

## ENSINO DE CIÊNCIAS E COMPLEXIDADE

José André Peres Angotti\*

Dep. Metodologia de Ensino e Programa de Pós-Graduação  
Centro de Ciências da Educação/UFSC  
[ced1.opm@ced.ufsc.br](mailto:ced1.opm@ced.ufsc.br)

## Resumo

Nas últimas três décadas o conhecimento científico experimentou grandes avanços nas dimensões teóricas com aplicações praticamente simultâneas, ainda que não se tenha alcançado alguma teoria revolucionária de amplo alcance a exemplo da física quântica do início do século. Paralelamente, o ensino de ciências passou a ser considerado campo de investigação, tendo conquistado avanços para o tratamento didático de novos conteúdos e métodos. As repercussões são ainda bastante tímidas na efetiva prática de ensino; o conhecimento contemporâneo permanece distante dos currículos escolares do primeiro grau à graduação. Dentre as novas possibilidades destacamos algumas que ora se contrapõem, ora se justapõem ao conhecimento científico clássico da educação formal, a exemplo da *lógica difusa*, já amplamente utilizada em tecnologia e informática, com desdobramentos também nos diversos campos de pesquisa da chamada ciência cognitiva. Os objetos de investigação outrora neutros, simples e fechados, passam a ser contemplados dinamicamente na *complexidade*, enquanto sistemas abertos e interativos, segundo a dualidade *ordem/desordem*. A *experimentação*, que pressupunha o controle de variáveis e a obtenção de regularidades a partir de artefatos/aparelhos/protótipos idealizados e construídos, agora pode ser simulada com imagens e formalismos de plasticidade inusitada por computadores potentes; espaço e tempo já reconcebidos pela relatividade são agora socialmente reformatados e compactados pelo uso das redes; realidade *virtual* parece tão real.... A geometria dos *fractais* constitui poderosa ferramenta para a obtenção de modelos que se aproximam mais da fenomenologia da natureza. O ensino de ciências vem sendo atropelado pelas inovações. Sem negar as grandes contribuições do passado, conteúdos e métodos contemporâneos que traduzam esse conhecimento contemporâneo precisam ser também contruídos e disponibilizados para os diversos níveis de escolaridade. Abordagens com boa aceitação na pesquisa da área, como as que incorporam o ensino associado à *história e filosofia da ciência*, que valorizam a tríade *ciência, tecnologia e sociedade*, que defendem a opção *temática* e as *estruturas do conhecimento* estão todas desafiadas a contribuir. Os focos de investigação mais voltados para a *aprendizagem/teorias cognitivas* a exemplo dos *modelos mentais*, do pensamento *analógico e metafórico*, seguramente transcendem o escopo das ciências clássicas e podem acelerar e enriquecer o processo da incorporação do conhecimento atual em ciências, na escola.

## Introdução

Sem negar as imensas contribuições de autores e escolas do passado mais remoto, é possível se afirmar que a ciência moderna e seu estreito compromisso com a empiria e a lógica instala-se com a Física no século XVII, sobretudo a partir dos trabalhos de Copérnico (séc. XVI), Kepler, Galileu e Newton.

---

\* Parcialmente financiado pelo CNPq

Este último não raro é tido como principal responsável pela introdução dos novos tempos de investigação e descobertas, com reflexos sem precedentes na história e desdobramentos vinculados às revoluções industriais e à fundação de novas disciplinas científicas. As técnicas milenares passam a constituir um novo empreendimento humano, a tecnologia, com vinculação cada vez maior ao universo da ciência básica e aplicada.

Do ponto de vista metodológico e epistemológico, seguem-se o triunfo da indução (Bacon), da experimentação, do lançamento de hipóteses, formulação de leis e teorias com uso sofisticado de base lógica formal e matemática. De seu lado, a dedução (Descartes), mesmo em escala menor, contribuiu para formulações teóricas da ciência moderna.

A revolução científica e seu sucesso serviu de referência principal para o surgimento de novos campos do conhecimento e principais pioneiros: Química no século XVIII (Lavoisier), Geologia (1832, com Lyell) e Biologia também no último século (enquanto área abrangente e mais madura do que as anteriores botânica e zoologia, a partir de Darwin).

O mecanicismo e o funcionalismo atribuídos às leis naturais da física e da química foram estendidos aos demais campos novos do saber sistematizado, ainda que na Biologia o debate não tenha sido consensual; até o final do último século, muitos biólogos não aderiam às causas mecanicistas para o fenômeno da vida.

As ciências do homem, todas com status científico a partir do último século, também se pautaram inicialmente pelo modelo físico, procurando estabelecer o mesmo método de sucesso para seus objetos complexos de pesquisa. Essa transferência de modelo não foi completamente absorvida sobretudo pelos estudiosos do chamado materialismo dialético, que consideravam o homem em constante interação com a natureza e não se baseava no império da razão instrumental. Esquemáticamente, privilegiando um modelo de propagação com traços lineares e sob risco do reducionismo, que não exclui outras tendências, temos:

Física... > Química > Geologia... > Biologia >... Psicologia >  
Antropologia > Sociologia

mundo natural, coisas, aglomerados > vida > cultura > cérebro/mente > sociedades

Os campos de conhecimento posteriores, emergentes de duas ciências mescladas como a físico-química e biofísica não romperam o *modelo disciplinar*; ao contrário, o reforçaram e mantêm-se ativos e fiéis aos *seus recortes mistos*. O discurso interdisciplinar parece historicamente muito mais tangível do que a efetivação de campos interdisciplinares...

Aplicar modelos de perturbação linear hoje seria mais que uma inadvertência, mais que ingenuidade, seria mesmo um crime epistemológico. Nunca as mútuas influências dos diversos campos científicos foram tão fortes, nem a busca pela *interdisciplinaridade* esteve tão presente tanto na pesquisa como no ensino de ciências e matemática, nunca os sistemas (abertos ou fechados, dinâmicos ou estacionários) foram considerados tão complexos como agora. É sobre essa transição que presenciamos, enquanto atores e espectadores, que propomos refletir com os colegas do ENPEC.

## Triunfo e crise da ciência clássica

Sabemos que os avanços da ciência até este século, sempre correlacionados com a expansão do capital desde a época dos novos “descobrimientos” fundaram-se em certo princípio de “economia” formal, com a busca de teorias amplas, suficientes para dar conta do maior número possível de fatos, situações e fenômenos. Economia que direcionava os estudos para o isolamento de variáveis consideradas relevantes aos processos e à aplicação de relações quantitativas ou semi-quantitativas, nas correlações funcionais da matemática e da lógica. Uma idéia de sistema sempre esteve presente nestas reflexões e ações, acompanhada da validação interna daquele isolamento das variáveis.

Em suma, o fazer ciência consistia em correlacionar grandezas e *simplificar*, através do método analítico, a complexidade aparente do universo próximo e distante, presente e remoto. Mais ainda, do ponto de vista epistemológico, o homem se obrigou a também se isolar do universo observado, acreditando que tal separação não deveria interferir no “sistema”. Ao que tudo indica, o pesquisador foi obrigado a impor tal distanciamento/separação, admitindo o modelo empiricista para sua investigação, ou seja: objeto separado do sujeito e conhecimento puro obtido a partir dos objetos não vivos e vivos para a boa interpretação do sujeito cognoscente.

Como afirmado por Alexandre Koyré desde os anos 30, Newton (e toda a ciência moderna) são “culpados” por essa separação (Prigogine e Stengers, 1984). O triunfo da ciência que unificou os fenômenos que ocorrem na Terra com os que ocorrem nos céus, forçou o homem a se distanciar de si mesmo: “para revelar o enigma do universo, ignorou e ampliou o enigma de si mesmo”.

A partir do início deste século, com as chamadas revoluções científicas da física moderna, as certezas anteriores passaram a ser colocadas em cheque. De um lado, observador e observado não poderiam mais ser contemplados isoladamente, e mais ainda, os objetos na escala microscópica (de partículas subatômicas na visão clássica) revelaram comportamento dual, seja como matéria concentrada no espaço e no tempo, seja como onda - energia distribuída - neste mesmo espaço e tempo. Sua localização passou a ser apontada difusamente por equações de movimento baseadas em probabilidades, indeterminação e exclusão. Assim, um elétron de um átomo de hidrogênio por exemplo, com seu comportamento dual, tem determinada possibilidade de estar em determinado local, com determinada velocidade. Caíram também no universo das probabilidades os conceitos outrora precisos de órbita, de trajetória, de determinismo. Espaço, tempo e massa também deixaram de ser concebidos como grandezas absolutas, antes tão caras às ciências naturais clássicas.

As conseqüências da Relatividade e da Física Quântica atingiram todos os campos de conhecimento modernos, deste século, em particular a filosofia. O próprio conceito de ciência, sua natureza interna, sua dinâmica, sua relação com outros campos do saber, passou a sofrer novas contribuições de vulto; a epistemologia e a filosofia da ciência se instalaram também como *disciplinas abertas*, bastante polêmicas até porque não científicas, perscrutando novas possibilidades de reflexão.

Na esfera tecnológica, citaremos apenas duas contribuições da Física Quântica contemporânea que incorpora a relatividade: computadores e todo o arsenal de acessórios de um lado só se configuraram e se disseminaram pelas facilidades dos circuitos impressos, à base de semicondutores e transistores, concretizados a partir daquela teoria. Todo e qualquer

laser, desde as inofensivas e baratas canetas, passando pelos equipamentos médicos até os laser industriais de potência também foram invenções possibilitadas por esta teoria.

### Educação formal e ensino de ciências

Um segmento essencial das organizações humanas onde estas descobertas quase seculares ainda não está presente é a educação escolar. A Ciência, ou as ciências que hoje ensinamos/aprendemos quase sempre não atinge o final do século passado. A química contemporânea também permanece ausente, uma vez que o ensino de *regrinhas quânticas* para se "explicar" o átomo concebido atualmente não pode ser considerado ensino de ciência contemporâneo. Talvez alguns tópicos/conceitos da Biologia atual consigam chegar às salas de aula, isoladamente, mas ainda longe da força e do desenvolvimento exponencial desta ciência.

Em conseqüência, as discussões sobre ciência e tecnologia enquanto empreendimentos humanos, não neutros, falíveis, socialmente determinados..., que queremos implementar, quando ocorrem, são vazias. Os conteúdos privilegiados são de *ontem*; como o discurso epistemológico de *hoje* é fruto do conhecimento recente, só fará sentido quando acompanhado de conteúdos de *hoje*.

Sabemos bem que os valores subsumidos ao empreendimento científico-tecnológico desde o século XVII persistem até hoje para a maioria das pessoas e sociedades: objetividade, racionalidade, precisão e mesmo exatidão, neutralidade. Tais valores, ainda que profundamente questionados nas últimas décadas, persistem com bastante vigor no ensino de ciências em seus diversos níveis: da licenciatura à alfabetização. Dentre as razões para justificarmos esta assimetria, destacamos a defasagem dos *conteúdos*, uma vez que raramente trabalhamos em sala de aula, com conhecimentos alcançados neste século. Aqui, uma primeira advertência, nada original: é preciso substituir bastante os conteúdos, participar dos grupos que definem *o que* ensinar/aprender.

A educação brasileira fundamental atingiu efetivamente a maioria da população em tempos recentes. Contudo, temos perdido oportunidade preciosa de levar para a maioria das salas de aula um ensino mais ajustado e mais compatível com a ciência atual, sem descaracterizar ou negar suas conquistas no passado.

Claro que não se trata de identificar culpados, principalmente do lado dos professores. Parece ocorrer um efeito cascata e cíclico: licenciatura desatualizada não só em conteúdos como em métodos, propostas curriculares, livros didáticos e materiais de ensino em geral também obsoletos e equivocados, ensino de segundo e primeiro graus caricaturado...

Inovações diversas porém devem ser destacadas, como os esforços conjuntos para enfrentar desafios:

- encontros, discussões, projetos, simpósios, sustentados pela pesquisa dos programas de pós-graduação em ensino de ciências e matemática, níveis de especialização, mestrado e doutorado,
- publicações mais acessíveis aos professores das redes públicas, com destaque para os livros paradidáticos,

- avaliação dos livros didáticos por equipes acadêmicas, inicialmente na educação elementar, agora já no nível de 5a. a 8a. séries, propostas curriculares mais consistentes e reflexivas, geradas com algum tipo de participação dos docentes,
- concepção construtivista aceita não obstante suas inúmeras variantes e incompreensões; valorização dos diferentes saberes, das concepções alternativas dos estudantes,
- preocupação com a divulgação de ciência e tecnologia em maior escala, na mídia e nos centros/museus/estações de ciência,
- formação de professores em serviço com vistas à educação permanente, reestruturação das licenciaturas,
- Apoio institucional de pouca monta, porém sempre dotando mais a nossa área via programas e projetos, a exemplo do SPEC/PADCT/CAPES, Pró-ciências - CAPES e Fundações Estaduais.

Persistem as dificuldades graves das condições salariais e de trabalho para a imensa maioria dos professores. Neste aspecto, quase tudo ainda está por ser feito. Contudo, em países onde a classe docente não padece deste mal, a aprendizagem em ciências e matemática é também bastante problemática. Tal insucesso vem inquietando lideranças de países avançados; não por acaso passaram a financiar projetos amplos de reformulação para o ensino da área, a exemplo dos EUA, da Inglaterra, da Austrália.

É perturbador para nós docentes, que gostaríamos de compartilhar o conhecimento vivo com todos os cidadãos escolarizados, constatarmos que a maioria dos estudantes nem sempre está sensibilizada para este aprendizado, embora seja adepta e consumidora não raro voraz dos resultados da tecnologia.

Assim, o assunto é complexo e não será somente por boa vontade e empenho sério que vamos contribuir para alavancar uma transformação radical desejada.

Colocaremos algumas tendências recentes que vem sendo consideradas fundamentais tanto para o ensino da área (ciência, matemática e tecnologia), como para a aprendizagem (cognição).

### **Lógica clássica e lógicas alternativas**

Dentre as lógicas não-clássicas contemporâneas destacamos uma delas, muito rica e plena de múltiplas possibilidades: a difusa. Se antes, com a base do pensamento científico na lógica formal, as possibilidades em torno da verdade eram binárias: verdadeiro ou falso, sim ou não, igual ou diferente..., hoje podemos trabalhar com lógicas onde as possibilidades estão mais diluídas, como: sim, não e indeterminado (às vezes com diversos níveis de indeterminação) ou verdadeiro, falso, provavelmente um ou outro...

As lógicas paraconsistentes, que *transgridem o princípio da contradição* para algumas proposições (Jenner,1998) foram *propostas como sistemas formais que suportam teorias inconsistentes mas não triviais ... criadas com intenções filosóficas e metodológicas muito distantes de qualquer aplicação*, ao passo que as difusas foram criadas com *exclusiva intenção aplicativa*. (Carnielli, 1992),

Uma aplicação direta que desafia a lógica clássica é o botão *stand by* das Tvs e equipamentos de som recentes. Como classificá-lo? Está ligado ou desligado? Está ligado e desligado? Ele indica nitidamente um estado intermediário no circuito. Aplicações da lógica difusa em computadores, transmissão automática para veículos e mesmo aparelhos eletrodomésticos já são bastante comuns. Algumas técnicas da lógica difusa amplamente usada em inteligência artificial já estão presentes também na educação, particularmente no enriquecimento de sistemas tutoriais de matemática e ciências (Warendorf, 1997).

Categorias anteriormente não disponíveis para o conhecimento científico abrem-se num universo muito mais amplo de possibilidades. Podemos refinar e diversificar os valores de verdade da lógica clássica identitária: para muito além das categorias “semelhante e diferente” tão presentes em todas as classificações taxionômicas científicas (animais, vegetais, tabela periódica, carta de núclídeos...), podemos lançar mão, através da lógica difusa, tanto da *semelhança na diferença*, como na *diferença na semelhança* (Bohm, 1992). Nas relações complexas entre partículas, átomos, elementos, células, seres vivos, encobertas pelas classificações generalistas, podemos relativizar, enriquecer e aprofundar nossos estudos em direção à *complexidade*, muito mais próximas do real do que as idealizações dos modelos científicos clássicos.

Um cachorro será então semelhante ao seu ancestral, o lobo. Porém diversas raças caninas (por exemplo, as muito pequenas) são diferentes nesta semelhança e simultaneamente, semelhantes na diferença com outras espécies de animais pequenos. Tais possibilidades reforçam as observações dos alunos, mesmo das crianças e aproximam melhor o conhecimento científico do conhecimento comum que eles detêm.

Qualquer estudo sobre meio ambiente encerra processos dinâmicos com presença multivariável e exigência conceitual que esbarra nos limites da lógica clássica.

### **A empiria em mutação**

Neste século, em particular nas últimas décadas, mudaram as outrora consensuais *condições experimentais*. Hoje torna-se mais difícil reconhecer com clareza uma experiência enquanto projeto e execução de um evento, fenômeno, situação enquanto certo tipo de espelho de parte da *realidade*. A sofisticação tecnológica levou-nos a um novo universo: antes facilmente descartável porque produto da imaginação, hoje acessível até em computadores portáteis. O universo *virtual* hoje está muito presente e forte. Simulações as mais diversas podem ser obtidas a partir das máquinas; um jogo de interações entre sujeitos cognoscentes e computadores que “pensam, analisam possibilidades, tomam decisões...” também se caracteriza como *experiência*. Computadores potentes trabalhando em processamento paralelo são capazes de finalizar em minutos, operações não alcançáveis por grupos de matemáticos em séculos...Equações numéricas não lineares associadas a sistemas complexos caóticos são resolvidas rapidamente, permitindo avanços para todos os campos do conhecimento, em separado e em conjunto, nos problemas inter e transdisciplinares.

A velha experimentação sofreu sofisticação sem precedentes.

Nosso palco principal de trabalho, a sala de aula, começa a se impregnar com as possibilidades de ensino/aprendizagem com auxílio de multimeios, com destaque para os vídeos e computadores/redes. Diversos “laboratórios” de todas as ciências e de matemática

são disponíveis em CD-Roms e redes. São diferentes do laboratório tradicional de manipulação direta, mas semelhantes no trato de possibilidades “empíricas” com a tela das máquinas. O ensino a distância começa a ser implementado e paralelamente debatido. Mas será mesmo a distância? Espaço e tempo são rompidos bruscamente nestas condições. Não é elementar categorizar tais atividades; talvez sejam mesmo presenciais, num novo cenário onde a presença física não se configura.

Tempos novos, de convívio difícil entre uma aula expositiva que ainda merece seu espaço e o uso de multimídia, que igualmente se impõe e amplia os horizontes de possibilidades didático-pedagógicas.<sup>1</sup>

### Em direção à complexidade

Analogicamente, no ensino de ciências, já é possível se trabalhar com recursos computacionais para o aprendizado tanto de geometria como de fenômenos complexos que envolvem por exemplo a dinâmica dos fluídos, desde o escoamento em tubos, até a circulação sanguínea...São novos modelos que possibilitam novos alcances para aprendizagem em qualquer nível de escolaridade.

Temáticas milenares como a dualidade *ordem-desordem* vem sendo intensamente pesquisadas nas últimas três décadas com auxílio de novas tecnologias, novas lógicas e novas incursões teóricas. A termodinâmica dos processos distantes do equilíbrio se credencia para lançar modelos e interpretações alternativos sobre o fenômeno da *vida* enquanto dinâmica complexa e ordenada. Os avanços da *biologia molecular* atingem a todos nós, entre a perplexidade e o encantamento; busca-se os segredos vitais e produzem-se seres vivos, inclusive mamíferos, independentemente dos embriões, criam-se fetos em ambientes externos ao útero. A mídia explora os novos achados com destaque para a *clonagem*. O debate se impõe com desafios inéditos, dentre eles a *ética* que deve orientar a busca e aplicação de novos conhecimentos.

A relevância da biodiversidade transcende as razões de preservação ambiental; os interesses são imensos, dos governos - sobretudo dos países desenvolvidos com recursos mais restritos e pobres- dos centros e institutos de pesquisa e da indústria de química fina e fármacos. Nunca se apoiou tanto a pesquisa de princípios ativos de produtos vegetais com uso na medicina tradicional, ao lado dos sintetizados. Nem se experimentou tanto modelos multivariáveis para se conhecer um pouco mais sobre a coexistência das espécies.

Passando para um terreno mais abstrato, constatamos que uma nova geometria, muito mais similar ao desenho complexo da natureza, define os *fractais*, invariantes na escala e com dimensões não inteiras. Dessa forma, um cumprimento infinito encerra uma área finita. As aplicações deste conceito associado aos fenômenos complexos parecem inimagináveis. Aplicações que superam os escopos das disciplinas científicas, essencialmente transdisciplinares: costas marítimas, formação de nuvens, turbulência, economia, agricultura, biologia e até música. Sistemas não vivos e vivos que evoluem no tempo podem “escolher” uma direção dentre mais de uma possibilidade, nas chamadas *bifurcações*, não seguem uma

---

<sup>1</sup> Por exemplo, o conjunto de filmes da série *Galáctica* - Enciclopédia Britannica pode enriquecer bastante a discussão não só das cosmologias atuais, como das teorias físicas que lhes dão suporte.

trajetória unívoca e determinada (Prigogine, 1985); caracterizam-se pelas *auto-organizações* (Atlan, in Pessis-Pasternak, 1992), onde um agrupamento atômico (no caso mais simples de um *laser*) ou macromolecular (no caso de células ou seres vivos) parece obedecer a um roteiro/programa que pressupõe conhecimento interior (Flickinger e Neuser, 1994). Tópicos como *números Fibonacci* e *triângulos fractais* (Pickover, 1994) na natureza e na tecnologia não parecem exigir abstração maior dos alunos do que os tradicionais conteúdos clássicos, mas continuam negados. Ou seriam então algum tipo de *cultura inútil* que deve ser ignorada pela escola?

O conhecimento se renova e se expande, o simples é reconcebido como complexo (Bachelard, 1996). É preciso no entanto reafirmar que os avanços são próprios à natureza da pesquisa básica e aplicada em ciência e tecnologia; que persistem limitações enormes, como a incapacidade de se prever com graus desejáveis de precisão, as flutuações do clima, como a dificuldade da ciência para explicar todas as questões de gênese, seja do universo, da vida, do conhecimento...A mídia, que até recentemente divulgava com estardalhaço achados (como a clonagem) e conquistas (como a viagem de nave para Marte), sem a menor crítica, parece recentemente um pouco voltada também às limitações da ciência.

A cultura científica exige os níveis mais elaborados e abstratos de pensamento e reflexão e encerra natureza universal, e continua com seu conhecimento pouco democratizado. Suas estruturas conceituais e teóricas localizam-se nos planos da cultura elaborada, embora muitos humanistas ainda rejeitem esse corpo de conhecimento, precisamente por se sentirem distantes e alheios, apesar de intelectuais.

A cultura científica está freqüentemente em colisão com os valores, normas e crenças das culturas populares, das culturas primeiras. Sabemos que a maioria das pessoas mesmo escolarizadas, continuam associando o conceito de força ao de velocidade, confundem massa com peso e defendem concepções vitalistas. Tais aprendizagens de origem sócio-cultural são fortemente significativas e conflitivas com as concepções científicas. O cenário contemporâneo exige a convivência entre as culturas regionais e a universal. A condição pós-moderna trouxe a debate o fenômeno do multiculturalismo e do prazer aliado ao saber. Respeitadas as culturas locais, não podemos deixar de permitir o acesso das majorias ao conhecimento atual das ciências e matemática, provocando o inevitável conflito entre os conhecimentos. Esta relação é também complexa, trazendo para a sala de aula um pólo de diálogo e problematização das diferenças entre as concepções dos alunos e aquelas de que somos porta-vozes.

Se muda o conhecimento, mudanças de conteúdos e métodos se impõem na educação formal e informal. O desafio é no mínimo duplo: transpor, traduzir, elaborar, produzir materiais didáticos a partir da nova ciência, que orienta um novo saber escolar de ensino/aprendizagem de ciências e aplicá-los com chances de sucesso. É a transição entre a ciência dos cientistas e a ciência dos professores em debate com a ciência dos estudantes.

Mesmo a cosmovisão de vários cientistas conhecidos e reconhecidos está em crescente mutação, ora propondo idéias heterodoxas, ora questionando e propondo rupturas com a *rigidez e ortodoxia* das ciências naturais- tanto as clássicas, como as contemporâneas. Seja pelo *potencial quântico* de Bohm, a *escuta poética* de Prigogine, os campos *morfogenéticos* de Sheldrake, pelo *neoplatonismo* de Penrose, as viagens especulativas pelo *espaço-tempo e além* de Toben e Wolf, somos tentados a modificar nossa idealização racionalizada do perfil mediano dos pesquisadores. Quando tratamos destes autores e suas



idéias com licenciandos e mesmo pós-graduandos da área de ensino, registramos sempre um certo estupor, acompanhado de desconfiança porque são inevitáveis as colisões entre estes/estas e seu enquadramento dos conteúdos científicos – estudados sempre com um consenso exagerado.

Os métodos de ensino também se diversificam e apontam para novas possibilidades. Cabe aos professores de ciências e matemática um papel precioso na disseminação dos multimeios: vídeos, teleconferências, CD-Roms e redes de computadores (Assmann, 1996). Critérios de seletividade dos novos materiais são urgentes, uma vez que a grande maioria dos conhecimentos desgastados dos livros didáticos vem sendo literalmente transportados para as redes. Usar a Internet sem critérios talvez seja mais retrógrado do que usar velhos textos e compêndios. Contudo, no tocante ao conhecimento emergente, é muito mais provável localizarmos fontes confiáveis, instigantes e disponíveis nas redes de computadores, do que aguardar publicações didáticas com as devidas transposições do *saber sábio* para o *saber a ser ensinado*. Parece-nos que os pesquisadores em ensino de ciências teriam uma efetiva contribuição, ao selecionar, adaptar e propor novos *materiais didáticos* a partir destas fontes, nos cursos de formação docente e, por desdobramento no ensino médio. Temos tido, junto com alunos de Metodologia e Prática de Ensino de Física da UFSC, algum sucesso nesta tarefa. Nossos licenciandos conseguem, ao final do curso, montar um *dossiê* com materiais didáticos tradicionais e da mídia que contemplam Física e Ciências clássicas e contemporâneas, sem deixar de lado as propostas heterodoxas da imaginação científica que incluem, por exemplo, os *buracos de minhocas*.<sup>2</sup>

### **Pensar o pensamento, conhecer o conhecimento**

Tudo indica que o Homem começa a desvendar melhor a complexidade, para além das simplificações. Simultaneamente, começa a desvendar um pouco do “enigma de si mesmo”.

Embora o conhecimento atual sobre o cérebro seja ainda bastante incipiente, houve avanços significativos. Memória, pensamento, consciência... os mistérios da mente humana começam a ser minimamente reconhecidos. As ciências da *cognição* também vem contribuindo para que nos conheçamos um pouco mais. Eventuais ganhos das teorias da aprendizagem para a educação escolar ainda se constituem em meros projetos. Contudo, basta verificarmos a quantidade de periódicos que hoje abordam por exemplo a chamada Inteligência Artificial, para suspeitarmos que em breve poderemos colher resultados que poderão ser preciosos para melhorar os índices de sucesso na aprendizagem em ciências, matemática e todos os demais campos do conhecimento, eventualmente em novos campos interdisciplinares. Estudam-se tanto as clássicas possibilidades de aprendizagem via novas estruturas, desequilíbrio/equilíbrio, como as dimensões do *interesse* envolvido nos processos.

É possível se afirmar que a interação sujeito-objeto está sendo implementada de formas cada vez mais ricas (Bunge, 1973) . De um lado, a *complexidade* dos fenômenos naturais e de outro os processos cognitivos e afetivos que procuram modelar, também de forma complexa, aquela complexidade.

---

<sup>2</sup> Exemplos: CD-rom *Enciclopédia do espaço e do universo* - Globo multimídia; texto *Introdução à Astronomia e Astrofísica*, de Kepler de Souza Oliveira Filho e Maria de Fátima Oliveira Saraiva, versando sobre tópicos clássicos e contemporâneos, *links* tanto em linguagem textual como simbólica/matemática, disponível no site <http://www.if.ufrgs.br/~kepler/fis207/index.html>.

O conhecimento em Ciência e Tecnologia avança, agora não mais acima de qualquer suspeita, mas submetido à vigilância e à avaliação de suas possibilidades e limites, analisado à luz do binômio risco/benefício. Avança também a busca incessante por métodos diferenciados de trabalho em equipe na construção da *interdisciplinaridade*. Os temas e tópicos que aqui apresentamos para debate e desafios são essencialmente interdisciplinares.

Se um objeto de investigação é por natureza *complexo*, não será pesquisado a contento por apenas um ou dois campos de conhecimento. Será submetido aos estudos cruzados pela construção das diversas disciplinas do saber científico. Saber que não se restringe às chamadas ciências da natureza, porque as chamadas ciências humanas participam cada vez mais dos estudos conjuntos. Se o *sujeito* que conhece e que busca o ainda desconhecido não pode ser mais concebido como o sujeito isolado dos séculos 17 a 19, a contribuição das ciências cognitivas torna-se essencial em todas as investigações de hoje e do porvir.

Ademais, nunca é demais lembrar que nós, professores de ciências naturais, desenvolvemos atividade didático-pedagógica regida pelas ciências sociais aplicadas, em trabalho multidisciplinar desde sua raiz.

### **Interdisciplinaridade, meio ambiente e desafios ao trabalho docente.**

Uma palavra sobre o estudo do meio ambiente. Parece-nos que tal responsabilidade não pode ser debitada somente aos professores de ciências. Trata-se de um *tema transversal*, para utilizarmos um conceito de época nas teorias curriculares. Contudo, grande parte das tarefas de construção deste saber escolar para os diversos níveis de escolaridade é mais nossa em trabalho compartilhado com os docentes de todas as outras disciplinas.

Os estudos seriados e descritivos do ensino fundamental impõem limitações aos estudantes quando dos estudos sobre meio ambiente. Talvez essa nova demanda nos direcione para uma reformulação mais radical dos conteúdos introdutórios trabalhados em ciências. Talvez a construção de terrários e aquários, seguida do acompanhamento e observação pelos alunos, nos ajude a tratar os assuntos de maneira menos isolada: solo, água, ar, estudados detalhadamente em Série pouco contribuem para a compreensão da dinâmica dos ambientes onde habitam os seres vivos.

Talvez sejamos menos ingênuos ao acompanhar a mídia quando elege situações dramatizadas como a libertação de baleias sitiadas por navios especiais, enquanto espécies inteiras estão ameaçadas e principalmente enquanto crianças vivem abaixo dos limites da pobreza, subnutridas, ausentes da escola e forçadas a trabalhar na tenra idade. Ou quando elegem vilões como o gás CFC, o "saquinho plástico/polietileno" ou o isopor. Paralelamente, quase nada se fala sobre o automóvel, máquina que não resiste a um balanço de massa (carro pequeno tem 800 kg e transporta em média 100kg), que polui e exige investimentos maciços desviados dos eixos sociais educação e saúde. É hora de analisar os prejuízos de certas máquinas, para além do conforto que elas possam oferecer a alguns e desmistificar os sucessos muito proclamados da *tecnociência*.

Hora de valorizar o computador e as redes sem exageros, considerando a máquina e sua capilaridade mundial como auxiliares eficazes de nossa tarefa em sala de aula.

É tempo de aprender com os avanços e equívocos de tendências para o ensino de ciências e matemática: não se ensina diretamente aos alunos, porém eles sozinhos, individualmente ou em grupo não redescobrem conhecimentos, não constroem a partir do nada. Tempo de valorizar nossa mediação com toda a complexidade enquanto professores de um conhecimento específico, de ciências da natureza e enquanto educadores.

Na prática, cabe discussão sobre a intersecção de horários de estudo dos assuntos novos dentre os licenciandos, organizado e mantido pelos docentes das disciplinas afins. Cabe, por extensão, lutar para a conquista de horários comuns de espaços privilegiados a assuntos e temas contemporâneos, com aulas de "ciências de hoje" no ensino médio, paralelamente às aulas e cursos das disciplinas específicas de Física – com suas parceiras históricas Astrofísica/Cosmologia e recentes como a Física Médica, Química e parceiras... , Biologia e sub-áreas.

Categorias epistemológicas comprometidas com a síntese de conhecimentos seriam condutoras de materiais didáticos com múltiplas linguagens e tecnologias, visando a estruturação destes conhecimentos em termos de transposição didática, sempre na perspectiva interdisciplinar. São exemplos os *conceitos unificadores* (Angotti, 1991 e 1994) – sobretudo o de *energia: conservação e degradação*- e o *conhecimento em rede* (Terrazan, 1992; Machado, 1995).

Se o novo conhecimento não é só disciplinar, seu ensino não poderá engessá-lo em disciplinas isoladas; parece ser mais compatível se manter aulas específicas paralelamente a outras, constituídas por sessões comuns. Para além das restrições administrativas/burocráticas, tais atividades só poderão se efetivar sob responsabilidade de grupos de professores com formações distintas, mas não distantes ou alheias às múltiplas entradas e possibilidades desse novo conhecimento. Setores da educação não formal (os museus) vem contribuindo com esforços similares dignos de nota e admiração, a exemplo da publicação.<sup>3</sup>

Acreditamos que a ABRAPEC , pela sua natureza e vocação, seria a instituição privilegiada para iniciar esforços nestas direções, reivindicando um espaço plural mais compatível com as novas demandas, se pensarmos nas congêneres vinculadas à uma das ciências disciplinares. Paralelamente às pesquisas e outros desafios da atividade acadêmica, grupos de pesquisadores e docentes interessados seriam responsáveis pela seleção e construção de *sites*, bases de dados, filmes, softwares e livros, seja para as licenciaturas ou o ensino médio. Parte dessa tarefa já vem sendo feita, isoladamente e não raro, ainda com o amadorismo típico e compreensível dos trabalhos novos ainda sem roteiros definidos;.

## Bibliografia

ADAM, B. *Time and Social Theory*. N. York, Polity Press, 1992.

ANGOTTI, J. A. *Fragmentos e totalidades no conhecimento científico e no ensino de ciências*. Tese de doutoramento, FEUSP, 1991.

---

<sup>3</sup> Consultar *Exploring Magazine Museums Association - The Exploratorium*. Tópicos sobre fractais, ordem/caos, geometrias não euclidianas, padrões/simetrias da natureza, são usualmente abordados com seriedade, em linguagem acessível para professores de ciências e outras áreas.

\_\_\_\_\_. Conceitos unificadores e ensino de física. In: *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 15 (01 a 04), 1994.

ASSMANN, H. Pós-modernidade e agir pedagógico. Como reencantar a Educação. In: *Anais do VIII ENDIPE – Encontro Nacional de Didática e Prática de Ensino, vol.II*. Florianópolis, 1996.

BACHELARD, G. *A formação do novo espírito científico*. Rio de Janeiro, Contraponto, 1996.

BASTOS FILHO, J. B. (In)comensurabilidade entre teorias e os princípios da correspondência e da contradição. In: *Resumos do VI EPEF - Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*. Florianópolis, UFSC, 1998.

BOHM, D. *A totalidade e a ordem implicada*, S.Paulo, Cultrix, 1998

BROCKMANN, J. *Einstein, Gertrude Stein, Wittgenstein e Frankenstein*. S.Paulo, Companhia das Letras, 1988.

BUNGE, M. *Filosofia da Física*, Lisboa, Edições 70, 1973

CARNIELLI, W. A. Lógicas não clássicas, teoria da informação e inteligência artificial. In: *Século XIX: o nascimento da ciência contemporânea*. Évora, F. R. R. (ed). Campinas-S.P., UNICAMP, 1992

CHANGEUX, J. P. *O homem neuronal*. Lisboa, Dom Quixote, 1991..

\_\_\_\_\_. e Connes, A. *Matéria e pensamento*, S.Paulo, UNESP, 1996.

DA COSTA, N.C.A. *O conhecimento científico*. S.Paulo, Discurso, 1997

EXPLORING , 16 (02), *The Exploratorium*, 1992. Consultar textos de diversos autores sobre arco-íris, fractais, caos e simetria.

FERRÉS, J. *Vídeo e Educação*. Porto Alegre, Artes Médicas, 1996.

FLICKINGER, H.G. e Neuser, W. *Teoria da auto-organização*. Porto Alegre, Edipuc, 1994.

GLEICK, J. *Caos*. Rio de Janeiro, Campus, 1990

HOLTON, G. *A Imaginação Científica*, Rio de Janeiro, Zahar, 1978.

LEVY, P. *As árvores do conhecimento*. S.Paulo, Encarta, 1995.

\_\_\_\_\_. *A inteligência coletiva: por uma antropologia do ciberespaço*. S.Paulo, Loyola, 1998.

MACHADO, N. J. *Epistemologia e didática*. S.Paulo, Cortez, 1995.

MANDELBROT, B. *Objetos fractais*. Lisboa, Gradiva, 1991.

PENROSE, *O Grande, o Pequeno e a Mente Humana*, S.Paulo, UNESP, 1997.

PEREIRA Jr, A. e Gonzales. M.E.Q. Informação, organização e linguagem. In *Espaço e Tempo*. Évora. F.R.R.(ed), Campinas, UNICAMP, 1993

PESSIS-PATERNACK, G. *Do caos à inteligência artificial*. S.Paulo, UNESP, 1992.

PICKOVER, C. A . *Chaos in the wonderland*. N. York, St. Martin's Griffin, 1994.

PRIGOGINE, I. *O nascimento do tempo*. Rio de Janeiro, Edições 70, 1988.

\_\_\_\_\_ e Stengers, I. *A nova aliança*. Brasília, UNB, 1983

RUELLE, D. *Acaso e caos*. S.Paulo, Ed. UNESP, 1993

TERRAZAN, E. A . A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2<sup>o</sup> grau. In: *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 09 (03), 1992.

WARENDORF, K. e Tsao, S.J. Application of fuzzy logic techniques in the BSS1 tutoring system. In: *Journal of Artificial Intelligence in Education*, 08 (01), 1997

WEISSKOPF, V.F. *Indagação e conhecimento*. S.Paulo, Funbec, 1972.

\_\_\_\_\_ *The Priviledge of being a physicist*. N. York, W.H. Freeman, 1988