

A teoria da complexidade e o ensino-aprendizagem de ciências e matemática via modelagem matemática

Lênio Fernandes Levy y Adilson Oliveira do Espírito Santo

Resumen

O método de pesquisa experimental, alicerce do empirismo modernista, quando devidamente acrescido da concepção de criatividade inerente à indeterminação, bem como da visão de interação entre sujeito e objeto do conhecimento, pode conduzir a resultados em conformidade com os pensamentos basilares da epistemologia da complexidade, que ora emerge em oposição ao paradigma moderno e que é fundamentada na tríade moriniana¹ “distinção-união-incerteza”. Tal acréscimo é extensível ao âmbito do ensino e da aprendizagem de ciências e matemática via modelagem matemática, na medida em que esse procedimento guarda laços estreitos com o passo a passo da investigação experimental. A pesquisa anunciada ao longo das páginas a seguir é/foi, quanto aos objetivos, de cunho teórico e metodológico. Com relação ao objeto, extrapolou-se o trabalho de características apenas bibliográficas ao se buscar comprovar a hipótese do “acréscimo” supra mencionado, tendo-se conduzido a investigação bibliográfica sobretudo no sentido de corroboração da referida tese.

Abstract

The method of experimental research, foundation of modern empirism, when adequately added of the conception of creativity, seen as inherent to that of indetermination, together with the view of the interaction between the subject and the object of knowledge, can lead to results that are congenial to the basis of the epistemology of complexity. This new way of thinking and searching for knowledge opposed to the modernist paradigm is founded upon the Morinian tripod of “distinction-union-uncertainty”. Such addition is applicable to the teaching and learning of Sciences and Mathematics via Mathematical modelling, as long as this procedure keeps an intimate relationship with the step by step of experimental investigation. The research announced along the pages had its purposes guided by theoretical and methodological principles. Nonetheless, as far as it concerns the object of study, this essay went beyond bibliographical review, as it is also an attempt to test the “creativity/indeterminism additon” hypothesis mentioned above. Thus, the bibliographical investigation was conducted mostly having the corroboration of such thesis in mind.

Considerações acerca de Paradigmas e de Métodos

Neste texto, analisam-se alguns dos sistemas explicativos suscitados, no decorrer da história humana, quanto à “origem” e ao “desenvolvimento” do conhecimento, e dá-se ênfase à possibilidade de adaptação daquele que é o alicerce da escola empirista, ou seja, o “método de pesquisa experimental”, às

¹ Edgar Morin nasceu na França (1921). Filósofo, historiador, antropólogo e sociólogo, Morin é um dos baluartes da teoria da complexidade.

diretrizes da epistemologia que ora emerge e conduz os estandartes da união ou interação e do indeterminismo ou criatividade, havendo, com vistas à referida adaptação, a necessidade de o trabalho com o método em foco não ser agregado mecanicamente ao ideário interacionista e indeterminista, porém integrado com senso crítico e/ou reflexivo a tal conjunto de idéias. A modelagem matemática enquadra-se no paradigma da modernidade porque diz respeito a perquirições concordantes com os preceitos metodológicos desse paradigma, mas ela pode igualmente ser utilizada como meio ou caminho para o fortalecimento do corpo de idéias que ora emerge e que se contrapõe aos ditames do modernismo cartesiano, bem como, justamente por esse motivo, constituir-se em instrumento potencialmente útil quando se desejar implementar o ensino e a aprendizagem de ciências e matemática sintonizados com a chamada epistemologia emergente. Para tanto, ratifica-se, os pesquisadores/modeladores, nesse caso, professores e alunos, não que aderir crítica e conscienciosamente às visões interacionista e criativa/indeterminista.

A epistemologia da racionalidade técnica, também chamada de “paradigma moderno”, fundamenta-se no pensamento ao mesmo tempo fragmentador, que distingue e isola, e determinista, que apregoa a previsibilidade cabal de todos os pormenores fenomênicos da natureza. Essa concepção prevalece no mundo, em particular nas sociedades ocidentais, desde o século XVII, quando Francis Bacon e René Descartes revigoraram as duas grandes – e antagônicas, embora concordantes quanto aos aspectos da fragmentação e do determinismo – correntes epistemológicas clássicas: de um lado, a empirista, segundo a qual a cognição tem ou teria por princípio a “apreensão” do mundo pelo homem através dos sentidos físicos, sendo o conhecimento, conforme tal ponto de vista, “descoberto” por intermédio do uso dessa sensibilidade ou percepção experimental; de outro lado, a racionalista, defensora do “alcance das verdades” via exercício racional, ou seja, a partir da utilização do “bom senso”, elemento, segundo Descartes, imanente a todos os homens.

O paradigma da modernidade assevera que a ciência, denotativa de rigor, de precisão, de sistematização, de observância a um método, de objetividade e/ou de realidade independente do homem e da existência humana, tem primazia sobre as demais formas de expressão cultural, dentre as quais a arte e a religião. Em nome da supremacia dessa ciência, nascida na península balcânica há cerca de dois mil e quinhentos anos – e que teve o seu fôlego renovado após a era medieval –, os saberes e os fazeres de diversos povos², de grupos humanos que interagiam/interagem com ambientes e/ou contextos vários e peculiares, foram e têm sido rebaixados, calados ou mesmo aniquilados

O caráter fragmentador da ciência moderna, herança sobremaneira cartesiana, preceitua a separação entre: sujeito e objeto; sujeito e conhecimento; um e outro objetos distintos; um e outro conhecimentos distintos. O determinismo das leis naturais – ou melhor, a crença nesse determinismo –, denotando um universo supostamente ordenado, regular, reversível, previsível e, portanto, não-criativo e

² Sociedades não-européias em sua maioria.

impossibilitador da liberdade humana, também é idéia central no que tange à “modernidade”. Edgar Morin assevera que:

Até meados do século XX, a maioria das ciências obedecia ao princípio de redução, que limitava o conhecimento do todo ao conhecimento das partes, como se a organização do todo não produzisse qualidades ou propriedades novas em relação às partes consideradas isoladamente.

O princípio de redução leva naturalmente a restringir o complexo ao simples. Assim, aplica às complexidades vivas e humanas a lógica mecânica e determinista da máquina artificial. Pode também cegar e conduzir a excluir tudo aquilo que não seja quantificável e mensurável, eliminando, dessa forma, o elemento humano do humano, isto é, paixões, emoções, dores e alegrias. Da mesma forma, quando obedece estritamente ao postulado determinista, o princípio de redução oculta o imprevisto, o novo e a invenção (MORIN, 2002, p. 42).

A ingerência da racionalidade técnica, malgrado as suas limitações, foi e, ao que tudo indica, continua sendo notória e predominante nos mais diversos contextos, incluso o relativo ao ensino e à aprendizagem de ciências e matemática.

Nesse sentido, percebe-se a prevalência de um currículo prescritivo e/ou conteudista, em que o conhecimento é visto não como construção derivada da conexão entre sujeito e objeto de estudo, mas como “descoberta”, como algo objetivo e independente da intervenção crítica e criativa do ser humano, cabendo ao professor e ao aluno os papéis, respectivamente, de mero transmissor e de receptor passivo desse conteúdo.

Habitualmente, os saberes são fragmentados e/ou dispostos em compartimentos disciplinares que não se comunicam. É comum, em se tratando de cursos de licenciatura em ciências/matemática, pouca ou nenhuma associação entre, por exemplo, as disciplinas específicas e as pedagógicas. Ademais, o que se estuda na escola é normalmente dissociado de contextos outros. De um modo geral, não se buscam relações entre os conhecimentos, sistematizados ou não, trabalhados em sala de aula e os níveis ou âmbitos sociais, políticos, econômicos, ecológicos etc. do mundo extra-classe.

Em que pese a supremacia da epistemologia moderna no mundo atual, suas deficiências são cada vez mais flagrantes. É bem verdade que o modelo da racionalidade técnica trouxe grande desenvolvimento – um avanço exponencial, diga-se! – às ciências e à tecnologia ao longo dos últimos séculos. Mas também é correto afirmar que esse paradigma dificultou e dificulta a percepção de que, por exemplo, ciência, tecnologia, economia, política e sociedade são interdependentes e decisivas no que tange a paz e guerra, riqueza e pobreza, liberdade e subordinação, sustentabilidade ecológica e crime ambiental etc.

Como se não bastasse a progressiva constatação de deficiências afetas ao modelo moderno/cartesiano, nos últimos decênios um número crescente de pensadores tem chegado a conclusões favoráveis quanto à realidade da interação

entre os diversos contextos, bem como ao realismo da indeterminação ou criatividade inerente ao homem e à natureza, o que indica a emergência de um novo paradigma, diametralmente oposto, frise-se, aos pilares da racionalidade técnica, o qual, entre outras coisas, admite, e essa é uma de suas maiores características, a validade de manifestações culturais até então sufocadas pela “intolerância” da ciência moderna. Fritjof Capra afirma que:

Quanto mais estudamos os principais problemas de nossa época, mais somos levados a perceber que eles não podem ser entendidos isoladamente. São problemas sistêmicos, o que significa que estão interligados e são interdependentes. Por exemplo, somente será possível estabilizar a população quando a pobreza for reduzida em âmbito mundial. A extinção de espécies animais e vegetais numa escala massiva continuará enquanto o Hemisfério Meridional estiver sob o fardo de enormes dívidas. A escassez dos recursos e a degradação do meio ambiente combinam-se com populações em rápida expansão, o que leva ao colapso das comunidades locais e à violência étnica e tribal que se tornou a característica mais importante da era pós-guerra fria.

Em última análise, esses problemas precisam ser vistos, exatamente, como diferentes facetas de uma única crise, que é, em grande medida, uma crise de percepção. Ela deriva do fato de que a maioria de nós, e em especial nossas grandes instituições sociais, concordam com os conceitos de uma visão de mundo obsoleta, uma percepção da realidade inadequada para lidarmos com nosso mundo superpovoado e globalmente interligado (CAPRA, 1994, p. 23).

O Paradigma Emergente e a Sala de Aula

Na pedagogia, o “emergente/novo modelo de pensamento” coaduna-se com um currículo enquanto processo, enquanto atividade. O currículo passa então a ser entendido como o conjunto das experiências vivenciadas no ambiente escolar por professores, alunos e demais agentes educacionais. Experiências em que sujeito e objeto se conjugam/integram para que haja (re)construção do conhecimento, que agora começa a ser visto como representação ou interpretação da realidade, em vez de ser encarado como a própria realidade ou como algo definitivo e independente do sujeito.

Doravante, em um mundo pautado “pela distinção, pela união e pela incerteza”, torna-se imprescindível a figura do “professor reflexivo e pesquisador” (vide trabalhos de John Dewey, Donald Schön e Lawrence Stenhouse, entre outros), que é (e por ser) fundamentada na crença acerca da realidade da permanente interação entre sujeito e objeto, interação essa que acarreta incessantes e surpreendentes mudanças em ambos.

Dewey argumenta que o processo de reflexão de professoras e professores se inicia no enfrentamento de dificuldades que, normalmente, o comportamento rotineiro da aula não dá conta de superar. A instabilidade gerada perante essas situações leva-os a analisar as experiências anteriores. Sendo uma análise reflexiva,

envolverá a ponderação cuidadosa, persistente e ativa das suas crenças e práticas à luz da lógica da razão que a apóia (CAMPOS & PESSOA, 1998, p. 190-191).

O ensino-aprendizagem fundamentado no método experimental, ao preceituar, diante de situações-problema, o teste de hipóteses baseadas nas idéias prévias dos estudantes (pessoas cuja formação do arcabouço cultural não prescinde dos contextos que as influenciam, contextos esses que, por sua vez, recebem influência de referidos indivíduos), pode ser concordante com os padrões criativos e interacionistas da emergente epistemologia, haja vista as supra citadas idéias e uniões entre sujeitos e objetos/contextos.

A Modelagem, a Modelagem Matemática e a Nova Pedagogia

A modelagem é um mecanismo de pesquisa compatível com o método experimental porquanto ambos os procedimentos guardam estreita relação no que concerne às suas prescrições, entre as quais se destacam a hipotetização e a validação.

Pode-se definir a experimentação como um conjunto de procedimentos que se estabelecem para verificar as hipóteses. Ela sempre se realiza em situações de laboratório, ou seja, controlando-se as circunstâncias e variáveis capazes de interferir na relação causa/efeito estudada.

As hipóteses, em geral, indicam uma relação de antecedência (variável dependente) entre os fenômenos. Na experimentação, procura-se verificar se a relação existe mesmo e qual é a proporção de variação encontrada em tal relação (PRESTES, 2003, p.31).

Outrossim, conforme Japiassu & Marcondes, o método experimental é:

(...) aquele que tem por base a realização de experimentos para o estabelecimento de teorias científicas, procedendo através da observação, da formulação de hipóteses e da verificação ou confirmação das hipóteses a partir de experimentos. É valorizado sobretudo nas concepções empiristas (JAPIASSU & MARCONDES, 1996, p.182).

A modelagem pode ser útil para a consecução de um ensino e de uma aprendizagem de ciências e matemática em sintonia com o paradigma ora emergente, o que apenas depende “de ser e da maneira como for” adaptada ao contexto pedagógico, devendo essa “maneira”, para tanto, mostrar-se enfática no que tange à adoção de posturas docentes e discentes críticas, criativas e interacionistas/contextualizadoras perante o problema ou o tema em que se está a trabalhar, posturas essas cuja ausência pode redundar no fortalecimento da visão determinista e da crença quanto à dicotomia entre sujeito (vide razão) e objeto (vide experiência sensível), ou seja, cuja ausência pode acarretar a ênfase no paradigma moderno e nas suas deficiências.

Trata-se a modelagem de processo em que se busca representar ou interpretar determinada situação ou evento, através da emissão de hipóteses explicativas e da respectiva verificação ou validação. O resultado da modelagem é o “modelo”. Segundo Bassanezi

Quando se procura refletir sobre uma porção da realidade, na tentativa de explicar, de entender, ou de agir sobre ela – o processo usual é selecionar, no sistema, argumentos ou parâmetros considerados essenciais e formalizá-los através de um sistema artificial: o modelo (BASSANEZI, 2002, p. 19).

Quando, no ato cujo fim é a obtenção de um modelo, faz-se apelo em larga escala ao ferramental matemático, tem-se a chamada “modelagem matemática”. Expressões aritméticas ou algébricas, formas geométricas, diagramas, gráficos e demais interpretações congenéricas de situações ou eventos são alguns exemplos de “modelos matemáticos”, cujos graus de complexidade e/ou de representatividade são diretamente proporcionais ao amadurecimento matemático do modelador. “Chamaremos simplesmente de modelo matemático um conjunto de símbolos e relações matemáticas que representam de alguma forma o objeto estudado” (BASSANEZI, 2002, p. 20).

Biembengut & Hein (2000) dividem a modelagem matemática nas seguintes etapas:

1. **Interação:** Fase em que o pesquisador faz os primeiros contatos com o problema ou tema a ser modelado, buscando familiarizar-se a respeito e coletar dados que possam ajudá-lo em sua investigação;
2. **Matematização:** Etapa em que são levantadas hipóteses explicativas, com base nos conhecimentos prévios do perquiridor, para as questões suscitadas. É quando se faz uso do instrumental matemático com vistas à consecução do modelo com que se pretende representar o evento, tema ou situação de estudo;
3. **Modelo:** Fase em que se testa a validade do modelo construído, devendo-se, em caso de sua não-adequação ao objeto estudado, retomar a etapa anterior do processo, qual seja a de “matematização”.

Por trazer em seu bojo um espírito potencialmente interacionista e criativo, a modelagem matemática coaduna-se, em tese, com a epistemologia emergente. Trata-se, dado esse espírito, de um convite à transversalidade, à interdisciplinaridade, à contextualização e, em âmbito mais abrangente, à transdisciplinaridade, aspectos que, na seara da aprendizagem de ciências e matemática, constituem-se em fonte de motivação discente, haja vista possibilitarem a construção de conhecimentos significativos.

Pode-se adaptar o método investigativo da modelagem matemática às aulas de ciências e matemática. Segundo Biembengut & Hein (2000), as etapas a seguir correspondem à referida adaptação. Perceba-se, no decorrer de tais fases,

outrossim, a possibilidade constante do fomento ao pensamento e à prática marcados pelo interacionismo e pela criatividade:

1. **Diagnóstico:** É quando o professor trava contato com a realidade sócio-econômica e cultural de seus alunos. É também quando ele, mediante avaliações prévias, percebe quais as dificuldades de aprendizagem e os obstáculos didáticos que podem prejudicar a implementação do trabalho proposto;
2. **Escolha do tema:** Nesse momento, o professor elege o assunto, fenômeno ou evento acerca do qual será construído o modelo, podendo fazê-lo em conjunto com o alunado. Sugere-se a escolha de algo significativo para o corpo discente, ou seja, de um tema presente e impactante em suas vidas, a fim de que haja maior estímulo à elaboração de conhecimentos sistematizados correspondentes. É importante também o trabalho com um tema cuja complexidade não coloque em risco o sucesso da atividade, dadas as naturais limitações dos alunos e mesmo aquelas do próprio docente;
3. **Desenvolvimento do conteúdo programático:** Nessa fase, professor e alunos (re)constróem e/ou utilizam os elementos científicos e matemáticos em si. Trata-se justamente do momento em que se busca processar a modelagem com ênfase em seu aspecto de método experimental de pesquisa, conforme o passo a passo preceituado nas linhas anteriores, isto é, “interação, matematização e modelo”, trabalhando-se o conteúdo escolar na etapa referente à “matematização”;
4. **Orientação de modelagem:** Constitui-se em tarefa permanente, a cargo do professor/mediador, dizendo respeito, pois, ao processo como um todo, ou seja, acontecendo desde o primeiro contato dos alunos com o tema, que pode ser escolhido com a ajuda deles, até o momento final da atividade. O termo “orientação”, no sentido aqui empregado, não condiz com exposição mecânica, descontextualização e absorção acrítica. Indica (e isso ajuda a corroborar a tese central deste artigo), diferentemente, o oferecimento de condições para que o corpo discente possa, a partir de seus próprios saberes e fazeres, de seus próprios elementos culturais, e portanto em ação pautada no interacionismo e na criatividade, alçar patamares cognitivos, sistematizados ou não, mais elevados;
5. **Avaliação:** É imprescindível que o professor avalie a si próprio, bem como permita o julgamento de sua prática por terceiros, com vistas a aperfeiçoar-se. Os alunos, e mesmo outros colegas de profissão, poderão dar-lhe os subsídios de que necessita. Por sua vez, a avaliação do corpo discente levada a efeito pelo professor/orientador, sendo procedimento que objetiva o aprendizado e/ou a melhoria das condições para a consolidação da aprendizagem, há que ser não apenas somativa, não apenas voltada para a classificação final, mas também diagnóstica, de grande utilidade no início do processo, e formativa, aplicada ao longo das atividades, sendo útil, nesse caso, para a implementação a contento das mudanças de rumo necessárias.

Considerações Finais

Em que pese, mesmo nos dias atuais, o predomínio da epistemologia fragmentadora e determinista da modernidade, inclusive na seara do ensino e da aprendizagem de ciências e matemática, observa-se que as deficiências e limitações da referida epistemologia, aliadas às conclusões a que se tem chegado a propósito das realidades da união ou interação e da criatividade afeta à indeterminação, têm conduzido um número crescente de pessoas, entre elas diversos membros da comunidade científica/matemática, a defenderem a emergência de um novo paradigma.

No contexto pedagógico inerente às ciências e à matemática, as atividades apoiadas no uso do método experimental de pesquisa, cuja seqüência é composta basicamente por “tema/problema, hipóteses explicativas, testagem/validação e conclusão”, se acrescidas do fomento à criatividade, ao interacionismo, à contextualização, à transversalidade e, em escala última, à transdisciplinaridade, fomento esse facilitado e/ou viabilizado pela figura do “professor reflexivo e pesquisador da própria prática”, constituir-se-ão em ações irmanadas com o padrão emergente de pensamento. A modelagem matemática, que é de cunho investigativo/experimental, uma vez adaptada ao ensino e à aprendizagem de ciências e matemática nos parâmetros defendidos ao longo deste artigo, ou seja, uma vez levada a efeito mediante subsídio da (e incentivo à) crença discente/docente quanto à valorização, sempre com espírito reflexivo/crítico, da díade “interação-criatividade”, poderá estar de acordo com o modelo epistemológico que ora emerge.

Bibliografía

- F. Capra (1994): “A teia da vida”. 9.ed. Cultrix, São Paulo.
- H. Japiassú, D. Marcondes (1996): “Dicionário básico de filosofia”. 3.ed. Jorge Zahar, Rio de Janeiro.
- S. Campos, V. I. F. Pessoa (1998): “Discutindo a formação de professoras e de professores com Donald Shön”. In: C. M. C. Geraldi, D. Fiorentini, E. M. A. Pereira (orgs.). Cartografias do trabalho docente: professor(a)-pesquisador(a), 183-206. Mercado de Letras, Campinas – São Paulo.
- M. S. Biembengut, N. Hein (2000): “Modelagem matemática no ensino”. Contexto, São Paulo.
- R. Bassanezi (2002): “Ensino-aprendizagem com modelagem matemática”. Contexto, São Paulo.
- E. Morin (2002): “Os sete saberes necessários à educação do futuro”. 6.ed. Cortez, São Paulo.
- M. L. M. Prestes (2003): “A pesquisa e a construção do conhecimento científico: do planejamento aos textos, da escola à academia”. 2.ed. Rêspel, São Paulo.

Lênio Fernandes Levy, Centro Federal de Educação Tecnológica do Pará (Brasil). Licenciado Pleno em Matemática (Universidade Federal do Pará), Especialista em Educação Matemática (Universidade Estadual do Pará), Mestre em Educação em Ciências e Matemáticas (Universidade Federal do Pará).

Adílson Oliveira do Espírito Santo, Núcleo Pedagógico de Apoio ao Desenvolvimento Científico da Universidade Federal do Pará (Brasil). Licenciado Pleno em Matemática (Universidade Federal do Pará), Engenheiro Elétrico (Universidade Federal do Pará) e Doutor em Engenharia Elétrica (Universidade de Campinas – São Paulo).