

MODELIZAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA: CONTRIBUIÇÕES EM UMA PERSPECTIVA BUNGEANA

MODELING IN PHYSICS TEACHING: CONTRIBUTIONS IN A BUNGEAN PERSPECTIVE

Juliana Machado¹, Karla Schopping Vieira²

¹Universidade Federal de Santa Catarina, julianam@ced.ufsc.br

²Universidade Federal de Santa Catarina, karlaschopping@gmail.com

Resumo

A partir da constatação da importância do uso de modelos no ensino de Ciências, e de Física particularmente, argumentamos em favor da busca por critérios específicos que auxiliem na reflexão e no planejamento de estratégias didáticas envolvendo atividades de modelização. Avançamos na direção sinalizada por Pietrocola (1999), que aponta para a epistemologia de Mario Bunge como caminho frutífero para orientar a reflexão sobre o papel dos modelos em situações de sala de aula. Assim, nos apoiamos na compreensão desse filósofo argentino acerca da construção de modelos na Ciência e fazemos uma transposição dessas suas idéias para o Ensino de Física. Os construtos bungeanos enfatizados nessa transposição são o objeto modelo e o modelo teórico, bem como o processo de sua construção e a relação existente entre eles. Dessa transposição resulta a proposição de cinco elementos teóricos. A adoção dessa proposta implica em que o professor assuma uma postura em sala que favoreça aos alunos a passagem da percepção imediata de um fato bruto para uma compreensão da realidade a partir de um fato construído racionalmente.

Palavras-chave: Modelos e Modelização, Ensino de Física, Realismo Científico.

Abstract

From the finding on the importance of using models for the Science Teaching area, we argue in favor of the quest for clear criteria that might help in reflecting about and planning strategies for teaching activities involving modeling. We go forward in the direction flagged by Pietrocola (1999), which indicates the bungean epistemology as a fertile path to guide the discussion about the role of models and their meaning. Thus we get support on Mario Bunge's understanding about the construction of models, transposed to Physics Teaching, in order to propose elements that allow us to characterize activities of Modeling. The bungean constructs used in this implementation are the object model and theoretical model, as well as the process of its construction and the relationship between them. As a result we get five theoretical elements that allow characterize modeling activities. In this proposal the teacher needs to take a position that encourages students to cross the immediate perception of a raw fact to an understanding of reality from a fact rationally constructed.

Keywords: Models and Modeling, Physics Teaching, Scientific Realism.

Introdução

Pesquisas em ensino de Ciências, de Física particularmente, têm enfatizado a importância da modelização como objeto de ensino, por esta favorecer a aproximação entre os conhecimentos escolares e o cotidiano do estudante (MARTINAND, 1986, 1996; PIETROCOLA 1999; PINHEIRO, 1996). Por outro lado, a prática comum nas escolas de hoje é *identificar* esses conhecimentos com a realidade. Esse último fato deflagra a “guerra” existente entre a percepção imediata que o aluno possui das coisas e os conteúdos ministrados confiantemente pelo professor. Para a grande maioria dos alunos, sai como vencedora deste entrave a concepção de mundo obtida no exterior do contexto escolar, talvez enriquecida com alguns elementos encontrados nas aulas.

Pensar na modelização como objeto de ensino pode fornecer soluções para esse problema crítico do ensino de ciências. A modelização pode ser entendida como o processo da elaboração de modelos que por sua vez, propiciam a compreensão de um real complexo. Essas noções genéricas¹ encontram uma maior especificidade no contexto em que são empregadas, por exemplo, no desenvolvimento da Ciência ou na sala de aula.

Pretende-se aqui aprofundar as discussões existentes sobre a aproximação entre o modelo na Ciência e no ensino de Ciências. Conforme aponta Martinand (1996), a questão relevante da modelização no ensino de ciências não é a escolha de um bom modelo para ser ensinado, mas: como explicitar as características essenciais dos modelos científicos² e a forma de pensar presente em seus processos de construção?

Se agora admitimos que seja um dos objetivos do ensino de Ciências explicitar a forma pela qual a ciência se constrói, isto é, a racionalidade científica, naturalmente a primeira questão que devemos responder é: das diversas compreensões existentes acerca dessa construção, qual será mais adequada para os objetivos esboçados no parágrafo anterior?

Afortunadamente, essa é uma questão já explorada por outros autores, como Pietrocola, (1999), Pinheiro et al, (2001) e Cupani e Pietrocola, (2002), que defendem a epistemologia de Mario Bunge³ como caminho frutífero para orientar a reflexão sobre o papel dos modelos e seu significado. Adotaremos aqui também este referencial, esperando que assim possamos aprofundar em direção à segunda questão relevante, a saber: como poderíamos caracterizar atividades de ensino de

¹ Sobre os diversos usos da palavra modelo no ensino, ver: KRAPAS, Sonia et al. “Modelos: uma análise de sentidos na literatura de pesquisa em ensino de ciências”, *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v. 3, n. 2, 1997. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol2/n3/krapas.htm>. Acesso em: 12 de março de 2008.

² Martinand explicita essas características essenciais. Para ele, os modelos são 1) hipotéticos; 2) modificáveis; 3) pertinentes a certos problemas dentro de determinados contextos (MARTINAND, 1996).

³ “Nascido em Buenos Aires, em 1919, Bunge é físico de formação, tendo sido professor de Física e de Filosofia na Argentina antes de radicar-se no Canadá (1966), onde trabalha na McGill University. Lecionou em numerosas universidades européias e norte-americanas. No Brasil, foi professor da Unicamp”. (CUPANI & PIETROCOLA, 2002, p. 101).

Ciências, de forma coerente ao mesmo tempo com o referencial epistemológico adotado e com os objetivos de ensino almejados?

Portides (2007) registra que um número cada vez maior de pesquisadores da área de Ensino de Ciências têm argumentado em favor da importância em promover a habilidade de “pensar cientificamente” dos estudantes. Nessa perspectiva, a compreensão sobre como as teorias científicas se relacionam com a realidade, isto é, como se dá a apreensão da realidade pelo pensamento racional, é um aspecto dos mais importantes. Temos a convicção de que o favorecimento dessa compreensão, entendida como um dos objetivos do ensino de Ciências, implica em responder a pergunta de Martinand (1996), há pouco mencionada.

Mesmo dispondo de reflexões epistemológicas férteis, nesse caso extraídas do referencial bungeano, dispõe-se ainda de uma quantidade relativamente escassa de subsídios mais objetivos no que se refere a situações de sala de aula, isto é, elementos norteadores que auxiliem o desenvolvimento de atividades de ensino que possam se valer destas reflexões. Acreditamos que este fato encerra parte dos motivos pelos quais o processo de modelização ainda não se apresenta de forma considerável no ensino de Física.

É nesse sentido que pretendemos oferecer uma contribuição. Assim, o objetivo deste trabalho será a obtenção de alguns critérios analíticos que se configurem como instrumentos para auxiliar no planejamento de estratégias didáticas de modelização. Para obtê-los, como já foi mencionado, utilizaremos como fundamentação teórica as idéias de Mario Bunge sobre a construção de modelos na Ciência, buscando transpô-las para o contexto do Ensino de Física.

Inicialmente, ainda, resgataremos a discussão corrente sobre modelos no Ensino de Ciências, direcionando-a em seguida para o nosso foco teórico.

Modelos no Ensino

Pinheiro, Pietrocola e Pinho-Alves (2001) consideram que “a modelização é um processo que consiste na elaboração de uma construção mental que pode ser manipulada e que procura compreender um real complexo.” (PINHEIRO, PIETROCOLA E PINHO-ALVES, 2001, p. 39). Os modelos são o resultado desse processo. Esses autores apontam que um dos aspectos que diferencia os modelos construídos pelos cientistas e pelos alunos é o nível de sofisticação dos mesmos. Enquanto o cientista busca explicar o maior número de acontecimentos relacionados entre si, o estudante pode ficar satisfeito apenas com a explicação para o acontecimento estudado no momento. Outra característica dos modelos, distinta para esses dois grupos, é o domínio dos recursos matemáticos necessários ao estabelecimento de relações mais amplas acerca de um fenômeno.

Para Martinand (1986), o uso de modelos tem uma importância fundamental no domínio da realidade natural, tecnológica, econômica ou social. São meios de uma apreensão de aspectos relevantes da realidade. Além das representações palpáveis e modificáveis de um objeto familiar, existem aquelas que apresentam características relacional e hipotética desse objeto, por exemplo, os parâmetros, as relações entre as variáveis. Mesmo em situações simples, pode existir uma trama complexa de informações cuja solução exige a descrição de um sistema que comporte relações internas e externas entre variáveis. Essa forma de representação apresenta o caráter sistemático de um modelo. Para esse autor, é justamente este

duplo caráter sistemático e hipotético constitutivo dos modelos científicos de que os estudantes devem apropriar-se.

As ciências físicas apresentam um grande rol de modelos, construídos e apoiados ao mesmo tempo na teoria e na experimentação. Essa “atitude de modelização” (MARTINAND, 1986) poderia ocupar um lugar de destaque no ensino de ciências, mas não é o que acontece. Elementos como ponto material, raios luminosos, átomos etc, não são apresentados como modelos, representações idealizadas, mas sim como a realidade diretamente sensível. Dessa forma, o estudante encontra dificuldades em relacionar os modelos apresentados em sala às situações reais encontradas fora da escola ou mesmo no laboratório. Ao invés de fazer uso dos modelos como construções hipotéticas e heurísticas, o aluno acaba por atribuir-lhes um sentido dogmático (MARTINAND, 1986).

Frente a essas considerações, o autor chama a atenção para a possibilidade de transformar os conteúdos do ensino, fazendo uso da modelização. Para tanto, aponta a importância de se refletir sobre o que se pode fazer modelizando, no que isso contribui e como isso funciona no pensamento científico. “Se trata por último de perguntar-se que tipos de atividades específicas são possíveis propor em classe, com que meios? Que sugestões de progressões, de ritmos de aprendizagem podem ser propostas aos professores para organizar o ensino?”⁴ (MARTINAND, 1986, p. 46).

Outro autor que discute o ensino de ciências através de modelos é Pietrocola (1999), o qual introduz as idéias de Mario Bunge sobre a produção do conhecimento científico com o objetivo de acrescentar ao construtivismo atual um complemento epistemológico pautado pelo uso de modelos.

Pietrocola (1999) responde a algumas das perguntas de Martinand citadas anteriormente, fazendo uso das idéias de Bunge sobre modelos na Ciência. Assim, o objetivo de modelizar é apreender o real e os modelos científicos contribuem como um incremento à compreensão da realidade do mundo. O trabalho no meio científico, segundo Bunge, envolve a construção de modelos, que é um processo criativo mediado pelos homens e pela ação da razão entre eles. Isto posto, o que se espera que aconteça na sala de aula é a realização de atividades que promovam a passagem de um real imediato (com origem no senso comum) a um real idealizado pela Ciência.

A Epistemologia de Mario Bunge

Para Bunge (1974), o progresso do conhecimento e da ação do homem no mundo está nas aquisições de teorias científicas. O autor destaca que a Ciência vai além da simples coleta de dados empíricos. É preciso teorizar sobre esses dados, ou seja: “a Ciência contemporânea não é apenas experiência, porém teoria mais experiência planejada executada e entendida à luz de teorias” (BUNGE, 1974).

Segundo ele, usam-se teorias matemáticas para a construção das próprias teorias científicas em várias áreas, faz-se ciência em diversos meios, e com isso, o método científico outrora restrito à Física, agora contempla também outras ciências e, conseqüentemente, uma revolução científica alcançou a Medicina, a Biologia, a Economia, a Sociologia. Este processo teve seu epicentro em 1950 e não foi

simplesmente uma substituição de uma teoria pela outra, foi um esforço de teorização em campos até então não teóricos (BUNGE, 1974).

No entanto, os conhecimentos contidos nas teorias não são o que podemos chamar de uma transcrição completa da realidade, pois para Bunge, segundo Cupani e Pietrocola (2002):

(...) a realidade não é sempre, nem simplesmente, tal como parece aos nossos sentidos, pois a percepção e o conhecimento produzido exclusivamente a partir dela é deficiente e deve ser enriquecido pelo conhecimento teórico. Por sua vez, a explicação científica não constitui uma cópia da realidade, mas uma representação simbólica sempre imperfeita, porém aperfeiçoável, da mesma. (CUPANI & PIETROCOLA, 2002, p. 124)

Este conhecimento aproximado da verdade é entendido por Bunge (1998) como sendo um *conhecimento objetivo*, o qual, amparado pelo método empírico e adequado às teorias, relaciona-se de forma aproximativa com seu objeto de estudo e deste modo busca alcançar a realidade. Todavia, esta racionalidade - isto é, a coerência com um sistema de idéias dado previamente - das ciências *factualis* (Física, Química), apesar de necessária, não é última. Pois a experiência não nos garante que a hipótese em questão seja a única verdadeira, apenas nos diz que é provavelmente adequada, sem excluir a possibilidade de um estudo ulterior que possa dar melhores aproximações.

Ainda que reconheça que o objeto tratado pela Ciência é uma aproximação do real, e não *idêntico* ao real, Bunge não assume uma posição relativista, pelo contrário. O autor tem a convicção de que o mundo existe independente de observadores, caso contrário, a crença na ciência e em suas teorias ficaria desprovida de sentido (CUPANI & PIETROCOLA, 2002). Esse pressuposto é conhecido como *realismo ontológico*. Dessa forma, a Ciência é valiosa como ferramenta para domar a natureza e remodelar a sociedade; é valiosa em si mesma, como chave para o entendimento do mundo e do eu; e é eficaz no enriquecimento, na disciplina e na libertação da nossa mente.

Essa explicação da natureza, imperfeita e ao mesmo tempo aperfeiçoável, é precisamente o que obtemos por meio da construção de **modelos**. Assim, os modelos ocupam lugar de destaque na epistemologia bungeana. A seguir, examinaremos a compreensão deste autor sobre o caráter dos modelos na Ciência, o papel que desempenham e seus elementos constituintes.

Iniciaremos por uma categoria essencial, denominada por Bunge de "*objeto-modelo*".

Objetos-modelo

Na perspectiva bungeana, o sujeito cognoscente não apreende o objeto tal como ele é, mas tal como ele é modificado por suas próprias operações (BUNGE, 1998, p. 23). Conseqüentemente, uma teoria científica não se aplica diretamente ao objeto real ao qual se refere, mas a uma **representação** desse objeto real. Essa representação é chamada por Bunge de **objeto-modelo**. Nas palavras do autor,

A conquista conceitual da realidade começa, o que parece paradoxal, por idealizações. Extraem-se os traços comuns de indivíduos ostensivamente diferentes, agrupando-os em espécies (classes de equivalência). Fala-se assim do cobre e do homo sapiens. É o nascimento do objeto-modelo ou modelo conceitual de uma coisa ou de um fato (BUNGE, 1974, p. 13).

O objeto-modelo representa apenas parcialmente o seu referente concreto e fatalmente ignora alguns dos seus aspectos. A escolha dos aspectos relevantes será determinada pelo objetivo do investigador. Em todo caso, o objeto-modelo é inevitavelmente parcial e aproximativo.

Embora seja uma idealização do objeto real, concebida de forma a representar apenas parte dos traços do seu referente, a construção dos objetos-modelo envolve operações que não são arbitrárias, mas sim objetivas, isto é, com uma intenção realista.

Mas por mais engenhoso que possa ser, um objeto modelo é estéril enquanto não for introduzido em um sistema teórico dentro do qual possa estabelecer relações dedutivas. Dito de outra forma, a relevância do objeto-modelo consiste no potencial de frutificar em um modelo teórico de uma coisa ou de um fato.

Antes de examinar o significado do termo *modelo teórico*, vamos nos deter por um instante na classificação bungeana dos tipos de modelos na ciência factual.

Classes de Modelos

Modelos concretos

Modelos concretos são representações esquemáticas visuais de uma coisa. Desenhos, animações, diagramas simbólicos, maquetes, análogos materiais são exemplos de modelos deste tipo.

Modelos concretos são, também, uma espécie de objetos-modelo, já que qualquer representação esquemática de um objeto real pode ser denominada de objeto-modelo. Cumpre, no entanto, esclarecer que os modelos concretos **não** são os objetos-modelo que podem ser engastados nas teorias gerais, uma vez que as teorias são constituídas por idéias e não por imagens. Por essa razão convém distinguir os modelos concretos como objetos-modelo *do tipo pictórico*, em contraste com os objetos-modelo do tipo conceitual. (BUNGE, 1974).

Uma representação pictórica não substitui o objeto-modelo do tipo conceitual, exatamente porque não pode fazer parte de teorias. Enquanto a primeira é útil principalmente por razões de natureza psicológica e didático-pedagógica, o segundo tem um poder de representação muito maior, por ser uma **idéia teórica**, uma “idéia que se pode enxertar em uma máquina teórica a fim de pô-la a funcionar e produzir outras idéias interessantes” (BUNGE, 1974, p. 26).

Por simplicidade, convencionemos o uso do termo “objeto-modelo” exclusivamente quando estamos nos referindo ao tipo conceitual, deixando para as representações pictóricas a denominação de *modelo concreto*.

Modelos teóricos

Como mencionamos anteriormente, um objeto-modelo, por mais adequadamente que possa representar seu referente real (ou suposto real), será de pouca utilidade por si só, a menos que seja incorporado a uma *teoria geral*⁵, dessa

5 As teorias gerais, como a Mecânica Clássica e a Teoria da Evolução, não se referem a coisas específicas mas, ao contrário, são potencialmente aplicáveis a qualquer parte da realidade a que se referem. Não podem ser, portanto, aplicadas diretamente aos objetos-modelo. Como consequência, as teorias gerais são

forma produzindo um *modelo teórico*⁶. Somente a partir desta incorporação é possível avançar na compreensão da realidade, porque é o modelo teórico que permitirá: 1) enriquecer a teoria geral com suposições que a extravasam (objeto-modelo), tornando-a suscetível à verificação; e 2) tornar o objeto-modelo frutífero, ao herdar as peculiaridades da teoria geral. Nas palavras do autor,

Assim, se um planeta é modelado como uma massa pontual ou como uma bola, não se diz muita coisa. Somente pela assunção posterior segundo a qual um tal modelo satisfaz certas leis, em particular as leis do movimento, que conseguimos uma porção do conhecimento científico (BUNGE, 1974, p. 35).

O modelo teórico, às vezes também chamado pelo autor de “teoria específica”, é, portanto, a mediação entre teoria geral e objeto-modelo, resultando em um sistema hipotético-dedutivo. Em suma, é por meio do modelo teórico que podemos representar o comportamento e/ou os mecanismos internos do objeto-modelo a partir da teoria geral.

Por resultar do “enxerto” do objeto-modelo na teoria geral, o modelo teórico naturalmente herdará deste o caráter parcial e aproximativo. Isso significa que esse modelo negligenciará muitos aspectos do seu referente real e afastará as características que individualizam os indivíduos (classes de equivalência). Mas, se o modelo em questão é demasiado simples para o problema que temos, pode-se sempre complicá-lo, aproximando mais o objeto-modelo do seu referente real.

A “natureza óptica” dos modelos e o seu grau de profundidade

Existem muitas espécies de modelos teóricos, distribuídas de acordo com a profundidade exigida pelos objetivos da pesquisa. No extremo da superficialidade temos as **caixas negras**, providas apenas de entrada e saída e com objetivo exclusivamente de descrição e previsão de conduta, sem se preocupar com o mecanismo interno do objeto ou evento real ou suposto como tal. (BUNGE, 1974)

Na extremidade oposta do espectro, encontramos modelos teóricos aos quais interessa obter uma compreensão do mecanismo interno (hipotético) da coisa e potencialmente prever efeitos inauditos. Bunge (1974) denomina tais teorias específicas de **caixas translúcidas**⁷.

Entre esses extremos, encontramos modelos com níveis de profundidade intermediários, aos quais podemos nos referir como *caixas semitranslúcidas*. O critério comparativo do grau de “negritude” das teorias está sempre no aspecto específico que está sendo considerado, isto é, “ninguém poderia dizer que ‘x é mais fenomenológico que y’, mas, antes, ‘x é mais fenomenológico que y com respeito a z’” (BUNGE, 1974, p. 78).

incomprováveis, porque não é possível testá-las diretamente de forma empírica. Somente os modelos teóricos podem ser testados.

⁶ O significado que Bunge atribui à expressão “modelo teórico” é distinto daquele atribuído por Achinstein e citado por Kneller (1978). Neste último, o modelo teórico é entendido como um *conjunto de pressupostos sobre um objeto ou um sistema* (ACHINSTEIN, 1968, apud KNELLER, 1978) e portanto se aproxima mais da noção bungeana de objeto-modelo.

⁷ Teorias da caixa negra e caixa translúcida são também referidas por Bunge como *fenomenológicas e representacionais*, respectivamente.

Abordagens do tipo caixa negra são ao mesmo tempo necessárias, porque são globais, simples e seguras, e limitadas, porque são sempre menos completas que suas correspondentes translúcidas, mais ricas, profundas e frutíferas.

Simbolicamente, a forma quantitativa de um modelo teórico que representa a interação do objeto ou sistema com seu ambiente pode ser representada, de uma forma “behaviorista”, como uma relação do tipo: $O = M.I$, na qual “I” se refere ao “estado inicial” do sistema (ou a entrada), “O” simboliza o “estado final” (saída) e M representa as propriedades do objeto ou sistema considerado (BUNGE, 1974).

Quanto maior a “negritude” da caixa, tanto menos interessa o significado de M. Nas teorias de caixa-negra, M será tão-somente um símbolo, uma razão de ligação entre O e I. Por outro lado, nas teorias de caixa translúcida, M representa o mecanismo, isto é, a constituição e a estrutura do objeto. Ou seja,

As teorias de caixa translúcida (...) contêm referências a processos internos descritos por meio de variáveis indiretamente controláveis, que não ocorrem na descrição da experiência comum: exemplos de semelhantes construtos hipotéticos são a posição do elétron, a onda, a fase, o gene e a utilidade subjetiva. (BUNGE, 1974, p. 69)

Na compreensão de Bunge (1974), o objetivo em longo prazo da teorização científica não é sintetizar a experiência, mas *interpretar a realidade*. Por isso, a constituição das caixas negras é apenas um primeiro estágio na construção da teoria. Importa fazê-las evoluir para caixas translúcidas, do contrário, permanecem incompletas, já que a conquista teórica da realidade implica em “uma explicação do inobservável e uma interpretação do observável em termos do inobservável” (BUNGE, 1974, p. 89).

Na epistemologia bungeana buscar-se-á características essenciais dos modelos científicos que serão em seguida utilizados como categorias de análise de atividades de ensino potencialmente ou presumidamente modelizadoras. Neste trabalho, iremos nos reportar a modelos somente no sentido do *modelo teórico* bungeano, sem nos preocuparmos por ora com modelos concretos ou analógicos.

Elementos de uma Atividade de Modelização

Esta caracterização não se configura em uma seqüência de passos para obter modelizações, nem obedece necessariamente a uma ordem temporal, quer do ponto de vista epistemológico, quer didático. Não se trata portanto de um estereotipo. Pretende-se, antes, a busca por critérios objetivos analíticos para atividades didáticas de modelização, coerentes com a presente discussão sobre o significado dos modelos.

1. Constituição de um Objeto-modelo

Examina-se um grupo de fatos ou objetos concretos que aparentemente possuam características relevantes comuns. Essas características relevantes são então reunidas a fim de obter uma representação teórica do objeto estudado, isto é, formar um modelo conceitual (objeto-modelo) plausível.

A formação o objeto-modelo pressupõe uma idealização, um afastamento inicial da realidade. Essa construção já é em si mesma uma modelização, ainda que teórica. Por isso mesmo deve contemplar alguma justificação ao desprezar determinados aspectos do objeto estudado em detrimento de outros.

Nesses termos, é fundamental explicitar quais critérios se adotou para eleger as características representativas do objeto-modelo e desprezar as demais, apontando o que se perde em relação ao real e porque essa forma de proceder é válida, isto é, se configura como um caminho viável e racional de apreensão da realidade concreta.

Por exemplo, Pinheiro, Pietrocola e Pinho Alves (2001), ao proporem um exemplo de atividade de modelização concernente à variação da altura de uma pilha de dominós em relação ao número de peças, enfatizam que é fundamental esclarecer que, ao construir esse modelo, está-se estabelecendo um “dominó ideal” (cuja espessura é igual ao coeficiente de inclinação da reta obtida fazendo-se o gráfico da altura em função do número de peças). Talvez nenhuma das peças possua exatamente aquela espessura, nem é necessário que seja assim.

Em suma, o importante é explicitar a necessidade de se constituir um objeto idealizado, que represente os aspectos considerados essenciais dos objetos reais, mas que despreze as pequenas variações entre eles. É preciso esclarecer então que o modelo teórico irá se referir a esse objeto idealizado e portanto fornecerá uma descrição aproximada da realidade.

2. Formulação clara do problema

A exigência seguinte se refere à localização de uma lacuna ou de uma incoerência com o corpo de saber previamente disponível (no caso do pesquisador, o acervo de conhecimento científico; no caso do aluno são as representações).

O problema é então formulado, preferencialmente em forma de uma pergunta, de tal maneira que tenha o potencial de ser resolvido a partir de recursos racionais e empíricos acessíveis. Mas ainda deve estar explicitado, também, porque esse problema é relevante.

Esta etapa, juntamente com a anterior, guarda similaridade com o que é habitualmente chamado de *problematização*. Nesse sentido, em termos didáticos, não pode ser uma pergunta sobre a qual o aluno não tenha a menor idéia de como responder, ao contrário, deve ser expressa de modo que favoreça a imaginação de respostas ou procedimentos que permitam alcançar respostas.

Talvez seja a exigência mais fundamental, visto que, sem a formulação clara do problema, não é possível saber a que o modelo se refere, o que destrói seu sentido.

3. Atribuição de Propriedades Suscetíveis de Serem Testadas

Além de constituir uma classe de elementos na qual os indivíduos são idênticos em algum sentido, a saber, nos traços-chave que caracterizam o objeto-modelo, é necessário atribuir a esse objeto conceitual *variáveis* testáveis que podem ser relacionadas com os referidos traços a fim de permitir invenção e teste de hipóteses, suposições, traduções matemáticas. Para isso, de posse do objeto-modelo, “... se lhe adicionam elementos hipotéticos mas com uma intenção realista” (BUNGE, 1974, p. 16). Ou seja, “é preciso, em suma, imaginar um objeto dotado de certas propriedades que, amiúde, não serão sensíveis”. (BUNGE, 1974, p. 14).

Tais elementos ou propriedades podem ser diretamente ou indiretamente inferíveis, e nesse último caso estaríamos caminhando em direção às caixas

translúcidas. A obtenção de inferências interpretativas sobre esses elementos se dá por meio de um dado procedimento, que é executado pelos alunos, mesmo que sob condução do professor. Para isso, é preciso que, por meio deste procedimento, seja possível testar a relação entre a propriedade do objeto ora estudada e alguma variável manipulável.

Em suma, deve ser possível imaginar procedimentos que permitam avaliar o que varia e o que não varia, e sob quais condições. Assim se constituem as bases daquilo que, executado, fornecerá os subsídios para a construção do modelo teórico.

4. Construção de uma Teoria do Objeto-modelo

A teoria do objeto-modelo é o que se chama *modelo teórico*, ou seja, um “... sistema hipotético-dedutivo que concerne a um objeto-modelo” (BUNGE, 1974, p. 16).

Aqui entramos na construção das caixas. Para cada uma das propriedades ou variáveis que mencionamos anteriormente, constrói-se uma caixa. De ora em diante utilizaremos, para nos reportar a essas variáveis, o termo mais apropriado de *atributos*. Só é possível modelizar um atributo de cada vez, não obstante seja necessário, na elaboração final do modelo teórico, conjugar todos os atributos simultaneamente.

A escolha do tipo de atividades propostas caracteriza:

1) do ponto de vista gnosiológico, a “natureza óptica” da caixa que será o modelo teórico obtido com a atividade;

2) do ponto de vista didático, o nível de participação do aluno na construção do modelo, isto é, quais atributos serão por ele modelizados (seja através de procedimentos propostos pelo professor ou imaginados pelo próprio aluno) e quais não o são (sobre os quais o professor fornece a informação diretamente).

Em suma, um atributo do objeto-modelo, formulado em uma pergunta clara, é explorado por meio de hipóteses testáveis, buscando suportes *racionais* (dedução de conseqüências lógicas) ou *empíricos* (predições ou retrodições verificáveis experimentalmente). O teste das hipóteses é planejado e executado, e os resultados obtidos são interpretados a fim de obter inferências sobre os atributos, expressas em variadas formas, como uma equação, um gráfico, um enunciado.

Essas formas poderão ser mais ou menos reveladoras do mecanismo interno da caixa. Assim, se temos por exemplo uma inferência na forma de uma equação do tipo $O = M.I$, o planejamento da atividade de modelização irá determinar se será possível determinar a forma de M ou apenas fazer suposições qualitativas acerca do significado de M.

Além disso, a condução das discussões sobre essas formas pelas quais se expressam as inferências poderá ser mais ou menos reveladora do caráter científico dos modelos. Por exemplo, a discussão sobre o significado de uma curva em um gráfico que não passa pelos pontos experimentais em relação às idealizações que fizemos na constituição do objeto-modelo.

5. Incorporação do Modelo Obtido em uma Teoria Geral

É necessário que o modelo teórico guarde coerência e esteja vinculado a leis gerais conhecidas. Em suma, um modelo teórico está contido dentro de uma Teoria Geral, que por sua vez agrupa muitos outros modelos teóricos. Assim, essa incorporação é que permite que o modelo teórico encontre seu lugar dentro do corpo de conhecimentos existente.

Diferentes modelos teóricos de um mesmo objeto concreto podem ser gerados por dois caminhos: 1) inserindo um mesmo objeto-modelo em diferentes teorias gerais ou 2) dada uma teoria geral, enxertar nesta diferentes objetos-modelo.

Em situações de ensino, freqüentemente o aprofundamento das caixas dependerá da acomodação do modelo teórico na Teoria Geral correspondente. Apesar de improvável em si mesma e inaplicável diretamente a objetos particulares, a Teoria Geral contém as leis fundamentais da coisa estudada, e que amiúde serão necessárias quando se pretender investigar o *mecanismo interno*.

Considerações Finais

As discussões aqui apresentadas não pretendem ser conclusivas quanto ao emprego de modelos no ensino. Vale ressaltar que a importância de seu uso está na postura que se adquire ao iniciar-se tal prática: passa-se da percepção imediata de um fato bruto para uma compreensão da realidade a partir de um fato elaborado racionalmente.

Em particular, restam ainda algumas questões em aberto. Procuramos contribuir na busca por critérios objetivos a fim de orientar atividades comprometidas com a construção de modelos no Ensino de Física. É preciso investigar para quais conteúdos de ensino esses critérios são válidos. Buscamos evidenciar que a epistemologia de Bunge tem o potencial de fornecer subsídios para alcançar o objetivo de modelização apontado por Martinand (1996).

Além disso, é de interesse investigar também as limitações e potencialidades de se modelizar em sala de aula, a partir dos critérios transpostos de Bunge no ensino de conteúdos específicos.

Na construção dos conhecimentos científicos, o cientista depara-se com determinados problemas de investigação, que são distintos daqueles que se apresentam aos alunos em uma situação didática. Somente se tais problemas e seus decorrentes objetivos estiverem claramente determinados, pode-se obter critérios que orientem quanto à “quantidade de luz” que as caixas construídas deverão deixar passar. Em outras palavras: a profundidade dos modelos construídos precisa guardar coerência com os objetivos da atividade, isto é, com a pergunta que pretendemos responder.

Essa contextualização e esclarecimento ao estudante contribui na formação da sua visão de ciência: embora ele esteja em uma esfera da sociedade distinta da que se encontram os cientistas, ambos apresentam um objetivo comum, que é compreender melhor o mundo que os cerca.

Tivemos aqui, como principal objetivo, suscitar o problema da caracterização de atividades de modelização no ensino de Ciências. Dado o caráter polissêmico do termo na literatura da área, consideramos fundamental um aprofundamento dessa

reflexão, que possa orientar a pesquisa em uma direção mais consistente e quiçá paradigmática. Isso só será possível na medida em que ocorra uma ampliação e um avanço em profundidade das questões aqui abordadas.

Referências

BUNGE, Mario. **La Ciencia**. Su método y su filosofía. 3ª edición. Buenos Aires: Editorial Sudamericana, 1998.

BUNGE, Mario. **Teoria e realidade**. São Paulo: Perspectiva, 1974.

CUPANI, A. & PIETROCOLA, M. A relevância da epistemologia de Mario Bunge para o ensino de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. 19: 100-25, 2002.

KRAPAS, Sonia et al. “Modelos: uma análise de sentidos na literatura de pesquisa em ensino de ciências”, **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 3, n. 2, 1997. Disponível em <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol2/n3/krapas.htm>. Acesso em: 12 de março de 2008.

MARTINAND, Jean Louis. Ensenñanza y aprendizaje de la modelizacion. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 4, nº1, 1986.

MARTINAND Jean.-Louis. Introduction à la modélisation. In : **Actes du séminaire de didactique des disciplines technologiques** (Cachan 1994-95), 1996, pp. 126-138.

PIETROCOLA, Maurício. Construção e Realidade: o realismo científico de Mário Bunge e o ensino de ciências através de modelos. **Investigações em Ensino de Ciências**. Porto Alegre. IFUFRGS. Vol. 4, nº 3. 1999.

PINHEIRO, Terezinha de Fátima; PIETROCOLA, Maurício; PINHO-ALVES, José. Modelização de variáveis: uma maneira de caracterizar o papel estruturador da Matemática no conhecimento científico. In: PIETROCOLA, Maurício (Org.). **Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora**. Florianópolis: UFSC, 2001. p. 33-52.

PORTIDES, Demetris. The Relation between Idealisation and Approximation in Scientific Model Construction. **Science & Education**, Netherlands, 2007, p. 699-724.