamados testes objetivos, que, por meio de leitura mecânica, via computador, “podiam ser corrigidos com precisão e rapidez”, além de atenderem os “requisitos de validade e fidedignidade exigidos pela teoria das medidas educacionais” (Costa, p. 6).

Por meio do Parecer 58, de 1962, o então Conselho Federal de Educação estabeleceu a natureza classificatória do exame vestibular. O primeiro exame unificado aconteceu em 1964, em São Paulo, envolvendo instituições que ofereciam cursos de biologia.

O problema enfrentado pelas IES em função do crescimento da demanda foi agravado no final da década de 1960, o que resultou na denominada “crise dos excedentes” (Costa, p. 6), já que, mesmo aprovados, muitos não conseguiam a vaga pretendida. Somado a isso o contexto político, registrou-se a Lei 5.540, de 1968, que implicou alteração na própria natureza do exame vestibular, que passou de habilitatório a classificatório. A pressão dos excedentes e a necessidade de se efetivar a Reforma Universitária sinalizada no decreto supracitado resultaram na criação, por meio do Decreto N.º 68.908, em 1971, de uma comissão voltada a assessorar o Ministério da Educação e Cultura em assuntos relacionados ao vestibular. Oficializou-se, então, a criação do denominado vestibular unificado, o que resolveu o problema dos excedentes, por serem disponibilizadas as vagas de todas as IES envolvidas.

Em 1977, o Decreto N.º 79.298 introduziu a exigência de um mínimo (discutível) de conhecimentos e a prova de redação, decorrentes de críticas aos testes objetivos, passando o exame vestibular a ser eliminatório.

A década de 1980 viu, por consequência da desunificação do exame vestibular, as IES experimentarem diferentes formas de selecionar candidatos. No entanto, privilegiar uma visão interdisciplinar e respeitar a natureza dos processos ensino-aprendizagem sob responsabilidade das escolas do nível básico continuaram ausentes na elaboração dos instrumentos utilizados. Sobre

a influência desses instrumentos na dinâmica escolar, é importante voltar ao início da década de 1960.

Com o expressivo aumento da demanda, surgiu a chamada *indústria dos cursinhos*, entendida como a interessada meramente no sucesso comercial oriundo do eficiente adestramento para a realização de provas de vestibular, sem qualquer compromisso com a qualidade do processo educativo, embora influenciasse, desde então, na produção de materiais didáticos e no sistema instrucional utilizado pelo professor em sua atuação no contexto escolar (Gauche; Tunes, 2000).

O sucesso dos cursinhos no adestramento para a aprovação em processos, cujas provas eram altamente previsíveis, levou a uma estrondosa valorização das apostilas neles utilizadas, capazes de incluir todo o conteúdo programático estipulado pelas IES. E aqueles relativos às ciências da natureza eram, como os demais, excessivamente extensos, incompatíveis com o tempo disponibilizado nas cargas horárias referentes aos respectivos componentes curriculares presentes na dinâmica escolar desenvolvida ao longo de três anos. E os cursinhos tinham o desafio de garantir a cobertura de todos os conteúdos, em cerca de quatro meses ou de nove meses, a depender da modalidade oferecida. Tal contingência resultou em estratégias elaboradas nos cursinhos, que acabaram por alterar, de modo nefasto, o trabalho educativo esperado das escolas.

Para ter êxito na cobertura de todo o conteúdo, os cursinhos criaram a estratégia das “frentes”, viabilizando a exposição paralela de diferentes conteúdos da mesma disciplina. Essa estratégia resultou na compartimentalização do conhecimento, recrudescendo a desvinculação de conteúdos intradisciplinares, com esperado distanciamento de qualquer abordagem epistemológica e desfavorecendo uma possível ação docente interdisciplinar, até por razões cronológicas, dessincronizados que se tornaram os tratamentos de diferentes conhecimentos historicamente articulados.

As apostilas obviamente incorporaram as “frentes”, situando conhecimentos sob diferentes denominações que retratavam fragmentação indesejável – por exemplo, *Química Geral e “Atomística”, Físico-Química, Química Orgânica; Mecânica, Ótica, Acústica, Eletricidade e Magnetismo; Citologia, Zoologia, Botânica etc...*

Para destacar as informações importantes, porque recorrentes nas provas, estas destacadamente previsíveis em seus questionamentos, foram criados os “boxes”, ou seja, as “caixinhas sombreadas”, portadoras de potenciais alertas de previsão de cobrança.

Para garantir a eficácia do adestramento, recursos mnemônicos foram incorporados ao material textual, com equivocada atribuição de *status* de conhecimento, enfatizando-se, ainda, exercícios ditos de “fixação”, esta

obviamente associada a um modelo transmissão-recepção-reprodução, com o fim de garantir repetição de procedimentos de resolução, não necessariamente decorrente de compreensão, muito pelo contrário. Nesse sentido, tornou-se comum reproduzir questões já aplicadas em exames vestibulares conceituados, todas obviamente semelhantes, garantindo o adestramento para o sucesso frente a esperadas similaridades em futuras provas.

A influência negativa, nefasta, exercida no contexto escolar, deu-se a partir do momento em que editoras perceberam que as apostilas, de sucesso estrondoso no âmbito dos cursinhos, poderiam ser transformadas em livros didáticos (Echeverria; Mello; Gauche, 2010), que, certamente, teriam garantido sucesso de vendas.

A conversão das apostilas em livros didáticos introduziu, além da estruturação textual adestradora, a própria dinâmica de estratégias dos cursinhos como referência das atividades docentes desenvolvidas nas escolas que passaram a adotá-los. Estava materializada a nefasta implantação de abordagem que distanciava, ainda mais, a escola de seus objetivos intrínsecos, com reflexos incontestáveis na qualidade metodológica e conceitual dos processos de ensino-aprendizagem desenvolvidos.

A avaliação desenvolvida no contexto escolar, componente fundamental do processo ensino-aprendizagem, incorporou a abordagem adestradora, com foco quase exclusivo na memorização/reprodução de procedimentos, por meio da também utilização de questões de vestibulares.

As “frentes” passaram a caracterizar a série do ensino secundário para a qual cada livro se destinaria, além de constar da dinâmica de distribuição de aulas aos docentes, que passaram a se “especializar” nesse ou naquele conjunto de conhecimentos disciplinares, resultando em isolamentos não só de potenciais abordagens interdisciplinares, mas, lamentavelmente, até intradisciplinares, desfigurando a própria natureza dos conhecimentos escolares trabalhados em correspondência aos científicos. “Verdades curriculares” passaram a impedir possíveis discussões de reorganização favorecedora de diálogos interdisciplinares para planejamento e avaliação. A localização de conhecimentos em determinada série passou a ser dogmática, tornando-se absurdo pensar, por exemplo, que, na primeira série do ensino secundário fosse “permitido” trabalhar ecologia em vez de citologia, já que “todos sabiam que se tratava de assunto da terceira série”; que, na primeira série, pudessem ser trabalhadas teorias de gases... Afinal, “Gases era sabidamente conteúdo de segunda série”. Enfim, pensando, por exemplo, em abordagem temática contextualizada e interdisciplinar, com enfoque epistemológico associado a cada disciplina envolvida, seria natural repensar ordenamentos, tanto em uma série quanto entre séries. No entanto, os livros didáticos, em seus volumes,

determinavam o que deveria ser trabalhado em cada série, inviabilizando muitos reordenamentos, pontuais ou globais. E tudo por influência primária dos processos seletivos sobre a dinâmica escolar. Primária e, sobretudo, negativa.

Em uma análise histórica, podemos concluir que a influência é inevitável, mas não necessariamente negativa. Como torná-la positiva? Eis a questão respondida há 16 anos, na Universidade de Brasília.

O Programa de Avaliação Seriada da Universidade de Brasília – PAS/UnB – foi criado em 1995, aprovado pelo Conselho de Ensino, Pesquisa e Extensão da UnB, em agosto daquele ano, após discussão com a comunidade escolar. Foi o primeiro Programa dessa natureza a ser implantado oficialmente em nível nacional.

O primeiro pressuposto do PAS/UnB assume exatamente que

os sistemas de acesso à Universidade têm uma influência inegável no ensino médio, tanto no conteúdo ministrado quanto no seu enfoque epistemológico. Os vestibulares, tais como vêm sendo feitos na maior parte das instituições de ensino superior, têm privilegiado o adestramento, o ensino livresco, fragmentado, alienante e anacrônico, e a memorização mecânica. *Aquela influência, entretanto, pode ser positiva se houver convergência entre o sistema de acesso e os objetivos próprios do ensino médio, como a formação da cidadania, a preparação geral para o trabalho e o desenvolvimento de competências e habilidades.* (UnB, s/d, p. 4, grifo nosso)

Desse modo, o que diferencia o PAS/UnB é precisamente a convergência entre o sistema de acesso e os objetivos próprios do ensino médio. Não se trata, portanto, de se ditarem currículos, mas de garantir que o que o processo seletivo utiliza para elaboração de suas provas respeita as propostas curriculares das escolas, o que se obtém com a participação efetiva dos professores do nível médio na deliberação dos objetos de avaliação do Programa (Mohry; Gauche, 1999).

O PAS configura-se como uma forma de integração entre os sistemas de Educação Básica e Superior, que *inclui* a seleção dos futuros estudantes universitários de modo gradual e sistemático. Nele, o acesso aos cursos de graduação da UnB é a culminância de um processo que se desenvolve ao longo do Ensino Médio, processo esse que está assentado na interação da Universidade com as escolas secundárias, em um diálogo constante com diretores, professores, estudantes, pais e demais componentes da comunidade escolar.

O Programa de Avaliação Seriada da Universidade de Brasília, criado para selecionar, de maneira sistemática e gradual, os futuros estudantes dos diversos cursos de graduação da UnB, é um conjunto de ações com o objetivo de implantar um processo seletivo alicerçado na integração da educação básica com a superior, visando à melhoria da qualidade do ensino em todos os níveis. O processo seletivo é realizado em três etapas, sempre no final de cada ano letivo, no qual podem participar somente os alunos matriculados no ensino médio regular de três ou quatro anos. Os objetos de avaliação das provas, assim como a forma de cobrá-los, são definidos por comitês formados por educadores do ensino médio, tanto de escolas públicas quanto de particulares, e por professores da UnB. Na perspectiva da integração entre os níveis do sistema educacional, três Fóruns Permanentes exercem papel fundamental: o de Professores, o de Estudantes e o de Pais.

A UnB oferece dois momentos de ingresso, correspondentes aos dois semestres letivos. Dessa forma, há ingresso para o primeiro semestre letivo de cada ano, para o qual há o Vestibular e o PAS/UnB, sendo destinadas 50% das vagas para cada um dos processos. Para o ingresso no segundo semestre letivo, somente o Vestibular é realizado, ocupando-se todas as vagas. Assim, o PAS/UnB ocupa 25% das vagas anuais da UnB, correspondentes a 50% das vagas para o primeiro semestre letivo de cada ano.

O diálogo com os professores do Ensino Médio, no processo de integração dos sistemas de Educação Básica e Superior objetivado pelo Programa de Avaliação Seriada, teve início com a criação, em 1995, dos denominados comitês *ad hoc*, que foram encarregados de elaborar as propostas dos então conteúdos programáticos das diferentes disciplinas nas quais se pautariam as provas do Programa (Gauche, 1997). Tais propostas foram aprovadas em fóruns abertos a todos os interessados. Esses comitês – formados por professores do Ensino Médio (cinco da rede pública de ensino e cinco de escolas particulares) e da UnB (de um a três) – trabalharam na proposta de selecionar conteúdos relevantes para a formação do cidadão, com a convicção de que o estudante deveria ser avaliado pela aprendizagem significativa, respeitando o papel intrínseco da escola básica. As provas, então, eram constituídas por 55 questões, distribuídas em seis blocos de disciplinas.

Em 1997, com a inclusão da prova discursiva em língua portuguesa, abordando conteúdos das diversas disciplinas, ficou claro o estabelecimento do eixo estruturador das provas do PAS: a *contextualização* e a *interdisciplinaridade*, também princípios da organização curricular proposta no parecer já citado (Brasil, 1998), só surgido um ano depois. Este foi mais um marco na história do Programa, pois seus reflexos atingiram diretamente a prática docente, mormente na abordagem dos conteúdos em sala de aula e na avaliação de sua aprendizagem (Gauche).

Em 1998, uma reorganização dos comitês fez-se necessária para que se reformulassem aqueles conteúdos, com vistas ao atendimento de um dos objetivos do Programa, estabelecido no já citado documento *Princípios orientadores do PAS*, que consiste em “adotar como eixo estruturador da avaliação a contextualização e a interdisciplinaridade, com ênfase no desenvolvimento de competências e habilidades”. Nessa perspectiva, mais de 120 professores do Ensino Médio e da Universidade de Brasília (UnB), organizados em comitês e subcomitês, e representados no denominado *Conselho interdisciplinar do PAS*, após dois anos de trabalho, avançaram na direção de uma proposta mais ousada, divulgada sob o título *PAS: objetos de avaliação*, que passaram a vigorar a partir do Subprograma 2001-2004. Naquela época, ratificava-se a posição de antagonismo ao modelo transmissão-recepção-reprodução de tópicos de conteúdo, dando lugar a um enfoque ainda mais humanista no processo seletivo. As provas passaram a ser constituídas por 45 questões, distribuídas em três blocos de disciplinas.

Em 10 de maio de 2004, foi iniciado o trabalho da 2.^a Revisão dos Objetos de Avaliação do PAS/UnB. As provas do PAS, à época, passaram a ter suas 45 questões distribuídas em dois blocos de disciplinas. Conforme previsto, desde a implantação do PAS, os objetos de avaliação passaram a ser novamente revisados, haja vista ter-se concluído, em 2003, um triênio de sua utilização, correspondente às respectivas três etapas do subprograma 2001-2003.

Na 2.^a Revisão dos Objetos de Avaliação do PAS/UnB, ressaltou-se a valorização da clareza na definição dos propósitos atinentes à construção de uma nova concepção de seleção, superando limitações inerentes à visão que se tem de objetos de conhecimento, de modo geral, no contexto avaliativo.

Observando a necessidade de avançar na proposta apresentada pelo PAS, o grupo de professores envolvidos nesse hercúleo trabalho (majoritariamente do Ensino Médio), a partir de sugestões apresentadas pela Comissão Especial de Acompanhamento¹, estabeleceu as denominadas matrizes de objetos de avaliação para o Programa de Avaliação Seriado², que visam dar suporte à elaboração de provas que busquem avaliar o desenvolvimento de competências, avaliação que sempre foi o foco do Programa.

Essas matrizes, que trazem uma abordagem subjacente interdisciplinar, articulam, em três dimensões, a investigação concomitante das possibilidades

¹ Comissão formada por representantes da Secretaria de Educação, responsável pela administração da rede pública de ensino do DF, das escolas particulares e da própria UnB. À Comissão cabe zelar pelo cumprimento dos objetivos do Programa, por meio da avaliação contínua das medidas concretas de implementação e da definição de diretrizes para a elaboração dos exames.

² www.cespe.unb.br/pas/index.htm#objetos.

de interação das competências esperadas para o estudante do ensino médio com as habilidades imprescindíveis para o desenvolvimento dessas competências e com os objetos de conhecimento por meio dos quais as habilidades são desenvolvidas. Os valores, relacionados ao saber ser, estão implicitamente situados nas três dimensões. A primeira prova, nesse modelo, foi aplicada em 2006 (Primeira Etapa do Subprograma 2006-2008³), sendo composta por itens, e não mais questões, tendo duas partes: uma correspondente à opção de língua estrangeira pelo candidato e outra, integrando todas as disciplinas, sem subdivisão em blocos, incluídas as três Artes (Cênicas, Visuais e Música), que deixaram de ser opção para os candidatos. Atingiu-se, com essa perspectiva, um acentuado grau de interdisciplinaridade a ser exigido na elaboração das provas.

O trabalho desenvolvido democraticamente no âmbito do PAS/UnB representa uma construção coletiva, na qual o papel dos educadores que atuam nas salas de aula das escolas do Distrito Federal é preponderante. Trata-se de uma criativa proposta de nova cultura avaliativa, que venha ao encontro das demandas sociais e éticas desse início de século, demandas que não se coadunam com o que Paulo Freire denominou de “educação bancária”.

Nossos alunos, da Educação Infantil ao Ensino Superior, não são gravadores nem papagaios. Muito menos tábulas rasas. São potenciais cidadãos que transformarão as relações sociais, gerando condições dignas de vida e ampliação de oportunidades de crescimento pessoal e coletivo, quiçá eliminando injustiças e consolidando novas perspectivas de convivência fraterna e inclusão social, por meio do desenvolvimento e da consideração das potencialidades humanas.

O Boletim de Desempenho da(o) Candidata(o), emitido a partir da prova de cada etapa, tem o papel de apresentar a ela(ele) o nível de desenvolvimento das habilidades previstas na Matriz dos Objetos de Avaliação⁴. Para tanto, parte-se da correção das respostas dadas por ela(ele) aos itens constantes da respectiva Prova, cujas marcações são apresentadas, item a item. Além do desenvolvimento de cada habilidade, o Boletim apresenta, também, o desenvolvimento por grupo de habilidades, bem como o desempenho em cada item do tipo D (resposta elaborada). Por fim, ela(ele) encontrará o valor do escore bruto obtido na respectiva etapa, bem como os valores médio, mínimo e máximo relativos ao total dos candidatos.

³ Esta e outras provas podem ser acessadas em www.cespe.unb.br/pas/provas/provasinfo/comoprovaspas.html.

⁴ www.cespe.unb.br/pas/COMO_APROVEITAR_AS_INFORMACOES_DO_BOLETIM_DE_DESEMPENHO.pdf.

Já as escolas não têm acesso ao Boletim de Desempenho dos seus alunos, que é confidencial. Mas recebem o denominado Relatório de Escola. O Relatório tem o papel de apresentar dados essenciais relativos aos resultados da prova de cada etapa dos Subprogramas em andamento. Os níveis médios de desenvolvimento das habilidades previstas na Matriz dos Objetos de Avaliação são apresentados de diferentes formas. São apresentados, também, os gabaritos referentes aos itens dos tipos A, B e C, bem como as respostas esperadas nos itens do tipo D. Pretende-se, com isso, oferecer subsídios para que a coordenação pedagógica e os professores da escola dialoguem com o aluno e com seus colegas que também participam do PAS/UnB, no tocante às habilidades avaliadas. A nova concepção avaliativa implantada a partir do Subprograma 2006-2008 ratifica a importância de todas as disciplinas para o desenvolvimento das habilidades exigidas para o exercício da cidadania e, portanto, ratifica o papel essencial da escola nesse processo, que se torna a grande parceira no esforço dos(as) estudantes em entrar na Universidade de Brasília.

Desde 1998, com as Diretrizes Curriculares Nacionais do Ensino Médio, não há mais Currículo Mínimo. Desse documento de Estado, decorreram os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM), documento de Governo, que, em 2006, revisado, passou a ser denominado de Orientações Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (OCNEM). Por pressuposto, o PAS/UnB reflete os objetivos próprios do Ensino Médio, ou seja, têm nas DCNEM e nas OCNEM a baliza primordial na definição dos Objetos de Avaliação, estes deliberados pelos professores, conforme já explicitado.

Desde o primeiro vestibular do ano de 1999, o vestibular da UnB tem o mesmo formato do PAS/UnB, no que tange à abordagem e à configuração das provas. Os Objetos de Avaliação são os mesmos, ou seja, o que é avaliado no vestibular convencional também foi deliberado com os professores da Educação Básica, coerentemente com a mudança do eixo de decisão pretendida. Assim, os estudantes não são obrigados a se submeter a duas provas antagônicas. Ao contrário, alunos que vivenciaram o PAS/UnB têm mais familiaridade com o sistema de avaliação da UnB e, dessa forma, têm na escola o ambiente adequado de preparação, dispensando cursinhos distantes da natureza pedagógica escolar.

A partir da construção da Matriz, ou seja, a partir do Subprograma 2006-2008, cujos candidatos da Terceira Etapa tiveram a oportunidade de participar do primeiro vestibular de 2009, compreendeu-se a impropriedade de se “ajuntarem” os Objetos de Conhecimento das três etapas do PAS, por conta da concepção de elaboração desses, que contemplam, em última instância, as Orientações Curriculares Nacionais – OCNEM. Sendo assim, o que se fez, em consonância com toda a história da relação PAS/Vestibular UnB, foi a utilização,

no Vestibular, da Matriz de Objetos de Avaliação utilizada no Programa de Avaliação Seriado⁵. Os itens das provas do vestibular convencional da UnB, portanto, pretendem avaliar habilidades, imprescindíveis para o desenvolvimento de competências, por meio dos objetos de conhecimento previstos para o nível médio da Educação Básica, consoantes com as OCNEM e as respectivas Orientações Educacionais Complementares aos PCN (os denominados PCN+). Nesse sentido, incluem-se, além dos conhecimentos já constantes das provas do Vestibular da UnB, Artes – Cênicas, Visuais e Música –, de modo inovador, além de Filosofia e de Sociologia, já utilizados em outros processos seletivos do país, enfatizando-se os eixos estruturadores do Ensino Médio, também os do PAS/UnB: a interdisciplinaridade e a contextualização.

Trata-se, portanto, de enfatizar a convergência entre os parâmetros que norteiam curricularmente o Sistema Nacional de Ensino Médio e o avaliado no vestibular, refletindo a confluência de pressupostos do vestibular em relação ao PAS/UnB. Tal convergência sinaliza, de modo inovador no país, nesse processo seletivo, uma opção de comprometimento explícito com os objetivos próprios do Ensino Médio, respeitados os documentos oficiais que o orientam, além de ratificar a imprescindível autonomia docente, no contexto cotidiano da sala de aula. Dessa forma, a UnB, por meio de seu Vestibular, a partir do 1/2009, colocou-se, mais uma vez, na esteira da ousadia, liderando inovações.

Referências

BRASIL, Conselho Nacional de Educação. Câmara de Educação Básica. **Parecer CEB n.º 15, de 1 de junho de 1998**. Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio.

COSTA, M. **Acesso ao ensino superior: dos problemas às alternativas de solução**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1995. 112 p. (Coleção Textos Universitários).

GAUCHE, R. A “voz” do professor na elaboração do conteúdo programático do PAS – 1.ª Série. In: **Resumos da 20.ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química**, Poços de Caldas, 1997.

⁵www.cespe.unb.br/vestibular/1VEST2009/GuiaDoVestibulando/objetos_de_avaliacao_arquivos/vest_1.2009_MATRIZ_DE_OBJETOS_DE_AVALIACAO.pdf.

_____. **Contribuição para uma Análise Psicológica do Processo de Constituição da Autonomia do Professor.** 2001. 213f. Tese (Doutorado em Psicologia) – Instituto de Psicologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2001.

GAUCHE, R.; TUNES, E. O professor, a indústria dos cursinhos, a universidade e as perspectivas de inovação no processo educacional. **Revista de Educação AEC** – n. 113, p. 26-34, out/dez 1999.

ECHEVERRIA, A.; MELLO, I. C.; GAUCHE, R. Livro didático: análise e utilização no ensino de Química. In: SANTOS, W. L. P.; MALDANER, O. A. (Orgs.). **Ensino de química em foco.** Ijuí-RS: Editora Unijuí, 2010. p. 263-286.

MORHY, L.; GAUCHE, R. O ingresso na universidade e a melhoria do ensino: o Programa de Avaliação Seriada – PAS – da UnB. In: **Anais XXXIX Congresso Brasileiro de Química,** Goiânia, 1999.

UnB-UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA. **Programa de Avaliação Seriada – Princípios Orientadores.** Documento da Comissão Especial de Acompanhamento do PAS, Brasília, s/d.

Formação política na universidade: um olhar para as diretrizes das licenciaturas em ciências naturais

Berenice Lurdes Borssoi, Renata Greco de Oliveira e Maria Elly Herz Genro

Introdução

Os anos 90 foram marcantes para a política educacional brasileira, pois traziam em seu bojo mudanças iniciadas com a homologação da Constituição Federal (CF) de 1988. Lei que enuncia a inserção do direito à educação no rol dos direitos sociais (art. 6), considerada como “direito de todos e dever do Estado e da família” devendo ser “promovida e incentivada com a colaboração da sociedade, visando o pleno desenvolvimento da pessoa, seu preparo para o exercício da cidadania e sua qualificação para o trabalho” (art. 205). Com isso, a sociedade brasileira foi impulsionada a (re)elaborar políticas que buscassem atender esse direito social, investindo na oferta de ensino e na profissionalização docente. Consequentemente, tivemos a aprovação da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) nº. 9.394 em 1996 e na sequência a elaboração das Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN’s) para a Formação de Professores da Educação Básica, em nível superior, curso de licenciatura, de graduação plena, pela Resolução CNE/CP nº. 1 de 2002. Nesse mesmo ano iniciou-se a elaboração das DCN’s específicas para cada curso, licenciatura e bacharelado.

As diretrizes curriculares específicas das licenciaturas em química, Resolução CNE/CES nº. 8/2002; física, Resolução CNE/CES nº. 9/2002; e biologia, Resolução CNE/CES nº. 7/2002, foram consolidadas a partir da LDB, que por sua vez foi desenvolvida com influência das propostas educativas das agências multilaterais¹. Vale ressaltar que a Constituição Federal de 1988 tem a educação como princípio maior, já a LDB foi fruto de disputas políticas com um viés marcado pela influência neoliberal. Isso significa que a década de 1990 foi intensificada por políticas neoliberais que “preconizaram o mercado como portador da racionalidade econômica e, portanto, como princípio fundador, unificador e auto-regulador da sociedade global competitiva” (Dourado; Oliveira; Catani, 2003, p. 17). Nesse cenário, o Brasil passou por reformas no sistema de

¹ UNESCO - Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura; OCDE - Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico; Banco Mundial e OMC - Organização Mundial do Comércio.

ensino, que estavam em harmonia com as políticas das agências multilaterais, tendo como efeito a ampliação da esfera privada em contraposição dos direitos e interesses sociais (idem).

Essas propostas estão centradas em competências e habilidades, que apesar de suas contribuições, atendem os interesses de mercado. Preocupamos, portanto, a formação política dos educadores, e acreditamos nas possibilidades desta enquanto articulação interdisciplinar, tanto na formação, quanto na atuação dos professores das ciências naturais na educação básica. Porém, antes é preciso refletir sobre as possibilidades que trazem as diretrizes de cada curso nesse sentido, em consonância com a função político-social da universidade. Portanto, nosso objetivo neste texto é avançar nas discussões sobre a formação política dos professores na universidade, partindo das diretrizes das licenciaturas em química, física e biologia.

Iniciamos com um estudo comparado das diretrizes dessas licenciaturas evidenciando lacunas e destacando elementos das discussões políticas que são inerentes à profissão docente. Os referenciais teóricos que contribuem para o estudo sustentam-se em Novaes, Arendt e Santos com a intenção de discutir a formação política na universidade, e em Fazenda, Godoy e Pombo com o propósito de esclarecer elementos sobre a interdisciplinaridade.

Formação política na universidade: do que estamos falando?

Novaes (2007) evidencia alguns indícios do esquecimento da política, e isto se reflete também na formação universitária. Dentre eles destacamos a privatização da vida que tece o individualismo, esvazia o convívio social, impulsiona o consumo desenfreado e abre as portas para que os organismos internacionais controlem e regulem a economia mundial e as transformações tecnológicas, incidindo na concepção de educação e nos processos formativos. Tudo isso, somado ao enfraquecimento da esfera pública e do debate político, naturaliza os processos sociais, dificultando assim experiências coletivas e individuais que provoquem uma formação política na universidade.

Para Sobrinho (2005) um dos principais desafios da universidade hoje é corresponder às necessidades de democratização e à revolução técnico-científica, tendo a globalização como pano de fundo. A discussão sobre a universidade, a ação docente e a produção teórica não pode prescindir de reflexões sobre ética e política. A formação de profissionais implica não somente em questões pedagógicas da docência, mas também em questões políticas dessa prática.

Essa perspectiva de formação compreende o próprio trabalho docente como espaço para o agir político de Arendt (1990). Para essa autora, o agir na

esfera pública só é livre quando atuamos em projetos comuns, tendo a educação duas funções em prol da liberdade singular de cada um: inserir o “novo” no mundo, e instruí-lo para que sua singularidade se desenvolva comprometida com a vida pública. Ao instruir e socializar seus alunos, o professor atende um projeto social comum. A ação docente requer comprometimento político, no sentido arendtiano de compromisso com o mundo. A formação de um professor envolve saberes políticos, econômicos e culturais, em constante diálogo com as diferentes áreas de conhecimento. O desafio posto aos cursos de graduação é oferecer uma formação que viabilize esse processo.

Mas, o que estamos reivindicando quando defendemos uma formação política? Quais possíveis referências e lugares dos quais se pensa a formação política de professores? A partir das ideias de teóricos que suscitam essa formação? Ou do engajamento político dos alunos? De uma disciplina que trate da ciência política? Ou, seria o esforço conjunto do corpo docente e discente em prol do agir e do falar dos sujeitos, pressupondo um diálogo entre as áreas do conhecimento, como preparação para a atuação e para o debate na esfera pública?

Entendemos que todas estas considerações configuram experiências políticas na formação dos educadores, e constituem-se imprescindíveis na organização dos cursos de licenciatura. A formação universitária não prepara o profissional apenas para o trabalho, mas também para o agir na coletividade, potencializando uma formação humana que também é ética e política. O conceito de ética, no categorial filosófico, quer designar uma “qualidade do sujeito humano como ser sensível aos valores, com um agir cuja configuração se deixe marcar por esses valores a que sua consciência subjetiva está sempre se referindo” (Severino, 2006, p. 623).

A formação para a ação enquanto expressão da singularidade, pautada na ideia de liberdade de Arendt, é que chamamos de formação política. Pensar a formação de um profissional nesse sentido significa oferecer a partir do tripé universitário – ensino, pesquisa e extensão – conteúdos e práticas reflexivas que envolvam tanto a valorização do bem comum, o comprometimento com o mundo e o sentimento de uma identidade coletiva, quanto saberes voltados ao campo teórico da política. O *ensino* interdisciplinar na universidade pode oferecer sólida base científica e humanística, estudos específicos da ciência e do campo da política, propiciando nas disciplinas espaço para o debate, para identificar-se e comprometer-se com o mundo. A *extensão* reflete o comprometimento da universidade, sua pertinência e política de engajamento social. A *pesquisa* abre para a reflexão crítica e sistemática sobre a realidade natural e humana, pois toda a produção de conhecimento traz consequências para a condição humana.

A universidade sempre esteve conectada aos interesses do sistema educacional como um todo, ou seja, articulada à construção do projeto de país, ao projeto nacional – à cidadania (Santos, 2005). Ela

pode ser direcionada a criar e ampliar as possibilidades de formação dos sujeitos políticos e democráticos. A instituição educacional deve ir além de apenas cumprir seu papel de instrumentalizar estes indivíduos em uma educação técnica e formal que enfatiza, unicamente, o conhecimento científico. (Genro; Cruz; Zirger, 2009, p. 4)

Sendo a universidade um espaço público, está aberta ao debate e à crítica como via de democracia participativa de todas as áreas do conhecimento (Santos, 2005). Um espaço para o que Santos (p. 76) denomina de ecologia de saberes, isto é, “promoção de diálogos entre o saber científico ou humanístico, que a universidade produz, e saberes leigos, populares, tradicionais, urbanos, camponeses, provindos de culturas [...], que circulam na sociedade”.

Por isso pensamos num estudo das propostas oficiais para a formação de docentes de química, física e biologia, buscando nas diretrizes desses cursos elementos que possam potencializar a formação política desses professores.

DCN's das licenciaturas em ciências naturais: o esquecimento da (formação) política

Nossos estudos apontaram fragilidades nas diretrizes quanto à formação política, mas destacaram também, expressos nas proposições que direcionam conteúdos e práticas educativas, elementos que constituem possibilidades para formação política de professores de química, física e biologia, como um viés interdisciplinar. Esses elementos são revelados, sobretudo nas DCN's de química, mas também aparecem nas DCN's de física e mais expressivamente de biologia.

A ética, a oferta de conteúdos formativos e a responsabilidade social dos futuros profissionais aparecem nas três diretrizes e figuram como possibilidade para pensar o cenário de uma formação política interdisciplinar. Os textos trazem ainda ideias de cidadania e democracia, a concepção de um professor que seja cidadão e que irá atuar na educação da cidadania de seus alunos e preocupações com o contexto político da formação e da atuação docente e com a dimensão social de cada uma dessas ciências.

A parte inicial do Parecer de Química, denominada “Relatório”, aponta a priorização dos conteúdos informativos em detrimento dos formativos, que seriam aqueles destinados a, entre outras questões, atuação cidadã dos professores. Preocupa-se com a inclusão de temas como caráter, ética, solidariedade, responsabilidade e cidadania nos currículos. O Parecer de Física não contempla questões voltadas para a formação política, enquanto o de Biologia advoga por particular atenção a não dissociação dos conhecimentos biológicos das questões político-sociais. Os cursos de química e biologia mostram-se mais preocupados com as questões da esfera pública, destacando-se a biologia na abertura à possibilidade de interdisciplinar seus conteúdos específicos com as preocupações político-sociais.

Somente o curso de biologia estabelece um “perfil dos formandos” com uma consciência de atuar na realidade como exercício de cidadania do profissional. Ainda que o documento fale especificamente do bacharel, e não do licenciado.

Em “competências e habilidades” os três cursos trazem elementos de responsabilidade social. Novamente os cursos de química e biologia contemplam melhor questões como a compreensão e transformação do contexto sociopolítico, a função e aplicação social da respectiva ciência, e a importância da conscientização para o exercício da cidadania.

Os “conteúdos básicos” dos currículos tratam de forma superficial as questões políticas nas diretrizes dos cursos de física e biologia, e nem mesmo são consideradas nas diretrizes de química. Nos “conteúdos específicos” para a formação dos licenciados, em nenhum dos cursos é contemplada a formação política dos professores. Vale observar que, os três documentos² ressaltam que deverão ser “incluídos no conjunto dos conteúdos profissionais, os conteúdos da educação básica, consideradas nas Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação de Professores em nível superior, bem como as Diretrizes Nacionais para a Educação Básica e para o Ensino Médio”. Isso reforça o que já vimos em outros estudos: a predominância da formação por competências em detrimento de uma efetiva formação política (Oliveira; Borssoi; Genro, 2011).

O conceito de competências não é algo novo (Kuenzer, 2001), ele teve papel central nas políticas educacionais desde a consolidação da LDB 9.394/96, representando a posição de governo, o que resultou na adequação das instituições de ensino e suas práticas a essa concepção. No entanto, cabe a nós, “cientistas críticos da educação ultrapassar o reino das aparências para estabelecer as verdadeiras relações que conferem uma nova materialidade ao discurso da pedagogia das competências” (idem, p. 4).

² Resolução CNE/CES nº. 8/2002 - Química; Resolução CNE/CES nº. 9/2002 - Física e Resolução CNE/CES nº. 7/2002 - Biologia.

A certificação de competências tem estado presente desde os anos 70, em âmbito do taylorismo/fordismo, modo de organização e gestão da vida social e produtiva, pela divisão social e técnica do trabalho baseada na parcelarização (Kuenzer, 2001). Nessa época o conceito de competência significava “um saber fazer de natureza psicofísica, antes derivado da experiência do que de atividades intelectuais que articulem conhecimento científico e formas de fazer” (idem, p. 1).

Embora o conceito de competência tenha evoluído, aproximando-se da ideia de práxis (Kuenzer), a ideia de competência na formação de professores carrega ainda certa conotação técnico-instrumental, que atende ao modelo tecnicista de educação. A pedagogia das competências nem sempre é discutida pelos profissionais. Sendo um discurso sedutor, aos poucos coloca o professor sem referência para participar de debates e para refletir sobre suas práticas (Kuenzer). Esta é uma das razões fundamentais que nos levam a reivindicar uma formação política para os professores nos cursos de licenciatura.

Quando abordam os “estágios e atividades complementares”, efetivamente os espaços da articulação teoria e prática na formação dos professores, as diretrizes de física e biologia em nada contemplam a formação política, e as de química abordam essa temática novamente de forma superficial.

As diretrizes dos cursos de química, física e biologia foram elaboradas a partir das DCN's gerais para a Formação de Professores da Educação Básica, que segundo Pimenta e Lima (2010) trazem as competências como núcleo da formação, o que reduz a atividade docente em um desempenho técnico, anunciando um neotecnicismo, colocando em discussão também as diretrizes específicas de cada curso. Conforme Libâneo (1985) a concepção tecnicista, introduzida final dos anos 60, teve por objetivo a adequação educacional à orientação política econômica do regime militar. Inseria as instituições de ensino nos moldes de racionalização do sistema de produção capitalista. Compreendia o professor como mero transmissor de conhecimentos, isto é, “o professor é apenas um elo entre a verdade científica e o aluno, cabendo-lhe empregar o sistema instrumental previsto” (idem, p. 18). Assim sendo, a educação e a formação consistiam em “aquisição de habilidades, atitudes e conhecimentos específicos, úteis e necessários para que os indivíduos se integrem na máquina do sistema global” (idem, p. 16).

Apesar da conotação técnico-instrumental que enfatiza habilidades e competências às diretrizes desses cursos, identificar elementos que contemplam a formação política nesses documentos levou-nos a apostar na possibilidade de uma formação política baseada na perspectiva interdisciplinar.

Formação interdisciplinar: conhecimentos e saberes em movimento

A análise das diretrizes dos cursos em estudo nos fez pensar a formação política numa perspectiva interdisciplinar, tanto para as licenciaturas, quanto para a ação dos professores das ciências naturais na educação básica. Nesse sentido, a compreensão da formação política passa pela própria concepção de interdisciplinaridade a partir da qual nos posicionamos.

Entendemos que a perspectiva interdisciplinar pode ser compreendida para

[...] além da transgressão do disciplinar – superando o que diz respeito ao conteúdo e/ou conhecimento relativo de uma disciplina, como uma busca da ultrapassagem das fronteiras estabelecidas arbitrariamente num dado momento histórico e, especialmente, como tentativa do resgate da totalidade, para superar a fragmentação da própria vida, compreendendo a VIDA em sua complexidade: conexões, interações, relações, reorganizações e transformações em movimento permanente. (Fernandes, 2007, p. 103)

O movimento da interdisciplinaridade nasce na Europa, dos anos de 1960, período marcado pelos movimentos estudantis que, dentre outras coisas, reivindicavam um ensino mais sintonizado com as grandes questões de ordem social, política e econômica (Fazenda, 1994). Ou seja, no bojo de sua concepção, a própria interdisciplinaridade surge como uma proposta política para a educação. A ideia de interdisciplinaridade em si encerra as ideias de coletividade, democracia e participação no trabalho docente, exigindo mudanças na concepção da própria profissão e seu caráter político-social.

Os estudos sobre interdisciplinaridade apontam para a necessidade de quebrar as instâncias que separam, delimitam as áreas de conhecimento, as disciplinas curriculares. Na prática, um dos desafios constitui-se em “como quebrar tais instâncias para poder entender o conhecimento em sua complexidade, ou seja, de forma não estanque, o que requer dos(as) professores(as) mudanças de cunho epistemológico e metodológico” (Godoy, 1999, p. 32). Isto compreende que devemos quebrar a visão dogmática de ver o conhecimento, sem desconsiderar a importância de suas especificidades e compartimentos, mas pensarmos a realidade complexa que está em movimento, e ter consciência das limitações de cada área de formação.

A literatura especializada, para Pombo (1993, p.10), não apresenta uma definição unívoca do conceito de interdisciplinaridade. O termo “é um objecto de significativas flutuações: da simples cooperação de disciplinas ao seu

intercambio mútuo e integração recíproca ou, ainda, a uma integração capaz de romper a estrutura de cada disciplina e alcançar uma axiomática comum”.

A concepção de interdisciplinaridade que assumimos neste trabalho compreende a riqueza desta, que vai além dos planos epistemológico, teórico, metodológico e didático; sua prática cria a possibilidade do “encontro”, da “partilha”, da cooperação e do diálogo (Fazenda, 1994). Nesse sentido, o processo de formação do professor precisa viabilizar pesquisas e projetos interdisciplinares, articuladores de conhecimentos e saberes, e sua atitude deve estar voltada para um “professor interdisciplinar”, que possa

[...] enxergar as várias redes que compõem o conhecimento em sua complexidade, rompendo com a fragmentação do saber em disciplinas estanques e compreendendo-as em um todo complexo e interdisciplinar. Uma formação neste nível requer dos formadores a efetivação de um trabalho coletivo, caracterizado por inter-relacionamentos de conhecimentos e de indivíduos. (Godoy, 1999, p. 32)

Ao tratar da temática interdisciplinaridade, Pombo (2005) aborda que suas dificuldades de ação estão voltadas atualmente ao ensino, que é cada vez mais especializado. A simples justaposição dessas especializações não garante, porém, a compreensão do “todo”.

É que, se o todo não é a soma das partes, a especialização tem que ser complementada, ou mesmo em alguns casos substituída, por uma compreensão interdisciplinar capaz de dar conta das configurações, dos arranjos, das perspectivas múltiplas que a ciência tem que convocar para o conhecimento mais aprofundado dos seus objectos de estudo. Ou seja, o problema da especialização encontra os seus limites justamente aqui, no momento em que a ciência toma consciência que o todo não é a soma das partes. (Pombo, 2005, p. 8)

É preciso colocar as partes em movimento, em relação e reflexão. Ainda que conscientes das limitações da formação, apostamos na formação humana crítica como a alavanca motora dos saberes docentes. A interdisciplinaridade entra então na articulação entre os conteúdos formativos e informativos das licenciaturas, buscando estabelecer conexões, interações e mesmo transformações nos saberes específicos e docentes dos professores de química, física e biologia, possibilitando uma formação humana, que também é ética e política.

Considerações finais: possibilidades e desafios

Da forma como foram elaboradas, com bases nas propostas das agências multilaterais, essas políticas educacionais para formação de professores segmentam, no ensino superior, características de ensino utilitarista e preparação apenas para o mercado de trabalho. A universidade acaba por fragilizar a formação e a criação do pensamento, desconstituindo a curiosidade e a admiração que levam à descoberta do novo. Quando não abre espaço ao debate político, a universidade não contribui, na dimensão que lhe é possível, com a formação política dos educadores. É no debate, nas conversas, nas socializações discursivas que Arendt (1990) chamou de senso comum, que nos tornamos mais humanos e mais políticos. A própria fala, expressão singular, é participação política e indício de interdisciplinaridade.

Entendemos que é possível pensar e possibilitar uma formação política balizada pela perspectiva interdisciplinar, tanto nos cursos de licenciaturas, quanto na educação básica, socializando conhecimento e saberes.

A interdisciplinaridade se deixa pensar, não apenas na sua faceta cognitiva – sensibilidade à complexidade, capacidade para procurar mecanismos comuns, atenção a estruturas profundas que possam articular o que aparentemente não é articulável – mas também em termos de atitude – curiosidade, abertura de espírito, gosto pela colaboração, pela cooperação, pelo trabalho em comum. (Pombo, 2005, p. 13)

Para a universidade o desafio é articular no tripé formativo – ensino, pesquisa e extensão – alternativas que possibilitem o compromisso com a realidade social e política. Para os cursos de licenciatura, o desafio é desenvolver em seus projetos político-pedagógicos, práticas curriculares e projetos de pesquisa e extensão, numa perspectiva de formação humana, ética e política.

Um dos caminhos, que é um tanto desafiador e necessário aos professores, é vencer as barreiras para entender e atuar sobre o conhecimento de forma não tão compartimentalizada. Esse movimento, que acompanha o movimento próprio dos saberes e conhecimentos, já imprime na formação docente características de uma formação política. Entendemos que a própria atitude interdisciplinar na prática docente já é um exercício da ação política, pois pressupõe um projeto coletivo, com preocupações éticas e sociais.

Referências

ARENDDT, Hannah. A crise da educação. In: **Entre o passado e o futuro**. São Paulo: Perspectiva, 1990.

BRASIL. **Constituição Federal de 1988**.

_____. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional**. Lei nº. 9.394 de 1996.

_____. DCN's para os Cursos de Ciências Biológicas. **Parecer CNE/CES nº 1.301/2001**.

_____. DCN's para os Cursos de Química. **Parecer CNE/CES nº 1.303/2001**.

_____. DCN's para os Cursos de Física. **Parecer CNE/CES nº 1.304/2001**.

_____. DCN's para os Cursos de Ciências Biológicas. **Resolução CNE/CES nº 7/2002**.

_____. DCN's para os Cursos de Química. **Resolução CNE/CES nº 8/2002**.

_____. DCN's para os Cursos de Física. **Resolução CNE/CES nº 9/2002**.

DOURADO, Luiz F.; OLIVEIRA, João F. de; CATANI, Afrânio M. (Orgs.). Transformações recentes e debates atuais no campo da educação superior no Brasil. In: **Políticas e gestão da Educação Superior**: transformações recentes e debates atuais. São Paulo: Xamã; Goiânia: Alternativa, 2003.

FAZENDA, Ivani C. A. **Interdisciplinaridade**: história, teoria e pesquisa. Campinas: Papirus, 1994.

FERNANDES, Cleoni M. B. Interrogantes do ato de conhecer: uma perspectiva interdisciplinar. **Revista Diálogo Educ.**, Curitiba, v. 7, n. 22, set./dez., 2007.

GENRO, Maria Elly H.; CRUZ, Carla R. da; ZIRGER, Juliana. **Universidade e formação dos sujeitos políticos**: possibilidades de fortalecimento da democracia. ENDIPE, 2009.

GODOY, Anterita C. de S. A interdisciplinaridade na formação docente. In: **(Des)caminhos da interdisciplinaridade na formação do(a) professor (a) polivalente**. Dissertação (Mestrado), Universidade Metodista de Piracicaba. São Paulo, 1999.

LIBÂNEO, José Carlos. **Democratização da escola pública**: a pedagogia crítico social dos conteúdos. São Paulo: Loyola, 1985.

KUENZER, Acácia Z. **Conhecimento e competências no trabalho e na escola**. SENAC, RJ, v. 27, n. 2, maio/ago, 2001.

NOVAES, Adauto. Políticas do esquecimento. In: **O esquecimento da política**. São Paulo: AGIR, 2007.

PIMENTA, Selma G.; LIMA, Maria S. L. **Estágio e docência**. São Paulo: Cortez, 2010.

POMBO, Olga. Interdisciplinaridade: conceito, problemas e perspectivas. In: POMBO, O.; GUIMARÃES, H. M.; LEVY, T. **Interdisciplinaridade**: reflexão e experiência. Lisboa: Texto, 1993.

_____. Interdisciplinaridade e integração dos saberes. **Liinc em Revista**, v.1, n.1, março, 2005.

OLIVEIRA, Renata G. de; BORSSOI, Berenice L.; GENRO, Maria Elly H. **Formação de educadores na universidade**: movimentos que constituem os sujeitos políticos. Congresso Internacional Pedagogia, 2011.

SEVERINO, Antônio Joaquim. A busca do sentido da formação humana: tarefa da Filosofia da Educação. **Educação e Pesquisa**, São Paulo, v. 32, set/dez, 2006.

SANTOS, Boaventura de S. **A universidade no século XXI**: para uma reforma democrática e emancipatória da universidade. São Paulo: Cortez, 2005.

SOBRINHO, José D. **Dilemas da educação superior no mundo globalizado**: sociedade do conhecimento ou economia do conhecimento? São Paulo: Casa do Psicólogo, 2005.

Uma adaptação curricular de física para ciências agrárias

Ana Lucia Figueiredo de Souza Nogueira

Introdução

Questões sobre ensino e como ensinar vem conduzindo os educadores a reflexões cada vez mais profundas sobre as finalidades da educação, seus valores e intenções. Com as inovações tecnológicas, aberturas econômicas e quebra de barreiras, observa-se um grande incremento de ideias e pensamentos, culminando em grande aporte de material humano e tecnológico em todos os continentes. Em vista deste processo irreversível, todos os setores da sociedade devem se atualizar e acompanhar as tendências deste novo milênio.

Diante dessa tendência, a comunidade vem cobrando das instituições de ensino a definição do perfil dos profissionais que teremos no mercado de trabalho. Este é um dos grandes desafios a serem superados. Somente a participação de todos garantirá a construção de um Curso Superior que tenha como característica ser um espaço educativo com compromissos políticos, econômicos e sociais que atendam as demandas da sociedade atual.

Um curso que atenda a essas demandas terá maiores chances de sobreviver em um meio no qual todos estão sendo continuamente avaliados. As instituições de ensino são periodicamente examinadas pelo Ministério de Educação (MEC) e Secretarias de Educação. Tudo que está ligado ao bom andamento do curso e a excelência dos profissionais que são formados é analisado. As instituições precisam passar por profundas transformações em suas práticas e cultura para enfrentar os desafios do mundo contemporâneo.

Essas transformações atingem também o profissional da educação, que precisa de competência do conhecimento, de sensibilidade ética e de consciência política para superar esses desafios. Sendo assim, o trabalho que o docente desenvolve deve ser repensado periodicamente.

A proposta é que se ensine a física mostrando sua importância na tomada de decisões de um agrônomo, sem perder seu caráter formal e em acordo com as Diretrizes Curriculares Nacionais dos cursos de Engenharia, nas quais uma das competências e habilidades exigidas deve ser a capacitação para aplicar

conhecimentos matemáticos, científicos, tecnológicos e instrumentais à engenharia.

A construção do conhecimento se dá pela prática da pesquisa. Ensinar e aprender só ocorrem significativamente quando decorrem de uma postura investigativa de trabalho. No processo educativo, teoria e prática se associam e a educação é sempre prática intencionalizada pela teoria. Segundo Delizoicov,

Na formação de professores, os currículos devem considerar a pesquisa como princípio cognitivo, investigando com os alunos a realidade escolar, desenvolvendo neles essa atitude investigativa em suas atividades profissionais e assim tornando a pesquisa também princípio formativo na docência. (2002, p.17)

É importante que a prática investigativa esteja presente nos cursos de formação de professores, pois são estes profissionais que contribuirão para a formação de profissionais de outras áreas. Essa postura investigativa deve ser exercida também na prática docente, permitindo que os alunos explorem o conteúdo junto com o professor.

Essa prática pode ser refletida por meio de atividades em que os alunos do curso de Agronomia, na disciplina de física, desenvolvam pesquisas cuja temática esteja ligada a uma aplicação em sua área de formação. Assim, os alunos estarão mais aptos e abertos a entender as disciplinas que compõem o ciclo profissional do curso, e a se tornar um profissional com compromissos políticos, econômicos e sociais para um mercado de trabalho cada vez mais competitivo.

O ensino de física para agronomia tem sido considerado sempre um grande desafio. A primeira dificuldade é montar o curso, preparando aulas teóricas e práticas. Na literatura encontra-se outra dificuldade: que livro texto adotar? Há poucos relatos sobre o assunto. Há poucos textos específicos de física para agronomia O livro didático possui um papel importante na sala de aula, e de acordo com Delizoicov,

Ainda é bastante consensual que o livro didático (LD), na sua maioria das salas de aula, continua prevalecendo como principal instrumento de trabalho do professor, embasando significativamente a prática docente. Sendo ou não intensamente usado pelos alunos, é seguramente a principal referência da grande maioria dos professores. (2002, p.36)

É preocupante, portanto, o fato de não haver livros didáticos que deem suporte ao professor de física para agronomia. Os livros textos de física, em geral, abordam uma física desconexa com o contexto agrônômico e faz com que o aluno do curso de agronomia sinta receio pela disciplina.

Alguns trabalhos mostram a importância das adaptações curriculares à realidade dos alunos. A proposta de Portilho, por exemplo, desenvolvida no projeto IBERCIMA¹, consiste em uma abordagem contextualizada nas aulas de física, permitindo que o aluno construa o conhecimento por meio de experimentos, nos quais os conceitos básicos da física são associados com a construção e funcionamento de equipamentos utilizados nas Ciências Agrárias (Portilho, 2005). No seu trabalho Portilho destaca que

[...] a ciência deve ser apresentada como sendo aberta e em construção, privilegiando a busca de soluções de problemas pelos alunos, considerando a evolução histórica dos conceitos e deve estar relacionada com a realidade do aluno. (2005, p.2)

Santini e Terrazzan discutem em seus trabalhos o ensino de física por meio do uso de equipamentos agrícolas de uma Escola Agrotécnica (Santini, 2004; 2005). Neste estudo foram produzidos e implementados módulos didáticos baseados nos três momentos pedagógicos propostos por Delizoicov e Angotti (Delizoicov, 1994).

Concepções e métodos acerca da natureza das ciências, de seus fins e valores, crenças e cosmovisões (modo de se olhar o mundo) são dimensões do processo de construção e reconstrução do conhecimento necessário para a aprendizagem. A necessidade de um planejamento multidisciplinar se faz tão necessária, quanto mais se levarmos em conta que um dos princípios fundamentais que perpassa os objetivos e premissas da presente proposta é justamente o da “integração”. Integração se refere a uma ação que une. Integrar é tornar algo inteiro, mais completo e efetivo. Integrar é juntar, somar forças, incorporar contribuições variadas e enriquecer-se com a formação de uma coletividade consciente de seus objetivos, e disposta a atingir as metas que se colocam a si própria.

A integração de conteúdos começa por problematizar a realidade, sendo o primeiro passo para uma proposta consequente. Ela não se constitui em um método, ou uma técnica de trabalho, mas em outra maneira de entender a produção do conhecimento, partindo do pressuposto de que todo o

¹ Recomendaciones para el diseño de los currículos de ciencias.

conhecimento é produzido a partir de necessidades sociais, quer materiais ou filosóficas. Outro pressuposto é de que o conhecimento só pode ser dividido em áreas de especialização para fins didáticos. A integração de conteúdos é um esforço de superação da fragmentação alienante dos saberes humanos que, uma vez divididos em pequenos compartimentos deslocados da realidade social em que são produzidos, perdem totalmente seus significados e suas razões de ser.

Os alunos não são ensinados sobre como fazer conexões críticas entre os conhecimentos sistematizados pela escola com os assuntos de suas vidas. Os educadores deveriam propiciar aos alunos a visão de que a ciência, como as outras áreas, é parte de seu mundo e não um conteúdo separado, dissociado de sua realidade (Lorenzetti, 2001, p.7).

De acordo com Lorenzetti e Delizoicov, a escola por si só não é capaz de capacitar os indivíduos cientificamente. Em particular, há uma forte tendência dos professores de ciências em não se preocuparem em incluir uma discussão, conectando os conhecimentos científicos adquiridos na escola com o mundo real dos alunos (Lorenzetti, 2001).

Existe, portanto, a necessidade de um planejamento das atividades escolares de maneira a possibilitar que os alunos relacionem os conceitos físicos estudados aos fenômenos da natureza e aos processos tecnológicos relacionados. E como afirmam Carvalho e Gil-Pérez, esse papel é atribuído ao professor:

É preciso que o professor seja capaz de entender e desenvolver a mudança proposta e tenha como romper com visões simplistas, conhecer o conteúdo a ser ensinado, questionar as idéias discentes de senso-comum, gerar aprendizagem efetiva, saber avaliar, adquirir a formação necessária para associar ensino com pesquisa didática. (Carvalho; Gil-Pérez, 1993)

Por estes motivos, foi proposta uma adaptação curricular da física vista pelos estudantes do primeiro ano do curso de agronomia da Universidade Estadual de Montes Claros – Unimontes. O programa é desenvolvido no primeiro e segundo períodos do curso com uma carga horária de duas e três horas semanais respectivamente, totalizando 90 horas/aula nos dois semestres.

As principais dificuldades que um docente encontra numa disciplina deste tipo são a enorme abrangência dos tópicos e a reduzida carga horária da disciplina. Os assuntos, no programa da disciplina, aparecem de forma fragmentada, dificultando assim a inserção dos conceitos envolvidos em cada unidade em um contexto mais amplo. Além disso, existe certa resistência dos

estudantes aos conteúdos de física e de matemática, vistas como disciplinas trabalhosas nas quais o estudante nem sempre consegue perceber a sua utilidade prática. Ensinar física para estudantes de agronomia requer, portanto, a adaptação de conteúdos e métodos de ensino de forma que o aluno desenvolva o interesse ao relacionar este conteúdo à sua prática específica na agronomia.

A reorganização da disciplina tem como objetivo geral estabelecer uma relação entre a física e a agronomia para a prática profissional do agrônomo. Dada a limitação de tempo para um tratamento formal dos assuntos, opta-se por uma abordagem diferente, introduzindo os conceitos fundamentais e ilustrando-os com demonstrações e exemplos, dando ênfase às aplicações relacionadas à agronomia. Nas aulas expositivas dá-se menos ênfase à dedução matemática de fórmulas, e dedica-se a maior parte do tempo à discussão de aplicações, exercícios e problemas. Nas avaliações, além dos métodos tradicionais, os alunos preparam seminários, que podem ser teóricos ou experimentais, sobre temas que relacionam física e agronomia. Nos temas experimentais os alunos reproduzem um equipamento agrícola e explicam a física relacionada.

O ensino de física para agronomia passa a ser considerado como uma tarefa de construção, exigindo certa dose de criatividade por parte do professor de forma a estimular o interesse dos estudantes pela matéria, conscientizando-os da importância dela na sua formação.

Assim, o objetivo deste trabalho é apresentar uma proposta de adaptação curricular de física para agronomia, como uma alternativa de abordagem para essa disciplina.

Na seção seguinte apresentaremos a proposta curricular. Na metodologia, discutiremos o levantamento feito para a construção do material proposto e, como uma visão diversificada, capaz de articular conteúdos para o curso, muda a estatística de aprovação na disciplina. Finalmente são apresentadas as considerações finais com a fundamentação de nossa proposta baseada numa abordagem de Delizoicov e Paulo Freire.

Proposta de adaptação curricular

O curso de agronomia da Unimontes proposto e ora em execução, contempla a formação de engenheiros agrônomos por meio de uma estrutura curricular bastante abrangente. As disciplinas oferecidas são agrupadas em ciclos que se dividem em conhecimentos básicos e essenciais, conhecimentos profissionais essenciais e conhecimentos profissionais específicos. As disciplinas são ministradas por meio de aulas teóricas, práticas em laboratórios e trabalho de campo. A física está inserida no ciclo básico e essencial.

A relação proposta entre estas duas ciências (física e agronomia) pode ser melhor entendida se considerarmos a primeira como um instrumento da segunda, conforme figura 1.

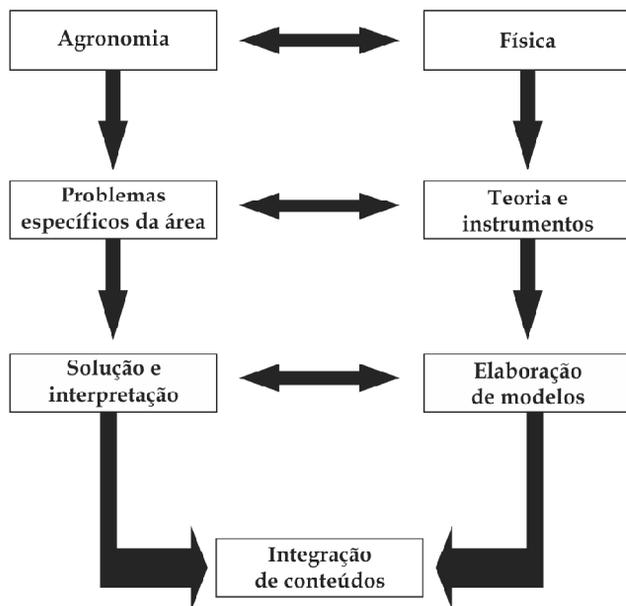


Figura 1: Fluxograma representando a relação proposta entre física e agronomia.

Metodologia

O ensino deve ser voltado para competências, que segundo Philippe Perrenoud, é a capacidade de o sujeito mobilizar recursos (cognitivos) visando abordar uma situação complexa. “A competência está associada a um conjunto de elementos que permitem ao sujeito abordar uma situação complexa e resolvê-la a contento.” (Moretto, 2005).

Dessa forma, para se ter um ensino voltado para competências, o sujeito deve “ser capaz de” mobilizá-las em situações complexas e adquirir recursos.

Os recursos disponíveis para abordagem de uma situação complexa são: conteúdos específicos, linguagens e valores culturais. Sendo assim, a adaptação curricular aqui apresentada procura mostrar a física de uma maneira tal que desde o início sejam claras sua relevância prática e sua universalidade, para que a competência seja alcançada.

A grande tarefa do sujeito que pensa certo não é transmitir, depositar, oferecer, doar ao outro, tomando como paciente de seu pensar, a inteligibilidade das coisas, dos fatos, dos conceitos. A tarefa coerente do educador que pensa certo é, exercendo como ser humano a irrecusável prática de inteligir, desafiar o educando com quem se comunica, produzir sua compreensão do que vem sendo comunicado. Não há inteligibilidade que não seja comunicação e intercomunicação e que não se funde na dialogicidade. O pensar certo por isso é dialógico e não polêmico. (Paulo Freire, 2005, p.38)

A proposta é tornar significativo esse aprendizado científico, pois a física pode ser vista como um instrumento para a compreensão do mundo em que vivemos. Acredita-se que partindo sempre que possível de elementos vivenciais e mesmo cotidianos, os princípios gerais da física serão formulados com uma consistência garantida pela percepção de sua utilidade e de sua universalidade (Gref, 2002).

A partir da análise da estrutura curricular do curso, percebe-se como a física poder ser mais útil para a agronomia. Disciplinas importantes para o engenheiro agrônomo, como climatologia, hidráulica e irrigação utilizam princípios físicos e, portanto, o ensino de física passa a ter significado.

Por meio de conversas informais com professores do Departamento de Ciências Agrárias do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Estadual de Montes Claros visualizamos como a física poderia dar suporte e embasamento para as disciplinas do curso. O resultado dessas conversas foi ordenado por tópicos como é mostrado a seguir. Assim, foi possível identificar a relação entre física e agronomia, permitindo a integração dos conteúdos a partir da visualização imediata de sua aplicação na prática do agrônomo.

Mecânica

Movimento em uma ou mais dimensões: velocidade das águas em canais e em irrigação localizada (MRU), velocidade e posição de implementos agrícolas no campo (MRUV), microaspersor e raio molhado (MCU), pivô central e alcance (lançamento de projéteis).

Leis de Newton: transporte de frutas, sistemas de cabos aéreos (tração animal e roldanas), peso e separação de sementes com máquina de ar e gravidade (força gravitacional), climatologia e força de atrito na aragem do solo, força erosiva da água na irrigação por sulco.

Energia: trabalho e potência ou capacidade operacional de máquinas agrícolas, barragens, energia da água na erosão do solo, energia solar na secagem

de sementes, energia eólica. Potencial de água e do solo (mátrico + osmótico + pressão + força gravitacional da planta e da atmosfera), a erosão e conservação do solo baseiam-se na energia cinética da chuva.

Fluidos: densidade, compactação do solo (peso por unidade de volume das partículas sólidas e sua textura), pressão (pressão de bicos de pulverizadores e de aspersores usados na irrigação), pressão atmosférica, porosidade, continuidade, vazão de orifícios, equação da continuidade, teorema de Bernoulli, bombas de ar comprimido, carneiro hidráulico, velocidade das águas em canais.

Termodinâmica

Calor: processos de transferência de calor na climatologia, controle do estresse animal, conforto em baias, granjas ou pocilgas.

Evaporação (déficit de saturação de pressão de vapor).

Estudo dos gases: na climatologia com camada de ozônio, meio ambiente, aquecimento.

Óptica

Luz visível: uso da cor no separador eletrônico e de reflexão de sementes, intensidade de luz no crescimento das plantas, uso de lentes nos teodolitos e lunetas para a topografia.

Eletromagnetismo

Condutividade elétrica da solução do solo e da água, perda de carga.

Separador eletrostático de sementes.

Cercas elétricas.

Separador magnético de sementes.

Ondas eletromagnéticas: na climatologia e na radiação solar no crescimento das plantas.

GPS.

Sensoriamento remoto: imagens de satélite do solo, mapeamento de áreas, geologia do relevo, desmatamento de florestas, recursos hídricos disponíveis.

A partir destas constatações, foi proposto aos alunos que apresentassem seminários cuja temática era: uma aplicação da física para a agronomia. Eles deveriam buscar em livros ou com professores do curso qual seria esta aplicação e discuti-la em sala de aula. O trabalho começou a ficar mais significativo e o interesse dos alunos foi aumentando. A primeira turma a passar por este trabalho foi a de 2002.

Uma mudança de estratégia didática pode ser a chave para atingir o real sucesso. Quando se atingem os objetivos de ensinar oportunizando aprendizagem de conteúdos relevantes e quando o ensino proporciona o desenvolvimento de habilidades e aquisição de conhecimentos, que conduzam às competências almejadas, obtemos o real sucesso no ensinar. “Saber que ensinar não é transferir conhecimento, mas criar as possibilidades para a sua própria produção ou a sua construção”. (Paulo Freire, 2005, p.47).

Assim, quando se busca servir dos conteúdos selecionados naquele momento para desenvolver a capacidade de pensar e as habilidades de observar, relacionar, estruturar, analisar, justificar, sintetizar, correlacionar, inferir, entre outras, pensa-se em preparar os alunos para o exercício de uma profissão desenvolvendo suas competências.

A abordagem de uma física contextualizada propiciou uma mudança drástica no comportamento dos alunos de agronomia. A partir de 2002, estes tem mostrado um crescente interesse pela disciplina, compreendendo a importância desse conhecimento científico na sua prática profissional. Esse fato é atestado pela seriedade e envolvimento manifestados durante a participação de trabalhos em grupo e melhora no desempenho nas provas, comprovado pelos dados apresentados no quadro 1. Segundo estes dados, o índice de alunos reprovados na disciplina, antes da abordagem contextualizada, era em torno de 12%, com 17% dos alunos necessitando das notas do exame especial para serem aprovados. Entre 2002 e 2007, apenas 1,5% dos alunos foram reprovados, com 1,3% necessitando do exame especial para aprovação. É importante salientar que, embora a abordagem de conteúdo tenha sido modificada e que se trata de momentos diferentes e de alunos diferentes, as avaliações da disciplina permaneceram as mesmas. Podemos concluir, dessa maneira, que as mudanças observadas no desempenho dos alunos atestam a eficácia da contextualização utilizada.

Quadro 1: Dados da disciplina de física do curso de Ciências Agrárias da Unimontes no período entre 1996 e 2007.

Ano	Semestre	Alunos matriculados	Alunos aprovados sem exame especial	Número de alunos aprovados após exame especial	Número de alunos reprovados
1998	2º	22	14	5	3
1999	1º	18	10	4	4
1999	2º	28	21	2	5
2000	1º	39	28	11	0
2000	2º	32	25	4	3
2001	1º	43	27	9	7
2001	2º	54	44	3	7
2002(*)	1º	29	26	2	1
2002	2º	27	27	0	0
2003	1º	29	28	0	1
2003	2º	26	23	0	3
2004	1º	27	26	1	0
2004	2º	28	28	0	0
2005	1º	31	31	0	0
2005	2º	26	26	0	0
2006	1º	30	30	0	0
2006	2º	25	24	1	0
2007	1º	24	24	0	0
2007	2º	22	22	0	0

(*) A partir desse ano a disciplina começou a ser oferecida com outra abordagem, mais integradora, contextualizada e dinâmica, com uma visão menos fragmentadora.

Considerações finais

A pesquisa em ciências agrárias no Brasil tem se desenvolvido bastante nos últimos anos. Isto pode ser visto pela crescente preocupação do governo em incentivar trabalhos de pesquisas e criação de revistas científicas para a divulgação de trabalhos específicos da área, tais como: *Anais da Embrapa*, *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, *Cultivar Máquinas*, *Ciência Rural* e *Cadernos de Difusão de Tecnologia*. Problemas típicos da área variam desde o aparecimento e controle

biológico de novas pragas, criação de novas técnicas de armazenamento e beneficiamento de sementes. Os diversos problemas encontrados são, em geral, típicos do clima do nosso país, o que significa que tecnologias importadas nem sempre funcionam para solucioná-los.

Em particular, podemos citar o Projeto Jaíba. São 310 mil hectares de terras localizadas na região norte do estado de Minas Gerais, entre os rios São Francisco e Verde Grande, que sofre com períodos de estiagem, em média, de oito meses. A baixa ocorrência de chuvas reduz as opções de exploração agrícola e pecuária com perspectivas de sustentabilidade. O Jaíba foi concebido, justamente, para garantir ao Norte de Minas uma opção sustentável de desenvolvimento econômico e social e é um dos poucos empreendimentos que captam novos investimentos públicos e privados. A fruticultura irrigada produz banana, manga, mamão, melão, abacaxi, limão, entre outros.

Próxima a esta área, está localizada a Universidade Estadual de Montes Claros com campus em Janaúba, onde funciona o curso de agronomia, que dentre as suas várias atribuições, busca capacitar seus alunos para trabalhar com irrigação em áreas do semi-árido.

Dessa maneira vemos a importância de adequar o perfil dos profissionais a serem formados ao mercado de trabalho. Sugerimos que o conhecimento seja construído em conjunto com os alunos a partir da problematização da realidade, como é sugerido por Delizoicov em seus três momentos pedagógicos.

Segundo nossos dados, podemos afirmar que a abordagem utilizada tem se mostrado adequada, dado o crescente interesse manifestado pelos alunos durante a disciplina, a maior segurança que adquiriram em relação à física e pela melhora do desempenho nas provas e nos trabalhos em grupo.

Afinal, segundo Paulo Freire, ensinar exige bom senso, apreensão da realidade e alegria, ou seja, ensinar exige a convicção de que a mudança é possível. Isso somado aos resultados significativos obtidos em relação à aprovação dos alunos na disciplina, mostrados no quadro 1, reforçam a ideia dos efeitos positivos que se podem conseguir a partir da mudança das estratégias de ensino utilizadas. É importante que os estudantes percebam as diferenças de compreensão de fatos no equacionamento de soluções. “Quem pensa certo está cansado de saber que as palavras a que falta a corporeidade do exemplo pouco ou quase nada valem. Pensar certo é fazer certo.” (Paulo Freire, 2005, p.34).

Por meio deste estudo, podemos compreender que a física estará sempre presente na maioria dos fenômenos que analisarmos, desde o ato de cavar a terra para o plantio, como para irrigar, construir, drenar e mecanizar. Tudo isso exige um conhecimento das leis e princípios da física, que regem os processos básicos e tecnológicos em prol do desenvolvimento.

Referências

Ari CARVALHO, A. M. P. ; GIL-PÉREZ, D. **Formação de professores de ciências**. São Paulo: Cortez, 1993.

DELIZOICOV, D. ; ANGOTTI, J. A. **Metodologia do ensino de ciências**. São Paulo: Cortez, 1994.

DELIZOICOV, D. ; ANGOTTI, J. A. **Ensino de ciências: fundamentos e métodos**. São Paulo: Cortez, 2002.

FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia**. São Paulo: Paz e Terra, 2005.

GRF (Grupo de Reelaboração do Ensino de Física). **Leituras de física**. São Paulo: USP, 2002.

LORENZETTI, L. ; DELIZOICOV, D. Alfabetização científica no contexto das séries iniciais. **Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências**. v.3, n.1, p.1-17, jun. 2001.

MORETTO, V. P. **Prova, um momento privilegiado de estudo – não um acerto de contas**. 6 ed. Rio de Janeiro: DP&A, 2005.

PORTILHO, A. P. O currículo de física: uma abordagem para a formação do técnico em agropecuária. In: **Atas do XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física**. Rio de Janeiro, 2005.

SANTINI, N. D. ; TERRAZZAN, E. A. Uso de equipamentos agrícolas para o ensino de física. In: **Atas do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física**. Jaboticatubas, 2004.

SANTINI, N. D. ; TERRAZZAN, E. A. Estudo de equipamentos agrícolas para o ensino de física: produção e implementação de módulos didáticos em escolas agrotécnicas. In: **Atas do XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física**. Rio de Janeiro, 2005.

O uso de reportagens científicas como alternativa para a construção do conhecimento científico¹

Glória Regina Pessôa Campelo Queiroz

Introdução

As novas tecnologias têm mudado a natureza da sala de aula, sendo esse fato já percebido e incorporado por alguns professores. Seu potencial para aprendizagens significativas é enorme, sendo para isso indispensável uma formação de docentes aptos a lidar com elas de forma a enriquecer os currículos escolares, atualizando-os em relação aos temas mais contemporâneos.

Como parte da formação de futuros professores de física, licenciandos do curso de física da UERJ foram orientados a planejar estratégias para levar o tema dos modernos aceleradores de partículas a suas escolas de estágio curricular supervisionado. Coube a eles definir os assuntos a serem tratados em uma reportagem científica que serviria de lançamento e apoio a projetos pedagógicos multi ou interdisciplinares, abordando diferentes aspectos: conceituais, procedimentais e atitudinais, que incluem os políticos, econômicos e sociais.

Os universitários ficaram encarregados de realizar entrevistas com especialistas em Física de Partículas e Cosmologias e com o público geral, além de planejar experimentos para compor oficinas pedagógicas e atividades de ensino-aprendizagem que abordassem o tema, relacionando temas clássicos da física escolar com temas contemporâneos. Após selecionar imagens na internet sobre o assunto, escrever o roteiro e realizar uma entrevista, a primeira reportagem ficou pronta, sendo levada a duas escolas e apresentada para público escolar em um evento na Universidade.

O objetivo da atividade foi o de oferecer aos alunos, dos dois segmentos, elementos para que se inserissem no projeto “Pesquisa e Extensão na interface entre a Física de Altas Energias e Astrofísica para a escola básica”², que envolve

¹ Este trabalho foi concebido em conjunto com a professora/pesquisadora Erika Zimmermann (UnB) e a versão escrita desta parceria apresentada no XIX SNEF.

² Apoio Faperj, projeto coordenado pelo professor José Claudio de Oliveira Reis (UERJ) e com a participação dos professores/pesquisadores Marcia Begalli (UERJ) e Maria Auxiliadora Machado (Unirio)

pesquisadores em ensino de física e em física, além de alunos e professores das escolas, passando a fases de maior aprofundamento no tema. A reportagem estabelece relações entre a teoria do Big Bang e o grande acelerador de hádrons, o LHC, em funcionamento há poucos meses no CERN. A teoria cosmológica mais aceita entre os cientistas foi o ponto de partida para se enfrentar o desafio de compreender o caminho que nos levou às estruturas que conhecemos. Seriam os aceleradores de partículas a chave para esse entendimento? Planejar e finalizar a reportagem levou à construção de conhecimento tecnológico-pedagógico de conteúdo³ (TCPC) nos licenciandos e seus professores, sendo a reportagem trabalhada também nas escolas envolvidas em parceria com a universidade.

Para que um vídeo se torne um meio de aprendizagem, deve-se levar em consideração que a aprendizagem é um processo de construção de conhecimento e que requer, portanto, motivação e engajamento dos estudantes. É sabido que estudantes ficam profundamente motivados e engajados quando tem a oportunidade de serem os produtores de materiais de divulgação científica (Hartmann; Zimmermann, 2008). Destacaremos neste trabalho a possibilidade de fazê-lo por meio de vídeos-reportagem, apoiados em material previamente preparado para ser disponibilizado durante a realização de projetos pedagógicos junto a estudantes da escola básica.

Educação em ciências

Entendendo a interdisciplinaridade pedagógica na educação em ciências como um movimento que há algumas décadas busca a superação da disciplinaridade fragmentadora da realidade complexa em que estamos inseridos e que deve ser estudada e compreendida pelos estudantes, visando à formação de cidadãos críticos e responsáveis por ela, esta palestra no I Simpósio Latino-Americano de Interdisciplinaridade no Ensino de Ciências se inicia com a discussão sobre a histórica separação entre as ciências da natureza e as ciências humanas, geradora de muitos conhecimentos específicos importantes, mas que foram perdendo sentido educativo pela baixa chance de adquirir significado para os estudantes em virtude de processos de transposição didática que sofreram. Tais processos, marcados pela imposição da avaliação em grandes números, tornaram o ensino de ciências carente de motivação à grande maioria dos estudantes, principalmente pela distância que o afastou do cotidiano dos alunos.

³ Mishra, P.; Koehler, M.J. Technological Pedagogical Content Knowledge: A Framework for Teacher Knowledge Teachers College Record, v. 108, n. 6, June 2006, p. 1017-1054 .

Há mais de uma década documentos oficiais orientam professores, escolas e sistemas de ensino alertando que “O momento, hoje, é o de se estruturar um currículo em que o estudo das ciências da natureza e o das humanidades sejam complementares e não excludentes” (Brasil, PCN Ciências Humanas, 1999).

Em um momento em que se valorizam as formas de expressão discursiva nas aulas de ciências, a linguagem audiovisual ganha relevância, por suas múltiplas perspectivas e atitudes que provoca. Por apresentar ideias complexas, através da presença simultânea de imagens estimulantes e sons, ambos carregados de informações, esse tipo de linguagem solicita a imaginação tanto de quem a planeja quanto de quem a “ouve” e “vê”. Em geral é apoiada por fundo musical e/ou por efeitos sonoros distintos que preenchem espaços vazios, atraindo a atenção em momentos escolhidos, podendo ainda conter textos que a enriquecem. Esse conjunto de elementos presente em um vídeo facilita a geração de significados pelo público que o assiste.

A utilização de vídeos em processos educativos já não é mais novidade. Vídeos são usados em salas de aula, em todos os níveis de ensino, para atingir finalidades pré-determinadas, desde simples entretenimento até a aprendizagem de conteúdos específicos de forma contextualizada. Além da possibilidade de utilização de documentários e filmes comerciais, ou produzidos por empresas estatais, multiplicam-se também as produções de uma classe especial de vídeos: os didáticos. Esses últimos despontam como valioso meio na motivação para a aprendizagem por serem produtos específicos desenvolvidos com intenções didático-pedagógicas e que levam em conta os contextos de recepção – escolas, salas de aula, museus. Esses meios de ensino-aprendizagem podem ser planejados e organizados por diferentes produtores: especialistas, professores e alunos. No entanto, há falta de critérios mais detalhados para que os professores possam escolher determinados vídeos visando determinados objetivos.

As ideias aqui desenvolvidas surgiram em uma experiência de pesquisa vivenciada em um Centro de Ciências Canadense⁴. Essa experiência foi trazida para licenciandos de física de uma universidade brasileira por mim, sua professora de estágio supervisionado e Instrumentação para o ensino da física. *Aceleradores de Partículas* foi o tema da primeira reportagem, pelo potencial de motivar estudantes do ensino médio, assim como os próprios licenciandos, levando-os a percorrer caminhos de aprendizagem científica e ganhando novas competências em um momento em que o ensino precisa superar práticas desgastadas.

⁴ O Centre des Sciences de Montréal foi criado pela Société du Vieux-Port de Montréal em novembro 1981. Maiores informações sobre o programa idTV e sobre o centro de ciências podem ser obtidas no sítio <<http://www.montrealsciencecentre.com/exhibitions/idtv.html>>.

Ao articular o mundo presente na mídia e na Física curricular, com a atividade de planejamento e produção de reportagens, os licenciandos tiveram oportunidade de desenvolver competências de investigação e compreensão, representação e comunicação e de contextualização sociocultural, aumentando as chances de, como futuros professores, levarem seus alunos a compreenderem a dinâmica da relação do homem com seu meio.

Referenciais teóricos

Embora nem todos os professores tenham, por diversas razões, incorporado a utilização das tecnologias mais recentes disponibilizadas ao grande público em sua ação docente, o fato é que elas a cada dia atraem mais a atenção dos alunos, chegando a interferir nas atividades escolares. O medo de mudanças e a falta de tempo e de suporte para a sua utilização estão pouco a pouco sendo vencidas por professores (Mishra; Koehle, 2006).

O maior acesso às filmadoras digitais e à internet conferiu aos professores e alunos a possibilidade de produzir material audiovisual no contexto educativo. Essa maior facilidade coloca à disposição das escolas um recurso hoje mais barato, acessível e com potencial para dinamizar as atividades didático-pedagógicas. Como consequência,

[...] multiplicaram-se os programas de incentivo ao uso do vídeo em sala de aula, passando a constar, inclusive, como política estratégica para superar o descompasso da escola em relação ao monumental avanço dos meios de comunicação de massa que se operava fora dela. (Vicentini; Domingues, 2008, p.3)

Muitos defendem que os vídeos e animações, por apresentarem múltiplas linguagens (texto, som, imagem), levam o espectador a uma multiplicidade de estímulos que acionam diversos centros neuroprocessadores de informações, resultando na construção de conhecimento por parte do espectador (Gino, 2003; Duarte, 2002). Gonçalves, Veit e Silveira (2006) consideram

[...] como importante razão para a inserção de novas tecnologias na vida escolar, o fato de que elas fazem parte do cotidiano do aluno e o fato de que é preciso que haja uma adequação das escolas e dos profissionais da área de educação na produção, desenvolvimento e aplicação de tais tecnologias. (p.2)

Nesse contexto, pesquisadores em ensino de física e educação em ciências já tomaram o tema da produção de vídeos e animações como assunto de artigos e dissertações (Araújo et al, 2002; Mendes, 2010). Entre eles destacamos Araújo et al (2002) que desenvolveram um projeto de produção de vídeos didáticos para o ensino de física a partir de situações do cotidiano, enfatizando os conceitos básicos trabalhados no ensino médio.

Pereira (2006), em seu trabalho de mestrado, colocou, “literalmente”, uma câmera de vídeo na mão dos estudantes, dando-lhes liberdade para escolher o tema de ciências do currículo de oitava série do ensino fundamental para produzirem um documentário sobre o tema por eles escolhido - *Aceleração e velocidade*. Todos os passos do processo foram acompanhados pelo pesquisador, ficando claro que a diversidade dos aspectos abordados pelos alunos, para documentar o tema, foi produzida a partir do engajamento de toda a turma.

Por um lado, pesquisas como essas têm mostrado o quanto a produção de vídeos auxilia na aquisição de conhecimentos, despertando, dentre outras coisas, as trocas, a parceria e o espírito de pesquisa entre os alunos (Cozendy et al, 2005; Pereira, 2006) pois, afinal, as linguagens de áudio e vídeo permeiam as relações humanas.

Para se pensar pedagogias apropriadas ao ensino de determinados conteúdos com o apoio das novas tecnologias, um novo conhecimento docente se faz necessário, o conhecimento tecnológico-pedagógico de conteúdos (TPCK – sigla em inglês, cunhada por Mishra; Koehle, 2006).

Discussões no âmbito da pesquisa em educação em ciências referentes ao uso de tecnologias contemporâneas na educação vêm mostrando que o novo conhecimento requerido dos professores pode compartilhar na sua base com o conhecimento pedagógico de conteúdo (PCK- sigla em inglês para *pedagogical content knowledge*) proposto por Shulman (1986; 1987), quando esse autor teorizou sobre a inadequação da separação entre o conhecimento disciplinar de conteúdo e o conhecimento pedagógico. Enfatizou assim a necessidade dos educadores pensarem na integração das duas categorias de conhecimento docente, tratando-se dos processos de construção da pedagogia que um determinado conteúdo requer para que seja aprendido pelos estudantes e que muitos professores desenvolvem no seu dia a dia e no contato com pesquisas da área de educação em ciências.

Segundo Mishra e Koehle (2006), similarmente, hoje, o conhecimento da tecnologia não pode ser separado dos conhecimentos da pedagogia e dos conteúdos. Essa constatação faz com que se pensem processos de ensino a partir de projetos pedagógicos nos quais as novas tecnologias se façam presentes como motivadoras, capazes de gerar interesse e aprendizagens significativas ao envolverem os alunos em compromissos de comunicação dos resultados encontrados em investigações inerentes aos projetos em desenvolvimento.

Realizando reportagens de DC durante visita a um centro de ciências

Tendo como lemas: “Ciência cidadã, ciência responsável, desenvolvimento durável” e “A Ciência faz parte do nosso cotidiano”, o Centro de Ciências de Montreal, Canadá, desenvolveu o Projeto idTV que conta com uma sala de exposição destinada à reflexão de temas atuais do debate de ciência e tecnologia, com os objetivos de: (1) variar os estilos e as maneiras de apresentação da ciência e tecnologia do centro de ciências; (2) ajudar os visitantes a se informar sobre ciência e tecnologia para a tomada posição nos grandes debates da sociedade; (3) ajudar o visitante a passar de uma consciência individual para uma consciência coletiva; (4) levar o visitante a questionar-se para agir em conjunto; (5) sensibilizar o visitante em relação aos debates da atualidade ligados à C&T; e (6) ajudar o visitante a entender que refletir é: escutar, se informar, se colocar perguntas, se expressar, opinar e debater.

A sala do museu intitulada idTV foi planejada para que o visitante (em geral público jovem entre 9 e 14 anos) crie sua própria reportagem sobre temas controversos de C&T, abrigando mesas para os visitantes trabalharem em grupos de dois a cinco por mesa. A estação de trabalho de cada mesa conta com programa de TV gravado por um apresentador que orienta os alunos sobre as nove etapas do que deve ser feito pela equipe para a produção de um programa de TV, lembrando que eles serão ao mesmo tempo produtores e repórteres. Os alunos podem escolher dentre cinco temas: (a) Celular, aparelho ou revolução? Meu celular salvou minha vida. (b) Clonagem, um benefício para a humanidade? É preciso parar as pesquisas? (c) Os voos espaciais tripulados: uma despesa inútil? Devemos continuar enviando seres humanos ao espaço? (d) A ciência deve estar do lado dos esportistas ou da melhoria da *performance*? Dopagem? (e) O automóvel: um mal necessário? Poluição e saúde; quem, eu, andar a pé?

As etapas a serem seguidas pelos alunos são: (1) escolha do tema, entre os cinco disponíveis; (2) contextualização do tema escolhido; (3) aprendizagem e a seleção dos diferentes conteúdos disponíveis, que podem ser vistos em vídeos de 15 segundos cada e contam com entrevistas com especialistas e outras em que o público leigo opina e se posiciona sobre o assunto (material básico aqui denominado de base estrutural); (4) definição do ângulo da reportagem: o posicionamento dos alunos repórteres – a favor ou contra? (5) preparação do vídeo final com uso dos pequenos vídeos com as entrevistas selecionadas para edição da defesa da posição tomada pelos alunos repórteres; (6) gravação da introdução e da conclusão feitas pelos alunos; (7) edição final com escolha do título, imagem de fundo e música; (8) visualização da reportagem completa; (9) preenchimento de um formulário para difusão do vídeo em grande tela na sala e envio deste por e-mail.

A experiência vivida nesse espaço de educação não-formal ajuda a ampliar o conhecimento acerca de inúmeras questões que se interligam e se conectam ao tema escolhido para a realização da reportagem. Discussões sobre aspectos políticos, econômicos, sociais e históricos se juntam às necessárias explicações dos conceitos das ciências da natureza ligados aos temas, durante a produção do roteiro.

Projetos pedagógicos com produção de reportagens sobre CTS

A premência da demanda atual por formação cidadã para todos é um dos motivos que torna a alfabetização científica uma meta da educação em ciências. Entendendo o currículo como prática cultural, evita-se vê-lo somente como “produto de uma seleção de conhecimentos e valores”, visando-se assim a sua construção “na relação entre os muitos mundos culturais que o constituem” (Macedo, 2004, p.122). Com tal compreensão de cultura, como constitutiva de práticas cotidianas de significação, os projetos político-pedagógicos passam a contar com planos de trabalho alternativos e os professores se dispõem a enfrentar, de forma coletiva, os desafios no acompanhamento das mudanças sociais refletidas nas escolas. Tais projetos não são meras metodologias inovadoras, possuem caráter político e cultural e levam em conta contribuições da pesquisa sociocultural (Hernández, 1998) e também da psicologia cultural, que dão grande valor à participação e à expressão individual e coletiva dos envolvidos nos processos educacionais, incluindo a comunidade.

Para o desenvolvimento de um projeto pedagógico na escola, algum tema ou situação-problema deve ser escolhido, abrindo-se subtemas a serem trabalhados, aproveitando-se para isso o re-despertar para a importância das atividades experimentais no ensino das Ciências e das interações interdisciplinares que o projeto proporciona.

É preciso formar cidadãos que não fiquem em pânico e nem passivos em relação ao alcance do poder da ciência, podendo opinar sobre temas científicos sem deixar as escolhas apenas a cargo dos especialistas e que, para isso, sejam capazes de “ler” criticamente as informações científicas que lhes chegam através da mídia.

Reportagem realizada

Para implementar uma educação em ciências inovadora em direção aos objetivos apresentados até aqui, tanto na formação inicial de professores quanto nas escolas, atuando também na formação continuada dos docentes em serviço,

optou-se por desenvolver em 2010 o projeto “Pesquisa e Extensão na interface entre a Física de Altas Energias e Astrofísica para a Escola Básica”. Tal escolha deveu-se a diversos fatores, dentre eles a importância que o conhecimento da estrutura da matéria possui para a compreensão do universo. É importante que os alunos compreendam ainda as aplicações tecnológicas oriundas dessas pesquisas e percebam como a mídia trata dos assuntos relacionados ao acelerador de partículas LHC (Large Hadron Collider – grande colisor de hádrons em português, o maior acelerador de partículas do mundo). A partir desse estudo se deseja inferir a composição e o comportamento de toda a matéria e a energia presentes no universo, desde momentos próximos ao da sua criação no *Big Bang*, promovendo assim a ligação da física do micro com a do macro mundo.

O ano de 2010 foi escolhido pelo nosso grupo da universidade, em parceria com algumas escolas, para inaugurar as comemorações dos cem anos da física atômica em 2011. Esse tema se mostrou adequado à produção de reportagens pelos licenciandos em física, em formação inicial. De início, os alunos foram orientados em como traçar seus roteiros da reportagem, que incluíram o cronograma das etapas a serem percorridas e a escolha dos pesquisadores para as entrevistas a serem feitas. O trabalho ocorreu de forma grupal, dando-se autonomia aos alunos na escolha dos aspectos a serem explorados nas entrevistas e que resultaram das discussões iniciais com os formadores na universidade. Além disso, foram livres para a busca na internet tanto dos conteúdos específicos da física de partículas quanto naqueles referentes aos aspectos tecnológicos necessários para a captura de imagens, vídeo-gravação e edição do vídeo. A presença de um aluno do grupo com experiência na edição de vídeos caseiros facilitou o trabalho, gerando aprendizagens tecnológicas para os licenciandos e seus professores.

Como produto da construção de conhecimento tecnológico-pedagógico de conteúdos realizada pelos licenciandos, além da reportagem com duração de 10 minutos, foi escrito por eles um conjunto de perguntas e respostas sobre o tema, além de orientações tecnológicas sobre produção de vídeos a ser levado aos alunos de ensino médio onde a reportagem fosse apresentada, possibilitando o desenvolvimento de habilidades tecnológicas também entre esses alunos. Porém, mais importante do que adquirir tais habilidades tecnológicas individualmente foi o fato de as terem aprendido em um contexto coletivo e pedagógico de introdução de um tema contemporâneo na física do ensino médio, levando-os a pesquisarem sobre: as concepções prévias sobre o assunto (por exemplo – detectores de partículas), a transposição didática a ser feita para o nível médio de ensino, incluindo discussões sobre as repercussões sociais do assunto junto a diferentes atores nos contextos envolvidos.

Como exemplo de conhecimento construído pelos futuros professores, de cunho que é ao mesmo tempo tecnológico e pedagógico, está o saber focalizar um tema dentro de uma mensagem a ser comunicada via uma reportagem de até 10 minutos, sentindo o quanto ela desperta ou não motivação para a aprendizagem científica e permite a exploração de diferentes aspectos educacionais quando apresentada a alunos de todos os níveis.

Apresentação da reportagem nas escolas

Depois de pronta, a reportagem foi apresentada a um público de 80 alunos, em duas escolas de ensino médio do Rio de Janeiro, uma na zona sul da cidade (35 alunos) e outra na zona norte (45 alunos). Na primeira, a exibição foi feita a convite da coordenação de extensão da escola para a participação da universidade em um evento dentro da Semana Nacional de Ciência e Tecnologia de 2010. A segunda foi levada por licenciandos bolsistas do projeto liderado por um professor de física ao longo do ano letivo, no âmbito de uma parceria universidade-escola. A reportagem ficou também em exposição contínua durante o evento UERJ sem muros de 2010, cuja data determinou inclusive a sua finalização pelos licenciandos, sendo levada ainda mais uma vez a outra escola durante o dia da Física. As experiências vivenciadas pelos licenciandos que participaram das quatro exibições a um público estimado de 300 pessoas estão relatadas em seus relatórios da disciplina de estágio supervisionado e serão tema de uma próxima investigação.

Na primeira oportunidade, em um auditório da escola, pediu-se que os 35 estudantes assistissem à reportagem pensando em formular pelo menos questão para o debate que seria feito logo após a exibição. Na segunda escola, a pesquisadora entrevistada esteve presente para responder ao vivo às questões formuladas pelos alunos, após levar a eles relato de sua experiência junto ao CERN na Suíça e França, sendo que a reportagem já havia sido apresentada duas semanas antes pelos licenciandos no contexto do projeto em desenvolvimento em duas turmas da escola.

A recepção dos alunos à reportagem foi muito boa, sendo formuladas por eles diversas questões que iam surgindo na sequência às respostas dadas pelos professores da universidade presentes. As perguntas dos alunos nesse primeiro caso tiveram caráter conceitual ou tecnológico e são apresentadas em nota no final desse texto⁵¹. Durante o debate, que aos poucos foi se aquecendo, surgiram oportunidades dos professores e dos licenciandos presentes abordarem aspectos epistemológicos e sociais. Com o apoio de três experimentos de baixo custo: um acelerador macroscópico de Gauss, uma lâmpada de plasma e um conjunto de indução eletromagnética, discussões sobre a relação teoria-prática na produção da ciência foram o ponto alto do debate, reafirmando o papel dos experimentos na motivação para a aprendizagem científica.

Nesse ponto a relevância epistemológica do tema, escolhido entre os muitos de física moderna e contemporânea possíveis de serem levados ao ensino médio, nos mostrou a pertinência pedagógica da escolha feita, uma vez que o processo experimental de aceleração de partículas ganhou significado para os alunos, evidenciando a importância das teorias atuando primordialmente como guias de observação, sem impedir modificações nas pré-existentes ou mesmo o surgimento de novas.

Em outras palavras, procurou-se levar a mensagem de que, com a forma de trabalho adotada nesse grande experimento que é o LHC, afirmações sobre experimentos não podem ser feitas sem a utilização de uma linguagem e de modelos de alguma teoria conhecida de partida, tendo-se enfatizado que teorias ocupam papel marcante na escolha das metodologias usadas e nas estratégias disponíveis para a análise dos dados coletados nos detectores, gerando as interpretações que resultam dessa análise.

Considerações finais

Relatamos nessa palestra uma experiência de produção e exibição de reportagens científicas no contexto de um curso de licenciatura em física. Entre os possíveis ganhos interdisciplinares destacados na construção de conhecimento tecnológico-pedagógico realizada durante o processo estão: a construção de conceitos novos que inter-relacionam diferentes disciplinas, gerando significado para conteúdos tradicionais como, por exemplo, o conceito de aceleração de corpos macroscópicos e sua relação com conceitos contemporâneos, como no caso dos aceleradores de partículas; a emergência de uma visão de ciência contemporânea relacionando teorias, simulações, modelos, linguagens a experimentos; os aspectos sociocientíficos ligados às aplicações tecnológicas que podem justificar os investimentos feitos, como as aplicações medicinais e a criação da internet; a formação do posicionamento crítico necessário à formação de cidadãos engajados socialmente na inclusão de outros; a atualidade do tema escolhido para que seja bem vindo o convite a professores de outras áreas e dos alunos da escola; a oportunidade construção de conhecimento tecnológico-pedagógico de conteúdos por professores em formação inicial e continuada.

Nesse sentido, a física ganhou chance de despontar, já para os alunos a partir do ensino médio, como um elemento básico para a compreensão e a ação no mundo contemporâneo e para a satisfação cultural do cidadão de hoje, sem deixar de lado a sua presença amalgamada interdisciplinarmente a conhecimentos de outras áreas.

Apêndice

Perguntas dos alunos da escola da Zona Sul RJ

- Onde estaria a antimatéria no espaço?
- Como a antimatéria seria percebida?
- Como as três dimensões interagem?
- A energia produzida na colisão entre matéria e antimatéria é grande?
- O que seria matéria escura?
- E se as partículas não forem puntiformes?
- Quais são “as quatro forças elementares”?
- É possível se construírem LASERS com os aceleradores de partículas?

Perguntas feitas pelos alunos da escola da Zona Norte RJ

- No que “isso” vai mudar as nossas vidas? Vai ser só mais coisa pra a gente estudar?
- Tem buraco negro no LHC?
- Porque o LHC fica no subterrâneo?
- O que é a partícula Deus?
- Qual é a relação entre o LHC e o Big Bang?
- Porque ocorreu o Big Bang?
- A criação do universo pelo Big Bang anula a criação do universo por Deus?
- Antes do Big Bang existia apenas um átomo?
- Por quanto tempo vai funcionar o LHC?
- Como são produzidos e acelerados os íons?
- Qual é o salário no CERN?
- Quais pessoas são empregadas no CERN (profissões)?
- Como se dá a passagem entre fronteiras no CERN (França - Suíça)?
- Há algum tipo de discriminação pelo fato de existirem lá muito mais homens que mulheres?

Referências

ARAÚJO, C.P.; SOUZA, M. O. ; GOMES, A.F O ensino de física com a utilização de inovações tecnológicas, **Anais do III Taller Internacional sobre Didáctica de la Física Universitaria**, Matanzas-Cuba: 2002.

BRASIL. **Parâmetros curriculares nacionais**. Brasília: MEC,1999.

COZENDEY, S.G.; ARAÚJO C.P.; GOMES, A.F. e SOUZA, M.O. Uma experiência de desenvolvimento de vídeos didáticos para a apresentação de conceitos básicos de Física em escolas secundárias da região Norte-Fluminense. **XVI Seminário Nacional de Ensino de Física**, Rio de Janeiro: 2005.

DUARTE, R. **Cinema e educação**. 2 ed. Belo Horizonte: Autêntica, 2002.

GINO, M. S. **A expressão do pensamento analógico metafórico por meio da animação cinematográfica**. Dissertação (Mestrado). Belo Horizonte, CEFET-MG, 2003.

GONÇALVES, Leila J; VEIT, Eliane A.; SILVEIRA, Fernando, L. Textos, animações e vídeos para o Ensino-aprendizagem de Física Térmica no Ensino Médio. In: **Experiências em ensino de Ciências**, v.1, n.1, p. 33-42, 2006,. Disponível em <http://www.if.ufrgs.br/eenci/artigos/Artigo_ID17/pdf/2006_1_1_17.pdf> Acesso em: 6 set 2010.

HARTMANN, Angela Maria; ZIMMERMANN, Erika O impacto da Semana Nacional de Ciência e Tecnologia sobre o conhecimento de Física de alunos de ensino médio. In: XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 2008, Curitiba. **XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, 2008.

HERNÁNDEZ, F. Repensar a função da Escola a partir dos Projetos de Trabalho, **Revista Pátio**, Porto Alegre, ano 2, n. 6, p 27-31, ago.-out. 1998.

MACEDO, E. Ciência e Tecnologia e Desenvolvimento: uma visão cultural do currículo de Ciências. In: LOPES; MACEDO (Orgs.). **Currículo de Ciências em debate**. Rio de Janeiro: Papirus, 2004.

MENDES, M.A.A. **Produção e utilização de animações e vídeos no ensino de biologia celular para a 1ª série do EM**. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências) - Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

PEREIRA, A. J. M. **A produção de vídeos didáticos de ciências como situação-didática**. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências e Saúde) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

SHULMAN, L.S. Those who understand: Knowledge Growth in Teaching - **Educational Researcher** v. 15, n. 2, 4 - 14, 1986.

SHULMAN, L.S. Knowledge and Teaching: Foundations of the New Reform - **Harvard Educational Review**. v. 57, n.1, 1987.

VICENTINI, G.W.; DOMINGUES, M.J.C.S. O uso do vídeo como instrumento didático e educativo em sala de aula. XIX ANGRAD. **Anais do XIX ANGRAD**, Curitiba, 2008.

Processo argumentativo no ambiente escolar envolvendo questões sociocientíficas

Liz Mayoly Muñoz Albarracín, Washington Luiz Pacheco de Carvalho, Francisco Nairon Monteiro Júnior e Amadeu Moura Bego

Introdução

A pesquisa contou com a participação de cinco pesquisadores, mestrandos e doutorandos do Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência da Faculdade de Ciências da Unesp campus de Bauru, São Paulo, Brasil. Com o intuito de investigar o desenvolvimento do processo argumentativo num contexto de debate aberto sobre questões de cunho sociocientífico, realizou-se uma intervenção em sala de aula com alunos do 2º ano do Ensino Médio de uma escola pública localizada no município de Botucatu, SP.

Faz-se mister relatar que os pesquisadores se reuniram na ocasião em que cursavam a disciplina “Energia e Desenvolvimento Humano”. Nestes encontros embrionava-se a possibilidade de uma intervenção que poderia materializar as discussões e teorias estudadas neste espaço acadêmico. Este desejo inicial começou a tornar-se possível graças à oportunidade gerada por uma das participantes que, por lecionar a disciplina matemática no ensino médio, conseguiu a autorização necessária para a realização desta pesquisa empírica.

Dentre os pesquisadores havia um da área de matemática, que também era professor dos estudantes envolvidos neste trabalho, dois da área de química, um da área de física e um da área de biologia, o que deu ao grupo uma proveitosa heterogeneidade, evidenciada nas diferentes contribuições que cada um pode trazer de sua respectiva área.

O propósito do grupo, fundamentado nas pesquisas em educação em ciências dos últimos tempos, foi o de propor uma estratégia de ensino que buscasse interligar os diversos conteúdos curriculares das ciências naturais e da matemática, além de apresentá-los contextualizados e relacionados, de alguma forma, ao cotidiano dos alunos. Desta forma, optamos por desenvolver nosso trabalho a partir de temas geradores e questões sociocientíficas, já que apresentam algumas características bastante pertinentes, dentre as quais: exigem o questionamento das ações e aplicações da ciência e da tecnologia; a

compreensão e o questionamento da própria construção do conhecimento científico (abordagens epistemológicas); os debates sobre a neutralidade da ciência; as relações dinâmicas do desenvolvimento das ciências e da tecnologia; a compreensão dos conceitos relacionados à energia. Tal propósito fundamentou-se, de um lado, na possibilidade de promover uma educação integradora, onde as diversas disciplinas pudessem participar conjuntamente na promoção de um saber sistêmico e, de outro, no intuito de materializar tal proposta por meio de temas geradores e questões sociocientíficas de forma interdisciplinar. Desta forma, buscamos estabelecer uma situação de debate onde as disciplinas envolvidas pudessem concorrer na construção de um saber crítico em torno do tema gerador, analisando-o tanto nos aspectos científicos quanto nos aspectos sociais, em sintonia com o que aponta Libâneo (2002) com respeito à atitude neste tipo de prática. Segundo ele,

Interdisciplinaridade, portanto, é uma atitude frente ao processo do conhecimento, seja na pesquisa, seja no ensino. É confluência de saberes para compreender melhor a complexidade do mundo. A ideia é de que não se trata de conhecer por conhecer, mas compreender a realidade para transformá-la. No conceito interdisciplinar está a ideia de superação da especialização excessiva, portanto, de maior ligação teoria-prática, mais ligação da ciência com suas aplicações. (Libâneo, 2002, p. 74)

Retomando o proposto pelo autor, percebemos que no trabalho desenvolvido não foi suficiente reunir um grupo de professores para trabalhar uma temática específica. A atitude dos professores pesquisadores e sua vontade em querer fazer da sala de aula um espaço de geração de ideias, compartilhando com os alunos e discutindo uma problemática que era conhecida por eles, pretendeu entender como percebiam o assunto a partir de distintas miradas e analisar como chegavam a construções que explicavam o problema colocado, envolvendo questões sociais, políticas e ambientais fora das disciplinas trabalhadas com eles.

A interdisciplinaridade no ensino das ciências

O termo ‘interdisciplinaridade’ é aqui utilizado sob o fundamento de que hoje nenhum campo do conhecimento, isoladamente, dá conta de compreender e explicar a realidade (Alves, 2004). Dessa forma, a pesquisa procurou analisar como alunos do Ensino Médio constroem argumentos, que são defendidos durante um debate, relativos à questão sociocientífica “Impactos da produção e uso do etanol”. Para tanto, foram planejadas e desenvolvidas

atividades prévias, envolvendo as disciplinas de química, biologia, matemática e física, que articulassem elementos conceituais, a partir dos quais os alunos conseguiriam entender a problemática estudada.

Para trabalhar propostas interdisciplinares é preciso partir de fundamentos filosóficos que procurem envolver a compreensão da natureza das ciências no ensino, permitindo entender sua construção. Isto significa que é preciso conhecer as disciplinas, seus objetos de estudo, suas teorias e modelos, assim como seus limites e conhecimentos de fronteira, para poder interagir com outras ciências. Deste modo, para trabalhar interdisciplinarmente se deve partir do estudo disciplinar dos conhecimentos para identificar as relações e interações que podem surgir entre diversas áreas de saber, o que mostrará o conhecimento como uma construção coletiva e não fragmentada do saber, ainda que a especialização do conhecimento tenha surgido como uma opção para poder estudar o universo de saberes. Contudo, não obriga a abandonar uma visão holística sobre como estudar as ciências e sua natureza.

O prefixo “inter”, segundo Gusdorf, (1990)¹, não indica apenas uma pluralidade, uma justaposição; evoca também um espaço comum, um fator de coesão entre saberes diferentes. Os especialistas das diversas disciplinas devem estar animados de uma vontade comum e de uma boa vontade. Cada qual aceita esforçar-se fora do seu domínio próprio e da sua própria linguagem técnica para aventurar-se num domínio em que não se é o proprietário exclusivo. A interdisciplinaridade supõe abertura de pensamento e curiosidade que se busca além de si mesmo.

Numa abordagem interdisciplinar, de acordo com Fourez (2001), o objetivo é construir representações de situações específicas, utilizando os conhecimentos das diversas disciplinas, de forma articulada. Para tanto, faz-se necessário que especialistas partam da modelização de uma situação-problema, para planejar, de forma simultânea e coletiva, as ações a serem desenvolvidas nas diversas disciplinas. Dessa maneira, espera-se compreender a situação de um modo mais completo.

A interdisciplinaridade é, portanto, uma “inter-relação entre os saberes científicos” (Libâneo, 2005, p.38), o que pode significar interação entre duas ou mais disciplinas, para superar a fragmentação e a compartimentalização dos conhecimentos para resolver um problema, é uma atitude, um modo de proceder intelectualmente, é uma prática de trabalho científico, profissional, de construção coletiva do conhecimento o que significa desenvolver a capacidade de pensar a realidade, as coisas, os acontecimentos, na sua globalidade.

¹ *Contribuição para um vocabulário sobre interdisciplinaridade*. Seleção e organização de Olga Pombo

Argumentar para construir conhecimentos científicos

A análise realizada no percurso da experiência centrou-se no uso dos argumentos num contexto específico relativo à questão sociocientífica “Impactos da produção e uso do etanol”, com a finalidade de indagar como a temática abordada é compreendida e representada pelos estudantes. Neste sentido, Lemke (1998a), afirma que só olhando para como as pessoas realmente desenvolvem recursos para compreender como realmente se engajam seletivamente em ações significantes, e fazem parte de pautas e atividades maiores, ajudaria para saber que nós precisamos olhar para uma figura mais teórica do ensino em ciência.

Adotamos como referencial teórico principal a proposta de Van Eemeren e Grootendorst (2004), a qual defende que uma completa teoria da argumentação tem que ser normativo-descritiva, e, assim, conter uma estrutura teórica e metodológica para a solução de diferenças de opiniões, atendo-se a regras de conduta específicas, para que os participantes não caiam num relativismo de vertente antropológica, ou seja, apenas dependendo do julgamento humano, sem critérios de compromisso frente aos participantes, assim como para com o tema controverso em discussão.

Argumentação é uma atividade verbal, social e racional que objetiva convencer um “crítico razoável” sobre a aceitabilidade de um ponto de vista por meio de um conjunto de proposições, justificando-o ou refutando-o. A princípio, a argumentação é uma atividade *verbal*, que acontece por meio do uso da linguagem. Uma atividade *social*, porque é dirigida a outra(s) pessoa(s); e uma atividade *racional*, pois é baseada em considerações intelectuais (Van Eemeren; Grootendorst, 2004).

O debate construído a partir de uma proposta interdisciplinar

Atualmente, as pesquisas em Educação em Ciências têm atentado para a necessidade de propor estratégias de ensino, que busquem ligar os conteúdos curriculares das Ciências Naturais ao mundo real (Carvalho, 1998; Guerra, 1998; Alves, 2004). Daí nosso interesse em trabalhar em sala de aula com os alunos propostas que desenvolvam habilidades comunicativas, como um meio para articular conhecimentos científicos escolares e que evidenciem a compreensão das ciências e seu envolvimento com a vida do dia a dia, mostrando que os aspetos sociais, políticos, econômicos e culturais têm a ver com a vida das pessoas e sua participação como cidadão de um país que deve expressar o que pensa frente às decisões que são tomadas por outros.

O debate promovido em sala de aula, que durou pouco mais de cinquenta minutos, foi filmado e as falas dos estudantes foram transcritas. O tema proposto foi “Energia”, sendo a questão do embate a comparação entre combustíveis fósseis e o álcool, questão focalizada pelos pesquisadores devido à grande relevância do tema, em geral, e também para a região onde a escola está localizada, a qual apresenta grande quantidade de plantações de cana-de-açúcar e usinas sucroalcooleiras.

Para o desenvolvimento do debate foi necessário construir uma base de conceitos e ideias sobre o tema. Dentre os diversos aspectos trabalhados com os estudantes, a perspectiva socioambiental da produção e utilização de diferentes tipos de combustíveis foi enfatizada. As aulas expositivas foram cuidadosamente preparadas e ministradas pelos pesquisadores, embasando a problemática nas disciplinas, evidenciando ligações da biologia com os processos produção de cana-de-açúcar, da química com a obtenção de produtos e derivados do processamento da cana, da física com o funcionamento das usinas e da matemática com as problemáticas ambientais e o impacto que elas causam, por meio dos dados de pesquisas realizadas em regiões específicas no Brasil. Os alunos também assistiram a alguns filmes e documentários que foram selecionados segundo a afinidade com alguma perspectiva de interesse do tema em questão. A seguir aparecem algumas das questões que foram colocadas para discussão durante o processo e que foram retomadas no debate.

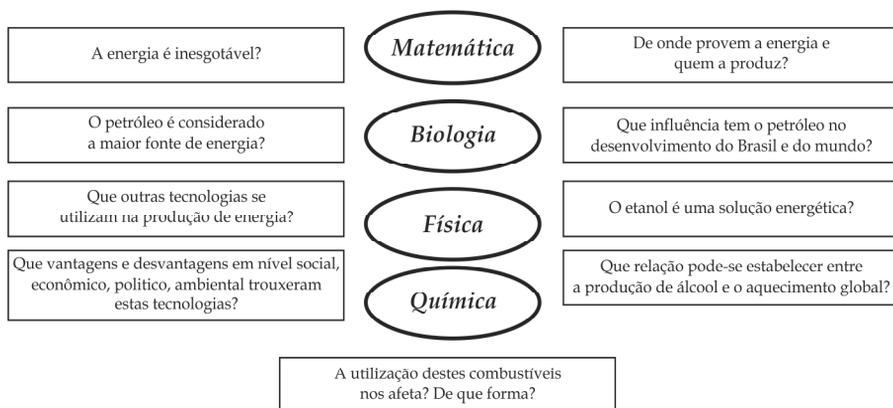


Figura 1. Questões sociocientíficas trabalhadas com os alunos.

Também foi trabalhada a questão dos biocombustíveis e todos os processos químicos envolvidos na produção do álcool e da gasolina, assim

como as vantagens e desvantagens da utilização destes diferentes tipos de combustíveis. Para tal, os pesquisadores utilizaram também projeção de slides que continham gráficos, tabelas, diagramas, entre outros.

A dinâmica desenvolvida num debate planejado se mostrou não “natural” para os estudantes. No entanto, foi assimilada pela maioria deles, o que parece ter sido determinante para que o clima de compromisso prevalecesse sobre a indiferença de alguns poucos alunos.

A análise das transcrições permitiu selecionar trechos nos quais os alunos argumentavam a favor ou contra a utilização de combustíveis como a gasolina e o álcool. De um modo geral, foi possível perceber que as falas que os alunos introduziam no debate geravam re-significação dos conteúdos, o que foi evidenciado nas intervenções que exigiram re-elaboração, ou que manifestavam ideias contrárias às dos demais participantes. Este fato evidencia que as contextualizações propiciadas pelo debate oferecem oportunidades de “processamento” das informações pelos participantes, o que fornece sentido, ou novo sentido a informações soltas que permeavam o debate. Neste sentido, percebemos que a promoção de debates na escola pode ajudar na abordagem de conceitos científicos, principalmente aqueles mais complexos e de perspectivas mais abrangentes, melhorando os processos de ensino-aprendizagem.

A participação de vários professores, de distintas áreas (química, biologia, matemática e física), favoreceu o desenvolvimento do debate em um clima bastante próximo ao esperado. Tanto a autoridade conferida pela presença deles quanto a variedade de informações por eles levadas nos fazem crer que o preparo de professores para esta atividade merece grande atenção nas licenciaturas, nos cursos de formação continuada e nas pós-graduações.

Desta forma, o aprendizado deve transpor os limites da escola, para além dos objetivos dos testes de aprendizado. Deve servir para o cidadão comum, capacitá-lo para agir conscientemente, decidir, analisar. Para isto, é necessária uma formação escolar em que problemas reais sejam geradores das atividades, motivadores do aprendizado. É preciso buscar uma leitura dos problemas a partir de uma consciência mais ampla, e esta só pode ser construída se as diversas linguagens forem ensinadas como partes de um mesmo todo. Muitas vezes, a incapacidade de um indivíduo de atuar conscientemente frente aos desafios e problemas da vida ocorre pelo fato de ele não perceber que os conhecimentos escolares adquiridos, as experiências vividas e os aprendizados delas extraídos reportam-se a uma mesma realidade e que juntar estes mundos é tarefa de cada ser consciente. Contudo, cabe à escola promover o encontro dos mundos através de atividades interdisciplinares, tais como debates, feiras, palestras, entre outros. Cabe a ela criar o ambiente necessário para que o aluno possa agir conscientemente na construção de sua leitura do mundo. Tal desafio

não se constitui tarefa fácil para nós professores. Quando pensamos em interdisciplinaridade, os desafios não são poucos, pois ligar os mundos não é tarefa imediata, principalmente quando não há uma práxis pedagógica envolvida. Muito embora este caminho pareça ser pertinente, muitos dos colegas professores sequer têm clareza do que consiste uma prática interdisciplinar (Augusto et al, 2004). Ainda assim, a promoção de debates em sala de aula, buscando problematizar relações em CTSA, parece constituir-se num caminho frutífero, como testemunhamos na presente pesquisa.

Podemos, então, encontrar na problematização um interessante modo de guiar tais debates, onde os professores “mudam de papel”, saindo do tradicional, expositor de conteúdos prontos, fechados – conceitos engessados, para um “papel” de mediador, preocupando-se, de um lado, com a conduta dos participantes, buscando manter o respeito pelas crenças alheias e, de outro, resgatando as falas que podem constituir-se em pontos centrais de discussão que ajudam a fortalecer argumentos que pretendem a defesa do ser humano, sua integridade e possibilidade de tomar partido nas decisões que competem na conservação da vida, o planeta e o respeito pelos interesses de cada um de nós como membros de um coletivo que deve agir em prol do bem comum.

Finalmente, a experiência realizada na escola, com alunos do ensino médio, converteu-se em objeto de análise com a finalidade de avaliar as intervenções dos participantes durante o debate desenvolvido em torno da discussão sobre o uso do álcool, suas vantagens e desvantagens. A temática da discussão não era desconhecida para os alunos, tendo em vista que a região de Botucatu tem contato direto com as usinas sucroalcooleiras. Além disso, as informações levadas aos estudantes na etapa de preparação prévia, através dos filmes, documentários, exposição de slides e seminários forneceu-lhes um quadro bastante abrangente, o que teoricamente era suficiente para a formação de uma opinião, ainda que provisória.

As falas dos alunos nos permitiram perceber que determinados conteúdos científicos trabalhados passaram a fazer sentido para muitos deles no contexto do debate, ou seja, o debate proporcionou o “processamento” das informações, de modo a serem ancoradas em outras ideias já apropriadas, gerando conhecimento.

Limites e possibilidades

Apresentamos aqui algumas reflexões e conclusões que os autores consideraram que devem se ressaltar sobre a experiência realizada.

A criação de espaços que promovam a discussão em sala de aula fornece a possibilidade de gerar nos alunos habilidades comunicativas em contextos próprios de debate, permitindo-lhes organizar suas falas e utilizar fundamentos de diferentes disciplinas, que podem se transformar em argumentos críticos, que estejam relacionados com a realidade e os problemas que se derivam das interações entre os sujeitos, os objetos e o mundo em que todos eles interagem.

Outra habilidade que se desenvolveu foi a possibilidade de construir críticas, o que significou verificar em que grau os conhecimentos expressam interesses e ideologias de determinados grupos sociais. Todo professor sabe que o livro, a mídia, a internet, dentre outros, passam ideias, opiniões, valores, visões de mundo, mensagens morais, políticas e sociais, ao mesmo tempo em que expõem os conteúdos, o que pode ajudar os alunos a analisarem os fatos, os objetos de estudo a partir de diferentes ângulos, estabelecendo relações possíveis de um objeto com outros. Contudo, podem igualmente gerar visões distorcidas desta mesma realidade.

As falas dos alunos nos permitiram perceber que determinados conteúdos científicos, trabalhados nas diferentes disciplinas, passaram a fazer sentido para muitos deles no contexto das questões sociocientíficas abordadas no debate. Além disso, surgiram outras questões e argumentos que deram lugar ao “processamento” das informações, gerando conhecimento.

P3: [...] Todo mundo participando, Se você tivesse um carro e tivesse que pensar no planeta, em todas as situações do planeta: terra, disponibilidade de terra, aquecimento global, pensar em tudo. **Se você tivesse um carro, você colocaria gasolina ou colocaria o álcool? [...]**

E13: “Eu colocaria gasolina”.

P3: “Por quê?”

E13: “Porque eu ainda acho que a gasolina é melhor que o álcool, por causa **do desmatamento de florestas, essas coisas aí, o trabalho escravo, por causa** dessas coisas aí, eu ainda acho que a gasolina é melhor”.

E6: “Mas não é trabalho escravo, eles trabalham lá porque eles querem!”

O contexto do debate permitiu que vários estudantes resignificassem as informações fornecidas previamente, tendo a oportunidade de valorizá-las na medida em que fizeram parte de suas construções próprias, sejam em afirmações que expressavam ideias completas ou que tinham o papel de sustentar ideias gerais.

P4: “E o que pode acontecer se todo mundo começar a plantar cana de açúcar? O que acontece?”

E18: “Não vai ter mais espaço”. (desmatamento, monocultivos)

P4: “Mas o que pode acontecer com nós, consumidores?”

E14: “Professora, o gado vai sendo empurrado para a Amazônia...”

P4: “Isso...”

E14: “Vai o desmatamento e ... É um dos nossos melhores pulmões”

P4: “Exatamente, isso também. Mas assim, em relação, pra nós, vai acontecer alguma coisa, vai doer o nosso bolso em algum sentido?”

E17: “Com certeza”.

E18: “Os alimentos vão ficar mais caros”.

E13: “Com certeza... vão ficar mais caras as coisas”.

No mundo moderno, para se entender os problemas relativos a relações CTSA, é necessário uma reflexão que avance para além dos limites disciplinares de cada uma das ciências da natureza, lançando-se no mundo das linguagens, códigos e ciências humanas. Um universo onde os mundos físico, matemático, biológico e químico amalgamam-se como necessidade primeira para tentar abarcar esta realidade. Seria um andar contrário à especialização, à fragmentação, tentando aprender os passos que a própria história ensinou.

Referências

ALVES, Raílda F.; BRASILEIRO, Maria do C. E.; BRITO, Suerde M. de O. Interdisciplinaridade: um conceito em construção. **Episteme**, Porto Alegre, n. 19, p. 139-148, 2004.

AUGUSTO, Thaís G. da S. et al. Interdisciplinaridade: concepções de professores da área ciências da natureza em formação em serviço. **Ciência & Educação**, Bauru/SP, v. 10, n. 2, p. 277-289, 2004.

BRASIL. MEC. SEMT. **Parâmetros curriculares nacionais para o ensino médio** – parte III: ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. Brasília: MEC, 2000.

CARVALHO, ISABEL C. de M. **Em direção ao mundo da vida:** interdisciplinaridade e educação ambiental. Brasília: IPÊ - Instituto de Pesquisas Ecológicas, 1998.

FOUREZ, Gérard. Fondements épistémologiques pour l'interdisciplinarité. In LENOIR, Y.; REY, Bernard; FAZENDA, Ivani (Orgs.) **Les fondements de l'interdisciplinarité dans la formation à l'enseignement.** Sherbrooke. Canadá: Éditions du CRP, 2001. p. 81-83.

GUERRA, A. et al. A interdisciplinaridade no ensino das ciências a partir de uma perspectiva histórico-filosófica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 15, n. 1, p. 32-46, 1998.

GUSDORF, GEORGES, Réflexions sur l'interdisciplinarité. **Bulletin de Psychologie**, XLIII, 397, p. 847-868, 1990.

LEMKE, Jay L. **Teaching all the languages of science:** words, symbols, images and actions. In: CONFERENCE ON SCIENCE EDUCATION, 1998. Barcelona. Disponível em: <<http://www-personal.umich.edu/~jlemke/papers/barcelon.htm>>. Acessado em: 15/01/2011.

LIBÂNIO, José C. **Didática:** velhos e novos temas. Goiânia: edição do autor, 2002. 134p. Disponível em: <<http://www.boletimef.org/biblioteca/67/Libaneo-Livro>>. Acessado em: 23/08/2009.

_____. As teorias pedagógicas modernas revisitadas pelo debate contemporâneo na Educação. In: LIBÂNIO, J. C.; SANTOS, A. (Org.). **Educação na era do conhecimento em rede e transdisciplinaridade.** Campinas: Alínea, 2005. p. 19-62.

POMBO, Olga; LEVY, Teresa; GUIMARÃES, Henrique. **A interdisciplinaridade:** reflexão e experiência. Lisboa: Ed. Texto, 1993, 96p. Disponível em: <<http://www.educ.fc.ul.pt/docentes/opombo/mathesis/vocabulario-interd.pdf>>. Acessado em: Novembro 15 de 2010.

POMBO, Olga. **Contribuição para um vocabulário sobre interdisciplinaridade Seleção e organização de Olga Pombo.** Disponível Em: <http://www.educ.fc.ul.pt/docentes/opombo/mathesis/vocabulario-interd.pdf>. Acesso em: 24 Oct de 2010.

VAN EEMEREN, Frans H.; GROOTENDORST, Rob. **A Systematic Theory of Argumentation: The pragma-dialectical approach.** Cambridge: Cambridge University Press, 2004.

Ensino de química na EJA: compreensões e práticas docentes

Marcelo Lambach

Introdução

O ensino de química no Ensino Médio para diversos pesquisadores como Maldaner (2000), Schnetzler (2002) e Santos e Schnetzler (1997), tem se caracterizado, entre outros aspectos, por se prender ao empiricismo, à matematização dos fenômenos e à memorização de uma linguagem própria dessa ciência. Esses elementos são frequentemente encontrados no discurso tanto dos docentes que atuam no ensino regular quanto daqueles que atuam na Educação de Jovens e Adultos – EJA, apesar desta modalidade da educação básica ter bases legais próprias e orientações metodológicas específicas, as quais se direcionam para um fazer pedagógico diferenciado e interdisciplinar.

Um dos modos que podemos usar para caracterizar o pensamento dos professores de química que atuam na EJA são as categorias epistemológicas Estilo de Pensamento (EP) e Coletivo de Pensamento (CP), formuladas por Ludwik Fleck (1986).

Para esse autor o processo de construção do conhecimento se estabelece na coletividade, não é neutro e tem caráter histórico, social e cultural que o determina. Assim, o sujeito que participa desse processo é um sujeito coletivo que compartilha práticas, concepções, tradições e normas, ou seja, um Estilo de Pensamento, próprio do Coletivo de Pensamento ao qual pertence.

A partir disso é possível dizer que os professores entendem o ensino de química utilizando conceitos que, para Fleck, se estruturam de acordo com as relações sociais, históricas e culturais desses sujeitos vivenciadas ao longo de suas vidas, inclusive na acadêmica. Do mesmo modo, podemos pressupor que o docente de química tenha, deseja ter ou necessita ter atitudes, ações, expressões, juízos de pensamento e métodos que caracterizam determinada identidade e que, dada a sua atuação na EJA, este professor, assim como de outras áreas, apresente um estilo muito particular, mas não individual.

Os professores de química que atuam na EJA, além de terem seu pensamento influenciado pelos EP com os quais se relacionaram ao longo de

sua história pessoal, inclusive durante a sua formação inicial, podem apresentar elementos (concepções, ideias, comportamentos) instituídos na relação com outros profissionais da educação e na sua formação continuada.

Um dos elementos que permeiam o pensamento dos professores é a compreensão do que seja Educação de Adultos. A EJA foi instituída no Brasil a partir da Lei de Diretrizes e Bases de 1996 (LDB/96), tendo como função garantir a todas as pessoas, de qualquer segmento social, que não tiveram acesso à escola, o direito ontológico a uma escolarização básica e permanente de qualidade. Contudo, é lugar comum, tanto no meio educacional como na mídia e para a população em geral, se referir a essa modalidade como Ensino Supletivo – criado pela LDB/5692 de 1971 –, modalidade essa que se caracterizava por ser uma educação compensatória, a fim de atribuir certificação rápida àqueles que não frequentaram os bancos escolares na idade regular.

Assim, via de regra, as pessoas que não transitam na EJA e, até mesmo, as que nela atuam, como os professores de química, têm ainda o entendimento de que essa modalidade da educação básica se resume na alfabetização de adultos; uma ação renitente, usada em muitas situações como instrumento de cunho político-eleitoral, por ser organizada para ações pontuais e não em processo constante para a efetiva erradicação do analfabetismo ou do analfabetismo funcional (Ribeiro, 1997).

Também é comum no meio educacional, com destaque para a EJA, a referência aos princípios educacionais elaborados por Paulo Freire, os quais podem ser identificados nas orientações legais emitidas pelos órgãos gestores governamentais e em muitos projetos político-pedagógicos das escolas. Utilizar as propostas educacionais desse educador como referência evidencia, até certo ponto, uma expectativa de que suas ideias e princípios ganhem espaço no EP dos professores que atuam na EJA e, por conseguinte, na ação docente desses. Entretanto, essas referências também podem significar um modismo no discurso pedagógico, que se utiliza de termos e expressões típicas da proposta freireana, mas que em muitos casos têm um sentido diferente do cunhado pelo autor. Com isso não garantem a inserção das ideias e princípios freireanos no EP dos professores, tampouco na própria EJA.

Considerando tais questões, buscou-se investigar quais elementos estão presentes no EP dos professores de química que atuam na EJA, se há características comuns que possam constituir um CP e como a formação a que são submetidos interfere nesse pensamento. Acreditamos que ao identificar os elementos caracterizadores dos EPs poderemos contribuir para a compreensão das potencialidades epistemológicas e pedagógicas para o aprimoramento do ensino de química na EJA.

Estruturação da pesquisa com os docentes de química da EJA

A pesquisa, em nível de mestrado (Lambach, 2007), de caráter qualitativo, foi desenvolvida em dois momentos. O primeiro, com aplicação de questionário, o qual teve por objetivo situar o perfil profissional de 47¹ professores de química que atuavam na rede pública estadual de EJA. Suas 13 questões versavam, essencialmente, sobre: tempo de magistério, formação inicial e pós-graduação, participação em cursos de formação continuada, ensino de química na EJA, dificuldades de aprendizagem, importância que os alunos atribuíam para o ensino de química e material didático utilizado.

Um segundo momento foi o das entrevistas, que ocorreram na escola de atuação de cada professor, organizadas a partir das respostas dos questionários. Na constituição da amostra considerou-se, ainda, a participação dos professores em cursos de formação continuada, o tempo de magistério total e o tempo de magistério na EJA, uma vez que tal agrupamento poderia fornecer elementos que auxiliassem a esboçar o EP dos docentes.

O desenvolvimento das entrevistas com 25 professores ocorreu ao longo do ano letivo de 2006. Para participação na mesma, foram adotados como requisitos: a abrangência das mesorregiões do Estado do Paraná; a combinação dos fatores tempo total de magistério, tempo de docência na EJA e participação ou não em cursos de formação continuada; e as características da comunidade que a escola atendia, ou seja, o perfil dos educandos.

A entrevista procurou aprofundar temas como: objetivos da EJA nos sistemas de ensino; comparação entre o ensino de química na modalidade Regular e na EJA; participação nos cursos de formação continuada; importância social do ensino de química na relação com a alfabetização científico-tecnológica na perspectiva freireana de alfabetização²; encaminhamentos metodológicos conforme o perfil dos alunos; ensino de química como forma de proporcionar a identificação, a discussão e a análise crítica de contradições sociais.

Tanto as entrevistas gravadas e transcritas como as respostas ao questionário, foram analisadas utilizando Análise Textual Discursiva (Moraes, 2003), que combina análise de conteúdo com análise do discurso.

¹ A quantidade de 47 corresponde ao número de questionários que retornaram dos 73 enviados para o endereço eletrônico institucional da escola de atuação dos professores de química da EJA em todo o estado do Paraná.

² Entende-se por alfabetização na concepção freireana, nas palavras de Ernani Maria Fiori, “é a consciência reflexiva da cultura, a reconstrução crítica do mundo humano, a abertura de novos caminhos, o projeto histórico de um mundo comum [...]” (Freire, 2005, p.21).

Análise e discussão dos possíveis elementos caracterizadores dos EP dos professores de química

Partindo da análise dos questionários, foi possível evidenciar alguns elementos que poderiam caracterizar Estilos de Pensamento dos professores de química. Destaca-se a síntese analítica de duas questões constantes no referido instrumento de coleta de dados.

Ao buscar identificar se as temáticas dos cursos de formação continuada estavam dentro do rol de interesse dos professores, as respostas evidenciaram que os docentes:

- Têm interesse por uma metodologia específica para a EJA (19 professores – 46%).
- Procuram cursos sobre atividades práticas de laboratório (13 professores – 31%). Entretanto, certas respostas evidenciaram a dificuldade de relação entre a ação docente, no que se refere às atividades práticas, com o que foi ensinado ao professor durante a sua formação inicial. Também pode ser que essa formação tenha se construído de forma equivocada na graduação.
- Pretendem participar de cursos que considerem a experiência extra-escolar dos educandos, levando em conta o seu perfil e a sua realidade – resposta apresentada por 11 participantes.
- Destacam a necessidade dos cursos serem organizados por disciplina ou área do conhecimento, com palestrantes também da mesma área. Resposta presente em seis questionários.

Essa última referência, da organização dos cursos, pode traduzir a necessidade dos professores em ter uma relação mais próxima do Círculo Exo com o Círculo Eso (do palestrante especialista), a fim de reforçar seus próprios EP do primeiro círculo, caracterizado pela utilização de terminologias e expressões típicas do EP vigente.

Fleck define Círculo Exotérico (Exo) formado por indivíduos que, de uma ou outra forma, consomem o conhecimento produzido pelo Círculo Esotérico (Eso) constituído por especialistas.

Por outro lado, a não organização dos cursos por área do conhecimento pode ter como consequência a manutenção do grupo de professores em um nível de Consciência Ingênua (Freire, 2007). Por conseguinte, as ideias elaboradas

e difundidas pelos gestores do sistema educacional central podem se sobressair e prevalecer de modo acrítico.

Portanto, quando os cursos são organizados com temáticas distintas da realidade e do interesse do professor, pode ocorrer um reforço na manutenção do EP vigente, em um movimento oposto ao planejado ou desejado, ou seja, da prática pedagógica que se pretendia questionar. Admitindo que esse tenha sido um dos objetivos planejados para os cursos da formação continuada.

Outra pergunta do questionário tinha como objetivo avaliar se os professores discriminavam as modalidades Regular e EJA e se forneciam indícios quanto ao caráter compensatório, típico do ensino supletivo.

As respostas demonstraram que dezenove professores - daqueles que responderam o questionário - discriminam o ensino Regular do da EJA; seja pela menor carga horária que esta tem em relação àquela, ou pela dificuldade que os alunos têm em se apropriar dos conteúdos, sendo o longo tempo de afastamento da escola e a atividade laboral diária que têm os educandos, os motivos mais frequentes explicitados pelos professores.

Assim, como foram analisadas as questões anteriores, os questionários puderam revelar que os professores de química:

- a. Valorizam muito as atividades empíricas por meio de práticas de laboratório, com a intenção de ilustrar e reforçar o conteúdo teórico, podendo ser o reflexo de sua formação inicial;
- b. Reconhecem a necessidade de uma metodologia de ensino de química específica para a EJA;
- c. Indicam a necessidade de observar o cotidiano dos alunos;
- d. Destacam a necessidade de organizar cursos de formação continuada por área do conhecimento e momentos para trocas de experiências, o que parece pretender reforçar uma forma de entender o ensino de química;
- e. Selecionam os conteúdos destinados ao ensino de química para a EJA em relação ao Ensino Regular, sem apresentar os critérios ou então se justificando por uma tendência de aligeirar a escolarização;
- f. Utilizam uma linguagem específica da química, apoiando-se em processos de memorização de fórmulas e nomes de substâncias, além da resolução de problemas matematizando os fenômenos ao invés de tratá-los qualitativamente.

Uma vez analisados os questionários, esses serviram de base para a realização das entrevistas aos 25 professores selecionados para tal momento. Elas revelaram, dentre outros aspectos, que os professores empregam o termo “tempo” com diferentes significados, como organizado no Quadro 1. No entanto, cabe destacar que nem todos os participantes da pesquisa empregaram o termo “tempo”, motivo pelo qual o percentual constante do Quadro é o proporcional ao total da amostra de 25 professores e não corresponde aos 100%.

Quadro 1 - Dimensões do tempo: pedagógico e vivido

Grupo	Elementos caracterizadores	Nº professores
Tempo pedagógico	Relacionado à observação de que o aluno não dispõe de tempo para estudar, ler e informar-se para além do tempo escolar.	5
	Quando o professor não possui tempo para preparar as aulas.	7
Tempo vivido	Considera o saber prévio do aluno (cultura primeira) como meio de diminuição do tempo de permanência na escola necessário para sua escolarização.	1

A organização do quadro anterior, a partir de falas como a de um dos professores que responderam ao questionário – “porque eles estão aproveitando o tempo perdido em um tempo menor, então para eles é mais vantajoso que se fosse num tempo maior”, revela que os docentes acreditam que o ensino de química para adultos se associa à ideia de aceleração, de aligeiramento e de certificação rápida.

Ao comparar as respostas sobre o conteúdo e a metodologia adotada pelos professores para o ensino de química na EJA em relação ao ensino Regular, bem como a forma como eles planejam suas aulas, é que nos foi possível organizar o Quadro 2.

Quadro 2 – Relação entre Conteúdo, Metodologia e Planejamento Docente para EJA em comparação com o Ensino Regular

Grupo	Elementos caracterizadores	Nº professores
Perfil do Educando e sua relação com o Conteúdo e a Metodologia empregada	Mesmo Conteúdo e Diferente Metodologia	11
	Mesmo Conteúdo e Metodologia	3
	Mesma Metodologia com Conteúdos Reduzidos e/ou Simplificados	6
	Diferente Metodologia e Conteúdos Reduzidos e/ou Simplificados	5
Planejamento Docente	Planeja de acordo com o conteúdo a ser ministrado e o tempo de aula	10
	Leva em conta, na visão do professor, que conteúdos caberiam a cada grupo de aluno	3

Desse quadro síntese³, em primeiro lugar, parece ficar claro que os professores simplificam – de forma singela, valendo-se do senso comum pedagógico⁴ –, e/ou reduzem, sem critérios claramente definidos, os conteúdos trabalhados na EJA. Talvez por não refletirem sobre essa atitude ou por reproduzir automaticamente um modelo, deixando de identificar a necessidade em se promover uma diferenciação curricular.

Por outro lado, apesar de ter sido evidenciando que no grupo há professores que apontaram trabalhar os mesmos conteúdos no ensino regular e na EJA, há aqueles que dão tratamento próprio para modalidades diferentes, estando esses ainda distantes de um encaminhamento pedagógico fundado na perspectiva freireana que levasse em conta a interdisciplinaridade.

Em relação à interdisciplinaridade, Freire (2005) destaca que todo o trabalho desde investigação temática, a codificação, a delimitação de conteúdos feita pelas distintas áreas do conhecimento na redução temática até a proposta de atividades, deve ser feita, necessariamente, por meio de um estudo sistemático e interdisciplinar.

Assim, a partir dos elementos organizados nos Quadros 1 e 2, foi possível sistematizar, no Quadro 3, os Estilos de Pensamento dos professores de química que atuam na EJA.

³ Cabe observar que os grupos que foram evidenciados a partir da análise das entrevistas, não são comuns a todos os participantes da pesquisa, também que o mesmo professor pode pertencer a mais de um grupo, portanto os valores percentuais não correspondem ao total dos entrevistados.

⁴ Em que “prevalece o espontaneísmo da consciência prática, que atua de forma inconsciente. As pessoas percebem as contradições no seu agir, mas não conseguem dar coerência à consciência; estão conscientes das contradições, mas falta-lhes a reflexão, que possibilita à consciência tornar-se mais coerente.” (Benincá, 2002, p. 120)

Quadro 3 – Possíveis EP dos professores de química entrevistados que atuam na EJA da Rede Pública Estadual do Paraná

Possíveis estilos de pensamento detectados	Elementos caracterizadores	Nº professores
Professor Suplência	Fundamenta-se na função de suplência, atribuída pela da antiga LDB (5692/71), que relaciona o tempo físico com a ideia de recuperação do tempo perdido do aluno, necessitando acelerar/aligeirar o processo educacional, para a certificação rápida.	9
Conteudista	Lança mão de exemplos locais ou de qualquer lugar, utilizando-os apenas para introduzir os conteúdos de química. A realidade serve como ilustração.	17
Professor Químico-Justificador	Atribui um caráter social ao conhecimento científico, justificando, dessa forma, a presença da Ciência Química em diversos contextos do dia-a-dia dos educandos.	8
Empiricista Metodológico	Baseia-se nas atividades práticas para reforçar o conteúdo teórico ministrado.	6

A despeito de ter organizado a forma de entender o ensino de química nesses grandes grupos, não é possível vincular o professor a um grupo específico, pois, como afirma Fleck (1986), um indivíduo pode pertencer simultaneamente a um ou mais Coletivos de Pensamento. Se cada CP tem seu próprio Estilo de Pensamento, é de se esperar que esses sujeitos apresentem elementos constituintes de diferentes EP.

Desse modo, é provável que um indivíduo evidencie com mais ênfase a presença de um determinado EP do que de outros. No caso dos professores de química que atuam na EJA, pode-se ter uma característica mais de Professor Suplência do que Químico-Justificador, ou daqueles que considerem mais as necessidades dos educandos relacionadas ao seu perfil do que daqueles que apenas utilizem exemplos do dia-a-dia para justificar o ensino de determinados conteúdos científicos.

Assim, dos dados obtidos da análise dos questionários e das entrevistas foi possível perceber que a formação inicial se apresenta como um fator de grande relevância, provavelmente o mais significativo na constituição do EP e na formação de Coletivos de Pensamento dos professores de química.

De modo análogo, percebesse que a compreensão de que a EJA deva ter um caráter supletivo, ou compensatório, é bastante comum entre os entrevistados, chegando a nove o número de professores entrevistados que declaram relacionar o tempo físico com a recuperação do tempo perdido do aluno. Do mesmo modo, 11 foram os que indicaram reduzir e/ou simplificar os conteúdos a serem trabalhados em relação ao Ensino Regular.

Esse entendimento se deve, principalmente:

- a. ao curto tempo entre a implementação das regulamentações para a EJA e a sua introdução no meio escolar;
- b. à pressão por certificação rápida, disponibilizando para o mundo do trabalho mão-de-obra relativamente “escolarizada”, atendendo a interesses diversos;
- c. à vinculação entre resultados estatísticos e a obtenção de verbas;
- d. à excessiva mudança de propostas pedagógicas em curto intervalo de tempo;
- e. ao escasso número de horas-aula para as disciplinas da área de Ciências Naturais, implicando, muitas vezes, em redução do programa de ensino;
- f. a manutenção dos professores no EP mais próximo da sua formação inicial. O que parece advir da não organização de cursos de formação continuada que trabalhem com temas específicos do ensino de química para a EJA, bem como pelas constantes mudanças nas linhas pedagógicas, em um curto intervalo de tempo (ação típica de políticas de Governo e não de Estado);
- g. à adoção de metodologias para o ensino de química que não consideram as necessidades locais, de grupos ou de indivíduos, denotando, por esse aspecto, considerável distância com a proposta freireana para a educação e também a utilização de exemplos do dia-a-dia dos alunos ou de qualquer outro contexto apenas para ilustrar onde está presente a química. Nesse caso, essas ações podem levar os alunos ou à desistência nessa disciplina e/ou a não compreensão dos fenômenos químicos que se pretende estudar, o que pode resultar na formação de indivíduos não alfabetizados cientificamente.

Considerações finais

Diante das informações obtidas, foi possível concluir que pensar e sugerir caminhos para um novo fazer pedagógico no Ensino de Química ou, de maneira geral, para o Ensino de Ciência na EJA, torna-se um grande desafio. Como observa Delizoicov (2005), romper com um Estilo de Pensamento, na maioria das vezes academicista e tradicionalmente empiricista, estruturado ao longo da formação inicial, requer esforços que ultrapassam àqueles comumente adquiridos na formação continuada.

A prática docente, o convívio com outros profissionais, a participação em cursos de formação continuada, o desenvolvimento de outras atividades no magistério ou fora dele, podem ser alguns dos fatores que permitiriam, em princípio, uma visão diferenciada do que venha a ser o fazer pedagógico mais adequado a determinados grupos sociais. Esses, portanto, deveriam ser levados em consideração nos processos de formação continuada, principalmente na EJA. Sem que isso signifique uma simplificação, redução ou ação discriminatória a tais segmentos em relação ao saber universal.

Os procedimentos adotados no ensino de química na EJA parecem constituir Coletivos de Pensamento, com seus EP próprios, observados a partir dos discursos e encaminhamentos didático-metodológicos dos docentes de distintas regiões do Estado do Paraná, cuja formação inicial ocorreu em diferentes escolas superiores. Os CP ficam evidenciados quando os professores demonstram, por exemplo, entender que as metodologias adotadas para adolescentes, alunos do Ensino Regular diurno, devam ser as mesmas empregadas para os alunos da EJA noturna (12% dos entrevistados), ou, quando utilizam a mesma metodologia, mas reduzem os conteúdos para a EJA, como indicaram 24% dos participantes da pesquisa. Sem a adoção de critérios claros e discutidos na e com a comunidade escolar, acabam por manter e reforçar as estruturas sociais discriminatórias e as relações entre dominantes e dominados.

Ao se admitir que a estruturação do Estilo de Pensamento do professor ocorre ao longo de sua atividade docente, então as modificações desse EP estão ligadas às relações que o professor estabelece com outros Coletivos (e seus respectivos EP), os quais possuem, entre outras coisas, regras próprias de compreender o mundo. Sendo assim, ao se pretender adotar uma perspectiva metodológica progressista, distinta da concepção bancária, é preciso que ação pedagógica seja de fato interdisciplinar e não uma mera sobreposição de disciplinas em torno de um tema, pois “a tarefa do educador dialógico é, trabalhando em equipe interdisciplinar este universo temático, recolhido na investigação, devolvê-lo, como problema, não como dissertação, aos homens de quem recebeu” (Freire, 2005, p. 96-97).

Referências

BENINCÁ, Elli. **O senso comum pedagógico: práxis e resistência**. Tese de Doutorado. Porto Alegre: UFRGS, 2002.

DELIZOICOV, Demétrio. Resultados da Pesquisa em Ensino de Ciências: Comunicação ou Extensão? **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis: v. 22 n. 3, p. 364-378, dez 2005.

FLECK, Ludwik. **La Génesis y el Desarrollo de un Hecho Científico**. Madrid: Alianza Editorial, 1986.

FREIRE, Paulo. **Educação como prática de liberdade**. 30. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2007.

_____. **Pedagogia do oprimido**. 40. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2005.

LAMBACH, Marcelo. **Atuação e formação dos professores de química na EJA: Características dos Estilos de Pensamento - um olhar a partir de Fleck**. Dissertação de Mestrado. UFSC, Florianópolis, 2007.

MALDANER, Otavio Aloísio. A pesquisa como perspectiva de formação continuada do professor de química. **Química Nova**, São Paulo, v. 22, n. 2, 2000.

MORAES, Roque. Uma tempestade de luz: a compreensão possibilitada pela análise textual discursiva. **Revista Ciência e Educação**, v. 9, n.2, p. 191-211, 2003.

RIBEIRO, Vera Masagão. Alfabetismo funcional: referências conceituais e metodológicas para a pesquisa. **Educação & Sociedade**, Campinas, v. 18, n. 60, p. 144-158, 1997.

SANTOS, Wildson Luiz Pereira dos. ;SCHNETZLER, Roseli Pacheco. **Educação em química: compromisso com a cidadania**. Ijuí: Ed. Unijuí, 1997.

SCHNETZLER, Roseli Pacheco. Concepções e alertas sobre formação continuada. **Revista Química Nova na Escola**, n. 16, nov. 2002. Seção Espaço Aberto.

A Terra como um grão de pimenta

Maria Helena Steffani

Introdução

Nos tempos atuais, em que importantes ações devem ser implementadas para assegurar o equilíbrio entre progresso, desenvolvimento e sustentabilidade, impõe-se a necessidade de novas práticas pedagógicas predominantemente interdisciplinares. Esse é um dos grandes desafios que especialmente a comunidade científica deve enfrentar neste século XXI. A complexidade própria da ciência exige que o pesquisador desenvolva competências e habilidades pertinentes à sua área de investigação as quais, raramente, incluem uma visão interdisciplinar do tema e uma linguagem “decodificada” para o público leigo ou para professores e estudantes do ensino básico.

Por sua vez, a mídia divulga resultados de pesquisas científicas e inovações tecnológicas em diversas áreas do conhecimento, as quais, frequentemente incluem belíssimas imagens de objetos astronômicos distantes. Esses e outros assuntos que mostram uma ciência em construção dificilmente são mencionados em sala de aula.

Em geral, o ensino de ciências nas escolas mantém o padrão repetitivo de uma ciência “pronta”, desenvolvida nos séculos passados e que pouca ou nenhuma relação tem com o cotidiano dos estudantes. As práticas pedagógicas limitam-se a repetições de conteúdos apresentados em livros didáticos e resolução de exercícios e problemas com simples aplicação de fórmulas. Ademais, muitos desses livros apresentam sérios problemas conceituais, principalmente, no que diz respeito ao ensino de astronomia, uma ciência que encanta e desperta o interesse de pessoas de todas as idades.

Ensino de astronomia e interdisciplinaridade

Na apresentação do livro *Astronomia e astrofísica*, os autores fazem uma descrição quase poética da importância da astronomia para o ser humano:

O estudo da astronomia tem fascinado as pessoas desde os tempos mais remotos. A razão para isso se torna evidente para qualquer um que contemple o céu em uma noite limpa e escura. Depois que o Sol – nossa fonte de vida – se põe, as belezas do céu noturno surgem em todo o seu esplendor. A Lua, irmã da Terra, se torna o objeto celeste mais importante, continuamente mudando de fase. As estrelas aparecem como uma miríade de pontos brilhantes, entre as quais os planetas se destacam por seu brilho e movimento. E a curiosidade para saber o que há além do que podemos enxergar é inevitável. (Oliveira Filho; Saraiva, 2000)

Apesar do enorme interesse despertado pela astronomia na população em geral, o ensino dessa ciência tem sido extremamente deficiente em todos os níveis da formação educacional. No ensino fundamental, aulas envolvendo conhecimentos de astronomia tem se restringido a repetições de conteúdos apresentados em livros-texto de geografia ou de ciências, muitos deles com erros conceituais (Langhi; Nardi, 2007). No ensino médio, apesar de excelentes propostas para integrar a astronomia ao ensino de física, esta é quase sempre relegada ao esquecimento. Mesmo no ensino superior, os currículos dos cursos de formação de professores – Cursos de licenciatura – contemplam muito pouco os temas relacionados à astronomia, que têm sido pobremente trabalhados sob o ponto de vista pedagógico. Completando o ciclo, os professores da rede escolar da área de ciências têm dificuldades em desenvolver conteúdos de astronomia, devido às deficiências na sua formação, à estrutura deficitária das bibliotecas e à falta de materiais que supram estas lacunas.

A astronomia pode ser explorada em praticamente todas as séries do ensino básico, como ponto de partida para trabalhar questões interdisciplinares envolvendo todas as disciplinas através de projetos ou mesmo introduzindo temas multidisciplinares como história da ciência, vida extraterrestre, condições necessárias para o desenvolvimento da vida, o Sol como fonte de energia para a vida na Terra, questões de escalas quando se trata de distâncias muito grandes ou muito pequenas etc.

Este capítulo traz sugestões para tratar adequadamente as dimensões características do Sistema Solar, como os diâmetros do Sol e dos planetas e, também as distâncias interplanetárias. Ilustrações sobre o Sistema Solar apresentadas nos livros-texto, em geral, não chamam a atenção para o fato de ser impossível representá-lo, em escala, no limitado espaço das páginas de um livro.

Grão de pimenta como escala

Ao transpor o conhecimento científico para uma linguagem apropriada para a educação básica é preciso ter muito cuidado para não comprometer o rigor científico do conteúdo.

O presente trabalho tem como objetivo chamar a atenção para os problemas de representação do Sistema Solar e apresentar uma proposta de atividade prática interdisciplinar – A Terra como um grão de pimenta - que pode ser adaptada para todos os níveis de ensino. Textos didáticos geralmente ilustram o Sistema Solar desenhando órbitas elípticas muito acentuadas, sem mencionar que esta forma decorre de uma representação em perspectiva, e que as imagens não estão em escala.

Canalle (2003) demonstra, através da análise de uma das questões da prova da IV Olimpíada Brasileira de Astronomia, que a maioria dos estudantes brasileiros de ensino fundamental e médio e, também, seus professores, têm um modelo mental completamente errôneo da órbita da Terra ao redor do Sol.

Livros didáticos exibem belas imagens dos astros que compõem o nosso Sistema Solar e expressam, em tabelas, suas características físicas tais como diâmetro, massa, densidade, temperatura média, período orbital etc. Uma rápida análise desses números nos permite reconhecer que os planetas gasosos são muito maiores do que os planetas rochosos. Usualmente, tabelas e figuras mostram a sequência de planetas a partir da distância de suas órbitas ao Sol. Mas que modelo mental somos capazes de gerar a partir desses dados? Vários trabalhos têm proposto escalas “convenientemente” para representar os diâmetros dos planetas, dentre os quais destacamos Comparação entre os tamanhos dos planetas e do Sol (Canalle, 1994). Escalas dessa natureza são muito utilizadas em mostras de ciências promovidas nas escolas. Entretanto, escalas diferentes são necessárias quando se quer representar a distância entre as órbitas dos planetas.

Particularmente interessante é a utilização de uma única escala para representar tanto os diâmetros dos planetas quanto a distância entre suas órbitas. Ottewell (1989) em *The thousand-yard model or, the Earth as a Peppercorn* (<http://www.noao.edu/education/peppercorn/pcmail.html>) propõe uma escala em que 1mm corresponde a 6.000km. Nessa escala, a Terra tem um diâmetro de aproximadamente 2 mm – o diâmetro de um grão de pimenta!

Utilizando essa escala é possível construir as tabelas a seguir e buscar elementos que tenham o tamanho adequado para representar os astros. Assim, é possível representar o Sol por uma bola de 23 cm de diâmetro e modelar os planetas utilizando materiais como isopor ou massa de modelar ou buscando na natureza os elementos que exibem aproximadamente esses tamanhos. As tabelas apresentam exemplos dessa última proposta: Vênus e Terra apresentam um diâmetro correspondente ao de um grão de pimenta; o maior de todos os planetas, Júpiter, é representado por uma noz, enquanto o menor deles, Mercúrio, por um grão de gergelim. Respeitando a escala, amendoiens podem representar Urano e Netuno e avelã, Saturno. Grão de coentro é uma boa aproximação para nosso planeta vizinho, Marte.

**Tabela 1: Representação aproximada do tamanho do Sol e dos planetas.
Escala 6.000km:1mm**

Diâmetro	km (aproximado)	mm (aproximado)	Representação
SOL	1.400.000	230	bola
MERCÚRIO	5.000	0,8	gergelim
VÊNUS	12.000	2	grão de pimenta
TERRA	13.000	2	grão de pimenta
MARTE	7.000	1	grão de coentro
JÚPITER	143.000	24	noz
SATURNO	120.000	20	avelã
URANO	51.000	9	amendoim
NETUNO	49.000	8	amendoim

Conforme mencionado anteriormente, essa escala permite que se tenha uma ideia aproximada dos tamanhos dos astros do Sistema Solar e também das distâncias entre suas órbitas. Nessa escala, a distância média da órbita de Mercúrio ao redor do Sol corresponde a 10m; a distância média entre as órbitas de Mercúrio e de Vênus, 8m; entre as órbitas de Vênus e da Terra, 7m; e assim, sucessivamente, conforme ilustrado na tabela 2.

Em um local amplo como um pátio, por exemplo, é possível fazer uma atividade prática que impressiona pessoas de todas as idades: a “distribuição” dos astros do Sistema Solar. Essa atividade permite que se tenha uma noção apropriada do tamanho dos astros e das distâncias entre eles. Para tanto, coloca-se a bola (Sol) em uma dada posição. Um grão de gergelim (Mercúrio) está em órbita a 10m de distância da bola (Sol). Assim, uma pessoa (aluno) representando Mercúrio posiciona-se a 10m do Sol (10 passos, aproximadamente). Vênus, esse lindo planeta que tanto encanta nosso céu, tem apenas o tamanho de um grão de pimenta e sua órbita está 8m além da órbita de Mercúrio. Outro aluno dá 8 passos (correspondentes aos 8m), a partir da posição de Mercúrio, para chegar na órbita de Vênus. Nossa casa, o planeta Terra, também é apenas um grão de pimenta no espaço, girando em torno da bola (Sol), com uma órbita de aproximadamente 25m de diâmetro (7m de distância da órbita de Vênus). E assim, sucessivamente, é possível ir “distribuindo” o Sistema Solar até onde o espaço disponível para a realização dessa atividade permitir. A tabela 2 mostra que são necessários 749m para representar as órbitas de todos os planetas a partir do Sol. Mas do Sol até Júpiter são apenas 130m!

**Tabela 2: Distância média aproximada entre as órbitas dos planetas.
Escala: 6.000km:1mm**

Distância	km (aproximado)	mm (aproximado)
Sol a Mercúrio	58.000.000	10
Mercúrio a Vênus	50.000.000	8
Vênus a Terra	41.000.000	7
Terra a Marte	78.000.000	13
Marte a Júpiter	550.000.000	92
Júpiter a Saturno	649.000.000	108
Saturno a Urano	1.443.000.000	240
Urano a Netuno	1.627.000.000	271
Total	4.496.000.000	749

Na tabela 3 está representado o Sistema Terra-Lua nesta mesma escala. Em 20 de julho de 2009, Ano Internacional da Astronomia, comemorou-se os 40 anos da viagem do homem à Lua. Na figura 1 sugere-se uma atividade concreta: colar um grão de pimenta e uma de semente de papoula, distanciados de 6,4 cm, em um retângulo de papel.

Tabela 3: Representação do sistema Terra-Lua. Escala: 6.000km:1mm

Diâmetro da Lua	3.500 Km	0,6 mm (semente de papoula)
Distância Terra-Lua	384.000 Km	64 mm

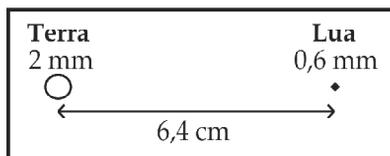


Figura 1: Representação do sistema Terra-Lua (escala 6.000km:mm).

Desde a década de 1970, o planeta Marte é um protagonista permanente no cenário das pesquisas espaciais, tendo sido alvo das missões robôs Viking (1976), Pathfinder (1997) e das mais recentes Spirit e Opportunity (2003), cujos experimentos fornecem informações sobre a composição e natureza das rochas, incluindo a busca pela presença de bactérias. A frequência com que Marte ocupa os espaços da mídia de comunicação leva os indivíduos a imaginar que poucos passos separam o homem da viagem para Marte. Conforme dados das tabelas 2 e 3, a distância entre as órbitas da Terra e de Marte é de 13m na escala 6.000km:mm, enquanto a distância entre a Terra e a órbita do seu satélite, Lua, é de apenas 6,4cm. Conclui-se facilmente que a distância entre as órbitas Terra-Marte é aproximadamente 200 vezes maior do que a distância Terra-Lua e, portanto, é preciso ainda avançar muito o nosso conhecimento científico e desenvolvimento tecnológico para uma viagem tão distante e complexa!

Abordagens interdisciplinares: o sol, os planetas e outros objetos do sistema solar

A atividade proposta neste trabalho tem inúmeras e diferenciadas abordagens de caráter interdisciplinar. Apresentamos, a seguir, um breve comentário das principais características dos objetos que compõem o Sistema Solar (Oliveira Filho; Saraiva, 2000; Ridpath, 2007; Horvath, 2008), os quais exemplificam as correlações interdisciplinares desse conteúdo e mostram para o aluno que a ciência está em permanente construção.

O Sol - nossa fonte de vida

O Sol, maior objeto do nosso sistema solar, está ativo por cerca de 4,6 bilhões de anos e tem combustível suficiente para continuar por aproximadamente mais 5 bilhões de anos. Em seu núcleo, hidrogênio é convertido em hélio, liberando energia que, na Terra, sentimos como calor e luz. No estágio final de sua vida, o Sol começará a fundir o hélio em elementos químicos mais pesados e se expandirá.

O Sol contém aproximadamente 98% da massa total do sistema solar. A camada externa visível do Sol, fotosfera, tem uma temperatura de aproximadamente 6.000°C e exibe uma aparência turbulenta devido às erupções energéticas que lá ocorrem. Nas erupções solares, partículas escapam para o espaço a velocidades próximas às da luz, causando problemas nas comunicações na Terra quando atingem a ionosfera – camada de gás ionizado na atmosfera terrestre que é responsável pelas reflexões de sinais de rádio, TV e outras. A aeronáutica é um dos setores muito afetados por esses problemas. O

campo magnético terrestre nos protege desta e de outras radiações do meio interestelar, fazendo com que a vida na Terra não seja comprometida.

Esses são apenas alguns comentários que demonstram a pertinência do tema para uma abordagem de conteúdos de disciplinas como química, física e biologia e áreas aplicadas como meteorologia, aeronáutica, medicina etc.

Mercúrio, o menor e mais próximo do Sol

Mercúrio é o planeta mais interno e é o menor planeta do nosso Sistema Solar. Seu nome, atribuído pelos romanos, significa o mensageiro dos deuses, pois é o planeta que se move mais rápido do que qualquer outro: seu período de revolução em torno do Sol é de 88 dias terrestres. Já seu movimento de rotação é lento comparado ao da Terra, pois leva o equivalente a dois meses terrestres para completar uma rotação em torno de si mesmo.

A superfície desse planeta se parece com a da nossa Lua, mas sua densidade é similar à da Terra, o que indica que seu núcleo tem uma composição metálica como do nosso planeta. Mercúrio praticamente não tem atmosfera. Devidos à ausência de atmosfera e sua proximidade ao Sol, a temperatura em Mercúrio se eleva acima de 400° C durante o dia e, à noite, cai para -180° C.

Vênus, o planeta “gêmeo” da Terra

Vênus, esse planeta que parece uma joia no céu e que é conhecido com Estrela D’alva ou Estrela Vespertina, recebeu seu nome em homenagem à deusa romana do amor e da beleza. Vênus e a Terra, considerados pelos astrônomos como planetas irmãos, são similares em tamanho, massa, densidade e volume; formaram-se aproximadamente ao mesmo tempo e condensaram-se da mesma nebulosa. Entretanto, esse planeta é muito diferente da Terra: ele não tem oceanos e é envolto por uma pesada atmosfera composta principalmente de dióxido de carbono com nuvens compostas de gotículas de ácido sulfúrico.

Curiosamente, um dia venusiano tem a duração de 243 dias terrestres e é mais longo do que seu ano de 225 dias. Vênus é um planeta retrógrado, isto é, gira no sentido oposto ao da Terra. Assim, para um observador em Vênus, o Sol nasceria no oeste e o por-se-ia no leste!

Na superfície de Vênus, a pressão atmosférica na superfície é 92 vezes maior que a da Terra ao nível do mar, e a temperatura é cerca de 482°C. Esta alta temperatura decorre, especialmente, de um fugidio efeito estufa, causado pela pesada atmosfera de dióxido de carbono. A luz solar passa através da atmosfera e aquece a superfície do planeta; o calor é aprisionado pela densa

atmosfera e impedido de escapar para o espaço, o que torna Vênus mais quente que Mercúrio.

Terra, a nossa casa

A Terra, único planeta conhecido a abrigar vida no sistema solar, possui um núcleo níquel-ferro derretido que gira rapidamente e provoca um extenso campo magnético que, juntamente com a atmosfera, nos protege de praticamente toda a radiação prejudicial vinda do Sol e outras estrelas. Ademais, a atmosfera terrestre nos protege de meteoros, cuja maioria queima-se antes de atingir a superfície.

Descobertas feitas por satélites mostram que o campo magnético do nosso planeta é distorcido, tendo uma forma de gota de lágrima devido ao vento solar e que a atmosfera superior da Terra, afetada pelas mudanças na atividade solar, contribui para o clima e meteorologia na Terra.

Marte, o planeta vermelho

Marte, comumente referido como o Planeta Vermelho, teve seu nome dado pelos romanos, em honra ao seu deus da guerra. Suas rochas, solo e céu têm coloração vermelha ou rosa e Marte abriga a montanha mais alta do sistema solar – o Monte Olimpo com 12.000m de altura!

Especulações sobre as observações de linhas no solo de Marte e de variações de cor na superfície do planeta induziram, no século passado, à expectativa de vida em Marte. A busca da presença da vida em Marte, entretanto, ainda é uma questão em aberto.

A duração do dia marciano é muito semelhante à da Terra, 24h e 37 minutos, mas Marte leva quase dois anos (687 dias) para completar uma volta ao redor do Sol. A temperatura média em Marte é de -63°C , com temperaturas máxima e mínima de cerca de 20°C e -140°C , respectivamente.

Marte possui dois pequenos satélites, Deimos e Phobos, cujos nomes em latim significam, respectivamente, medo e terror. As órbitas dessas “luas” são bem próximas da superfície e, provavelmente, são asteróides capturados.

O cinturão de asteróides

Entre as órbitas de Marte e Júpiter existe no Sistema Solar uma região que contém pequenos corpos remanescentes da formação chamada cinturão de asteróides e que são “laboratórios naturais” para observar uma série de efeitos gravitacionais previstos pela Teoria da Relatividade.

Júpiter, o maior de todos

Devido ao seu tamanho e seu brilho constante, seu nome faz referência ao deus supremo dos romanos. Textos didáticos frequentemente afirmam que Júpiter é tão grande que dentro dele caberiam todos os planetas. Utilizando-se os dados da tabela 1 pode-se facilmente ilustrar essa afirmação: basta colocar dentro de uma casca de noz (Júpiter), um grão de gergelim (Mercúrio), dois grãos de pimenta (Vênus e Terra), um grão de coentro (Marte) e dois amendoins (Urano e Netuno). Ele também contém mais matéria que todos os outros planetas combinados.

A atmosfera de Júpiter é muito profunda e é composta principalmente de hidrogênio e hélio, com pequenas quantidades de metano, amônia, vapor d'água e outros componentes. O planeta exhibe coloridas faixas latitudinais e uma Grande Mancha Vermelha. São tempestades e nuvens atmosféricas do dinâmico sistema meteorológico de Júpiter. Curiosamente, esse planeta emite mais energia do que recebe do Sol e, portanto, pode-se afirmar que existe uma fonte de energia nele.

Júpiter possui dezenas de satélites, quatro dos quais - Calisto, Europa, Ganimedes e Io - foram observados por Galileu em 1610, e tem um sistema de anéis muito tênue, descobertos em 1979 pela Voyager 1. Investigações mais recentes sobre a questão da vida extraterrestre têm se voltado para os satélites de Júpiter. A presença de vulcões ativos e indicativos da existência de temperaturas mais amenas na superfície de Io, bem como a possibilidade de haver água em estado líquido abaixo da crosta gelada de Europa são objetos de pesquisa de missões espaciais.

Saturno, o “senhor dos anéis”

Saturno, também nome de um deus romano, é o único planeta com densidade média menor que a da água, embora sua densidade varie bastante, com um possível núcleo rochoso rodeado por uma camada de hidrogênio em estado metálico e, depois, por outra de hidrogênio em estado molecular. Pode-se dizer que, se existisse um oceano suficientemente grande, Saturno flutuaria nele.

O dia em Saturno tem a duração de 10 horas e 39 minutos terrestres e o planeta leva 29,5 anos terrestres para dar a volta ao Sol. Sua atmosfera, similar à de Júpiter, é principalmente composta de hidrogênio com pequenas quantidades de hélio e metano.

Saturno tem dezenas de satélites e um sistema de anéis que o torna um dos mais belos objetos do Sistema Solar. Seus anéis são compostos por partículas de pequenas dimensões de gelo, rochas de silício e óxidos de ferro.

Urano, o planeta que gira deitado

Urano leva o nome do deus grego que personificava o céu. Esse planeta tem uma particularidade que o difere muito dos outros planetas: seu eixo de rotação é quase perpendicular ao eixo da órbita. Enquanto esta inclinação na Terra é de 23,5°, a de Urano é de 98°. Essa posição incomum pode ser resultante de uma colisão com um corpo do tamanho de um planeta, no início da história do Sistema Solar.

A atmosfera de Urano está composta de 83% hidrogênio, 15% hélio, 2% metano e quantias pequenas de acetileno e outros hidrocarbonetos. Metano na atmosfera superior absorve luz vermelha, o que dá a Urano sua cor azul esverdeada.

A duração de um dia em Urano é de 17 horas e 14 minutos terrestres e a duração do seu ano corresponde a 84 anos terrestres.

Urano tem dezenas de satélites, sendo Titânia e Oberon os dois maiores, os quais têm 1.580 e 1.520 km de diâmetro, respectivamente. Os primeiros nove anéis de Urano foram descobertos em 1977 e outros anéis foram descobertos posteriormente pela Voyager 2 em 1986 e pelas observações do Hubble em 2003-2005.

Netuno, descoberto através de cálculos

Devido a sua cor azul, este planeta recebeu o nome do deus romano dos mares. Predições matemáticas feitas por Urbain J. J. Le Verrier (1811-1877) levaram à sua descoberta em 1846.

A atmosfera de Netuno é composta basicamente de hidrogênio e hélio e traços de metano e hidrocarbonetos como etano e acetileno. O planeta deve possuir um pequeno núcleo rochoso cuja massa deve ser próxima à da Terra. Assim como em Urano, sua cor azul é o resultado da absorção do vermelho pelo metano em sua atmosfera, mas possivelmente existem efeitos adicionais, ainda não totalmente identificados, que contribuem para a coloração azul intensa nas nuvens de sua atmosfera.

Netuno tem mais de uma dezena de satélites, sendo Tritão o maior deles, e um conjunto de anéis estreitos e lânguidos. É um planeta dinâmico com várias manchas grandes e escuras, lembrando as tormentas, tipo furacões, de Júpiter. A maior delas, conhecida como a Grande Mancha Escura, tem aproximadamente o tamanho da Terra e assemelha-se à Grande Mancha Vermelha de Júpiter.

Plutão e Caronte, cometas, cinturão de Kuiper e Nuvem de Oort

Desde 2006, Plutão integra a categoria de planeta anão. Sua massa é muito menor do que a da nossa Lua e seu raio é calculado em pouco mais de 1.000km. Sua órbita elíptica em torno do Sol possui excentricidade muito maior que a da Terra e outros planetas do Sistema Solar. Devido a essa excentricidade, durante 20 anos de sua órbita de 249 anos, a órbita de Plutão está mais próxima do Sol do que a de Netuno. Plutão possui um satélite, Caronte, mas recentemente foram descobertos outros dois objetos “candidatos” a luas de Plutão.

Cometas estão associados a resíduos dos primórdios do Sistema Solar, pois se acredita que a formação do Sistema Solar espalhou fragmentos de rocha e “gelos” até grandes distâncias do Sol, que hoje estariam distribuídos em uma nuvem de grandes dimensões (cerca de 3 anos luz), chamada Nuvem de Oort. As órbitas dos cometas são essencialmente de dois tipos: órbita aberta (o cometa adquire, por efeito de perturbação planetária, grande energia e escapa do Sistema Solar); órbita periódica (quando a energia não é suficiente para escapar). O tão conhecido cometa Halley tem uma órbita elíptica bastante excêntrica com periodicidade de 76 anos.

Além de cometas de longo período, como o Halley, e cometas que passam uma única vez (os de órbita aberta), existem cometas de períodos curtos (que voltam em poucos anos). Esses cometas provêm de certa região do céu próxima ao plano da eclíptica chamada cinturão de Kuiper, região essa que inclui também pequenos asteróides. A descoberta de sistemas binários do cinturão de Kuiper levantou novas discussões na comunidade científica sobre Plutão e Caronte: não seriam eles um exemplo dessa classe de objetos numa órbita mais interna?

Esses textos resumidos sobre o Sistema Solar são exemplos de conteúdos que poderiam ser abordados à medida que realizamos a atividade prática “A Terra como um grão de pimenta”. Também se pode explorar essa atividade como uma estratégia de ensino através da utilização da metodologia de “pequenos projetos” desenvolvidos em grupos em sala de aula, em que cada pequeno projeto pode ser um objeto do Sistema Solar.

Além destes, muitos outros temas poderiam ser abordados simultaneamente com a realização da atividade prática “A Terra como um grão de pimenta” tendo como base as tabelas 1, 2 e 3: analogias matemáticas dos sistemas Terra-Sol e Terra-Lua, Astronáutica e viagem Terra-Marte, o estudo dos movimentos dos astros celestes e suas leis, a descoberta de outros sistemas solares e a sempre atual discussão da questão da vida extraterrestre.

Comentários finais e conclusões

A humanidade cada vez mais usufrui inovações científicas e tecnológicas decorrentes de aplicações práticas de pesquisas teóricas e experimentais, principalmente, em matemática e ciências naturais. Essas inovações afetam profundamente nossas vidas em diversas áreas como informática e comunicação, saúde, segurança e outras. Contudo, a imensa maioria das pessoas permanece desinformada e, até mesmo, desinteressada pela ciência.

Tudo parece indicar que instituições de ensino, professores e pesquisadores, em geral, exercem suas funções de forma desarticulada da difusão do conhecimento. Já é hora de mudar esse panorama e promover um ensino de ciências capaz de formar cidadãos capazes de ler sobre determinado assunto, refletir sobre o mesmo, levantar suas dúvidas, buscar informações adicionais quando necessário, formular conclusões, discutir com outras pessoas, continuar lendo e atualizando seu conhecimento a cerca do assunto, corroborando ou refazendo suas conclusões, e assim, indefinidamente construindo seu conhecimento.

Mais do que nunca, atualmente, o desenvolvimento científico e tecnológico vai agregando saberes de diversas áreas do conhecimento e abrindo novas áreas de pesquisa, muitas delas com caráter multidisciplinar (Horvath, 2008).

Esforços regionais, nacionais e internacionais têm promovido ações para divulgar o conhecimento científico e seus avanços teóricos e experimentais, bem como seus aspectos culturais e humanísticos. A realização deste Seminário Latino-Americano sobre Interdisciplinaridade no Ensino de Ciências Naturais é um exemplo desse esforço para entrelaçar as áreas do conhecimento científico e estabelecer um diálogo aberto entre a academia e a sala de aula na educação básica.

Aqui foram apresentadas algumas das muitas possibilidades de abordagens interdisciplinares envolvendo conteúdos de disciplinas da área das ciências exatas e da Terra como astronomia, física, química, matemática e geografia e que facilmente se congregam com as ciências biológicas, humanas e artísticas (história, música, literatura etc).

A astronomia como tema motivador no ensino de física na educação básica tem sido objeto de investigações recentes (Mees, 2003; Uhr, 2007; Meurer, 2009), as quais ratificaram o grande interesse que os estudantes de todos os níveis escolares têm por este tema e o quanto a astronomia desperta neles o gosto pelas ciências exatas e da Terra.

Referências

- CANALLE, J. B. G.; OLIVEIRA, A. G. Comparação entre os tamanhos dos planetas e do Sol. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. Florianópolis, v. 11, n. 2, p.141-144, ago. 1994.
- CANALLE, J. B. G. O problema do ensino da órbita da Terra. **Física na Escola**, São Paulo, v. 4, n. 2, p. 12-16, 2003.
- HORVATH, Jorge Ernesto. **O ABC da astronomia e astrofísica**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2008.
- LANGHI, Rodolfo; NARDI, Roberto. Ensino em astronomia: erros conceituais mais comuns presentes em livros didáticos de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 24, n. 1, p.86-111, abr. 2007.
- MEES, A. A. ; STEFFANI, M. H. Atividades de astronomia e óptica para a 8ª série do Ensino Fundamental. **Textos de Apoio ao Professor de Física**, v.16, n.4, 2005.
- MEURER, Z.H. ; STEFFANI, M.H. Física no Ensino Fundamental: atividades lúdicas e jogos computadorizados. **Texto de Apoio ao Professor de Física**, v.20, n.4, 2009.
- OLIVEIRA FILHO, K. S. ; SARAIVA, M. F. O. **Astronomia e astrofísica**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2000.
- OTTEWELL, G. **The thousand-yard model or, the Earth as a Peppercorn**, 1989. Disponível em: <<http://www.noao.edu/education/peppercorn/pccmail.html>>. Acesso em: 24 de Fev. 2004.
- RIDPATH, I. **Astronomia**. Rio de Janeiro: Zahar, 2007.
- UHR, A. P. O Sistema Solar – um programa de astronomia para o ensino médio. **Textos de Apoio ao Professor de Física**, v.18, n.4, 2007.

Fotossíntese - revisitando a enigmática questão: por que as plantas são verdes?

Marco Sacilotti, Euclides Almeida, Cláudia C. Brainer de O. Mota,
Thiago Vasconcelos, Frederico Dias Nunes, Marcelo Francisco Pompelli
e Anderson S. L. Gomes

Introdução

Nossas reservas energéticas estão se esgotando. Por isso, precisamos criar novos processos artificiais e/ou naturais mais eficientes para poupar aquilo que a natureza fez em várias centenas de milhares de anos: as florestas, os rios e quedas d'água, as fontes de petróleo, de carvão e minerais e, sobretudo, as condições atmosféricas atuais. Vários destes itens de produção de energia passam pelo mecanismo/processo natural: a fotossíntese.

A fotossíntese é um mecanismo ainda mal compreendido, mal explicado e mal copiado para se chegar à produção mais eficiente de energia (biomassa, biocombustível, elétrica etc.) que necessitamos atualmente e também para aplicações futuras. O primeiro passo do mecanismo da fotossíntese consiste na absorção da luz e a concomitante separação das cargas de sinais opostos. Sabemos da física que estas cargas elétricas se atraem, ou seja, para separá-las é necessário que haja um gasto de energia. Uma vez gasta a energia para separar cargas, resta a energia potencial das cargas separadas. Esta separação de cargas nos dá a possibilidade de armazenar energia ou acionar os processos catalíticos, tais como a produção de biomassa a partir do CO₂ ou a separação do oxigênio da água. Estes processos implicam também na produção de energia luminosa emitida, quando as cargas separadas se reencontram.

O mecanismo de separação de cargas elétricas nas folhas ainda tem muitas partes obscuras e sem resposta. Os modelos atuais não apresentam e nem explicam o campo elétrico necessário para separar cargas elétricas de sinais opostos. O modelo do *ground state energy*, usado para representar a transferência de energia entre moléculas orgânicas diferentes, não tem consistência nas leis da física (Bjorn et al., 2009; Bolton, 1977). Consequentemente, este modelo tem grandes dificuldades para explicar o fenômeno físico ligado aos processos fotocatalíticos artificiais ou naturais. Quando cargas (e- ou h+) transitam de um material A para outro material B, estas sempre tem degraus energéticos (para cima ou para baixo) a ultrapassar (Kroemer, 2001; Kroemer, 1983; Esaki,

1987; Esaki, 1986; Sze, 2007). Entretanto esse degrau é desconsiderado nos atuais modelos aplicados aos processos naturais. Também não é conhecido o encurvamento das bandas de energia nos materiais e nos modelos fotocatalíticos artificiais ou naturais (Bjorn et al., 2009; Bolton, 1977). Este encurvamento das bandas de energia é necessário para a existência do campo elétrico que separa cargas de sinais opostos (Kroemer, 2001; Sze, 2007). Sem campo elétrico, não há força para separar cargas elétricas (e^- , h^+). Contrastando com nossa proposição, muitos dos trabalhos publicados em processos fotovoltaicos artificiais e naturais não apresentam o verdadeiro mecanismo físico de separação de cargas elétricas (Bjorn et al., 2009; Bolton, 1977; Srinivasan et al., 2006; Robel, et al., 2006; Kamat, 2009; Robert, 2007; Zhang et al., 2009).

O presente modelo de bandas de energia entre dois materiais A e B diferentes é apresentado, tomando-se por base os trabalhos de L. Esaki e H. Kroemer (prêmios Nobel de Física): com bandas de energia deslocadas (staggered energy line up) (Kroemer, 2001; Esaki, 1987; Sze, 2007; Sacilotti et al., 1996; Sacilotti et al., 1992). Esta é a única configuração energética existente que permite separar cargas elétricas de sinais opostos entre dois materiais naturais ou artificiais diferentes, sob excitação luminosa. Nas escolas e universidades aprendemos que o verde das folhas é uma reflexão (sem nenhuma prova científica direta para tal afirmação). Nossa conclusão, porém, é que o verde seria majoritariamente uma emissão. Mais ainda: o verde das folhas está relacionado à energia despendida para separar cargas elétricas de sinais opostos.

As curvas de reflexão e de transmissão da luz captada pelas folhas são incongruentes, uma vez que a reflexão do verde (535 nm) é somente da ordem de 15%, não muito mais do que isso. Este valor não justifica a intensidade do verde que observamos nas plantas. Isto quer dizer que, medindo-se a intensidade do verde do espectro solar e comparando-a com a intensidade do verde de uma folha natural, a intensidade do primeiro é menor que a intensidade do segundo. Isto significa que deve haver algum mecanismo de absorção de comprimentos de onda com energia maior que o verde e uma transformação e emissão no verde. Ainda, isto implica que o verde de uma folha pode ser constituído de três componentes: reflexão, transmissão e transformação interna na folha, de comprimentos de onda menores (ultravioleta e azul) no comprimento de onda do verde.

Outra incongruência verificada nas curvas de reflexão e de transmissão da luz pelas folhas consiste na soma das intensidades de reflexão e transmissão médias que, medidas experimentalmente, nos dão uma absorção da ordem de 78% da luz visível (i.e., entre 400 a 700 nm) do espectro solar. Esta absorção de 78% seria inviável para qualquer folha que esteja se desenvolvendo em

condições climáticas tropicais ou equatoriais. Nossa conclusão é de que deve haver um mecanismo rápido e eficiente de “liberar” a energia absorvida do sol e que, ao mesmo tempo, faça o processo de separação de cargas ineficientemente. A controvérsia entre emissão e reflexão será discutida neste trabalho. Também serão apresentadas proposições de aplicações no aumento da produção de biomassa e de energia, utilizando o processo de separação de cargas. Além disso, apresentaremos exemplos de materiais fotovoltaicos inorgânicos, com conclusões científicas falhas quanto ao mecanismo de separação de cargas. Estas conclusões não apresentam o campo elétrico necessário para separar cargas elétricas que se atraem. Tampouco apresentam dispêndio de energia para separar cargas elétricas que se atraem. Normalmente as leis da física são respeitadas em mecanismos físicos!

Bandas de energia e o argumento físico para separar cargas elétricas

A maior parte dos materiais utilizados em óptica, sejam eles orgânicos ou inorgânicos, possui parâmetros físicos eletro-ópticos conhecidos da comunidade científica. Um destes parâmetros são as bandas de energia, em que portadores (cargas elétricas: e^- , h^+) trafegam pelo material considerado sob excitação de formas diversas: óptica, térmica, elétrica etc. Estas vias de tráfego de portadores ou cargas elétricas são comumente chamadas de banda de condução (BC ou LUMO, utilizado em biologia) e banda de valência (BV ou HOMO, utilizado em biologia). Quando um material A está em contato (ou próximo dele) com um material B, o movimento ou tráfego destas cargas elétricas entre A e B pode ou não ocorrer, dependendo das posições relativas entre as BV e BC dos materiais e demais parâmetros físicos, por exemplo, a temperatura (Kroemer, 2001; Sze, 2007). Existem três possibilidades de posições relativas de bandas de energia entre dois materiais diferentes A/B: tipo I, tipo II e tipo III (Kroemer, 2001; Sze, 2007). As posições relativas do tipo I são utilizadas para a construção de dispositivos eletro-ópticos como os lasers e LEDs em física do estado sólido (Sze, 2007). Nesta configuração, a banda proibida de menor energia de um material está inserida na banda proibida de maior energia do outro material (Sze, 2007). De uma maneira simbólica, seria a gaveta da caixa de fósforos que entra na parte externa que a envolve. Esta banda de energia “proibida” seria o canteiro interno de separação entre duas estradas, onde os “carros” (cargas) não trafegam. A BC seria a via de ida de carros mais leves (elétrons) e a BV seria a via de vinda de carros mais pesados (lacunas ou buracos, de sinal positivo). Estas lacunas são “lugares ou posições energéticas” deixadas pelos elétrons que “saltaram” da banda de energia de valência, para a banda de condução. Este “salto” pode ocorrer com a absorção da luz pelo elétron que

está na BV. Descreveremos neste capítulo somente os tipos de interfaces energéticas do tipo II, onde a banda de energia de um material A está deslocada em relação ao material B. Esta posição relativa é chamada *staggered* (deslocada) como dois degraus de duas escadas em paralelo.

Qualquer que seja o tipo de interface energética, as cargas elétricas que trafegam entre materiais diferentes sempre tem degraus energéticos (para cima ou para baixo) a vencer ou a cair (Kroemer, 2001). Sem estes degraus energéticos, não estaremos discutindo em condições físicas existentes. É aqui que se encontra todo o problema do modelo aceito atualmente para a fotossíntese: na representação do mecanismo da fotossíntese natural (Bjorn et al., 2009; Bolton, 1977) a representação energética não tem existência nas leis da Física (Kroemer, 2001). Neste modelo da fotossíntese a BV (ou HOMO) não apresenta degrau energético quando consideramos a passagem de cargas elétricas de uma proteína A para uma proteína B (Bjorn et al., 2009). Esta “auto-estrada elétrica” sem degrau energético é conhecida como *ground state energy*. Devido à sua inexistência física, esta configuração não será mais considerada neste trabalho. Portanto, com uma configuração energética inexistente e falha na explicação de processos fotocatalíticos, temos duas críticas principais a fazer: (i) ela não apresenta o campo elétrico (*driving force*) necessário para separar cargas elétricas que se atraem; (ii) a literatura científica relacionada à fotossíntese produziu centenas de artigos sobre uma configuração energética não descrita em física e, portanto, não existente. Desde a década de 1940, vários autores descrevem o mecanismo da fotossíntese utilizando esta mesma configuração energética não existente em física de materiais (Bjorn et al., 2009; Bolton, 1977; Raven et al., 2001). Seria então inútil discutir sobre uma configuração energética sem respaldo científico nas ciências físicas, considerando que separação de cargas é um processo físico e não biológico.

Faz-se importante registrar que a literatura recente sobre fotovoltaicos aplicados a inorgânicos não reproduz o mesmo erro apresentado aos conceitos fisiológicos naturais. Nas leituras sobre materiais nanoestruturados observa-se o uso de uma configuração de energia adequada (i.e., tipo II), mas não se observa o uso das informações científicas existentes para que cargas elétricas tenham que sofrer a ação de um campo elétrico para separá-las (Srinivasan et al., 2006; Robel, 2006; Kamat, 2009; Robert, 2007; Zhang et al., 2009). Com isso, muitas publicações em materiais fotovoltaicos modernos estão falhas quanto ao mecanismo de separação de cargas elétricas que se atraem, pois não apresentam o campo elétrico como mecanismo de separação destas cargas (Srinivasan et al., 2006; Robel, 2006; Kamat, 2009; Robert, 2007; Zhang et al., 2009; Kumar et al., 2007; Scholes, 2008; Kumar, Scholes, 2008). Muitos pesquisadores desta área se esquecem que cargas elétricas que passam de um material A para um material B deixam em A e B o que chamamos “encurvamento

das bandas de energia” (ou *energy band bending*), e somente o encurvamento é capaz de promover o aparecimento do campo elétrico, necessário para separar e dar a direção de deslocamento de cargas elétricas. Notar que $E = -\text{grad } V$, Energia = $V \times$ carga elétrica e $F = E \times$ carga elétrica. Se os pesquisadores desta área de fotovoltaicos não consideram que a separação de cargas que se atraem precisa de um campo elétrico, nenhum mecanismo proposto terá valor científico. Ainda mais grave, tem-se o sentido da corrente elétrica através do dispositivo, que na realidade é contrário ao sentido da corrente nas publicações existentes na literatura. Este equívoco equivale a um grande erro científico por não utilizarem conceitos físicos corretos (campo elétrico) para separar cargas.

Discutiremos abaixo a aplicação destas noções a materiais inorgânicos/inorgânicos (fotovoltaicos) e orgânicos/orgânicos (fotossíntese). As aplicações a orgânicos/inorgânicos seriam semelhantes, visto que o encurvamento de bandas de energia também tem sido relatado na literatura para orgânicos. Configurações energéticas do tipo II entre orgânico/orgânico e inorgânico/inorgânico têm igualmente sido relatadas (De Angelis et al., 2008; Ishii et al., 1999). A Figura 1 apresenta a configuração energética do tipo II, estrutura energética não excitada, com bandas planas de energia. Observe que “não há encurvamento”, pois não há excitação e queda de portadores para o material ao lado, para a banda com energia com valor mais baixo. A Figura 2 representa a estrutura energética (estrutura excitada com luz) com os respectivos parâmetros: encurvamento das bandas pelos deslocamentos das cargas, campo elétrico resultante do decaimento das cargas de um material para outro e a devida direção de deslocamento das cargas em direção oposta à interface (força sobre a carga, devido ao campo elétrico, Figura 2). Notar que, devido ao encurvamento das bandas, oriundo da recombinação de e^- , h^+ na interface entre os dois materiais A/B, aparece esta recombinação e emissão de interface hn_i . Sendo esta recombinação muito importante, o processo de separação de cargas é ineficiente. É exatamente o que ocorre nos processos catalíticos artificiais ou naturais: eficiência quântica (n° cargas / n° fótons) baixa, da ordem de 5%, conforme discutido nas páginas seguintes.

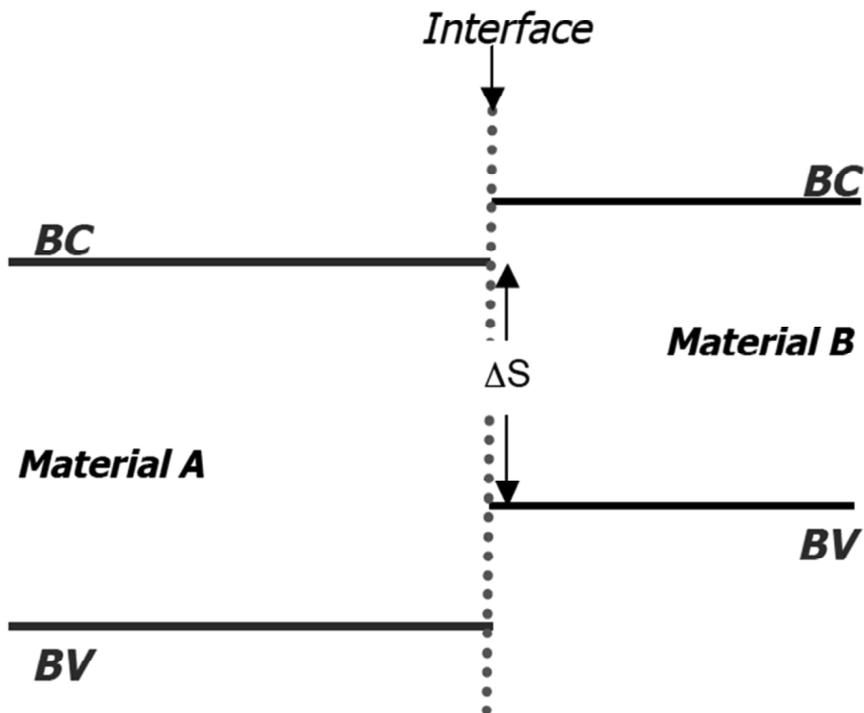


Figura 1. Representação das bandas de energia do tipo II entre materiais A e B, sem excitação óptica (bandas planas). O deslocamento de energia relativo, ΔS , está relacionado com $E_i = h\nu_i$, energia do fóton de emissão de interface (Figura 2). BC equivale a LUMO e BV equivale ao HOMO, em biologia.

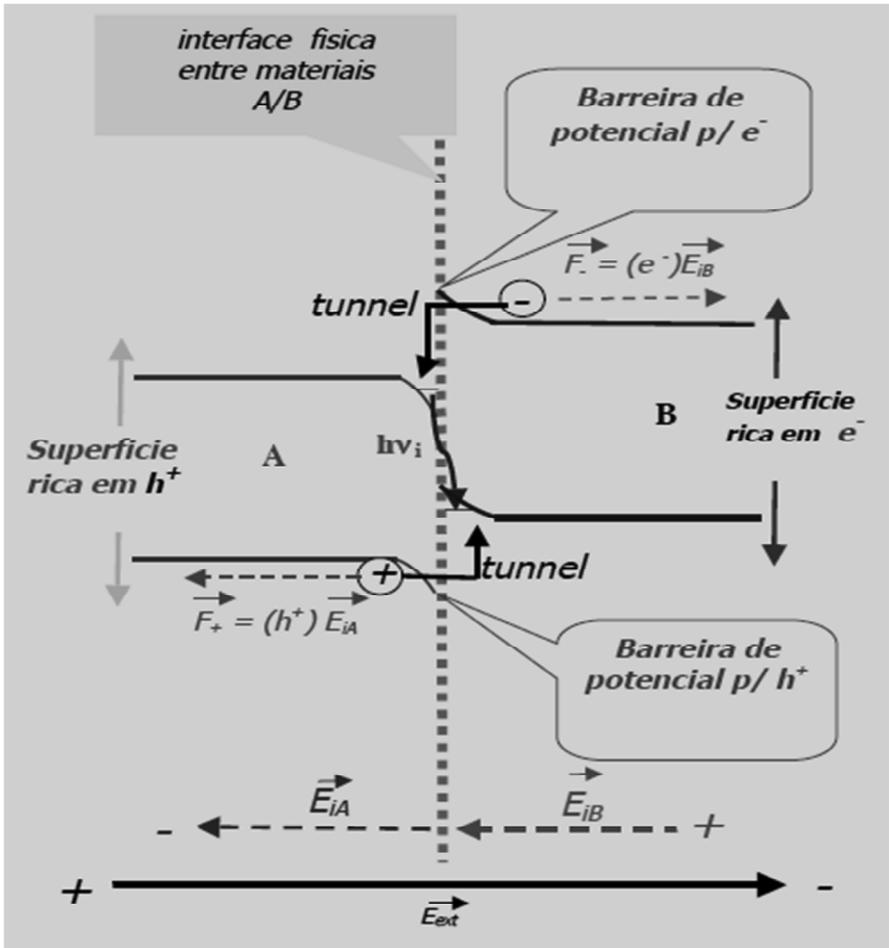


Figura 2. Representação das bandas de energia entre dois materiais A e B, com excitação óptica (bandas encurvadas devido à passagem de cargas elétricas do material A \leftarrow \rightarrow B). Note que o encurvamento das bandas é um fenômeno físico, devido à variação eletrônica do entorno na interface, resultado da queda de cargas elétricas de um material para outro (ref. 3, Figura 11). Os campos elétricos internos E_{iA} e E_{iB} (na interface) são devidos ao encurvamento das bandas de energia (barreira de potencial). Para se anular os campos internos, oriundos da passagem de cargas que passam de um material para outro, é necessário a aplicação de um campo externo E_{ext} , como explicado na Figura 4.

Aplicações a fotovoltaicos artificiais

Sistemas de materiais nanoestruturados que tentam copiar o processo natural da fotossíntese podem estar baseados em interfaces contendo materiais com elementos químicos III-V/III-V, II-VI/II-VI, II-VI/III-V da tabela periódica (Kroemer, 1983; Sze, 2007; Sacilotti et al., 1996; Gratzel, 2001). Podem também ser encontradas interfaces contendo óxidos de ambos os lados ou óxidos/II-VI (Kamat, 2009; Robert, 2007; Zhang et al., 2009; Gratzel, 2001). Esta tentativa de “copiar”, não necessariamente correta, limita-se à interpretação dos resultados, sendo que a configuração de bandas de energia tipo II é respeitada (Srinivasan et al., 2006; Robel et al., 2006; Kamat, 2009; Robert, 2007; Zhang et al., 2009; Kumar et al., 2007; Scholes, 2008). Quanto à interpretação dos resultados, os autores utilizam a representação de trabalhos envolvendo fotossíntese para explicar a separação das cargas elétricas e indicar, erroneamente, que elas foram separadas porque desceram degraus energéticos do material A para o material B ($h+$) e de B para A ($e-$). Diversos autores indicam que o pico de interface E_i representa o pico de transferência de cargas e não está relacionado à energia gasta para separá-las (Kumar et al., 2007; Scholes, 2008; Kumar e Scholes, 2008).

Na Figura 3 tem-se a representação do pico de luminescência de sistemas de materiais A/B contendo uma interface do tipo II. Observe que muitas publicações propõem que estes picos de luminescência ou recombinação de interface sejam devidos a defeitos do material, por suas energias serem menores que as energias das bandas proibidas dos materiais que compõem o sistema A/B (Srinivasan et al., 2006; Robel et al., 2006; Kamat, 2009; Robert, 2007; Zhang et al., 2009).

Na Figura 4 temos os resultados de aplicação de um campo elétrico externo (E_{ex}) na estrutura $AlInAs/InP$, contrário aos campos elétricos internos (E_{iA} e E_{iB} , Figura 2) para anular a intensidade de emissão de interface de 1,2 eV (Sacilotti et al., 1996; Sacilotti et al., 1992; Sakamoto et al., 1992). Estes resultados já publicados, e de aplicação de campo elétrico externo à estrutura (Figura 4), mostram a existência concreta do mecanismo que descrevemos e propomos como solução para os processos fotovoltaicos naturais e artificiais (Sacilotti et al., 1996; Sacilotti et al., 1992; Sakamoto et al., 1992; Sacilotti et al., 2010). Nossa proposta mostra, também, que as tentativas de copiar o sistema natural da fotossíntese estão no caminho certo, bastando, para tanto, modificar as conclusões quanto ao mecanismo de separação de cargas (i.e., encurvamento das bandas de energia, campo elétrico e emissão de interface). O aprimoramento material destas estruturas e o uso de interfaces do tipo II para fotovoltaicos artificiais ficariam evidentes com a criação de interfaces que consumissem menos energia para separar mais cargas. Os sistemas fotovoltaicos artificiais atuais têm entre 1 a 5% de eficiência quântica (Robert, 2007; Kumar et al., 2008; Gratzel, 2001). Notar que este sistema que propomos é quântico, na descrição do mecanismo (poços quânticos, tunelamento

etc, descrito abaixo). Barreiras energéticas entre os materiais A e B para diminuir o tunelamento seriam uma opção de evolução para o aumento da eficiência quântica destes dispositivos fotovoltaicos artificiais. Em outras palavras, teríamos que construir interfaces do tipo A/C/B, onde C representa um material com uma barreira energética para (e-, h+), com espessura de ordem nanométrica. Nossa conclusão é que, para que os dispositivos fotovoltaicos inorgânicos/inorgânicos possam conter a interpretação física correta, é necessário considerar a existência do campo elétrico na interface, necessário para separar cargas elétricas, o que não ocorre nas referencias citadas (Srinivasan et al., 2006; Robel et al., 2006; Kamat, 2009; Robert, 2007; Zhang et al., 2009; Kumar et al., 2007; Scholes, 2008; Kumar e Scholes, 2008). Este campo elétrico daria à corrente elétrica que atravessa a interface um sentido contrário àquele que aparece em nos trabalhos acima. Os picos de energia E_i (1,2 eV e 1,5 eV, Figura 3), de interface são função da energia gasta para separar cargas elétricas que se atraem (e-, h+). Isto porque, as cargas que “caem” de A \leftrightarrow B e se recombinam na interface, criam o campo elétrico necessário (E_{iA} e E_{iB}) para separar as cargas que não “caem” na interface. Esta recombinação e emissão de interface é então a energia despendida para separar cargas elétricas que se atraem.

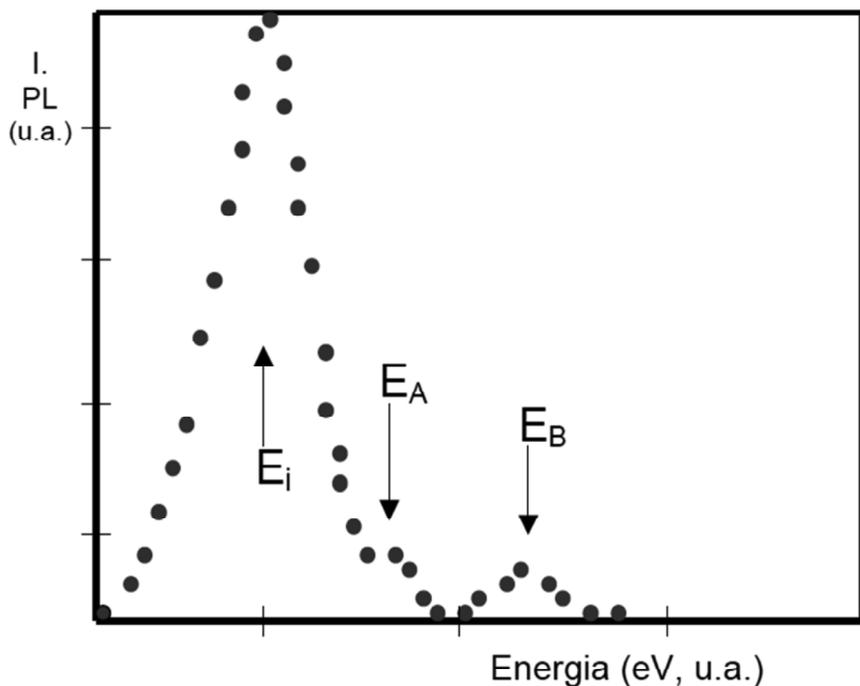


Figura 3. Representação da intensidade de fotoluminescência (I. PL) de um sistema de materiais A/B, contendo interface energética do tipo II, onde o pico de interface (E_i) é muito mais expressivo do que os materiais que o compõem. E_A e E_B representam a energia de banda proibida dos dois materiais A e B, respectivamente. Para sistemas com espessura ≤ 100 nm, E_A e E_B estão praticamente ausentes do espectro de PL. Notar que $E_A > E_i < E_B$, podendo E_A ser maior ou menor que E_B . $E_i \sim 1,2$ eV para o sistema AlInAs/InP, e $E_i \sim 1,5$ eV para sistemas do tipo CdTe/CdSe (Sacilotti et al., 1996; Sacilotti et al., 1992; Kumar et al., 2007). Estas energias dependem também das dimensões (3 dimensões ou quantum dots, por exemplo) e da forma geométrica das ligas de cada sistema. E_i é sempre maior que ΔS (Figura 1), pois tem que se levar em conta a quantização dos portadores nos poços quasi-triangulares (Figuras 2 e 7) e a atração excitônica entre estes portadores. Atração excitônica é a atração entre e- e h+ em qualquer meio onde eles estejam.

Campo elétrico na interface de tipo II

A seguir será apresentada a intensidade do campo elétrico dinâmico que aparece na interface do tipo II, entre dois materiais semicondutores planos, AlInAs/InP (= A/B), quando excitado com luz. Esta experiência é baseada em trabalhos já publicados (Sacilotti et al., 1996; Sacilotti et al., 1992; Sakamoto et al., 1992): o material semicondutor AlInAs/InP, com dimensões ~ 100 nm, apresenta emissão de interface com energia de $E_i \sim 1,2$ eV. Os materiais InP (1,35 eV) e AlInAs (1,46 eV) praticamente não aparecem no espectro de luminescência. Experiências com aplicação de um campo elétrico externo (E_{ex}) a esta estrutura de AlInAs/InP para que a emissão de interface de 1,2 eV tenha intensidade zero (Figura 4), tem o valor de $E_{ex} = 0,56 \times 10^5$ V/cm (Sakamoto et al., 1992). Cálculos teóricos para esta mesma estrutura apresentam o mesmo valor de $\sim 10^5$ V/cm (Sacilotti et al., 2010).

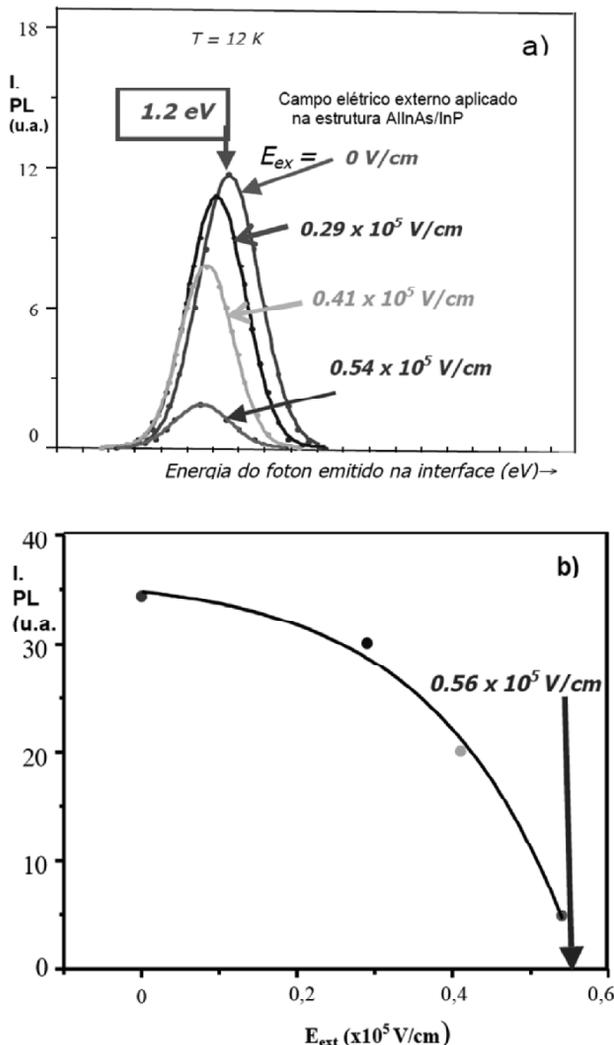


Figura 4. (4a) Aplicação de um campo elétrico externo, E_{ex} , no sistema AlInAs/InP contendo uma interface do tipo II, emitindo luz na interface, com energia de 1,2 eV (extraído de Sakamoto et al, ref. 22). (4b) Campo elétrico extrapolado para $I = 0$, $E_{\text{ex}} = 0,56 \times 10^5\text{ V/cm}$. Notar que uma característica da emissão da interface tipo II é sua grande largura a meia altura (muito maior do que KT); isto se deve aos vários níveis de energia disponíveis na estrutura quântica quasi-triangular em ambos os lados de A/B (Figuras 2 e 7). Como os portadores que se recombinam na interface se encontram em materiais diferentes, as regras quânticas de paridade não são respeitadas, aumentando a largura a meia altura do pico de emissão de interface.

Estas experiências evidenciam a existência do campo elétrico na interface, nas estruturas tipo II que apresentamos (E_{iA} e E_{iB} na Figura 2). Este campo é oriundo do encurvamento das bandas de energia na interface, devido à excitação e decaimento das cargas na interface. Observa-se, ainda, que o valor deste campo elétrico é grande e comparável ao campo elétrico de uma junção p-n de pares de semicondutores (SZE, 2007). Se extrapolarmos este valor de campo elétrico às moléculas (proteínas) em plantas, as dimensões e distâncias seriam de ~ 1 nm. O encurvamento das bandas de energia seria, então, muito mais pronunciado, o que resultaria em campos elétricos maiores que o valor acima indicado.

Observe que os campos na interface E_{iA} e E_{iB} (Figura 2) têm o mesmo sentido, e que E_{ex} tem sentido contrário aos campos de interface. Por esta razão, E_{ex} anula E_{iA} e E_{iB} e a intensidade de emissão de interface cai a zero quando E_{ex} chega ao valor de aproximadamente 10^5 V/cm (Figura 4).

As proposições aqui apresentadas, apoiadas em resultados já descritos na literatura de semicondutores e de fotossintéticos (Sakamoto et al., 1992), carecem de muitas outras experiências para se chegar a um modelo mais ajustado para os processos orgânicos e inorgânicos. Estas observações e ideias aqui apresentadas têm o mérito de confrontar vários pontos de vista, onde a literatura não apresenta nenhum apoio teórico da física envolvida. Um destes pontos seria a constante utilização de cargas elétricas que se deslocam para participar de reações (i.e., ciclo de Calvin, ciclo do ácido cítrico) sem que seja apresentado o mecanismo físico que proporciona tal deslocamento de cargas elétricas. Nesse caso, física, química e biologia precisam de muito trabalho para que tal deficiência científica seja sanada. Estamos aqui mencionando a interdisciplinaridade necessária ao desenvolvimento das ciências. Sem este trabalho conjunto não poderemos evoluir. Possivelmente não poderemos encontrar um mecanismo físico que se adapte às evidências biológicas, ao ponto de tentarmos explicar, sem compreender¹, como se deu o primeiro passo para a descoberta do processo da fotossíntese há mais de 350 anos (Bolton, 1977; Raven et al., 2001).

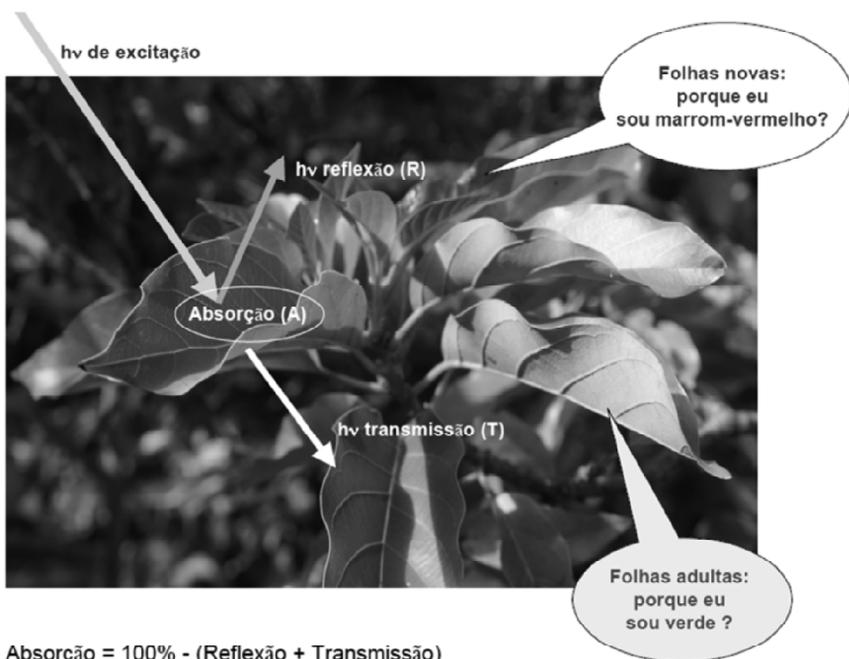
Devemos ressaltar aqui que a existência dos campos elétricos, E_{iA} e E_{iB} nos dois materiais que compõem a interface (Figura 2), modifica o sentido da corrente elétrica, oriunda do processo fotovoltaico, em relação ao sentido da corrente que aparece nas publicações recentes. Com isto, o sentido da corrente elétrica que passa através da interface é errôneo nestas publicações (Srinivasan et al., 2006; Robel et al., 2006; Kamat, 2009; Robert, 2007; Zhang et al., 2009; Kumar et al., 2007; Scholes, 2008; Kumar e Scholes, 2008). Estamos postulando

¹ Esta descoberta foi quando ficou evidenciado que quase toda a biomassa do crescimento de uma planta vinha do ar e não da terra (Raven et al., 2001). Apresenta-se aqui apenas o primeiro passo deste processo complexo: como e por que cargas elétricas podem se afastar e gerar os processos catalíticos encontrados na natureza e em processos artificiais.

um sentido de corrente inverso ao que aparece nestas publicações, utilizando nanomateriais e as propriedades de interfaces do tipo II.

Aplicações a fotovoltaicos naturais

A literatura científica relacionada à pesquisa em fotossíntese apresenta frequentemente a “grande eficiência” deste processo de transformação de energia solar em bioenergia ou biomassa sem, entretanto, definir a razão e como esta grande eficiência proposta ocorre (Bolton, 1977; Raven et al., 2001). Esta mesma literatura também afirma que a cor verde das folhas é majoritariamente uma reflexão, sem apresentar provas concretas e científicas para tal afirmação (Raven et al., 2001). A Figura 5 representa estas experiências ópticas com folhas (i.e., abacateiro – *Persea americana*). A transmissão (T) e a reflexão (R) da luz solar apresentam curvas características, que geram um pico no verde (535 nm) com certa intensidade para R e T na região espectral do visível (400 a 700 nm), e um patamar de forte intensidade R + T na região do espectro solar, abaixo do vermelho (i.e., região do infravermelho) (Bjorn et al., 2009; Seager et al., 2005). Estas regiões de R e T são representadas na Figura 6. Se considerarmos que o verde é uma região do espectro muito importante para uma folha vegetal, todas as curvas de T e R publicadas na literatura científica apresentam a soma R + T como sendo de intensidade ~ 45%. Se a absorção A for igual a 100% - (T + R), teremos que A ~ 55% na região espectral do verde (535 nm). Esta quantidade de absorção é muito grande para que uma folha resista a um dia ensolarado, com intensidade luminosa na ordem de 2000 a 2500 μmol de fótons $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ nas regiões tropicais e subtropicais. Seria necessário, portanto, encontrar um mecanismo físico menos eficiente para que $A \ll 55\%$, somente para o verde. Observe ainda que as curvas da Figura 6 apresentam R ~ 15%, o que não justifica a intensidade do verde de muitas folhas naturais. Isto indica que há outros mecanismos internos nas folhas, de absorção de energias mais altas (maior ou igual ao verde) para justificar a intensidade do verde das folhas dos vegetais.



$$\% \text{ Absorção} = 100\% - (\text{Reflexão} + \text{Transmissão})$$

Figura 5. Excitação de uma folha com energia solar, onde aparecem: Excitação ($h\nu$), Reflexão (R), Transmissão (T) e Absorção (A). Igualmente apresentamos duas questões nesta figura: porque as folhas são verdes e porque os ponteiros do abacateiro se apresentam de cor marrom-avermelhada? Os "ponteiros do abacateiro" são as extremidades dos galhos onde estão as novas brotas deste. Tentaremos propor respostas a estas duas questões no decorrer deste trabalho.

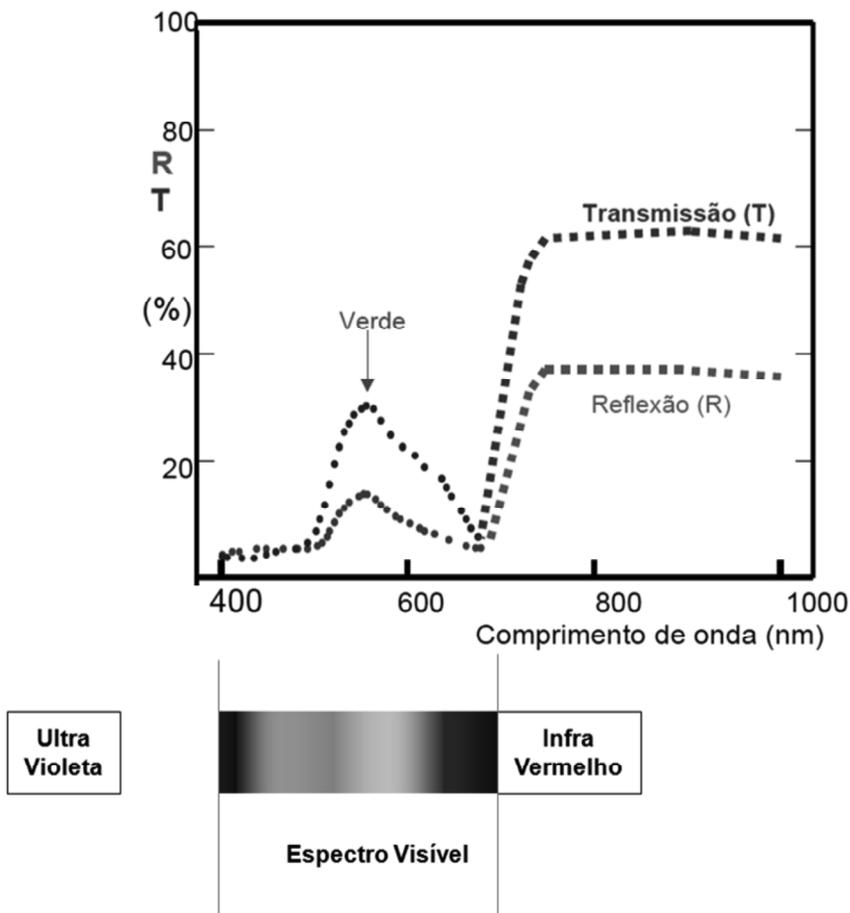


Figura 6. Curvas típicas de reflexão (R) e de transmissão (T) de folhas verdes, na região da luz visível (400 a 700 nm) e do infravermelho (IR: 700 a 1000 nm) (1, 24). A soma das intensidades de T + R na região do IR é praticamente 100% (15, 24). Na região do visível a soma de T + R resulta, em média, em 22%. Se a absorção ($A = 100\% - T - R$) for de 78% da luz visível, uma folha estaria sem condições de sobrevivência após poucas horas em um dia ensolarado. Os cálculos das porcentagens são feitos a partir das superfícies abaixo das curvas.

Se considerarmos que na região do espectro visível (400 a 700 nm) temos, em média, $T \sim 14,5\%$ e $R \sim 7,6\%$, com $R + T \sim 22\%$, então $A = 100\% - (R + T) \sim 78\%$ (Figura 6). Este valor para a absorção é muito elevado. Uma folha não resistiria por muito tempo nestas condições, i.e., forçosamente teríamos uma fotoinibição dos fotossistemas e uma conseqüente morte da planta (Alves et al., 2002; Long e Humphries, 1994). Em outras palavras, com $A \sim 78\%$, a folha estaria “assada” em pouco tempo, em um dia ensolarado. Novamente teremos que encontrar outra maneira biofísica de transformação de energia luminosa em energia física/química/biológica para que uma folha resista a um dia ensolarado. De acordo com o mecanismo descrito anteriormente, para a separação de cargas, utilizando interfaces energéticas do tipo II, ele é pouco eficiente ($\sim 5\%$ ou menos). A maior parte da energia absorvida pelo conjunto de materiais A/B é emitida na interface entre estes (Figuras 2 e 3). A recombinação de interface provém, em parte, de decaimentos de cargas para o material ao lado. Por essa razão, o encurvamento das bandas se comporta em função deste decaimento, e aparece o campo elétrico que proporciona a separação de cargas (e a força para afastar estas cargas). Esse mecanismo é proporcional à energia gasta nesta emissão de interface. A esta emissão de interface estamos atribuindo majoritariamente a cor verde que temos nas folhas dos vegetais. Deve-se notar que as folhas têm também, em menor intensidade, as cores amarela, marrom e vermelha. Estamos igualmente atribuindo estas cores (sem contar R e T) de menor intensidade nas folhas a emissões de interface do tipo II, capazes de separar cargas de maneira ineficiente, mas com a emissão de interface muito eficiente. Em números, teríamos que desperdiçar algo da ordem de $A \sim 70\%$ da energia do espectro visível, quando consideramos a totalidade do espectro solar absorvido e que chega às folhas. Desta quantidade teríamos as cores: verde (majoritária) + amarela + marrom + vermelha (minoritárias) + outras (i.e., térmicas) $\sim 70\%$ (sem contar com R e T). Esta proposição explicaria porque as folhas são majoritariamente verdes (Terashima et al., 2009). Isto responderia também à pergunta proposta por Bjorn e colaboradores (2009): “porque a humanidade não consegue explicar a razão do verde sobre o qual pisamos com nossos pés?” Estamos propondo um mecanismo de separação de cargas elétricas que supõe que o verde das folhas está relacionado com este mecanismo (este verde seria a emissão de luz, na interface entre dois materiais A/B, como descrito acima).

As cores acima citadas levantam uma questão importante: como ficariam as posições relativas das bandas de energia dos materiais (i.e., proteínas, carboidratos) que compõem uma folha?? Uma das respostas seria que estas bandas de energias, contendo 3-5 picos principais de absorção para cada uma das proteínas, não poderiam ser do tipo *ground state energy*, pois este mecanismo e sua representação energética não respeitam algumas leis da Física (Bjorn et al., 2009; Kroemer, 2001).

² Disponível em: <http://www.prof2000.pt/users/geologia/testes/espectro.jpg>

Este seria o verdadeiro quebra-cabeça dos cientistas: descobrir as posições relativas das bandas de energia existentes entre os diversos componentes de uma folha: carotenóides, clorofilas etc (Raven et al., 2001). Notar que, retirando-se as moléculas das folhas, para estudá-las, estaríamos modificando o meio no qual elas estavam. Neste caso, estaríamos modificando estas posições relativas das bandas de energia entre as moléculas a estudar. Seria este um caso sem solução? Para as cores de menor intensidade existentes em folhas naturais, poderíamos dizer que elas também separam cargas elétricas, mas de maneira e com parâmetros diferentes da cor verde. Poderíamos dizer, também, que estas cores de menor intensidade fazem parte da genética das plantas que se adaptaram às condições climáticas atuais. Sendo assim, para um clima com mais CO_2 e necessitando de maior eficiência no crescimento, a natureza poderia modificar seu espectro de emissão principal, emitindo (e não refletindo) em cores de menor energia (i.e., amarela, marrom, vermelho). As brotações jovens de certas plantas têm maior eficiência no crescimento. Isto poderia justificar suas cores diferentes do verde?

**Questões: a) Por que o mecanismo descrito é quântico?
b) Por que os picos de emissão de interface são largos?**

Vamos tentar responder a estas duas questões da maneira mais simples possível, pois não está entre as pretensões deste texto apresentar a mecânica quântica. Estas duas questões estão interligadas. Temos que saber somente que quando as dimensões do espaço restrito a uma carga elétrica são nanométricas, esta carga sofre a ação das barreiras energéticas (ou potenciais elétricos), dando-lhe níveis de energia discretos e um comportamento de “penetração” destas barreiras.

Quando cargas elétricas são transferidas de um material para outro, aparece na interface uma região muito estreita (da ordem de alguns nanômetros) que denominamos poços quânticos, onde estas cargas são “aprisionadas” devido aos potenciais ali desenvolvidos (Figura 7). Estes poços quânticos apresentam, segundo a teoria quântica, níveis discretos de energia. Para cada carga elétrica é atribuído um número quântico e uma função de onda apropriada, em cada um destes níveis discretos. Sendo estes potenciais de aprisionamento das cargas de valor não infinito, as cargas podem tunelar (ou se encontrar dentro e/ou através da barreira de potencial) para o material ao lado. A esta descrição do fenômeno, atribui-se o caráter de mecanismo quântico. Como os elétrons e lacunas se encontram em materiais diferentes A/B, as regras de paridade da mecânica quântica para a recombinação entre e^- , h^+ são inexistentes ou inválidas. Qualquer elétron, em qualquer nível do lado do material A, pode se recombinar com qualquer lacuna (h^+) do lado do material

B. Isto faz com que o mecanismo de emissão apresente sempre um pico largo para a emissão de interface do tipo II. Esta largura é representada pela largura de $\Delta Q_e + \Delta Q_h$ (figura 7). Isto faz também com que o mecanismo de emissão de interface seja muito eficaz. A quantidade ΔE_x chamada de energia excitônica de atração entre e^- , h^+ , é conhecida para inorgânicos (da ordem de 1 a algumas dezenas de meV) e para orgânicos (de 100 a 500 meV). Estes valores são para os pares e^- , h^+ estando em um mesmo material. Desconhecemos dados experimentais ou teóricos para os valores de ΔE_x para interfaces (isto é, o e^- estando em um material e a h^+ estando no outro material). Sendo a energia de interação excitônica, ΔE_x muito maior para orgânicos, sabemos então que precisamos gastar mais energia para separar e^- de h^+ nestes materiais, se comparado aos inorgânicos. Isto será em breve discutido na literatura, se provarmos a importância destas interfaces e suas emissões. Estas descrições explicam a largura dos picos de emissão de interface e o caráter quântico destas emissões na interface.

Os picos de emissão são largos pois as cargas podem se recombinar com vários níveis de um lado e de outro da interface, sem restrição de regras da física quântica.

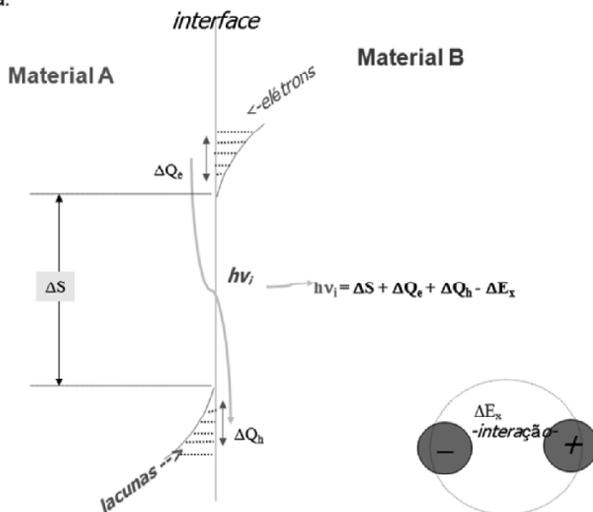


Figura 7. Diagrama de recombinação na interface entre os materiais A/B. $E_i = h\nu_i = \Delta S + \Delta Q_e + \Delta Q_h - \Delta E_x$ representa esta energia de recombinação e depende de vários termos: quantificação (níveis de energia discretos) dos elétrons e lacunas e a interação excitônica (ΔE_x) entre ambos: (e^- , h^+). $h\nu_i$ estaria relacionado à cor majoritariamente verde de emissão das folhas das plantas. São representados os níveis de energia discretos onde elétrons e lacunas ficam aprisionados (ou restringidos) em poços quânticos quasi-trianguulares, pelos potenciais, juntos à interface.

Discussão e conclusões

A literatura científica especializada em fotovoltaicos tem seguido erroneamente caminhos que não podem prover os parâmetros físicos necessários para separar cargas elétricas. Se o intuito principal dos materiais fotovoltaicos é separar cargas elétricas, temos que rever nossos conceitos físicos e aplicar aqueles já conhecidos há décadas. O primeiro deles é o conhecimento das posições relativas das bandas de energia dos materiais envolvidos, por onde trafegam as cargas elétricas. O segundo conceito está ligado à modificação do entorno eletrônico dos materiais, quando cargas elétricas “caem” para níveis de energia mais baixos, existentes nas interfaces compartilhadas por ambos (ou materiais próximos, com distâncias da ordem nanométrica). Esta modificação do entorno energético está ligada à variação do potencial elétrico (ou das bandas de energia) dos materiais em questão, proporcionando o encurvamento das bandas de energia. Somente este encurvamento gera o campo elétrico e a força necessária para deslocar cargas elétricas na direção onde elas forem necessárias e separá-las da atração excitônica (E_x). Estes conceitos obedecem à estatística de Fermi, conhecida há décadas, mas não abordada aqui (Kroemer, 2001; Sze, 2007).

Como exemplo simples, tem-se que quando um elétron salta de um material B para outro material A (Figura 2), o nível de Fermi do material B desce na banda proibida (Sze, 2001), e o de A sobe. Esta condição de não equilíbrio (i.e., condição dinâmica) foi esquecida por uma grande maioria de cientistas que praticam dispositivos fotovoltaicos modernos ou nanoestruturados (Srinivasan et al., 2006; Robel, 2006; Kamat, 2009; Robert, 2007; Zhang et al., 2009; Kumar et al., 2007; Scholes, 2008; Kumar, Scholes, 2008). As verdadeiras propriedades físicas de interfaces entre os diferentes materiais (i.e., orgânicos, inorgânicos ou moléculas) devem ser consideradas para se copiar processos naturais como a fotossíntese. As variações dos níveis de Fermi e dos potenciais, bem como o aparecimento do campo elétrico na interface estão interligados e são necessários para separar cargas elétricas que se atraem.

A natureza criou, durante sua evolução, mecanismos pouco eficientes e adaptáveis para transformar a energia solar em biomassa e produzir, como subproduto, o oxigênio na atmosfera. Os cientistas podem copiar e aprimorar estes processos naturais, evoluídos ou não; mas para tal, é necessário evoluir no entendimento destes processos que são físicos, e não biológicos. Entretanto, se a vasta gama de artigos científicos publicados são baseados em condições físicas não existentes, torna-se difícil o aparecimento de novas ideias. A partir deste ponto, estamos diante de um dilema: manter o modelo atual ou corrigi-lo e promover melhores condições aos cientistas que nos substituirão? O aumento da demanda energética pela humanidade não permitirá, talvez, que a primeira

alternativa seja preponderante por muito tempo. A evolução energética que está prestes a acontecer ditará as regras deste jogo. A necessidade de um campo elétrico para separar cargas que se atraem é evidente, exigindo que cedamos às exigências físicas, curvando bandas de energia quando cargas escapam de um material para o outro adjacente. A enigmática questão “por que as folhas são verdes?” continua válida (Bjorn et al., 2009; Terashima et al., 2009). O mecanismo físico de separação de cargas deve consumir energia; uma proposição seria que esta energia estaria relacionada às cores das plantas: se estas cores tiverem menor energia que o verde, estaríamos economizando energia para separar cargas elétricas que se atraem. Com isso, um canal (por exemplo) de cor marrom economizaria 23% de energia ($(h\nu_{\text{verde}} - h\nu_{\text{marrom}})/h\nu_{\text{verde}} \sim 23\%$), comparado a outro canal de cor verde. Cálculos e projeções feitos pela Nasa para planetas externos ao sistema solar apresentam uma variedade de cores para a possível vegetação destes planetas, variando entre o vermelho, o marrom e o azul (Kiang, 2007). Qual seria a cor das nossas florestas há mais de 600 milhões de anos (Sacilotti et al., 2010)? Se as florestas dessa época emitissem cores principais, com menores quantum de energia que o verde (i.e., do amarelo ao vermelho), provavelmente estas árvores teriam maior eficiência no crescimento se as condições atmosféricas (interdependentes) fossem propícias (i.e., concentração de CO_2 , temperatura, umidade, radiação solar). Nesse novo panorama, várias outras questões vêm à tona; uma delas é: “o baixo nível de CO_2 encontrado na atmosfera atual (ano 1800: 200 ppm; ano 2010: 360 ppm) estaria relacionado ao processo de desertificação que ocorre há milhares de anos?”. Como podemos observar, a suposta solução do mecanismo de separação de cargas no processo da fotossíntese proporcionará mais questões que respostas. Mas este é exatamente o papel das ciências multidisciplinares.

A multidisciplinaridade nas ciências já sabe que camadas de polímeros contendo proteínas para fabricação de LEDs orgânicos apresentam diagramas de energia do tipo II, representados na Figura 1 (Xiangfei et al., 2008). Isto prova, também, que a representação energética (*ground state energy*) de transferência de energia de uma molécula para outra, descrita na literatura, sofre mais uma derrota com o advento dos dispositivos LEDs orgânicos (Bjorn et al., 2009; Bolton, 1977). Com mais alguns passos, a interdisciplinaridade nos levará a outros conhecimentos para desvendar mais mistérios da natureza. Enquanto isso, muitas questões permanecem. Estamos diante de um pequeno passo na explicação do mecanismo de separação de cargas elétricas, no processo da fotossíntese. Estas questões podem ser:

- Como separar cargas elétricas na natureza?
- Como aumentar a eficiência das células solares?
- Será que poderemos copiar a fotossíntese natural?
- Se as intensidades de emissão medidas nas folhas, nas cores: vermelho, verde e azul são comparáveis, por que a cor verde das plantas seria uma reflexão (quando excitadas no UV)?
- Se a eficiência (η) das cores absorvidas, para fazer o processo da fotossíntese: $\eta_{\text{vermelho}} \approx \eta_{\text{verde}} > \eta_{\text{azul}}$ por que o verde seria uma reflexão?
- Será que a cor verde é devida a alguma função desta radiação nas folhas (a reflexão não lhe dá nenhuma função)?
- Será que a clorofila não absorve e emite rapidamente a cor verde e, por esta razão, se diz que ela não absorve no verde?
- Por que e qual a razão física e biológica das folhas amarelarem ou se tornarem avermelhadas quando vão morrer?
- Sendo o verde das folhas considerado (nos anos 1940 a 2010, utilizando física clássica) como uma reflexão (consequentemente sem efeito físico sobre estas), por que a natureza criaria uma cor preponderante sem relação com a produção da biomassa e do oxigênio que respiramos?
- Qual o futuro da interpretação com a física clássica da fotossíntese dos anos 1940, se a física quântica dos anos 2010 propõe o mecanismo como sendo quântico (Herek et al., 2002; Flemig et al., 2004; Brixner et al., 2005; Engel et al., 2007; Mercer et al., 2009)?
- Finalmente, por que as folhas são verdes e qual a relação desta cor com seus mecanismos internos?

Não obstante as observações de equívocos (violações de leis da física) citados nestes trechos, devemos reconhecer os grandes avanços feitos nas ciências biológicas, agronômicas e demais interdisciplinas, sem muitas vezes saber o caminho intermediário trilhado. Estamos tentando, neste trabalho, conhecer este caminho intermediário que a natureza trilhou. A natureza, ao longo dos seus quatro bilhões de anos de criação e de evolução, criou somente um mecanismo para separar o oxigênio da água (Kruse et al., 2005). Será que a natureza criou somente um mecanismo de separação de cargas elétricas que se atraem? A resposta passa pela existência de um campo elétrico, na sequência da absorção da luz do sol pelas moléculas existentes nas folhas. A interface energética do tipo II seria a única a proporcionar este campo elétrico.

Em resumo

- Mostramos que diversas publicações modernas e atuais em fotovoltaicos, contendo materiais com interfaces inorgânicos/inorgânicos do tipo II, não apresentam os parâmetros físicos necessários para separar cargas elétricas. Não apresentando o campo elétrico necessário, nem a energia despendida para separar cargas que estão sob atração, as conclusões destas publicações violam, então, as leis da física. Os campos elétricos na interface fazem com que a corrente elétrica através dela tenha sentido contrário aos resultados publicados;

- Expusemos que a física clássica aplicada ao processo da fotossíntese, da década de 1940, não apresenta o suporte físico necessário para que o mecanismo de separação de cargas elétricas ocorra. Estas falhas se explicam porque a configuração energética entre as moléculas orgânicas não se apresenta em física (há somente três tipos de configurações energéticas: tipo I, II e III, o *ground state energy* não existe na física que conhecemos). Em consequência temos a ausência do campo elétrico e o não dispêndio de energia para esta separação de cargas elétricas que se atraem. Temos, com isto, no caso do mecanismo da fotossíntese da década de 1940, a violação de várias leis da física;

- Apresentamos, copiadas da literatura, as curvas de transmissão e de reflexão para as folhas das plantas na região do espectro visível (400 a 700 nm), publicadas e conhecidas há décadas e que, atualmente, apresentam incongruências não mencionadas na literatura da fotossíntese: a absorção no verde (535 nm) é da ordem de 55%, restando ~15% de reflexão. A absorção média no espectro visível é da ordem de 78%. Estas duas absorções (em 535 nm e média) inviabilizam a proposição de que o verde das folhas seja uma reflexão. Também inviabilizam todos os processos de dispêndio de energia que não seja um processo ineficiente de absorção e emissão rápida da energia luminosa. A absorção de 78% em média no espectro visível inviabiliza a vida de plantas em regiões equatoriais e tropicais;

- Propomos que o mecanismo de separação de cargas elétricas que se atraem pode ser descrito pela interface energética de tipo II entre dois materiais diferentes. Este tipo de interface proporciona o campo elétrico e o dispêndio de energia na separação de cargas elétricas. A esta energia despendida estamos propondo a associação da cor majoritariamente verde observada atualmente nas plantas. O tipo II de interface e seus parâmetros físicos dão o caráter quântico do mecanismo que descrevemos;

- Finalmente, concluímos que ainda temos muito trabalho a desvendar pela frente, até responder com certeza a enigmática questão: “por que as plantas são majoritariamente verdes?” O mecanismo e as propriedades físicas

contidos em interfaces do tipo II (*staggered*) não violam as leis da física quando a intenção é separar cargas elétricas de materiais que são excitados pela luz. Dando uma razão para a existência da cor que nos alimenta poderia ser um bom começo!

Nota

Durante as correções deste capítulo de livro apareceu uma publicação muito importante para nossos argumentos aqui descritos. A equipe de pesquisa chinesa de Yan Hsun Su e outros (Nanoscale, 2010, v.2, p. 2639) fez crescer a planta *Bacopa carolinianais* em meio a nanopartículas de ouro de certo formato e de tamanhos diferentes. Esta planta absorveu as nanopartículas até suas folhas. Temos então um sistema ouro/clorofila (Au/Cl). As folhas mudaram de cor, dependendo do tamanho das nanopartículas de ouro “ingeridas” pela planta e da luz de excitação. Excitando esta planta com luz branca, as folhas podem ser vistas de cor amarelada. Excitando estas folhas com luz ultravioleta (UV = 285 nm), as folhas podem ser observadas com cores vermelhas e azuis. Neste caso, o meio onde estão localizadas as proteínas nas folhas foi modificado. Modificando o meio onde estão as proteínas das folhas, dopadas com nanopartículas de ouro, modificamos a luz de emissão das folhas.

Importante notar que a teoria e modelo sobre a fotossíntese, aceita atualmente, diz que as folhas são verdes por causa das moléculas de clorofilas presentes, “que não absorvem no verde”. Como as proteínas (clorofilas) continuam nas folhas e foram adicionadas somente nanopartículas de ouro, o que seriam as novas cores observadas nas folhas: uma emissão ou uma reflexão?

Estes resultados publicados pela equipe chinesa nos trazem um suporte sem precedentes. Estamos afirmando, em nosso trabalho, que não se pode retirar as proteínas das plantas, estudá-las à parte, e concluir que o verde das folhas é uma reflexão por causa das clorofilas presentes nestas folhas. Estamos afirmando, também, que o verde das folhas é majoritariamente uma emissão, relacionada com a energia gasta para separar cargas elétricas.

Se, no caso deste novo sistema Au/Cl, continuamos com a clorofila e as folhas se tornaram amarelas com excitação de luz branca, poderíamos continuar dizendo que esta cor é uma reflexão? Por qual motivo ou qual o tipo de mecanismo que daria esta reflexão amarela? Notar que a luz branca contém majoritariamente: azul, verde e vermelho.

A excitação da folha com UV (não contém verde e nem azul ou vermelho), com Au/Cl, nos dá as cores azul e vermelha para as folhas da planta *Bacopa carolinianais*. Isto implica que há um mecanismo de transformação interno na

folha: UV para vermelho e azul. Isto implica em absorver o UV e emitir outras cores. Nossas conclusões estão na direção correta; o verde das folhas não seria majoritariamente uma reflexão. Não sendo reflexão, há somente uma outra possibilidade: emissão.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (Facepe), pelo apoio financeiro durante a produção deste trabalho, através dos projetos Pronex APQ-0879-1.05/08, APQ-0044-1.05/08 e ACP-0219-1.05/10. Agradecemos aos professores Rodolpho Caniato (UFRJ) e Carlos Alberto dos Santos (Unila) pelo incentivo à interdisciplinaridade, à compreensão das ciências e à divulgação de resultados científicos.

Dedicatória

Ao mestre Rodolpho Caniato por ter me dado gosto à ciência e por ter me ensinado a aprendê-la e compreendê-la um pouco mais. Marco Sacilotti.

Referências

- ALVES, P.L.C.A.; MAGALHÊS, A.C.N. ; BARJA, P.R. The phenomenon of photoinhibition of photosynthesis and its importance in reforestation. **Bot Rev**, v. 68, p. 193-208, 2002.
- BJORN, L. O. ; PAPAGEORGIOU, G. ; BLANKENSHI, R. ; GOVINDJEE, K. A view point: why chlorophylla? **Photosynthesis Res**, v.99, p. 85-98, 2009.
- BOLTON, J. R. Bolton. **Solar Power and Fuels**. New York: Academic Press Inc, 1977. p. 229.
- BRIXNER, T. et al. Two-dimensional Spectroscopy of electronic coupling in photosynthesis, **Nature**, v. 434, 31 march 2005.
- DE ANGELIS, F. ; FANTACCI, S. ; SELLONI, A. Alignment of the dye's molecular levels with the TiO₂ band edges in dye-sensitized solar cells: a dft-tddft study. **Nanotechnology**, v. 19, p. 424002-09, 2008.
- ENGEL, G. et al. Evidence for wavelike energy transfer through quantum coherence in photosynthetic systems, **Nature**, v. 446, p.782-786, 12 april 2007.
- ESAKI, L. The evolution of quantum structures. **Journal de Physique**, France, C5, p. 1-11, 1987.
- ESAKI, L. A bird's-eye view on the evolution of semiconductors superlattices and quantum wells, **IEEE Quantum Electronics**, v. 22, p. 1611-1624, 1986.
- FLEMING, G. et al. Quantum mechanics for plants, **Nature**, v. 431, 16 sept. 2004.
- GRATZEL, M. Photoelectrochemical cells. **Nature**, v. 414, p. 338-344, 2001.
- HEREK, J. et al. Quantum control of energy flow in light harvesting, **Nature**, v. 417, 30 may 2002.
- ISHII, H. ; SUGIYAMA, K. ; ITO, E. ; SEKI, K. Energy level alignment and interfacial electronic structures at organic/metal and organic/organic interfaces, **Advanced Materials**, v.11, p. 605-625, 1999.

KAMAT, P. V. Quantum dot solar cells. Semiconductor nanocrystals as light harvesters. **J. Physical Chemistry C**, v.112, p. 18737-18753, 2009.

KIANG, Nancy. Astrobiology, v. 7, 2007, p.222-252, **Scientific American**, p. 48, april 2008 e http://www.giss.nasa.gov/research/briefs/kiang_01/.

KROEMER, H. Nobel lecture: quasidelectric fields and band offsets: teaching electrons new tricks, **Reviews of Modern Physics**, v. 73, p. 783-793, 2001.

KROEMER, H. Staggered-lineup heterojunctions as sources of tunable below-gap radiation: operating principle and semiconductor selection. IEEE Electron. Device Lett. EDL-4, 1983, p.20-22. Barrier control and measurements: abrupt semiconductor heterojunctions. **J. Vac. Sc. Technol.** B2, p.433-439, 1984.

KRUSE, O. ; RUPPRECHT, J. ; MUSSGNUG, J. ; DISMUKES, G. ; HANKAMER, B. Photosynthesis: a blueprint for solar energy capture and biohydrogen production technologies. Photochem. Photobiol. **Science**, v. 4, p. 957-969, 2005.

KUMAR, S. ; JONES, M. ; LO, S. ; SCHOLLES, G. Nanorod heterostructures showing photoinduced charge separation, *Small*, v. 3, p.1633-1639, 2007.

KUMAR, S. ; SCHOLLES, G. Colloidal nanocrystal solar cells, *Microchim. Acta* 160, p. 315-325, 2008.

LONG, S.P. ; HUMPHRIES, S. Photoinhibition of photosynthesis in nature. **Ann Rev Plant Physiol Plant Mol Biol**, v.45, p.633-662, 1994.

MERCER, I. P. Instantaneous Mapping of Coherently Coupled Electronic Transitions and Energy Transfers in a Photosynthetic Complex Using Angle Resolved Coherent Optical Wave Mixing, **Phys. Rev.**, 13 February 2009, Lett. 102, 057402.

RAVEN, P. H. ; RAYEVERT, F. ; EICHHORN, S. **Biologia vegetal**. Guanabara/Koogan. 6 ed., p. 125, 136, 138, 148, 2001.

ROBEL, I. ; SUBRAMANIAN, V. ; KUNO, M. ; KAMAT, P. Quantum dot solar cells. Harvesting light energy with CdSe nanocrystals molecularly linked to mesoscopic TiO₂ films. **J. Am. Chem. Soc.** v. 128, p. 2385-2393, 2006.

ROBERT, D. Photosensitization of TiO₂ by M_xS_y and M_xS_y nanoparticles for heterogeneous photocatalysis applications. **Catalysis Today**, v. 122, p. 20-26, 2007.

SACILOTTI, M. ; ABRAHAM, P. ; PITAVALL, M. et al. Structural and optical properties of AlInAs/InP and GaPSb/InP type II interfaces. **Canadian J. Physics**, v. 74, p. 202-211, 1996.

SACILOTTI, M. ; MOTISUKE, P. ; MONTEIL, Y. et al. Growth and characterization of type-II/Type-I AlGaInAs/InP interfaces. **J. Crystal Growth**, v. 124, p. 589-595, 1992.

SACILOTTI, Marco ; ALMEIDA, Euclides ; C.B. Claudia ; MOTA, O. ; DIAS NUNES, Frederico ; GOMES, Anderson S. L. **Can the photosynthesis first step quantum mechanism be explained?** Published on line, Nasa-arXiv:1005.1337, Disponível em: <<http://arxiv.org/abs/1005.1337>>. Acesso em: Mai 11th 2010. Cited as: arXiv:1005.1337v1 [physics.chem-ph], e Optical Society of America : Frontiers in Optics. October 11 (2009). Disponível em: <<http://www.opticsinfobase.org/viewmedia.cfm?uri=FiO-2009-PDPC5&seq=0>>

SAKAMOTO, R. ; KOHNOT, T. ; KAMIYOSHI, T. ; INOUE, M. ; NAKAJIMA, S. ; HAYASHI, H. Optical analysis of hot carrier distribution and transport properties in InP/AlInAs type II heterostructures. **Semicond. Sci. Technol.**, v. 7, B271-B273, 1992.

SCHOLES, G. Controlling the optical properties of inorganic nanoparticles, **Advanced Functional Materials**, v. 18, p.1157-1172, 2008.

SEAGER, S. ; TURNER, E. ; SCHAFER, J. ; FORD, E. **Vegetation's red edge: a possible spectroscopic biosignature of extraterrestrial plants**, Arxiv: astro-ph/0503302v1, 14 march 2005.

SENSION, R. Quantum path to photosynthesis, **Nature**, v. 446, 12 april 2007.

SRINIVASAN, S. S. ; WADE, J. ; STEFANAKOS, E. Visible light photocatalysis via CdS/TiO₂ nanocomposite materials. **J. Nanomaterials**, p. 1-7, 2006.

SZE. M. S. **Physics of semiconductor devices**. 3 ed. J. Wiley & Sons Inc, p. 58, 79, 104, 123, 128, 134, 457, 663, 2007.

TERASHIMA, T. ; FUJITA, T. ; INOUE, W. ; CHOW, R. Oguchi, Green light drives leaf photosynthesis more efficiently than red light in strong white light: revisiting the enigmatic question of why leaves are green, **Plant and Cell Physiology**, v. 50, p. 648-607, 2009.

XIANGFEI, Qi et al. **Applied Physics Letters**, v. 93, 2008.

ZHANG, J. ; ZHU, H. ; ZHENG, S.; PAN, F. ; WANG, T. TiO₂ film/Cu₂O microgrid heterojunction with photocatalytic activity under solar light irradiation. **Applied Materials & Interfaces**, v.1, p. 2111-2114, 2009.

Movimento biológico: matemática no ensino de ciências da natureza

Jair Koiller

Introdução

O movimento dos seres vivos é tema dos mais propícios para abordagens multidisciplinares no ensino de ciências. Pode servir também para uma boa fonte de discussões com os alunos sobre opções profissionais.

Aqui tomaremos como exemplo a micro-natação, de grande interesse na bioengenharia, inclusive pela expectativa (talvez ainda prematura) de aplicações médicas. Para sermos concretos, fizemos uma busca sobre micro-robôs bioinspirados. Algumas propostas consistem numa esfera propelida por um flagelo, imitando bactérias como a *Escherichia coli* (daqui em diante, simplesmente *E.coli*). Argumentamos que na prática estas propostas são problemáticas, pois um flagelo externo pode (por exemplo) danificar uma artéria.

Como uma alternativa, perguntamos: uma esfera contendo um fluido e uma hélice interna seria viável?. Para a discussão, tomamos como base um artigo de Edward Purcell, de 1997. Nosso objetivo principal é mostrar que a matemática envolvida é acessível a alunos do segundo grau.

Como outro exemplo de interdisciplinaridade, discutimos um fenômeno descrito por Faraday em 1831, ondas acústicas induzindo movimento em fluidos. O fluxo acústico é usado em transporte e mistura em micro-fluidos. A cianobactéria *Synechococcus* é um nadador misterioso, sem flagelos. Será que “canta” para nadar, antecipando-se aos engenheiros em quatro bilhões de anos?

Informações básicas

As estratégias de movimento dos seres vivos, no ar e na água, dependem principalmente da relação entre inércia (massa vezes aceleração) e a força de resistência viscosa. Este quociente, chamado de número de Reynolds, varia desde 10^{-6} para microorganismos, até 10^9 para um avião a jato de grande porte.

Vamos nos restringir aqui ao regime de Reynolds baixo. Ressaltamos porém, a importância na biomimética do regime de Reynolds alto (peixes e pássaros) e intermediário (insetos). Neste último há um grande interesse atual (basta fazer uma busca na web por “micro air vehicles”).

É extraordinário que o escoamento dos fluidos pode ser bem modelado por uma mesma equação diferencial parcial, devida a Navier (1822) e Stokes (1845), dependendo deste parâmetro adimensional, variando em mais de dez ordens de magnitude.

Quando o número de Reynolds é muito baixo, despreza-se o termo devido à inércia, que é a derivada convectiva da velocidade. A equação de Navier-Stokes sem o termo inercial se reduz à chamada equação de Stokes, uma equação linear e sem dependência explícita do tempo. É por esta razão que, num fluido muito viscoso, uma ostra ou um robô com um grau de liberdade não consegue nadar: não importa se a concha abre ou fecha rápido ou devagar, ela apenas oscila em torno de um ponto médio.

Preliminarmente, o leitor está convidado a baixar o filme de G.I. Taylor¹, “Low Reynolds Number flows” (Taylor, 1964), agora disponível no site do MIT, e os artigos “Life at low Reynolds number” (Purcell, 1977), e “Motile behavior of bactéria” (Berg, 2000).

Howard Berg, que havia feito pós-doutorado com Edward Purcell, mostrou nos anos 70, com elegantes experimentos, que o flagelo rígido das bactérias se liga a um motor rotatório ancorado na membrana (como o motor elétrico de um liquidificador). Por outro lado, desde a década anterior já se sabia, com os trabalhos de Geoffrey Grigg e Alan Hodge, Irene Manton, e Ian Gibbons, que o flagelo dos protozoários (maiores e flexíveis) se curvam por motores moleculares chamados dineínas, distribuídos ao longo do flagelo, formado por nove micro-tubos periféricos em torno de duas centrais².

Daquela época para o momento atual, avançou muito a microscopia e a visualização das imagens, de modo que hoje se conhece a mecânica do motor bacteriano em detalhe, peça por peça. A genômica funcional identificou os genes que os codificam. Ao contrário do que apregoam os adeptos do desenho inteligente, esta maravilha da engenharia utiliza apenas “old wheels, springs, and pulleys, only slightly altered”, como já dizia Darwin 150 anos atrás. O

¹ Taylor é considerado o fundador da modelagem matemática do movimento de microorganismos com seu artigo nos *Proc. Royal Society A* (Taylor, 1951). O grande nome na área, sem dúvida, é Sir James Lighthill, que deu grandes contribuições à biofluidinâmica (Lighthill, 1987).

² Essa estrutura ciliar é universal (está presente nos cílios de todas as espécies que surgiram posteriormente na árvore da vida).

livro da Natureza está mesmo escrito em caracteres matemáticos! (mas com a ajuda da física e da química...).

O leitor encontrará mais informações sobre movimento biológico no hipertexto que escrevi para um curso no Instituto de Matemática Pura e Aplicada (Koiller, IMPA 2001). Naquela época foram iniciadas atividades em biologia matemática pelo Instituto do Milênio ali sediado (AGIMB, 2001)³

Geometria e física do movimento em Reynolds Zero

A segunda lei de Newton é inútil num mundo onde a viscosidade domina. Se os motores da *E. coli* são desligados, ela deslizará uma distância menor do que o comprimento de um átomo de hidrogênio!

Assim, a inércia é irrelevante e a “física Aristotélica” é perfeitamente apropriada. Uma física onde forças e torques são funções lineares das velocidades lineares e angulares.

A qualquer instante do tempo um organismo auto-propelido exerce (e é submetido) no fluido a força total e torque total nulos. Um dos exemplos chave do artigo de Purcell é um micronadador robótico com três segmentos (Fig.1), conectados por dois links⁴. Este artefato, com dois graus de liberdade, é capaz de superar o paradoxo da ostra. Pergunta de Purcell: para que lado o robô vai se locomover? Apenas recentemente foi respondida (Becker et al., 2003; Araújo, Koiller, 2004; Tam, Hosoi, 2007; Avron, Paz, 2008).



Fig. 1. Representação esquemática do micronadador robótico com três segmentos.

³ Temos realizado atividades regulares nos programas de verão desde 2003. Materiais podem ser acessados em: http://www.impa.br/opencms/pt/eventos/store/evento_1101, http://www.impa.br/opencms/pt/eventos/store/evento_1101?link=10, http://www.impa.br/opencms/pt/institucional/memoria_impa/memoria_reunioes_cientificas/index.html

⁴ Apenas para alimentar a curiosidade do leitor. No final dos anos 70 a linguagem da moderna física-matemática ainda não era disseminada, mas Purcell tinha clara noção, como também já tinham Taylor e Lighthill nos anos 50, de que a micronatação é uma “teoria de calibre (gauge) num fibrado principal com grupo de Lie $SE(3)$ ” (Shapere; Wilczek, 1989; Koiller et al, 1996). Esta mesma contextualização matemática é usada para explicar como um gato consegue cair em pé ao ser jogado de cabeça para baixo, e modela a física de partículas com variáveis internas (“spins”, “cores” etc.).

Problema motivador: *Viagem fantástica* (1966)

Este clássico filme de ficção científica gira em torno de um grupo de cientistas, temporariamente reduzidos a tamanho microscópico, tripulando um micro-submarino que navega no corpo humano.

Estará próxima a época em que cirurgias não invasivas serão procedimentos rotineiros?

Atualmente as agências de fomento de grande número de países estão apoiando fortemente pesquisas sobre micro-fluidos (e até mesmo na escala nanoscópica)⁵. Em particular financiam estudos prospectivos sobre micro-robôs nadadores. Para uma revisão sobre o estado da arte sugiro (Nelson et al, 2010).

Minha impressão é que as cirurgias por micro-robôs ainda estão bem distantes, mas sugiro ao leitor buscar informações independentemente para formar sua opinião. É instrutivo tentar depurar o que é realista do que é fantasioso. O Instituto Foresight nos EUA endossa pesquisas em nanociência fora do âmbito universitário tradicional, como por exemplo (Freitas, 2010). Francamente, desconfio (talvez por preconceito).

Dificuldades

Nos jornais com sistema de revisão mais rigoroso, além de estimativas teóricas, é necessário mostrar uma prova de conceito, mesmo em escala macro. Por exemplo: quase a totalidade dos artigos que achei sobre microrobôs nadadores mimetiza o movimento de uma bactéria propelida por um flagelo externo, como a *E.coli*.

O artigo experimental mais antigo que encontrei foi de Dreyfus et al (2005). Embora nos periódicos sobre pesquisa científica não se exija discutir a viabilidade econômica, tecnológica (ou médica) do produto final, creio que se possa prever uma dificuldade. Um artefato propelido por um flagelo externo é suficientemente robusto? Se for, não haveria o perigo, por exemplo, de que o flagelo possa danificar as paredes de uma artéria?

Veremos que um flagelo externo, para ser eficiente, deve ser cerca de seis vezes maior do que o diâmetro da cápsula. Este fato parece estar passando despercebido.

Mas não desejo dar um tom pessimista. O *caveat* apenas alerta contra falsas esperanças, que podem causar uma decepção muito grande em temas com potencial uso médico⁶.

⁵ Disponível em: http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_microfluidics_research_groups

⁶ Por outro lado, mesmo sabendo que a famosa resposta de Faraday a Gladstone (de que em breve poderia cobrar impostos sobre suas descobertas em eletromagnetismo) possa ter sido apócrifa (Bernard Cohen, 1987), a iluminação elétrica chegou de fato na geração seguinte!

Há alternativas na qual a cápsula não tem mecanismos aparentes de propulsão? Recentemente fizemos um estudo teórico, considerando uma cápsula esférica revestida de material piezo-elétrico. Ondas acústicas de superfície seriam capazes de produzir autopropulsão (Ehlers; Koiller, 2010; Koiller et al, 2011). Um modelo mais simples é uma cápsula contendo um fluido viscoso com um flagelo interno. Em teoria, ela deve se movimentar (uma prova de conceito pode ser tentada num laboratório de escola). Discutiremos este modelo mais adiante.

Oportunidades interdisciplinares, e como implementá-las

Para estudar como funcionam as estruturas envolvidas na motilidade celular, o aporte da física e da química é indispensável (Nelson, 2006). O leitor ou leitora estão convidados a fazer uma busca na internet sobre duas palavras-chave importantes: “catracas de Feynman” e “motores moleculares” (ainda há controvérsias se motores moleculares podem produzir movimentos direcionados a partir do movimento browniano no ambiente).

Estes fascinantes temas serão acessíveis ao alunado do segundo grau numa abordagem interdisciplinar? Tenho certeza que, devidamente adaptados, poderiam seduzir muitos alunos e alunas talentosos. Neste sentido, a aproximação dos bons alunos do secundário com as universidades e centros de pesquisa é fundamental. Na antiga União Soviética, o sistema de transmissão de conhecimento se fazia encadeando as gerações de estudantes, com diferença de idade em torno de cinco anos. Ao se aposentarem, alguns pesquisadores de alto calibre passavam inclusive a dedicar-se à preparação de alunos pré-universitários.

No Brasil, vários grupos de pesquisa como o do prof. Leopoldo de Méis, na bioquímica da UFRJ, já trabalham há anos com este espírito. Essas experiências não tem ainda a escala desejável – seria importante generalizar o processo. Nessa nossa era de grande número de instantâneas (muitas vezes deletérias) distrações, é um desafio aos professores atrair estudantes regulares para os clubes de ciência das escolas e aos espaços públicos de divulgação científica.

No caso da matemática temos uma história de sucesso: as olimpíadas de matemática das escolas públicas. O passo seguinte seria uma programa induzido de bolsas de manutenção para jovens de famílias com menos recursos, que desejarem seguir carreira acadêmica ou trabalhar como matemáticos aplicados e industriais.

Um curso sobre a “Física da Vida”. O prof. Moyses Nussenzweig ministrou em 2002 um curso na UFRJ dando partida ao Laboratório de Pinças Óticas⁷ e cujo programa tomo a liberdade de inserir aqui.

Curso de Pinças Óticas e Aplicações à Biologia Celular. H. Moyses Nussenzweig

Pinças óticas - o que são e como funcionam; Forças mecânicas na escala celular; Propriedades mecânicas das proteínas; Forças térmicas e difusão; Forças químicas Mecânica de polímeros; O citoesqueleto; Estrutura dos filamentos do citoesqueleto Polimerização de filamentos; Geração de forças por filamentos; Estrutura e propriedades das proteínas motoras; Hidrólise do ATP; Bases moleculares da contração muscular Biomembranas; Motilidade celular.

Jonathon Howard, “Mechanics of Motor Proteins and the Cytoskeleton”, Sinauer Associates (2001).

Dennis Bray, “Cell Movements”, 2nd ed., Garland Publishing (2001).

David Boal, “Mechanics of the Cell”, Cambridge University Press (2002).

Passemos agora a discutir um problema concreto

Eficiência da propulsão por um flagelo externo, segundo Purcell.

O segundo artigo de Edward Purcell sobre micronatação foi publicado postumamente na prestigiosa revista *Proceedings of the National Academy of Sciences* (Purcell, 1997). Purcell havia falecido recentemente, e Howard Berg encontrou o manuscrito ao organizar os seus materiais.

Como dissemos, acreditamos que o artigo é acessível a um aluno do segundo grau. Mas na realidade, apenas alguém com a experiência de um Purcell (prêmio Nobel em 1952) consegue extrair informações relevantes com uma matemática simples – porém totalmente correta dentro das aproximações consideradas.

O artigo pode ser encontrado na página da PNAS (o leitor ou leitora estão intimados a fazê-lo). A dedução relevante para nós vai da fórmula [11] à fórmula [19] do referido artigo. Purcell inicia com estas simples fórmulas da física “aristotélica”:

⁷ Disponível em: <http://omnis.if.ufrj.br/~lpo/>.

$$\mathbf{F} = \mathbf{A} \mathbf{v} + \mathbf{B} \boldsymbol{\omega}, \quad \mathbf{N} = \mathbf{B} \mathbf{v} + \mathbf{D} \boldsymbol{\omega} \quad (1)$$

relacionando a velocidade linear v e a velocidade angular w de uma hélice rígida à força F e ao torque N , na direção de seu eixo. Por exemplo, uma hélice submetida a um torque externo, além de girar também se desloca em relação ao fluido ambiente.

Os coeficientes $A, D > 0$, $B < 0$ formam uma matriz simétrica e positiva definida, a *matriz de resistência*. Sua inversa é chamada *matriz de propulsão* (Purcell observa que foi a Natureza quem decidiu ser $B < 0$. Isto significa que a hélice navega no fluido como um abridor numa rolha).

Nas notas que Berg encontrou havia uma tabela, obtida experimentalmente, dos valores de A, B , e D para vários formatos de hélice. Os experimentos descritos por Purcell são simples de serem feitos, mas engenhosos⁸. Ver tabela 1.

Tabela 1. Elementos das matrizes de propulsão e eficiências de propulsão para modelos de flagelo imersos em óleo de silicone. Os valores A, B e D da tabela foram obtidos experimentalmente, a eficiência é calculada pelas fórmulas. O propulsor com $L=7,8$ é o mais eficiente. Vemos que o flagelo deve ser 5.5 vezes maior que o diâmetro da célula. A frequência f corresponde a velocidade de 10 diâmetros por segundo. Os valores de A, B, D foram normalizados dividindo por $6\pi\eta$, de modo que as dimensões são cm , cm^2 e cm^3 . Tabela adaptada de Purcell (1997).

L. cm	L/λ	ângulo graus	A cm	B cm^2	D cm^3	ϵ_{max} %	f s^{-1}
5,2	5	55	0,67	0,032	0,076	0,48	89
7,8	5	39	0,71	0,038	0,06	0,78	85
9,4	5	20	0,74	0,018	0,031	0,34	188
3,1	3	55	0,48	0,023	0,053	0,46	62
7,5	7	56	0,91	0,053	0,13	0,54	100

Recentemente valores bem próximos foram obtidos computacionalmente pelo grupo de Lisa Fauci (Cortez et al, 2005). Não existe na prática um fluido infinito. Um estudo hidrodinâmico mais sofisticado mostra que os coeficientes da matriz de propulsão somente variam de forma observável se as fronteiras estão muito próximas.

⁸ Aproveitamos esta deixa para enfatizar a importância do trabalho de laboratório na formação escolar. Há um grande número de experimentos interessantes (e surpreendentes) em fluidos que podem ser feitos a baixo custo. É possível realizar projetos em associação escola- universidade, nos moldes, por exemplo, de uma iniciativa recente em Cornell (Schuler, 2010).

A seguir, Purcell considera uma célula acoplada externamente à hélice. O objetivo do artigo é encontrar a melhor relação entre o tamanho da célula e do flagelo de modo a otimizar a eficiência. O propulsor e a célula rodam em sentidos opostos.

A potência dissipada no fluido é dada por

$$P = F \cdot v + N \omega \quad (2)$$

e em vista de (1) vemos que é uma forma quadrática em v e ω .

Purcell mostra, por simples análise dimensional, que

$$A = \kappa A_p, B = \kappa^2 B_p, D = \kappa^3 D_p$$

(p = refere-se a uma determinada hélice) (3)

Além disso, é sabido desde Stokes que a força de resistência à translação v e o torque de resistência à rotação ω de uma esfera de raio r num fluido de alta viscosidade são

$$F = A_o v, T = D_o \omega \quad (A_o = 6 \pi \mu r, D_o = 8 \pi \mu r^3) \quad (4)$$

onde μ é a viscosidade do fluido externo.

A dedução inicia com a fórmula [11] do artigo,

$$A_o v = -A v - B \omega, D_o \Omega = -B v - D \omega \quad (5)$$

que expressa a lei de ação e reação (Fig. 4). É intuitivo que as cinco quantidades

$$v, \omega, \Omega, F \text{ e } N$$

possam ser escritas em função da velocidade angular do motor

$$\Omega_m = \omega - \Omega. \quad (6)$$

O leitor ou leitora estão convidados a fazer as contas, preliminares para poder calcular a *eficiência* ϵ . Purcell utilizou a noção que já havia sido proposto nos anos 50 por Lighthill. Toma-se o quociente, onde o numerador é a potência dissipada ao se rebocar uma célula inerte⁹ O denominador é a potência dissipada pela autopropulsão. A eficiência é sempre < 1 .

Numerador e denominador contém Ω_m^2 , que no quociente desaparece. Assim, o resultado (fórmula [15] do artigo) depende apenas dos parâmetros da hélice. Após algumas aproximações, Purcell obtém

⁹ Como num viscosímetro de posto de gasolina, onde a esfera cai com velocidade constante pela ação da gravidade.

$$\varepsilon(\kappa) = A_o B^2 / [(A_o + A)^2 D] = (A_o B_p^2 / D_p) \kappa / (A_o + \kappa A)^2 \quad (7)$$

onde na segunda igualdade ele inseriu (3).

A pergunta é: *qual o valor de κ que maximiza a eficiência?*

Aqui é o único ponto onde precisamos de Cálculo diferencial, mas apenas a regra do quociente. A eficiência ótima é dada por

$$\varepsilon_{\max} = B_p^2 / (4A_p D_p), \text{ para } \kappa^* = A_o / A_p \quad (8)$$

Usando os valores da tabela com os valores experimentais (Fig. 4), resulta que a eficiência da propulsão flagelar é otimizada se o flagelo é cerca de seis vezes maior que o diâmetro da célula. A eficiência é baixa, da ordem de 1%, mas Purcell garante que isto não é um problema, seria como “dirigir um carro popular na Arábia”.

Revisitando o artigo de Purcell.

Vamos agora considerar a propulsão por um flagelo interno. Há dois casos. No primeiro, a estrutura helicoidal continua sendo passiva. Exatamente como antes é propelida por um motor rotatório ancorado na cápsula que transmite torque à hélice. No segundo caso, a hélice é uma estrutura ativa (veremos adiante como a natureza resolveu este problema). A casca externa retém o fluido, mas não há nenhum motor nela ancorado.

A análise teórica é ainda mais simples (Koiller; Ehlers, 2011). Vamos inicialmente imaginar um fluido viscoso dentro de uma cavidade esférica isolada (por exemplo furada numa enorme montanha). Suponhamos uma hélice dentro desta cavidade ancorada nos pólos; não pode se deslocar, apenas pode girar.

Se a hélice for submetida a um torque externo, nos dois pontos de contato receberá da montanha forças pontuais no mesmo sentido, contrário ao movimento que teria se estivesse livre no fluido. A montanha recebe forças opostas, no sentido do movimento que teria a hélice livre. Mas a montanha é tão grande que nem nota.

Mas o que ocorre se ao invés da montanha tivermos um fino recipiente esférico, capaz de transmitir torques e forças gerados internamente para um fluido exterior infinito? De fato, as membranas biológicas transmitem forças e torques entre interior e exterior: o “método da fronteira imersa” parte exatamente desta premissa (Cortez et al, 2004).

Força e torque no recipiente, gerados internamente, são resistidos pelo fluido exterior, de acordo com (4), e isto permite calcular a velocidade linear de deslocamento e a velocidade de rotação da cápsula. Basta adaptar o artigo de

Purcell a partir da eq. [11]. Assim, a esfera com o flagelo interno se desloca girando. *Eppur si muove*.

Mas, e se a eficiência fosse ridiculamente pequena? Podemos estimar a eficiência desta estratégia. O cálculo indica que a eficiência é menor do que a do flagelo externo, mas não é desprezível¹⁰.

A segunda proposta é inspirada pelas espiroquetas, organismos com a forma de hélice, e que se movimentam sem estruturas visíveis. A proposta consiste simplesmente em encapsular a espiroqueta numa superfície fechada (esférica ou cilíndrica). A casca é passiva, não há nenhum torque sendo aplicado nos pontos de contato.

A análise é semelhante e mostra que a cápsula translada no fluido, desta vez sem rodar. Supondo conhecida a eficiência da “espiroqueta robótica”, quando livre podemos calcular a eficiência quando ela carrega o recipiente em torno dela. A eficiência deste artefato é até maior do que a do caso anterior. Podemos também colocar uma estrutura cilíndrica com as tampas abertas, que navegaria enquanto bombeia fluido por dentro.

Como as espiroquetas de movem? O formato delas parece não mudar. Isto violaria os princípios fundamentais do modelo matemático utilizado até aqui. Foi novamente Howard Berg que elucidou a charada, propondo que as espiroquetas possuem flagelos internos. De fato, esses flagelos existem, girando no espaço entre o “corpo” central da espiroqueta e uma membrana externa flexível. Para uma revisão deste tema ver Wolgemuth (2006).

A análise matemática é interessantíssima. Imagine primeiro um longo tubo cilíndrico reto revestido por uma capa externa. Dois flagelos internos, ancorados nas extremidades, funcionam como “rolimãs”, produzindo um movimento relativo de rotação entre cada seção do cilindro e a capa externa. Deformemos esta longa estrutura cilíndrica dupla de modo que passe a ter formato helicoidal. A rotação de cada seção transversal tem agora um “eixo virtual” diferente, sua reta tangente.

Deixando parado (provisoriamente) o formato global da hélice, e resolvendo a equação de Stokes com as condições de fronteira de “auto-rotação”. As contas matemáticas são complexas e dependem de técnicas sofisticadas para a resolução da equação de Stokes (Wang; Jahn, 1972; Chwang et al, 1974; Lighthill, 1996).

¹⁰ Acreditamos que a maior robustez desta arquitetura compensará. Ajuda se o fluido interno for mais viscoso que o fluido externo. Há que tomar cuidado com a potência disponível. Mal comparando, se a viscosidade externa é dada e a viscosidade interna tende a infinito, é como subir uma ladeira íngreme com as engrenagens da bicicleta ajustadas para descida. Enfim, para submeter à publicação desejamos realizar uma “prova de conceito”. Seria um robô-brinquedo como o do filme de Taylor, apenas com o flagelo colocado internamente.

Verifica-se que a força total é nula, mas o torque total N não é. Como na autoproulsão o torque total também deve ser nulo, esta solução provisória precisa ser corrigida. Isto se faz adicionando outra solução da equação de Stokes, correspondente ao movimento rígido da espiroqueta (como se estivesse morta) submetida a uma força nula mas ao torque $-N$. Na literatura esta solução é chamada de *counterflow*, e esta solução corresponde à matriz de resistência. Desse modo são obtidas a velocidade de translação e a velocidade de rotação em torno do eixo central da hélice.

Nadando cantando

Termino este ensaio comentando uma especulação com meus colaboradores Kurt Ehlers e Fabio Chalub. Seria uma forma de micropropulsão ainda não observada biologicamente. Os detalhes matemáticos estão feitos num artigo técnico (Ehlers; Koiller, 2010) e suporte biológico num artigo destinado ao público em geral (Koiller; Ehlers; Chalub, 2011)¹¹

Estamos apostando num fenômeno descoberto por Faraday: correntes em fluidos podem ser induzidas acusticamente (em inglês, o nome é *acoustic streaming*). O leitor deve ter observado que um alto falante de alta potência produz vento.

Desde o início dos anos 90 os engenheiros haviam mostrado que ondas acústicas de superfície podem ser produzidas por materiais piezo-elétricos. Hoje em dia esta tecnologia é utilizada para bombear fluidos em microcanais e misturar reagentes químicos e biológicos.¹²

No nosso trabalho sugerimos ondas acústicas de superfície como um mecanismo capaz de propelir um artefato. Especulamos que a cianobactéria *Synechococcus* possa estar usando este princípio. Na literatura encontramos apenas uma única modelagem biológica usando correntes induzidas acusticamente. Sir James Lighthill sugeriu que ocorreriam no próprio ouvido interno, criadas pelas células ciliadas da *cochlea* (Lighthill, 1992) A membrana destas células ciliadas tem propriedades piezoelétricas, “apenas” ordens de magnitude maiores do que qualquer material produzido artificialmente!

Membranas biológicas que vibram em frequências próximas ao ultrassom e que tem propriedades piezo elétricas são muito comuns, como os eritrócitos e as células de levedura. As ondas acústicas de superfície criam uma camada limite caótica e bem espessa em torno desta célula, ajudando a fermentação de uma boa cerveja.¹³

¹¹ A versão inicial no Arxiv obteve um comentário simpático (Technology Review, MIT, 25/3/2009, <http://www.technologyreview.com/blog/arxiv/23214/>)

¹² É usada também em aparelhos comuns do dia a dia, como um humidificador.

¹³ Brindemos ao belo trabalho da levedura!

Comentários finais e disclaimers

Evitei discutir questões metodológicas e de didática, que exigem conhecimentos especializados. Minha experiência em sala de aula é pragmática. “Ensinamos porque pesquisamos”, dizia Carlos Chagas Filho, criador do Instituto de Biofísica da UFRJ. A palavra “epistemologia” me assusta, mas aprecio aspectos filosóficos do ensino. A impressão que tive sobre os melhores pesquisadores que conheci é que são “existencialistas” na relação com os alunos, não se preocupando se as suas instituições cobram “positivismo”. Terminei este ensaio relatando algumas experiências no contato com professores e com alunos do segundo grau.

- Nos anos 80 fiz parte de um dos primeiros movimentos em divulgação científica no Rio de Janeiro, o Espaço Ciência Viva, e na organização dos ciclos de palestras “Ciências às seis e meia”, no centro da cidade.
- Durante minha vivência de quase 30 anos na UFRJ, tive infelizmente pouco contato com alunos de licenciatura, mas ministrei uma vez a disciplina de Geometria, particularmente charmosa. Ao invés de discutir fundamentos axiomáticos (uma chatice!), procurei seguir o enfoque proposto por Coxeter, e enfatizar as conexões com a biologia (e.g. D’Arcy Thompson).
- Em torno de 2000, quando trabalhava no Laboratório Nacional de Computação Científica, coordenei o projeto Jovens Talentos (FAPERJ, 2000). Discuti o artigo junto com Fabrício Oliveira, aluno de colégio público de Petrópolis. Creio que posso afirmar que o artigo de Purcell é acessível a um aluno do segundo grau.
- Há alguns anos participei de uma atividade da Sociedad Española de Matemáticas, em parceria com o Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Cursos de atualização para professores na Universidad Internacional Menéndez Pelayo¹⁴, sobre temas atuais de pesquisa matemática. Destes cursos resultam livros destinados principalmente ao professorado do segundo grau.¹⁵

¹⁴ Funcionando apenas no verão, utiliza um lindo castelo da família real em Santander, Espanha. Ver: <http://www.ua.es/ice/bibliografia/biblio2aria.html>.

¹⁵ A ideia desses cursos não é “ensinar padre a rezar missa”, pois na Espanha o professorado tem uma boa formação. Não caberia pontificar sobre logaritmos e trigonometria para quem os ensina rotineiramente. Ver: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/listalibrosponsoreditor?codigo=3028>. Ver: <http://www.ua.es/ice/bibliografia/biblio2aria.html>.

Finalmente, gostaria de manifestar meu apoio à proposta interdisciplinar da licenciatura em Ciências da Unila. Esta proposta está sintonizada com uma tendência internacional. Apenas para dar um exemplo (entre vários), em 2001, quando eu estava visitando o Caltech, começou um programa experimental em Bioengenharia, agora consolidado.¹⁶

Dedicatória

Dedico este ensaio a memória de dois professores de física que muito me influenciaram. Pierre Lucie, de quem fui aluno no ciclo básico da PUC-RJ, passava seu entusiasmo pela Mecânica Racional com um vigor inesquecível. Maurice Bazin, de pesquisador em relatividade estabelecido em Princeton, tornou-se a partir dos anos 70 um cidadão do terceiro mundo. Trabalhador incansável pela alfabetização científica, nucleou com seu carisma o grupo fundador do ECV - Espaço Ciência Viva (Bazin, 2010).

Referências

AGIMB2001. Avanço global e integrado da matemática brasileira. Disponível em: <<http://milenio.impa.br/>>. Acesso em: 17 jan. 2011.

ARAUJO, Gerusa; KOILLER, Jair. Self-propulsion of n-hinged “animats” at low Reynolds number, *Qual. Theory Dyn. Syst.* v. 4, p. 139-67, 2004. Tese de doutorado disponível em: <<http://arquivospos.lncc.br/pdfs/Tese%20-%20Gerusa%20Araujo.pdf>>.

AVRON, J.E.; RAZ, O. A geometric theory of swimming: Purcell’s swimmer and its symmetrized cousin, *New J. Phys.* v. 10, 2008. Disponível em: <<http://iopscience.iop.org/1367-2630/10/6/063016/fulltext>>.

¹⁶ Ver: <http://www.be.caltech.edu/>. Assisti na época a um curso de Rob Phillips, muito parecido com o de Moyses. Rob, além de um excelente pesquisador e um *popstar* em *outreach*. Recomendo a página “The size of things”, em seu site: <<http://www.rpggroup.caltech.edu/courses/PBL/>>. A página web de muitos laboratórios importantes possuem ótimos materiais de divulgação. Um site que tem inclusive um ótimo “Youtube channel” é o do prof. Raymond Goldstein: <<http://www.damtp.cam.ac.uk/user/gold/>>.

BAZIN, Maurice. O cientista como alfabetizador técnico. Disponível em: <http://www.cienciaviva.org.br/arquivo/cdebate/homenagem_bazin/bazinocientista.html>. Ver também: <<http://petbrasil08.blogspot.com/2009/10/obituario-maurice-bazin.html>>, <http://www.cienciaviva.org.br/arquivo/cdebate/homenagem_bazin/index.html>. Acesso em: 17 jan. 2011.

BECKER, L.E.; KOEHLER, S.A.; STONE, H. A. On self-propulsion of micro-machines at low Reynolds number: Purcell's three-link swimmer, *Journal of Fluid Mechanics*, v. 490, p. 15-35, 2003.

BERG, H. Motile Behavior of Bacteria. *Physics Today on the web* (Jan. 2000) Disponível em: <<http://www.aip.org/pt/jan00/berg.htm>> Acesso em: 17 jan. 2011.

BERNARD COHEN. I. Faraday and Franklin's "Newborn Baby". *Proceed. Amer. Philos. Soc.*, v.131, n. 2 p.177-182, jun. 1987. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/986790>>.

CHWANG, A.T.; WINET, H.; WU, T.Y. A theoretical mechanism of spirochete locomotion, *J. Mechanochem. Cell Motil*, v.3, n.1, p. 69-76, 1974.

CORTEZ, R.; FAUCI, L.; COWEN, N.; DILLON, R. Simulation of swimming organisms: coupling internal mechanics with external fluid dynamics. *Computing in Science and Engineering*, IEEE and AIP, p. 38-45, maio-jun. 2004. Disponível em: <<http://129.81.170.14/~cortez/Prints/prints.html>>.

CORTEZ, R.; FAUCI, L.; MEDOVNIKOV, A. The Method of Regularized Stokeslets in Three Dimensions: Analysis, Validation, and Application to Helical Swimming. *Phys. Fluids*, v. 17, 031504, 2005. Disponível em: <<http://129.81.170.14/~cortez/Prints/prints.html>>

DREYFUS, R; BAUDRY, J.; ROPER, M.L., FERMIGIER, M; STONE, H. A.; BIBETTE, J. Microscopic artificial swimmers, *Nature*, v.437, p. 862-865, 2005. doi:10.1038/nature04090

EHLERS, Kurt; KOILLER, Jair. Could cell membranes produce acoustic streaming? Making the case for Synechococcus self-propulsion, *Mathematical and Computer Modelling*, in press. Disponível em: <www.linkinhib.com/retrieve/pii/S089571771000172X>

ETH Zurich (2009, April 19). Medical Micro-robots Made As Small As Bacteria. *ScienceDaily*. Disponível em: <<http://www.sciencedaily.com/releases/2009/04/090418085333.htm>>. Acesso em: 17 jan. 2011.

FAPERJ (2001) Projeto Jovens Talentos para a Ciência. Disponível em: <http://www.faperj.br/interna.phtml?obj_id=1155>; <<http://sites.google.com/site/jovenstalentosciencia/>>. Acesso em: 17 jan. 2011.

FLEISCHER, R. Disponível em: <[http://pt.wikipedia.org/wiki/Fantastic_Voyage_\(filme\)](http://pt.wikipedia.org/wiki/Fantastic_Voyage_(filme))>. Acesso em: 17 jan. 2001.

FREITAS Jr., Robert A. Nanomedicine Book Site. Disponível em: <<http://www.rfreitas.com/>>; <<http://www.nanomedicine.com/index.htm>>; <<http://www.foresight.org/Nanomedicine/>>. Acesso em: 17 jan 2011.

KOILLER, Jair; EHLERS, Kurt; MONTGOMERY, Richard. Problems and progress in microswimming. *Journal of Nonlinear Science*, v.6, n.6, p.507-541, 1996. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/content/nburu1rnyvdjaajh/>>.

KOILLER, J. (IMPA, 2001). **Hipertexto**: movimento biológico. Disponível em: <www.impa.br/~jair>. Acesso em: 17 jan. 2011.

KOILLER, J. Movimiento en Biología. In: PEREZ, José Luis Fernández (Ed.). **El lenguaje de las Matemáticas en sus aplicaciones**. Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, cap. 8, p. 185- 199, 2002. (Colección Aulas de Verano, Série Ciências).

KOILLER, Jair; EHLERS, Kurt M.; Chalub, Fabio. Acoustic streaming, the “small invention” of cyanobacteria? Madrid: **Arbor, Ciencia, Pensamiento y Cultura**, p. 1089-1118, nov. dez 2010.

KOILLER, Jair; EHLERS, Kurt M., **On helical microswimmers**. Em preparação, 2011.

LIGHTHILL, J. Acoustic streaming in the ear itself. **J.Fluid Mech.s** , v. 239, p. 551-606, 1992.

LIGHTHILL, J. Helical distributions of Stokeslets, **J. Eng. Math.**, v. 30, p. 35-78, 1996.

LIGHTHILL, J. **Mathematical biofluidynamics**, (CBMS-NSF Regional Conference Series in Applied Mathematics), Society for Industrial and Applied Mathematics, 1987.

MONASH University Melbourne (21 january 2009). **Microbot motors fit to swim human arteries**. Disponível em: <<http://www.monash.edu.au/news/newslines/story/1404>> Acesso em: 17 jan. 2011.

NELSON, Bradley J.; KALIATSOS, Ioannis K.; ABBOTT, Jake J. Microrobots for Minimally Invasive Medicine. **Annu. Rev. Biomed. Eng.** v. 12, p. 55–85, 2010. Disponível em: <<http://www.annualreviews.org/journal/bioeng>>.

NELSON, Philip. **Física biológica - energia, informação, vida**. Rio de Janeiro: Guanabara-Koogan, 2006.

PURCELL, Edward M. Life at low Reynolds number. **Amer. J. of Physics**, v. 45, p. 3-11, 1977. Disponível em: <<http://brodylab.eng.uci.edu/~jpbrody/reynolds/lowpurcell.html>>, <http://jila.colorado.edu/perkinsgroup/Purcell_life_at_low_reynolds_number.pdf>.

PURCELL, Edward M. The efficiency of propulsion by a rotating flagellum. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA**, v. 94, p. 11307–11311, 1997. Disponível em: <<http://www.pnas.org/content/94/21/11307.full.pdf>>

SHAPERER, Alfred; WILCZEK, Frank. Geometry of self-propulsion at low Reynolds number, **J. Fluid Mech.** v. 198, p. 557-685, 1989.

SHULER, Michael. **Cornell's Learning Initiative in Medicine and Bioengineering**. Disponível em: <<http://climb.bme.cornell.edu/>>. Acesso em: 17 jan. 2011.

TAM, Daniel; HOSOI, Annette E. Optimal Stroke Patterns for Purcell's Three-Link Swimmer, **Phys. Rev. Letters**, v. 98, 2007.

TAYLOR. G.I. **Low Reynolds number Flows**, National Committee for Fluid Mechanics Films Gallery, hosted by MIT. Disponível em: <<http://web.mit.edu/hml/ncfmf.html>>. Acesso em: 17 jan. 2011.

TAYLOR. G.I. Analysis of the Swimming of Microscopic Organisms, **Proc. R. Soc. Lond. A** v. 209 n. 1099, p.447-461, 1951. Disponível em: <<http://www.jstor.org/pss/98828>>.

WANG, C-Y.; JAHN, T.L. A theory for the locomotion of spirochetes, **J. Theoretical Biology**, v. 36, n.1, p. 53-60, 1972.

WOLGEMUTH, C.R.; CHARON, N.W.; GOLDSTEIN, S.F. The Flagellar Cytoskeleton of the Spirochetes, **J. Mol. Microbiol. Biotechnol.** v. 11, p. 221–227, 2006.

Sobre os autores

Alberto Villani possui graduação em Filosofia - Licença - Aloisianum Facultas Philosophica (1966), graduação em Física - Laurea - Università degli Studi di Padova (1969) e doutorado em Física pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (1972), Livre Docência pela Universidade de São Paulo (1987) e pós-doutorado pela Università di Bologna (1989). Atualmente é professor Associado da Universidade de São Paulo. Tem experiência na área de Educação, com ênfase em Ensino de Ciências, atuando principalmente nos seguintes temas: psicanálise e educação, mudança conceitual, formação de professores, grupos de aprendizagem.

Amadeu Moura Bego possui Licenciatura em Química pela Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho - UNESP (2004), e é doutorando do Programa de Pós-Graduação em Educação para Ciência da UNESP. Atualmente é professor do Instituto Federal de São Paulo - IFSP. Tem experiência em Química Inorgânica com especialidade em compostos de coordenação e organo-metálicos. Tem ainda experiência no campo da formação de professores de química, ensino de química. Especificamente trabalha com a análise dos Sistemas Apostilados de Ensino na educação básica.

Ana Lucia Figueiredo de Souza Nogueira é mestre em Ensino de Ciências/ Física, Universidade Estadual de Montes Claros - UNIMONTES / CCET - DCExatas.

[†] Dados biográficos fornecidos pelos autores.

André Maurício Brinatti é licenciado em Física pela UNESP-Rio Claro, mestre em Ciências pela USP-IFQSC e doutor pela USP-IFSC. Atualmente é professor no departamento de Física da UEPG. Tem experiência na área de Física e em Ensino de Ciências. Desenvolve atividades de extensão que envolvem a Criação de Clubes de Ciências.

Ângela Maria Hartmann é professora da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA). Doutoranda em Educação na UnB (2008-2011). Mestre em Educação pela UnB (2007). Especialista em Educação a Distância pelo CEAD/UnB (2009) e em Metodologia do Ensino e Supervisão Escolar pela FEEVALE (1986). Graduada em Matemática pela UNISINOS (1978). Foi professora de Física e Matemática da rede pública do Rio Grande do Sul e, posteriormente, do Distrito Federal. Aprofundou o estudo sobre os pressupostos epistemológicos e metodológicos da interdisciplinaridade durante o mestrado. Em suas pesquisas e práticas, busca encontrar formas de viabilizar a interdisciplinaridade na Educação Básica e no Ensino Superior, dedicando-se atualmente, ao desenvolvimento de atividades de formação com graduandos de licenciatura e professores da Educação Básica.

Berenice Lurdes Borssoi é graduada em Pedagogia pela Faculdade de Ciências Aplicadas de Cascavel. Especialista em Supervisão, Orientação e Gestão Escolar pela Faculdade Estadual de Educação, Ciências e Letras de Paranaíba. Mestranda na UFRGS, bolsista do CNPq. Interesses de pesquisa: Políticas Educacionais, Universidade, Formação Docente e Estágio Curricular.

Carlos Alberto dos Santos é bacharel em física pela PUC/RJ (1973); mestre em ensino de física (1978) e doutor em física experimental (1984), ambos os títulos obtidos na UFRGS. Professor aposentado do Instituto de Física da mesma universidade; Coordenador do Núcleo de Educação a Distância da UFRGS, de janeiro de 2006 a fevereiro de 2008. Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação da Unila, de maio de 2010 a abril de 2011. Professor Visitante Sênior Capes/Unila, a partir de abril de 2011. Pesquisador Bolsista do CNPq de 1985 a 2007; Avaliador Institucional do MEC; árbitro de diversas revistas científicas nacionais e internacionais. Autor, em co-autoria com Marco Antônio Moreira, do livro *Escalonamento Multidimensional e Análise de Agrupamentos Hierárquicos*, Editora da UFRGS, 1991. Prêmios com o livro *O plágio de Einstein*, WS Editor, 2003: Prêmio O Sul/Correios e os Livros (autor revelação de 2003, categoria ficção); Primeiro Lugar no

Prêmio Internacional Marengo d'Oro 2004 (Gênova, Itália), categoria autor estrangeiro. Prêmios com o hipertexto Eletricidade e Magnetismo (www.if.ufrgs.br/tex/fis142/eletromag.html): PAPED 2003 (CAPES/MEC); 3º. lugar no Prêmio ABED/Universia de Objetos de Aprendizagem 2004.

Érika Zimmermann doutorou-se em Ensino de Ciências – University of Reading – UK. Professeur Invité – Université de Montréal – Quebec – CA e do Centre des Sciences de Montréal. Professora da Universidade de Brasília – Faculdade de Educação e Membro da Comissão de Implantação do Museu de Ciência e Tecnologia de Brasília.

Francisco Nairon Monteiro Júnior possui Licenciatura em Física pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (1994). Mestrado em Ensino das Ciências pela UFRPE (1998) e é doutorando do Programa de Pós-Graduação em Educação para Ciência da UNESP. Atualmente é professor de ensino superior do Departamento de Educação da UFRPE. Tem experiência na área de ensino de física, com ênfase em física básica, instrumentação, e prática de ensino, atuando principalmente nos seguintes temas: física geral e experimental, instrumentação para o ensino da física, didática, metodologia do ensino da física e prática de ensino da física. Tem ainda experiência no uso de experimentos numa postura problematizadora, bem como no desenvolvimento de materiais alternativos no ensino da física. Em particular, desenvolve pesquisa no ensino interdisciplinar da acústica utilizando-se dos estudos de paisagem sonora e da cultura do som e da música.

Glória Regina Pessoa Campello Queiroz é licenciada em Física pela UERJ; Mestre em Ciência dos Materiais pelo Instituto Militar de Engenharia e doutora em Educação pela PUC – RJ. Professora da UFF durante 21 anos e pesquisadora do Museu de Astronomia e Ciências Afins, durante sete anos. Atuou durante dez anos no ensino fundamental e médio e atualmente é Professora Adjunta do Instituto de Física da UERJ, sendo do quadro permanente do programa de Pós-Graduação em Educação da UFF e colaboradora do Programa de Educação em Ciências e Matemática do CEFET. Entre as linhas de pesquisa em que se concentra sua produção acadêmica estão: formação de professores, ensino e aprendizagem de Física, relações entre Ciência e Arte e Pedagogia de Projetos. Possui 45 artigos publicados nos últimos cinco anos, sendo 12 em periódicos nacionais e estrangeiros e 33 em anais de eventos educacionais, além de

dez capítulos em livros nos últimos 15 anos. O Projeto “Luz, Ciência e Arte” – exposição itinerante – se destaca entre os desenvolvidos desde de 1981.

Jair Koiller é Ph.D. em Matemática pela Universidade da Califórnia, Berkeley, 1975. Estudos pós-graduados em Berkeley (1982) e Yale (1985). Contemplado em 1992 com prêmio do V-Centenário do Ministerio de Educacion Ciencia (Espanha), em 1993 a bolsa Guggenheim, em 2005 a bolsa Fulbright, e em 2009 a bolsa Santaló (Barcelona). Trabalha atualmente na Fundação Getúlio Vargas, e é um dos coordenadores da área de Biomatemática do Instituto do Milênio Avanço Global e Integrado da Matemática Brasileira, e da rede internacional Geometry, Mechanics and Control. Aplicando técnicas de geometria diferencial e sistemas dinâmicos, tem experiência de pesquisa interdisciplinar em astronomia, biologia, física e engenharia. Participou em diversas campanhas para a libertação de cientistas presos por delitos de opinião, na criação de centros de divulgação científica e recentemente, em escolas de matemática devotadas à Paz e ao Desenvolvimento.

Jeremias Borges da Silva é bacharel e mestre em Física pela UFPE, com doutorado em Física pela USP – IFQSC. É professor no departamento de Física da UEPG. Tem experiência na área de Física Estatística, de Solos e Ensino de Ciências. Desenvolve atividades de extensão que envolvem a Criação de Clubes de Ciências.

Liz Mayoly Muñoz Albarracín possui Licenciatura em Química pela Universidade Distrital “Francisco José de Caldas” (1999), Bogotá-Colômbia. Mestrado em Docência da Química da Universidade Pedagógica Nacional (2004), Bogotá-Colômbia, e é doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Educação para Ciência da UNESP. Atualmente é professora de ensino superior da Faculdade de Ciências e Educação do programa de Licenciatura em Química da Universidade Distrital. Com experiência no campo da formação de professores de química, ensino de ciências e na orientação da prática profissional docente, também trabalha na pesquisa nestas áreas, focando o desenvolvimento da docência na filosofia da ciência como fundamento do ensino das ciências.

Marcelo Lambach é mestre em Educação Científica e Tecnológica pela Universidade Federal de Santa Catarina (2007); especialista em TIC na Educação (PUC-RJ); especialista em Educação de Jovens e Adultos (UFPR); Graduado em Química Licenciatura (UFPR); graduado em Química Industrial pela (PUC-PR). Atualmente é docente pela Secretaria de Estado da Educação do Paraná e doutorando pelo PPGECT da UFSC. Tem experiência na área de Química no Ensino Médio e Ciências do Ensino Fundamental, atuando principalmente nos seguintes temas: educação científica, formação docente, ensino na perspectiva de Paulo Freire, avaliação, educação de jovens e adultos, epistemologia e tecnologias da informação e comunicação, educação a distância, ensino de ciências e química com ênfase CTS.

Marco Sacilotti possui mestrado em Física (1976) e doutorado em Engenharia Elétrica (1991) pela UNICAMP. Prof. des Universités (Titular) na Université de Bourgogne-França (1993-2008). Prof. Emérite na Univ. de Bourgogne-França (2008). Professeur/pesquisador convidado na Univ. Claude Bernard-Lyon-Fr (1992-93). Pesquisador em Telecomunicações no CPqD-Telebras-Campinas-Br (1983-1991). Pesquisador convidado no National Research Council of Canada - Ottawa (1984-86). Chargé d'études no Centre National d'Etudes de Télécommunications-Bagneux Fr (1981-1982). Ingénieur/chercheur na Thomson-EFECIS-CEA-LETI - Fr (1978-1980). As colaborações conjuntas com mais de três dezenas de laboratórios interacionais permitiram ao pesquisador/professor produzir: 4 patentes na Fr, 200 publicações e conferências internacionais e nacionais e 40 seminários convidados (Fr, USA, Br, Canada, Colombia). Realiza pesquisa em nanomateriais e modelo do mecanismo de separação de cargas elétricas em processos fotovoltaicos.

Maria de Lourdes Lazzari de Freitas é Licenciada em Biologia pela Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUI), mestrado (2000) e doutorado (2004) em Genética pela Universidade de Brasília (UnB). É professora Adjunta da Faculdade UnB Planaltina, no Curso de Licenciatura em Ciências Naturais, Área de Educação, na qual as principais linhas de pesquisa são: Formação Inicial e Continuada de Professores; Ensino de Ciências; Estratégias Metodológicas e Recursos Didáticos; Educação de Jovens e Adultos e Ensino à Distância. Desde 2009 é Coordenadora do Curso de Licenciatura em Ciências Naturais – Diurno. De 1985 a 2007 foi professora no Ensino Básico, Rede Pública e Privada, na disciplina de Ciências e Biologia. No Ministério da Educação, atuou como Técnica Pedagógica, na Secretaria de Educação

Básica - Ensino Médio e participou da elaboração do documento propositivo “Orientações Curriculares do Ensino Médio” e do Projeto Saúde e Prevenção na Escola - SPE, organizando, escrevendo, ministrando palestras e cursos para professores da Rede Pública de Ensino em todo o Brasil. Tem artigos publicados em revistas nacionais e internacionais.

Maria Elena Infante-Malachias é chilena, professora de Biologia e Ciências Naturais pela Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación (1989) de Santiago do Chile; obteve o mestrado (1994) e o doutorado (1999) em Ciências com pesquisas na área de Genética e Biologia Molecular de dípteros, pela UNICAMP. Realizou estágios de Pós-Doutorado nas áreas de Genética Molecular e Ensino de Genética e Biologia Molecular pelo IB-USP. Atualmente é professora MS-3 em RDIDP na Escola de Artes, Ciências e Humanidades, EACH, da Universidade de São Paulo junto ao curso de Licenciatura em Ciências da Natureza. Orientadora plena vinculada ao Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências da USP desde 2007 e desde 2010, vinculada ao novo Programa de Pós-Graduação em Estudos Culturais da EACH. Membro do conselho editorial da revista *Journal of Science Education* e avaliadora de vários periódicos de Ensino de Ciências. Coordena o Grupo de Pesquisa em Epistemologia e Ensino de Ciências (Grupepec) que conta com a participação de alunos de iniciação científica e de pós-graduação.

Maria Elly Herz Genro é licenciada em Filosofia pela Universidade Federal de Santa Maria, Mestre em Educação pela PUC-RS e Doutora em Educação pela UFRGS. Docente e Pesquisadora da UFRGS. Grupo de Pesquisa Inovação e Avaliação. Membro da Comissão de Pesquisa da FACED/UFRGS. Temas de interesses: Universidade, Avaliação Institucional, Inovação e Cidadania.

Maria Helena Steffani é doutora em Ciências (Física Nuclear) pela UFRGS, com pós-doutorado na Universidade Erlangen-Nürnberg, Alemanha; professora do Instituto de Física da UFRGS desde 1979 e diretora do Planetário Prof. José Baptista Pereira, em Porto Alegre, desde 2002. É diretora presidente da Associação Brasileira de Planetários desde 2009.

Olga Pombo é mestre em Filosofia pela Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa e doutora em História e Filosofia da Educação pela Faculdade de Ciências da Universidade de

Lisboa. Coordenadora da Secção Autónoma de História e Filosofia da Ciência da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

Renata Greco de Oliveira é graduada em Pedagogia pela Universidade Vale do Rio Doce. Especialista em Docência do Ensino Superior pelas Faculdades Integradas Simonsen. Mestranda na UFRGS, bolsista do CNPq. Interesses de pesquisa: Formação Docente, Universidade, Pesquisa e Currículo.

Ricardo Gauche é Professor Adjunto do Instituto de Química da UnB, bacharel e licenciado em Química pela UnB, possui Mestrado em Educação (Metodologia de Ensino de Química) pela Unicamp e Doutorado em Psicologia (Cultura e Desenvolvimento) pela UnB, tendo, tanto na dissertação quanto na tese, o professor como sujeito da pesquisa. Tem experiência na área de Ensino de Química, com ênfase na formação de professores, atuando principalmente nos seguintes temas: formação inicial, formação continuada e autonomia do professor; autoestima; pesquisa colaborativa; materiais de ensino; currículos e programas; avaliação; processos seletivos e processo ensino-aprendizagem.

Rodolpho Caniato tem Bacharelado e Licenciatura em Matemática (PUC Rio, USP e PUCCAMP, 1956). Cursos no exterior: Advanced Topics, Universidad Nacional de Chile, 1964, Vibrations and Waves, Reed College, Ore, USA, 1965. Cursos no Brasil: Curso Phywe para professores de Física na AEC-PUC (Rio, 1958), PSSC Physics com os autores (1962). Doutorado (Física UNESP, 1974), com a tese "Um Projeto Brasileiro para o Ensino de Física", orientador Prof. José Goldemberg. Ex-professor da PUCCAMP (1957-69), UNESP (1974/79), USP (visitante, 1976/78), UNICAMP (1972/76), UFRRJ (1976, aposentado 1993). Autor dos livros: *O céu e As linguagens da Física*, *Com(ns)Ciência da Educação*, *A Terra em que vivemos*, *O que é Astronomia e (Re)Descobrimo a Astronomia*. Docência de cursos sobre os próprios livros em muitos países da América Latina (1974-1988). Cursos, conferências e entrevistas no Brasil e América Latina.

Sílvio Luiz Rutz da Silva é graduado em Ciências-Química pela UEPG com mestrado em Engenharia de Materiais pela UFSCar e doutorado em Ciências dos Materiais pela UFRGS. Atualmente é professor no departamento de Física da UEPG. Atua na Área de Materiais, e de Ensino de Ciências. Desenvolve atividades de extensão que envolvem a Criação de Clubes de Ciências.

Washington Luiz Pacheco de Carvalho possui Licenciatura em Física pela Universidade Estadual de Londrina (1979), mestre em Ensino de Ciências (Modalidade Física) pela Universidade de São Paulo (1985), Doutor em Educação pela Universidade Estadual de Campinas (1991). Professor da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS-UNESP) desde 1982. Atualmente é Professor Adjunto no Departamento de Física e Química da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira/UNESP e Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência da Faculdade de Ciências da UNESP. Realizou Especialização em Educação Científico-Tecnológica em Israel, em 1991 e Pós-Doutoramento na Michigan State University (USA), em 1996 e 1997. Tem experiência na área de Educação em Ciências, com ênfase em Ensino de Física, atuando principalmente nos seguintes temas: relações ciência-tecnologia-sociedade-ambiente, ensino de ciências, instrumentação para o ensino de física, educação continuada de professores, e teoria e prática da explicação e da argumentação. Teve diversos projetos aprovados na área de educação em ciências, financiados pela FUNDUNESP, FAPESP, CNPq e FINEP. É um dos criadores do Núcleo de Apoio ao Ensino de Ciências e Matemática de Ilha Solteira, cuja sede foi financiada pela FNDE/MEC.

Utopia em busca de Possibilidade

Abordagens interdisciplinares no ensino
das ciências da natureza

Alberto Villani / Amadeu Moura Bego / Ana Lucia F.S. Nogueira /
Anderson S. L. Gomes / André Maurício Brinatti / Ângela Maria
Hartmann / Berenice Lurdes Borssoi / Carlos Alberto dos Santos /
Cláudia C. Brainer de O. Mota / Érika Zimmermann (*In memoriam*)
/ Euclides Almeida / Francisco Nairon Monteiro Júnior / Frederico
Dias Nunes / Glória Regina Pessoa Campelo Queiroz / Jair Koiller /
Jeremias Borges da Silva / Juarez Melgaço / Liz Mayoly Muñoz
Albarracín / Marcelo Francisco Pompelli / Marcelo Lambach /
Marco Sacilotti / Maria de Lourdes Lazzari de Freitas / Maria Elena
Infante-Malachias / Maria Elly Herz Genro / Maria Helena Steffani
/ Olga Pombo / Renata Greco de Oliveira / Ricardo Gauche /
Rodolpho Caniato / Sílvio Luiz Rutz da Silva / Thiago Vasconcelos /
Washington Luiz Pacheco de Carvalho



UNILA
Universidade Federal
da Integração
Latino-Americana



FPTI
Fundação Parque
Tecnológico Itaipu

