



Modelos na ciência segundo Bunge e a investigação baseada em modelos: aproximações e propostas de atividades

Models in science according Bunge and the model-based inquiry: approaches and activities

Modelos en ciencia según Bunge y la investigación basada en modelos: aproximaciones y actividades

Márlon Pessanha¹ 

RESUMO

Neste artigo, trazemos uma discussão sobre o papel dos modelos na construção do conhecimento científico e suas possíveis contribuições para o ensino de ciências. Para isso, pautamos a noção de modelo presente na filosofia da ciência de Mario Bunge, a aproximando das discussões sobre modelos e modelização na educação em ciências, em específico, em torno da abordagem de ensino "Investigação Baseada em Modelo" (MBI). Propomos um detalhamento de aspectos da MBI tomando como base aspectos da filosofia de Bunge e, por fim, apresentamos dois exemplos de atividades para o ensino de ciências, que contemplam as aproximações teóricas que propomos.

Palavras-chave: Modelos; Investigação baseada em modelos; Bunge.

ABSTRACT

In this article, we discuss the role of models in the construction of scientific knowledge and their possible contributions to science teaching. For this, we used the notion of model present in Mario Bunge's philosophy of science, bringing it closer to discussions about models and modeling in science education, specifically, the "Model-Based Inquiry" (MBI) teaching approach. We propose a detail of stages of MBI based on aspects of Bunge's philosophy and we present two examples of activities for teaching science, which include the theoretical approaches we propose.

Keywords: Models; Model-based Inquiry; Bunge.

RESUMEN

En este artículo discutimos el papel de los modelos en la construcción del conocimiento científico y sus posibles contribuciones a la enseñanza de las ciencias. Utilizamos la noción de modelo presente en la filosofía de la ciencia de Mario Bunge, acercándola a las discusiones sobre modelos y modelaciones en la educación científica, específicamente, al enfoque de enseñanza de la "Investigación basada en modelos" (MBI). Proponemos un detalle de etapas del MBI con base en aspectos de la filosofía de Bunge y presentamos dos ejemplos de actividades para la enseñanza de las ciencias, que incluyen los enfoques teóricos que proponemos.

Palabras clave: Modelos; Investigación basada en modelos; Bunge.

¹ Licenciado em Física, Mestre em Ciências Naturais, Doutor em Ciências e Docente da Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR), São Carlos/SP – Brasil. E-mail: pessanha@ufscar.br

1. INTRODUÇÃO

As ciências naturais passaram, no Século XX, por relevantes transformações, não somente no que se refere às bases dos seus conhecimentos, mas também envolvendo modificações na relação que o fazer científico possui com a realidade material que busca compreender. Como consequência, o século passado viu surgir uma preocupação com os significados de ciência e do fazer científico e um intenso debate no campo da filosofia da ciência emergiu: diferentes autores passaram a discutir a possibilidade ou não de avaliar as teorias científicas, defenderam a possibilidade ou não de demarcação do que seria ciência, trataram dos possíveis impactos das diferenças socioculturais nos significados sobre ciência e do fazer ciência, reconheceram ou rejeitaram as descontinuidades da ciência, reconheceram o papel dos métodos e dos modelos, entre outros (MELLADO; CARRACEDO, 1993; LORENZANO, 2011; CABOT, 2014; LOSEE, 2019). Assim, as ideias sobre o fazer ciência, tiveram, no Século XX, um ápice que, inevitavelmente, atingiria a educação em ciências.

Desde o final do século passado, o conceito de "natureza da ciência" passou a ser tratado por educadores, tendo como base os estudos de história, filosofia e sociologia da ciência, chegando a diferentes definições que foram se alterando conforme iam sendo debatidas pelos pesquisadores (MATHEWS, 1994; ABD-EL-KHALICK e LEDERMAN, 2000; PÉREZ et al. 2001; HODSON, 2014; MARTINS, 2015; BAGDONAS, 2015). Alinhados às possíveis definições sobre a natureza da ciência, os métodos foram postos em destaque como importantes para uma melhor caracterização da ciência. Em meio a essas discussões, percebeu-se que as visões "empírico-indutivista" e "dogmática e fechada" da ciência (PÉREZ; et al., 2001), inspiradas por epistemologias mais próximas de um "positivismo" ingênuo, que Chalmers (1993) caracterizou como o "senso comum da ciência", seriam inadequadas para descrever a complexidade do empreendimento científico, e deveriam ser problematizadas tanto na formação de professores de ciências quanto no próprio ensino de ciências na educação básica. Dessa percepção, concluiu-se que ensinar e aprender ciências envolveria, também, ensinar e aprender sobre o fazer ciência.

Entre os diferentes aspectos que são discutidos em meio às compreensões sobre ciência e sobre o fazer científico, um conceito que emergiu se apresenta com enorme potencial para o desenvolvimento de atividades em sala de aula: a noção de modelos e sua função na explicação do objeto científico. Seu potencial reside no fato de que a elaboração de modelos na ciência, como parte da construção de conhecimentos científicos e envolvendo a discussão de métodos, se apresenta como um caminho inspirador para pensar uma abordagem de ensino: a *investigação baseada em modelos*. Passamos a discutir a conceitualização de modelos segundo a visão epistemológica de Mario Bunge.

2. REFERENCIAL EPISTEMOLÓGICO: A VISÃO DE CIÊNCIA DE BUNGE

Tanto no uso acadêmico quanto em seu uso cotidiano, o termo modelo é polissêmico, sendo utilizado para designar diferentes objetos ou construções de ideias. Mesmo dentro de um campo do conhecimento específico é comum encontrarmos diferentes subtermos relacionados aos modelos. Na literatura em ensino de ciências, por exemplo, encontramos tipologias que incluem *modelos mentais*, *modelos científicos*, *modelos matemáticos*, *modelos teóricos*, *modelos analógicos*, *modelos conceituais*, *modelos consensuais*, *modelos pedagógicos*, *modelos escolares*, entre outros. Contudo, pode-se dizer que, apesar da polissemia do termo modelo, para muitos deles há um ponto de interseção: normalmente os modelos designam diferentes tipos de representações envolvendo um

conhecimento estruturado. Mais do que isto, um modelo é, fundamentalmente, uma produção humana que resulta da, e atua na construção de conhecimento.

Entre os diferentes autores do Século XX que buscaram, na filosofia da ciência, compreender o fazer científico, temos o argentino Mario Bunge. Segundo Pietrocola (1999), Bunge trata dos modelos na ciência ao discutir a própria constituição do conhecimento teórico na ciência.

Para Bunge (1972), o conhecimento científico é constituído por um conjunto de ideias que se vinculam entre si, ancoradas por regras lógicas e organizados por sistemas: as teorias. Os modelos são elaborados para fazer a articulação entre a realidade, ou seja, fatos, objetos, fenômenos da natureza, e as teorias. Bunge (1972, 1974) discute que, na atividade científica, a realidade é modelada a partir de um sistema relacional, em que um modelo é elaborado a partir de aspectos selecionados da realidade. A ciência não é, assim, uma cópia da realidade, mas uma explicação da realidade a partir de modelos que representam partes da realidade e que se articulam com uma teoria.

Para Bunge (1973) há três elementos fundamentais na teorização na ciência: a teoria geral, o objeto-modelo e o modelo teórico. No fazer científico, a realidade estudada é simplificada enquanto um objeto-modelo, em que características específicas relevantes são consideradas. O autor traz como exemplo, o qual também é destacado por Pietrocola (1999), o objeto-modelo para o sistema "Lua": um sólido esférico que gira em torno de seu próprio eixo e descreve uma órbita em torno da Terra. O objeto-modelo é descrito com base em características relevantes, relevância que é definida em função de aspectos teóricos pré-existentes, como aqueles provenientes de uma teoria geral (no exemplo para o sistema "Lua", a mecânica clássica). O objeto-modelo é, assim, uma simplificação intencional e racional da realidade, em que aspectos que são considerados irrelevantes para o estudo da realidade são desconsiderados (por exemplo, não seria relevante descrever a coloração acinzentada da Lua, os aspectos mitológicos a ela relacionados ou os sentimentos que ela desperta nos românticos). O modelo teórico, no exemplo citado, a teoria lunar, emerge enquanto uma explicação específica para o objeto-modelo estudado em termos da teoria geral tomada como base, neste caso, a mecânica newtoniana.

Assim, desde a perspectiva de Bunge, a ciência lida, não com a realidade direta, mas com representações esquemáticas da realidade na forma de modelos, em que aspectos relevantes para a compreensão da realidade são considerados em detrimento de outros, assumidos como não relevantes. Há, nesse caso, um processo analógico em que o análogo à realidade é composto a partir de recortes da própria realidade, chamado de modelo por Bunge.

Vale destacar que a ação do cientista ao modelizar, quando faz um recorte da realidade segundo aspectos teóricos, ocorre enquanto uma atividade psíquica. No entanto, conforme alertam Cupani e Pietrocola (2002), para Bunge as ideias dos cientistas são concebidas por um processo psíquico, mas sem se reduzir restritamente à própria atividade psíquica e à individualidade. Isso ocorre por haver, na atividade científica, uma objetividade alcançada pela coletividade da ciência (intersubjetividade) e pela relação entre o empírico e conceitual com os objetos da ciência: os objetos a serem estudados o são não somente pelos experimentos, mas também pela elaboração conceitual e modelizada da realidade, que é compartilhada socialmente no âmbito da comunidade científica.

Em suma, para Bunge, a modelização é a essência da atividade científica: começa com a simplificação do fato, fenômeno ou objeto do mundo, compondo um objeto-modelo, cuja função é oferecer uma imagem simbólica do real; o passo seguinte envolve um enriquecimento do objeto-modelo, lhe

atribuindo propriedades não sensíveis, em geral invisíveis, em uma íntima relação com uma teoria geral que permite uma descrição teórico-matemática; o enriquecimento resulta na construção de um enunciado, que é o modelo teórico, o qual é submetido a testes empíricos que poderão melhor validá-lo em relação à realidade que é estudada.

Nos campos da educação e da educação em ciências, o surgimento de um modelo teórico com sua origem em processos psíquicos é amplamente discutido, ainda que não se baseando na obra de Bunge. Um exemplo de grande destaque envolve a noção de "modelo mental", apresentada por Johnson-Laird (1983). Para o autor, um modelo mental é um análogo estrutural de coisas do mundo que se forma na mente das pessoas, na forma de réplica mental de parte de um conjunto de relações entre objetos e eventos (JOHNSON-LAIRD, 1983; 2010).

Na mesma linha, autores como Gilbert e Bouter (1995) e Coll, France e Taylor (2005), que também se pautam na psicologia cognitiva, afirmam que há na ciência a ação mais individual de construção de representações internas da realidade, que formam os modelos mentais. Indo além, os autores afirmam que esses modelos internos podem ser externalizados pela ação, fala, escrita ou outra forma simbólica, resultando em modelos expressos. Se um modelo expresso é estruturado e é submetido à comunidade científica, ele é chamado de modelo teórico. Para os autores, se um modelo teórico obtém a aceitação na comunidade de cientistas, após várias verificações, ele passa a ser modelo consensual, que quando em uso em uma dada época, também pode ser chamado de modelo científico. Conforme a ciência avança, caso o modelo teórico deixe de ser consensual, mas possua uma validade em um contexto histórico definido no passado, ele pode ser chamado de modelo histórico (um exemplo é o modelo atômico de Thomson, que em determinado período da história da ciência foi aceito para explicar a estrutura do átomo e a existência de elétrons em seu interior, mas que foi superado e reconhecido posteriormente como inadequado). Os autores afirmam que, no ensino de ciência, o conteúdo estudado é composto não somente por modelos científicos, mas também por modelos históricos.

Bunge (1969, 1972, 1974) não traz tantas definições de modelos como aquelas apresentadas por Gilbert e Bouter (1995) ou Coll, France e Taylor (2005). Contudo, podemos assumir que o que esses pesquisadores, que se pautam na psicologia cognitiva², definem como modelos mentais e modelos teóricos (e seus desdobramentos, tais como modelos consensuais, científicos e históricos) alinha-se com a noção de modelos teóricos de Bunge: em especial por envolver a sua validação na comunidade científica por meio da intersubjetividade. Assim, ainda que Bunge não descreva a atividade psíquica da ciência como envolvendo modelos mentais, é na atividade psíquica que os modelos teóricos se constroem, sendo para todos esses autores, algo estruturado, público e verossímil, passível de ser analisado por pares.

² Não é nossa intenção, neste artigo, estabelecer uma relação direta entre a psicologia cognitiva e a obra de Bunge. A aproximação neste artigo é delimitada e cumpre mais um papel didático na explicação. Vale destacar, inclusive, que há aspectos inconciliáveis entre as ideias de muitos autores da psicologia cognitiva e as ideias de Bunge. Por exemplo, em relação aos processos de construção de conhecimento, Bunge defende a existência, na ciência, de um método hipotético-dedutivo, representado pela articulação entre o objeto-modelo, o modelo teórico e teoria geral. Já na pesquisa em educação em ciências pautada nas ideias de Philip Johnson-Laird, a construção do conhecimento é muitas vezes vista como ocorrendo segundo um processo dedutivo, em que não se parte de uma interação com a realidade, mas de uma dedução pela racionalidade, em que se derivam pressupostos que, estes sim, poderão ser aplicados à realidade para serem confirmados ou não.

3. A INVESTIGAÇÃO BASEADA EM MODELOS

A discussão sobre o uso de modelos no ensino de ciências está atrelada a duas abordagens principais, uma que define a construção de modelos conceituais e científicos em sala de aula como uma forma de alfabetização científica; e outra que, se situando em uma perspectiva mais próxima da visão cognitivista, se aprofunda no estudo sobre a construção dos modelos mentais e da aprendizagem de modelos conceituais didatizados. Contudo, não são abordagens divergentes, de forma que as veremos não somente como possuindo, em alguns trabalhos, uma gênese e contexto comuns, mas também, em muitos casos, amparadas pelas mesmas noções principais.

Na primeira abordagem, em uma perspectiva do ensino e aprendizagem orientada à modelização, pesquisadores como Coll, France e Taylor (2005) afirmam que o papel crucial dos modelos na prática científica já é uma justificativa suficiente para a inclusão da discussão sobre modelos no ensino de ciências. Estes e outros autores (GOBERT; CLEMENT, 1999; KHAN, 2007; SCHWARZ; WHITE, 2005; VAN DER VALK; VAN DRIEL; DE VOS, 2007; HERNÁNDEZ; COUSO; PINTÓ, 2011) entendem que como o fazer científico consiste em propor e testar modelos, uma educação científica mais "autêntica" deveria, também, empregar processos em que os alunos testam e propõem modelos. Trata-se, portanto, de uma perspectiva que defende o ensino por modelização (ou uma investigação baseada em modelos) como uma necessidade de fundo epistemológico (aprender sobre como a ciência constrói conhecimentos).

Já na segunda abordagem, desde uma perspectiva cognitivista, a discussão dos modelos não explicita, necessariamente, o papel dos modelos na ciência, mas enfoca a construção de conhecimento pelo aprendiz e, logo, como parte do processo de aprendizagem. Nessa perspectiva, a construção de modelos mentais é discutida para descrever e caracterizar os processos, as facilidades e as dificuldades na aprendizagem (GRECA; MOREIRA, 2000). Tal perspectiva está bem representada no trabalho de Clement (2000), que chega a definir a aprendizagem como um processo recursivo em que os alunos constroem, modificam e aperfeiçoam os seus modelos mentais em direção a um modelo conceitual didatizado que é ensinado. Nesta perspectiva, se reconhece que os alunos chegam à sala de aula de ciências com diferentes experiências culturais, educacionais e pessoais e este conjunto de concepções e experiências influenciam na construção de seus modelos mentais. Ao avançar na direção de um modelo conceitual, de certa forma ocorre uma reorganização das estruturas cognitivas e os elementos que atuam nessa reestruturação são alvos de investigação da agenda cognitivista aplicada à aprendizagem.

Neste artigo, interessa-nos a primeira abordagem. Assim, ainda que no tópico anterior tenhamos estabelecido algumas relações com autores que têm como base a perspectiva cognitiva, na qual não nos situamos, assumimos que trazer uma discussão de modelos na educação em ciências possui relevância, pois isso permite uma melhor compreensão da própria ciência e da construção do conhecimento científico. Assim como o faz Pietrocola (2002), assumimos que há a necessidade, no ensino de ciências, de reflexões mais profundas sobre a atividade científica, de modo a permitir reconhecê-la como uma construção humana e superar visões ingênuas de ciência que a tomam como verdade definitiva e como possuindo uma lógica restritamente empirista.

Um dos caminhos que vêm tratando essa abordagem na literatura em educação em ciências é a *Investigação Baseada em Modelo* (MBI³). A MBI é proposta como uma estratégia em que os alunos

³ Optamos por utilizar a sigla MBI, que faz referência ao termo em inglês, "Model-based Inquiry".

se envolvem em uma atividade investigativa de elaboração, teste e revisão de modelos científicos. A nosso ver, consiste em uma estratégia potente, que permite contemplar, no ensino, conteúdos científicos factuais e conceituais, mas também procedimentais e atitudinais (ZABALA, 1998) relacionados com o fazer científico. Ou seja, consiste em uma estratégia de ensino que pode levar a uma aprendizagem não somente da ciência, mas também sobre os modos como a ciência constrói conhecimento. Vale destacar que há, em alguns estudos específicos de uso da MBI, conforme destacam Bolger et al (2021), em que o “fazer ciência” se torna o objetivo central de aprendizagem, sem que se tenha um modelo científico alvo a ser alcançado. Nesse caso, se prioriza o desenvolvimento, em sala de aula, de práticas mais científicas, buscando somente que os alunos desenvolvam capacidades de justificar as decisões durante a modelização com base em evidências, e de analisar a plausibilidade de modelos concorrentes.

Nos últimos anos, o uso da MBI vem sendo estudado em diferentes contextos e envolvendo diferentes objetivos de pesquisa. Por exemplo, a MBI tem sido utilizada para investigar o envolvimento dos alunos em práticas científicas no ensino superior, em torno do tema de evolução em Biologia (BAZE; GRAY, 2018); na pesquisa sobre o ensino envolvendo questões ambientais e as mudanças climáticas (GRIFFITH; KOZICK-KINGSTON, 2022); na investigação sobre o papel de instrutores em aulas experimentais (COOPER et al, 2022); na pesquisa sobre o desenvolvimento do pensamento crítico de professores em formação (DANLADI; NWOSU; GUMEL, 2019), entre outros.

Entre os trabalhos que têm conseguido algum destaque, sendo referenciado em muitos artigos, há o de Windschitl, Thompson e Braaten (2008). Os autores, ao tratarem de um ensino investigativo pautado na MBI, defendem que o ensino de ciências na escola deveria envolver cinco características epistêmicas do conhecimento científico: testável, revisável, explicativo, conjectural e generativo. O Quadro 1, a seguir, descreve cada uma delas:

Quadro 3. Características epistêmicas do conhecimento científico. Adaptado de Windschitl, Thompson e Braaten (2008, p.944)

Característica epistêmica	Descrição
Testável	O conhecimento científico, que é estruturado na forma de modelos ou teorias, progride por meio da proposição e avaliação (segundo métodos variados) de novas hipóteses que descrevem conexões entre eventos, processos ou propriedades dentro dos próprios modelos ou teorias.
Revisável	As ideias científicas podem sofrer alterações quando novas evidências surgem ou quando um fenômeno é conceitualizado de maneira completamente distinta
Explicativo	A ciência se dedica, não a procurar simples padrões ou acumular detalhes descritivos de fenômenos. Em lugar disso, ela busca fornecer relatos causais para eventos e processos.
Conjectural	As explicações causais, frequentemente, envolvem processos teóricos ou não fornecidos diretamente aos sentidos, que só podem ser inferidos pelos dados da experiência empírica. Além disso, a argumentação na ciência busca, pela persuasão, convencer que as explicações que derivam destas inferências são as que melhor explicam os fatos, objetos ou fenômenos
Generativo	O conhecimento científico não representa simplesmente os resultados ou “produtos” finais de pesquisas. Expresso na forma de modelos e teorias, ele exerce um papel fulcral na mobilização de novas previsões e insights sobre fenômenos e de novas hipóteses para teste.

Assumimos que é inevitável estabelecer algumas relações entre as características epistêmicas e as ideias de Bunge. Um modelo teórico, que se constrói na relação com a realidade, deve ser capaz de ser testado, o que ocorrerá mediante o estabelecimento de hipóteses que decorrem do modelo. Essas

hipóteses poderão ser testadas sob a perspectiva da teoria geral e dos objetos-modelo que amparam a elaboração do modelo teórico. Sendo feitos também por terceiros, e não somente por quem os propõem, os testes abrem espaço para possíveis revisões do modelo teórico. O aspecto explicativo, por sua vez, é inerente à concepção do modelo teórico: se despreendendo de características imediatas do objeto-modelo, ainda que não as excluindo, os modelos teóricos são capazes de permitir a explicação de acontecimentos e processos e, além disso, podem permitir a formação de conjecturas. Por fim, um modelo teórico, que é um enriquecimento do objeto-modelo, é capaz de permitir previsões (por exemplo, no caso da teoria lunar, permite a previsão das fases da Lua e de Eclipses).

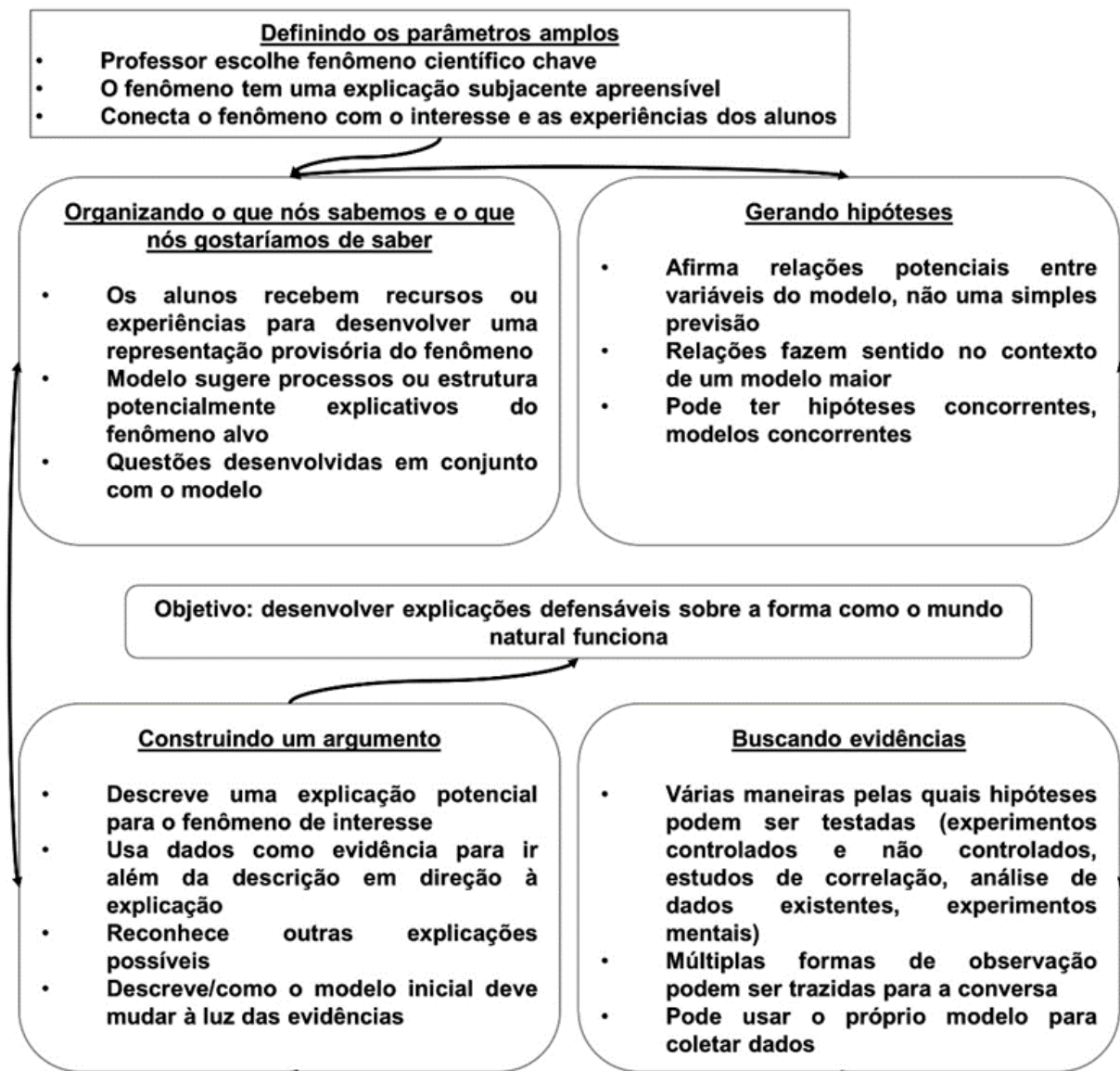
Para nós, há uma aproximação a mais que fazemos entre o MBI, segundo Windschitl, Thompson e Braaten (2008), e as ideias de Bunge: os autores que tratam da MBI propõem momentos de diálogo (chamadas por eles de "conversations") no desenvolvimento das atividades. Windschitl, Thompson e Braaten (2008) propõem quatro momentos de diálogo (Figura 1), os relacionando com as cinco características epistêmicas supracitadas (Quadro 1). Esses quatro momentos de diálogo permitiriam o desenvolvimento da MBI e estariam mais próximos de uma atividade e um raciocínio científicos em sala de aula.

Para os autores, sua proposta pautada em diálogos é capaz de envolver os alunos em discursos que incorporam as características epistêmicas do conhecimento científico, permitindo que eles compreendam o conteúdo. Indo além, com um interesse pedagógico, os autores afirmam que a proposta permitiria aos alunos que respondessem a uma pergunta que nem sempre é respondida prontamente por eles: "*Por que estamos fazendo esta atividade?*".

Um passo que nos parece importante no desenvolvimento desta proposta (resumida na Figura 1), que não está incluído entre os quatro momentos de diálogo, é a etapa que os autores chamam como "Definindo os parâmetros amplos". Para eles, caberia ao professor definir os limites do que será estudado, se baseando no interesse dos alunos e na importância científica das ideias envolvidas. Essa importância das ideias, segundo Windschitl, Thompson e Braaten (2008), reside na possibilidade do que é tratado em aula prover aos alunos ferramentas conceituais para interpretar mais e melhor aquilo que eles veem em seu cotidiano, sendo possível aplicar em diferentes contextos.

Entendemos que essa etapa preliminar, desenvolvida pelo professor, coincide com a própria organização do ensino segundo as intencionalidades didáticas. Consiste em um processo de planejamento do ensino em que são feitas escolhas didáticas segundo seus objetivos, os quais são definidos em termo dos fatos, conceitos, atitudes e procedimentos científicos que são alvo de ensino. Outro aspecto que julgamos relevante é a definição de um problema que seja reconhecido como tal pelos alunos. O problema, envolvendo um fenômeno ou fato, pode ser moldado em uma perspectiva mais conceitual (por exemplo, "como explico o subir e descer de um submarino?") ou sociocientífica (por exemplo, "como explico a coloração verde de um lago localizado em uma região de indústrias?"). Para os alunos, durante a modelização, reconhecer uma problematização de fundo, seja em um sentido mais exclusivamente científico ou sociocientífico/ambiental é, de certa forma, um caminho para conseguir elencar, no fenômeno ou objeto de estudo, aquelas características que parecem ser relevantes, com base em algum conhecimento mais estruturado.

Figura 1. Os quatro momentos/formas de diálogo interrelacionados que amparam a MBI.



Traduzido e adaptado de Windschitl, Thompson e Braaten (2008, p. 955).

Em uma aproximação com as ideias de Bunge, o processo de modelização no ensino se iniciaria, de fato, na primeira interação prevista pelos autores: "organizando o que nós sabemos e o que gostaríamos de saber". Conforme pode ser notado na Figura 1, é proposto aos alunos que representem o fenômeno em estudo, na forma de um modelo simplificado da estrutura e processos envolvidos no fenômeno. Essa representação na forma de um modelo, na perspectiva de Bunge, não deve se apegar a uma simples descrição do fenômeno, mas sim deve ser resultado de uma análise, tendo como base aspectos teóricos pré-existentes, permitindo constituir um objeto-modelo, em relação ao qual um modelo teórico será elaborado. A nosso ver, tal etapa de interação constitui uma etapa fundamental tanto para o desenvolvimento da MBI, quanto para a incorporação das ideias de Bunge no ensino.

Em suma, propomos que nesse primeiro momento de diálogos, que pode ser realizado enquanto uma atividade organizada em grupos, sem envolver toda a turma, os alunos se dediquem a um processo interativo em que busquem reconhecer as características que, para eles, parecem ser relevantes para a compreensão do que observam, tendo como parâmetro algum conhecimento mais estruturado. Uma vez que conseguem definir o objeto-modelo, o processo de construção de um modelo teórico se

intensifica, por meio da elaboração de processos e de uma estrutura conceitual explicativa, podendo pautar ainda questões que podem ser elaboradas em conjunto com o modelo. Windschitl, Thompson e Braaten (2008, p. 957) propõem diferentes perguntas como mobilizadoras da modelização, tais como: "O que achamos que já sabemos sobre esta situação, processo ou evento?"; "Quais dos elementos do que sabemos são baseados em observações? Inferência? Outras fontes de informação?"; "Nosso modelo é puramente descritivo da situação, processo ou evento, ou possui partes que tentam explicar o que está acontecendo?"; "Que perguntas o modelo nos ajuda a fazer?"; etc.

As interações subsequentes apresentadas na Figura 1, ainda que relevantes, são consequência do primeiro momento de diálogo. Para as demais interações, entendemos como potencial uma alternância entre interações em grupo e outras envolvendo toda a turma. Por exemplo, uma vez definido um modelo teórico, é esperado que ele permita gerar hipóteses que poderão ser testadas, o que pode ser feito inicialmente em grupo. O passo em que se define que "pode haver hipóteses concorrentes" pode ocorrer a partir do compartilhamento do modelo teórico e das hipóteses envolvendo uma interação com toda a turma. Permeia essas interações, um processo hipotético-dedutivo que, conforme argumentado por Bunge (1969), permitirá tanto uma explicação aproximada de parte da realidade, quanto, em uma comunidade científica (que é simulada na dinâmica de sala de aula), começar a colocar em xeque as construções teóricas.

Em nosso entendimento, as etapas posteriores envolvendo a busca de evidências, o que inclui a definição de métodos e experimentos para testar as hipóteses, e a construção do argumento, podem ocorrer prioritariamente em grupo. Desse modo, os grupos poderão aperfeiçoar seus modelos, os retificando com base em novas evidências ou os confirmando. Há, de todo modo, a necessidade da elaboração de argumentos que permitam apresentar explicações defensáveis sobre como o mundo funciona, especificamente em torno do modelo teórico e das hipóteses até então tratadas.

Ainda que não seja explicitado no esquema de Windschitl, Thompson e Braaten (2008), um fechamento da atividade, na forma de debate envolvendo os grupos de alunos, em que haverá, de fato, a defesa das explicações e dos modelos, parece pertinente. No uso que fazemos da proposta dos autores, tendo em vista o objetivo geral apresentado no próprio esquema, temos desenvolvido um momento final de interação que envolve, justamente, um debate. Esse quinto momento de diálogo, nos parece torna-se o ápice da ação intersubjetiva que, para Bunge, torna o conhecimento gerado mais objetivo.

4. EXEMPLOS DE ATIVIDADES DE MBI NO ENSINO DE CIÊNCIAS

Em nossa experiência com a formação docente e com projetos envolvendo o ensino de ciências na educação básica, temos desenvolvido atividades alicerçadas na Investigação Baseada em Modelo (MBI) e em aspectos da filosofia da ciência de Mario Bunge. Neste artigo, apresentamos duas atividades que foram elaboradas pelo Laboratório de Projetos e Atividades Didáticas (Lapadi)⁴ da Universidade Federal de São Carlos.

⁴ <http://www.lapadi.ufscar.br/>

Atividade: "O mistério da caixa separadora de bolas"

Uma primeira atividade que elaboramos, que vem sendo realizada principalmente em disciplinas e cursos de formação de professores de ciência, tem como intuito discutir o papel dos modelos na interpretação da realidade. A atividade não traz uma situação ou um problema genuinamente científico, no que se refere a uma possível relação com fatos ou fenômenos estudados diretamente pela ciência. Tampouco envolve um problema sociocientífico. Contudo, traz um problema em nível conceitual que, de forma sistemática, permite incorporar aspectos da MBI e das ideias de Bunge.

A atividade tem como base uma caixa (apresentada na parte de cima da Figura 2), em que podem ser inseridas, por um orifício em sua face superior, esferas de tamanhos diferentes. São utilizadas, na atividade, esferas de três tamanhos, conforme se pode ver na parte inferior da Figura 2. Quando inseridas, as esferas podem sair da caixa por duas saídas laterais (saídas 1 e 2 na Figura 2).

Figura 2: caixa separadora de bolas e esferas.



Autoria própria.

Conforme as esferas vão sendo inseridas na caixa, repetidas vezes, é possível perceber que há algum padrão: a esfera maior sempre sai pela saída 1 (Figura 3, à esquerda); já a esfera de tamanho médio sai quase sempre pela saída 2 e, eventualmente, como mostra a Figura 3 (ao centro), se dirige à saída 1; já a esfera menor sai, na maioria das vezes, pela saída 2 e, muito raramente, pela saída 1 (Figura 3, à direita)⁵.

Figura 3: Três situações de esferas saindo da caixa.



Autoria própria

⁵ Vídeos demonstrando o uso do aparato estão disponíveis em: https://www.lapadi.ufscar.br/caixa_preta/. Acesso em 14 fev 2024.

As bolas saindo da caixa envolvem fenômenos que têm um problema (uma inquietação) de fundo: *como a caixa separa as bolas?*

Um aspecto relevante no desenvolvimento desta atividade é que, mesmo na observação inicial do fenômeno, é permitido aos alunos (divididos em grupos) um breve período para a manipulação, sendo possível lançar as esferas. Os alunos não devem, contudo, olhar o interior da caixa (uma realidade “escondida”). Por esse motivo, inclusive, a caixa possui pedaços de papel que impedem que se observe seu interior pelos furos superior e laterais.

Tendo como base a proposta de desenvolvimento de atividades MBI de Windschitl, Thompson e Braaten (2008) e as ideias de Bunge, um procedimento é proposto para a realização da atividade (Quadro 2):

Quadro 2. Momentos do desenvolvimento da atividade “O mistério da caixa separadora de bolas”

Momentos		Descrição
Momento 0 (parte do planejamento didático)	Definindo parâmetros amplos	O fenômeno da realidade, que pode assumir um caráter científico, é a separação de esferas pela caixa. A explicação envolve aspectos relacionados com a mecânica de movimentos e a estrutura material do objeto. Há, assim, uma explicação apreensível.
Momento de interação 1	Organizando o que nós sabemos e o que nós gostaríamos de saber	Os alunos são divididos em grupos de até 4 componentes. Cada grupo receberá um kit com uma caixa e esferas. Após uma manipulação inicial que se assemelha a uma contemplação do fenômeno parcialmente controlado, os alunos de cada grupo devem dialogar entre si. Seguindo uma perspectiva bungeana, os alunos devem analisar quais aspectos da realidade (objeto ou fenômeno) são relevantes segundo uma teoria geral. Em meio aos diálogos, é esperado que os alunos reconheçam o fenômeno como tendo um potencial explicativo dentro do domínio da mecânica clássica (teoria geral). Diante disso, um objeto-modelo (características relevantes, envolvendo processos e estrutura) deverá ser moldado. É comum, no desenvolvimento da atividade com a caixa, reconhecer aspectos como o tamanho das esferas como relevante, assim como é comum reconhecer que o material (madeira) da caixa e sua cor não são relevantes.
Momento de interação 2	Gerando hipóteses	Tendo como base os objetos-modelo, cada grupo deverá verificar que variáveis estão envolvidas e o que poderá ocorrer segundo a interrelação das variáveis com as características do modelo teórico a ser construído. Por exemplo, se é estabelecida uma relação em que a velocidade com que uma esfera entra na caixa permite que ela vá para a saída 1, hipóteses poderão ser elaboradas segundo esse aspecto. Uma vez estabelecido, em cada grupo, o modelo teórico, seu alcance explicativo e suas hipóteses, esse momento de interação poderá prever uma extensão da interação dos grupos para toda turma, de modo a explicitar hipóteses e modelos concorrentes.
Momento de interação 3	Buscando evidências	Nesse momento, os grupos poderão propor experimentos para testar as hipóteses, sejam elas relacionadas com as variáveis do modelo teórico, assim como relacionadas com a representação estrutural do objeto da realidade e o objeto-modelo correspondente. Nesse momento de interação,

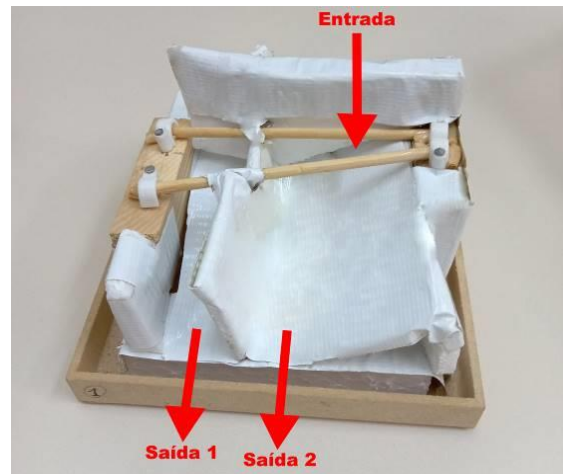
		<p>materiais poderão ser disponibilizados aos alunos, para que eles, em grupos, coloquem o modelo teórico em xeque. Por exemplo, poderão ser montadas caixas sem a parte superior, com objetos como pequenas rampas, palitos, pedaços de papelão, entre outros, conforme o solicitado pelos grupos. O intuito desse momento é experimentar a realidade, mas segundo um experimento concebido intencionalmente para representar o modelo teórico.</p>
Momento de interação 4	Construindo um argumento	<p>Tendo como base os dados coletados e as observações feitas no momento precedente, os alunos poderão, em grupos, organizar seus argumentos em favor do modelo teórico que criaram. Na elaboração da argumentação poderá ocorrer a redefinição do modelo teórico, com sua reelaboração e de suas relações. Por exemplo, é comum que os alunos elaborem um modelo teórico que se baseia, estruturalmente, em planos inclinados com furos pelos quais uma esfera pode ou não cair, segundo o seu tamanho. Contudo, ao realizar um experimento ancorado nesta ideia, também é comum que os alunos percebam, rapidamente, que uma esfera com diâmetro superior ao do furo na suposta rampa ficará preso nesse furo, ao invés de prosseguir o seu movimento. A evidência, nesse caso, remete à necessidade de uma reconfiguração estrutural/material do modelo teórico.</p>
Momento de interação 5 (Fechamento)	Debate com explicações defensáveis	<p>Para o 5º momento de interação, propomos que os grupos se envolvam em um debate sobre seus modelos teóricos, se pautando em uma argumentação ancorada em evidências empíricas. O professor cumpre um papel relevante de mediação dessa interação, ao mesmo tempo em que a direciona a discussão para um modelo consensual. Por exemplo, poderão ser contrastados os modelos envolvendo lançamentos que consideram ou não a velocidade, que se remetem ou não a estruturas específicas como rampas e furos, entre outros.</p>

Após o debate, a estrutura da caixa e um modelo teórico básico para seu funcionamento poderão ser apresentados. Consiste em um momento de revelação da realidade escondida, que pode ou não ser feita. Nas realizações da atividade com licenciandos e professores, optamos por revelar o interior da caixa, seja para confirmar um modelo, ao final de toda a atividade, seja para direcionar o modelo, quando as discussões divergem da estrutura e processos que definem o fenômeno envolvido na separação das esferas.

Nas implementações que já fizemos da atividade, os objetos-modelo que são elaborados costumam possuir uma descrição mais estrutural, se remetendo parcialmente a uma "teoria geral" mais restritamente ligada a uma estrutura mecânica de caráter técnico. Contudo, é comum que os licenciandos e professores reconheçam características, de fato, relevantes como o tamanho das esferas e a velocidade do lançamento, conectando o objeto-modelo com aspectos da mecânica clássica. O modelo teórico que é elaborado, ao final, quase sempre permite uma explicação parcial do fenômeno, por exemplo envolvendo rampas com furos ou, se aproximando mais da realidade escondida, envolvendo algum aparato com uma abertura com aumento gradual ao longo da trajetória das esferas no interior da caixa. Vale destacar que, durante as discussões, não é incomum a proposta de modelos teóricos mais complexos, com dispositivos eletrônicos com chaveamentos baseados em medidas feitas com o uso de sensores. E nossas implementações, estes modelos teóricos tenderam,

contudo, a serem descartados nas interações, principalmente, nos momentos 4 e 5. De modo a facilitar a reprodução da atividade, apresentamos, na Figura 4, uma foto da parte interior da caixa.

Figura 4: interior da caixa separadora de esferas.



Autoria própria

Como pode ser observado na Figura 4, dois palitos são posicionados com um ângulo entre si, o que lhes permite uma abertura progressiva. Com isso, ao deslizarem pelos palitos, quanto menor for o diâmetro das esferas, mais próximo do vértice entre os palitos elas conseguirão cair pelo vão. Desse modo, enquanto esferas menores tendem a cair primeiro e seguir em direção à saída 2, as esferas maiores só conseguirão cair no vão que dá acesso à saída 1. Vale destacar que, em alguns casos, a depender da forma e velocidade com que as esferas média e pequena são lançadas, elas poderão deslizar sobre um dos palitos e alcançar o vão que dá acesso à saída 1.

Atividade: "Isolamento acústico"

Esta atividade é parte de uma sequência didática intitulada "Música e propriedades acústicas dos materiais", que foi elaborada por uma equipe de trabalho formada por professores, licenciandos e pesquisadores. A atividade, assim como a sequência didática da qual ela é parte, foi elaborada para ser desenvolvida em turmas de Ensino Médio.

A atividade parte de um problema em nível conceitual: "Como materiais podem interferir na atenuação do som?". O questionamento tem, como pano de fundo, uma história de uma banda que é narrada ao longo de toda a sequência didática. A história permite uma conexão entre as atividades, na medida em que elenca aspectos de acústica em sua relação com a música. Na parte específica em que há a atividade "Isolamento acústico", a história narra problemas que a banda enfrenta com o isolamento acústico do local em que ensaiam: a garagem da casa do vocalista. O enredo da história leva ao questionamento sobre que materiais poderiam ser utilizados para revestir as paredes da garagem de modo a se conseguir um isolamento acústico mais efetivo. Desse modo, um problema é posto, permitindo o estudo das propriedades acústicas dos materiais. A atividade é organizada tendo como base a MBI, conforme apresentado no Quadro 3:

Quadro 3. Momentos do desenvolvimento da atividade “Isolamento acústico”

Momentos		Descrição
Momento 0 (parte do planejamento didático)	Definindo parâmetros amplos	O fenômeno científico definido é a propagação do som e sua atenuação em diferentes meios, em especial em sólidos, assim como a reflexão do som por superfícies. A atenuação do som em sólidos pode ser explicada em termos de propriedades dos materiais, tais como porosidade e rigidez. Consiste, portanto, em um fenômeno com explicação apreensível.
Momento de interação 1	Organizando o que nós sabemos e o que nós gostaríamos de saber	Os alunos, divididos em grupos com 4 integrantes, dialogam sobre dois fenômenos: a propagação do som quando uma campainha (buzzer) toca e não há obstáculos entre ela e quem ouve o seu som, e a propagação quando há um obstáculo (paredes de uma caixa que envolve a campainha). Estabelecendo uma relação com a história da banda, que acompanha todas as atividades, é feito o questionamento sobre como diferentes materiais podem ser utilizados para atenuar o som, permitindo um isolamento acústico. Os alunos devem, após a apresentação do fenômeno, iniciar a modelização, definindo qual domínio teórico é propício para a interpretação e explicação do fenômeno. É esperado que os alunos reconheçam a acústica e seu tratamento ondulatório como uma teoria geral útil. Com base na acústica, o objeto-modelo é desenvolvido, sendo possível que aspectos como espessura do material isolante, sua forma, o tipo do material, entre outros, sirvam de base para chegar ao objeto-modelo e seu modelo teórico. Uma vez elaborado o modelo teórico, ele deverá ser capaz de gerar questionamentos que o levem a uma maior coerência interna, conduzindo ainda para o próximo momento.
Momento de interação 2	Gerando hipóteses	Nesse segundo momento de interação, os alunos poderão elaborar hipóteses testáveis, considerando variáveis interrelacionais. Por exemplo, os alunos podem elencar variáveis relacionadas com os tipos de materiais que devem ser adequados enquanto isolantes acústicos e que propriedades deveriam ter. O modelo teórico deverá, nesse momento, ser capaz de explicar diferentes situações que, em geral, são postas pelos próprios alunos. Como previsto na proposta, o momento é finalizado com um diálogo envolvendo toda a turma, em que os modelos concorrentes e suas hipóteses sejam reconhecidos e contrastados.
Momento de interação 3	Buscando evidências	Iniciando outro momento de interação, dessa vez novamente com diálogos nos grupos, os alunos deverão pensar em métodos para testar as hipóteses. Enquanto uma atividade com grau de abertura de investigação não totalmente aberto, aos alunos é apresentado um aparato experimental que permitirá comparar diferentes materiais. No aparato, um som é gerado no interior de uma caixa com ou sem algum isolamento. Antes de executar o experimento, pautado no modelo teórico elaborado, os alunos poderão definir hipóteses e, com o experimento, validar, ou não, aspectos do modelo. O modelo deve, nesse experimento, guiar a coleta de dados.
Momento de interação 4	Construindo um argumento	Após executar o experimento proposto, ainda nos grupos, os alunos iniciam a elaboração de suas argumentações, tendo como base as evidências experimentais. O modelo teórico poderá ser confirmado e justificado, ou mesmo poderá ser retificado. Ainda que o experimento possua um tratamento mais qualitativo, com somente alguns apontamentos quantitativos, ele deve permitir a consolidação ou reformulação do modelo, ao mesmo tempo em que permitirá sua explicação detalhada em torno de características do fenômeno, de sua estrutura e de seus objetos.

<p>Momento de interação 5 (Fechamento)</p>	<p>Debate com explicações defensáveis</p>	<p>Para finalizar a atividade, é estabelecido um debate entre os grupos. A partir da argumentação, é esperado que as discussões sejam conduzidas a uma concepção da atenuação do som por materiais como ocorrendo segundo propriedades como porosidade, densidade, rigidez, entre outros. Ademais, é esperado que tais características se consolidem de forma interrelacionada e em torno de fenômenos reais de isolamento e atenuação do som, em especial aqueles presentes no cotidiano.</p>
--------------------------------------------	-------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Conforme descrito no Quadro 3, os fenômenos inicialmente tratados, na forma de uma inquietação, são os sons de um buzzer quando há, ou não, um anteparo entre este e quem o escuta. Há uma relação analógica com a situação apresentada em uma história (a banda que ensaia em uma garagem). A partir do fenômeno, conforme os momentos de interação ocorrem, os alunos, divididos em grupos, iniciam o processo de modelização a partir da inquietação apresentada e sua relação com a história. Os alunos costumam apresentar explicações diversificadas, relacionadas com discussões anteriores sobre as propriedades de ondas sonoras, incluindo imprecisões ou equívocos.

Após apresentarem as explicações iniciais, os alunos se concentram em identificar que características seriam relevantes para o entendimento do fenômeno, chegando a um objeto-modelo que possui, como base para sua elaboração, aspectos de ondulatória (teoria). Na atividade, os objetos-modelo elaborados, por envolverem uma interseção entre os dois fenômenos (a situação da banda e o buzzer na caixa), de certa forma facilita a elaboração de hipóteses testáveis. Assim, há um direcionamento para uma prática experimental que estaria baseada em aparatos específicos envolvendo caixas.

Como se percebe no Quadro 3, a atividade envolve dois momentos em que aparatos são utilizados. Em um primeiro momento, para uma apresentação do fenômeno, uma campainha é acionada, emitindo um som. O fenômeno é apresentado sob duas condições: com a campainha à mostra e com a campainha dentro de uma caixa com isolamento acústico de EVA. No segundo momento, é utilizado um aparato semelhante, com algumas variações em sua estrutura, e uma experimentação é realizada.

O aparato e a própria atividade experimental são inspirados em uma prática experimental direcionada ao ensino de propriedades acústicas dos materiais, proposta e estudada por Hernández, Couso e Pinto (2011). Tendo como pano de fundo uma inovação curricular que previa inserção de tópicos de ciências dos materiais na educação secundária catalã (Espanha), as autoras propuseram uma prática e um aparato que permitia analisar o isolamento acústico com o uso de diferentes materiais. As autoras se pautavam em um ensino que considera os modelos e o processo de modelização, em que teorias e modelos permitiriam interpretar, prever e explicar eventos do mundo material. Ainda que as autoras não recorressem explicitamente às propostas de ensino envolvendo modelos mais estruturadas, como a MBI, elas definiram uma atividade que, em certa medida, explorava a modelização do mundo material. Além disso, a realização da atividade experimental possuía uma ênfase maior na experimentação controlada, mediante a coleta e análise de dados quantitativos, com o uso de computadores e medidores de nível sonoro.

Em nossa atividade, utilizamos um aparato experimental semelhante ao proposto pelas autoras. Contudo, seguimos o procedimento citado no Quadro 3 que, ainda que envolva a coleta e análise de dados em um dado momento, é desenvolvido em torno de ciclos de interação, conforme previsto por Windschitl, Thompson e Braaten (2008). Além disso, diferenciando nossa atividade daquela proposta

por Hernández, Couso e Pintó (2011), assumimos uma análise mais qualitativa, ainda que com medidas quantitativas que funcionam como simples indicadores⁶.

O aparato experimental utilizado em nossa atividade, que se assemelha ao proposto por Hernández, Couso e Pintó (2011), consiste em uma caixa que possui suas paredes internas revestidas por um material (Feltro, EVA ou isopor) ou sem revestimento. Na realização do experimento, uma campainha (buzzer ativo alimentado por pilhas) é colocado no interior de cada caixa. Na área externa da caixa, em um espaço designado com a marcação em uma folha (para posicionar medidor e caixa), é utilizado um tablet com um aplicativo de medição de nível sonoro (decibelímetro). As medições do nível sonoro para cada caixa, segundo o tipo de revestimento que possui, ou não, são analisadas, permitindo validar hipóteses e modelos teóricos em construção. A Figura 5 apresenta uma foto (à esquerda) de uma das caixas, revestida com EVA, e uma foto do experimento sendo realizado por um grupo de alunos (à direita).

Figura 5: Experimento para verificar a atenuação do som. À esquerda, uma das caixas utilizadas, com revestimento de EVA. À direita, um grupo de alunos efetuando medidas do nível sonoro na área externa da caixa.



Autoria própria

Como podemos notar, a MBI é organizada nesta atividade segundo um caráter mais experimental, o que, de certo modo, permite reconhecer evidências mais facilmente, mas que são percebidas como tal somente a partir de um modelo teórico predefinido. Isso ocorre pois, como já comentamos neste artigo, há um procedimento hipotético-dedutivo na construção do conhecimento, assim como defendido por Bunge como presente no fazer científico. Ao final da atividade, os alunos chegam a modelos teóricos mais elaborados que contemplam, entre outros aspectos, a atenuação de som, que inclui reflexão e absorção, com o uso de diferentes materiais, reconhecendo a propagação esférica em torno da fonte e a atenuação ocorrendo na interface entre dois meios. O modelo teórico elaborado pelos alunos costuma contemplar, também, aspectos relacionados com a densidade e a elasticidade dos materiais isolantes, estabelecendo alguma relação que indica que materiais mais densos e com maior elasticidade possuem maior atenuação. Ainda que não seja objetivo de nossa atividade, assim como propõe Hernández, Couso e Pintó (2011), aspectos mais elaborados do modelo teórico, como a impedância acústica e as propriedades elásticas e inerciais dos materiais podem ser exploradas.

⁶ Em nossa atividade, não realizamos medidas do som no interior da caixa, uma vez que aspectos da atenuação do som foram discutidos a partir da comparação entre os diferentes materiais. As autoras, por outro lado, propõem um procedimento em que o nível sonoro é medido na parte interna e externa da caixa, para uma análise quantitativa do processo de atenuação e isolamento acústico, efetuando ainda cálculos específicos que são parte do arcabouço teórico da acústica dos materiais.

5. ALGUMAS CONSIDERAÇÕES

Neste artigo, buscamos apresentar algumas possíveis contribuições da noção de modelos na construção da ciência para a educação em ciências, nos amparando na visão epistemológica de Mario Bunge. Do âmago da própria área de educação em ciências, relacionando com as ideias bungeanas, discutimos a proposta de uma Investigação Baseada em Modelos (MBI). Conceitos como objeto-modelo, teoria geral e modelo teórico, entre outros, nos foram úteis.

Apresentamos, ao final do artigo, dois exemplos de atividades que temos realizado no ensino superior e na educação básica (Ensino Médio). Vale destacar que os exemplos citados possuem uma relação mais internalista com a ciência: suas problematizações emergem mais como inquietações fenomenológicas da própria ciência, do que como problemas ou situações sociocientíficas. Ainda que não tenhamos exemplificado algo nesse sentido, destacamos que, nos últimos anos, temos proposto atividades com uma problematização relacionada com questões sociais, de saúde e ambientais, que se apresentam como pertinentes de discussão na educação científica. Como exemplo, já desenvolvemos atividades, em conjunto com professores atuantes na educação básica, relacionadas com: problemas socioambientais em torno da poluição olfativa causada por uma indústria de suco; problemas envolvendo a eutrofização em um rio e um contexto específico; problemas éticos e ambientais relacionados com opções de geração de energia e matriz energética; problemas de saúde pública em torno das vacinas; problemas relacionados com o conforto térmico de casas e suas relações com a ciência e a arquitetura; entre outros.

A proposta que trazemos neste artigo visa aproximar as ideias de Bunge a um desenho metodológico de MBI que têm se mostrado efetivo. Destaca-se que este artigo não consiste em um trabalho empírico, que visasse uma análise pormenorizada da aplicação das atividades. Ainda que diversas situações reais de sala de aula tenham ocorrido envolvendo a implementação das atividades propostas, este trabalho consiste em uma discussão teórica mais pontual, em torno de propostas de modelagem científicas em atividades de ensino e do papel da modelização na ciência e na educação científica. Por mais que não tenhamos trazido detalhamentos sobre as implementações, temos percebido que as atividades pautadas pelas ideias de Bunge, segundo o modelo de MBI apresentado, tem permitido um desenvolvimento satisfatório de argumentações em sala de aula, em torno da formação e desenvolvimento de modelos explicativos. Nossas impressões, indo ao encontro do que vem sendo tratado na literatura acadêmica, nos levam a crer que a MBI é uma estratégia investigativa promissora no ensino de ciências, em especial quando alinhada à visão epistemológica de Bunge.

6. REFERÊNCIAS

ABD-EL-KHALICK, Fouad; LEDERMAN, Norman. Improving science teachers' conceptions of the nature of science: a critical review of the literature. **International Journal of Science Education**, v. 22, n. 7, p. 665-701, 2000.

BAGDONAS, Alexandre. **Controvérsias envolvendo a natureza da ciência em sequências didáticas sobre cosmologia**. Tese (Doutorado em Ensino de Física) - Ensino de Ciências (Física, Química e Biologia), 2015.

BAZE, Christina; GRAY, Ron. Modeling "Tiktaalik": Using a Model-Based Inquiry Approach to Engage Community College Students in the Practices of Science during an Evolution Unit. **Journal of College Science Teaching**, v. 47, n. 4, p. 12-20, 2018.

BOLGER, Molly; OSNESS, Jordan; GOUVEA, Julia; COOPER, Alexandra. Supporting Scientific Practice through Model-Based Inquiry: A Students'-Eye View of Grappling with Data, Uncertainty, and Community in a Laboratory Experience. **CBE - Life Sciences Education**, v. 20, n. 4, p. 1-22, 2021.

BUNGE, Mario. **La Investigación Científica**. Barcelona: Ariel, 1969.

BUNGE, Mario. **La ciencia: su método y su filosofía**. Buenos Aires: Siglo Veinte, 1972.

BUNGE, Mario. **Filosofia da Física**. Lisboa: edições 70, 1973.

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

CABOT, Esperanza Asencio. Una aproximación a la concepción de ciencia en la contemporaneidad desde la perspectiva de la educación científica. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 20, n. 3, p. 549-560, 2014.

CHALMERS, Alan. **O que é a ciência, afinal?** São Paulo: Brasiliense, 1993.

CLEMENT, John. Model based learning as a key research area for science education. **International Journal of Science Education**, v. 22, n. 9, p. 1041-1053, 2000.

COLL, Richard; FRANCE, Bev; TAYLOR, Ian. The role of models/and analogies in science education: implications from research. **International Journal of Science Education**, v. 27, n. 2, p. 183-198, 2005.

COOPER, A. C.; SOUTHARD, Katie M.; OSNESS, Jordan B.; BOLGER, Molly S. The Instructor's Role in a Model-Based Inquiry Laboratory: Characterizing Instructor Supports and Intentions in Teaching Authentic Scientific Practices. **CBE - Life Sciences Education**, v.21, n. 1, p. 1-19, 2022.

CUPANI, Alberto Osmar; PIETROCOLA, Maurício. A relevância da epistemologia de Mario Bunge para o ensino de Ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, n. 19, número especial, p. 100-125, 2002.

DANLADI, Sa'Idu; NWOSU, Apollonia Anaele; GUMEL, Sani Abdullahi. Effect of Model Based Inquiry on Achievement and Critical Thinking of College Pre-Service Chemistry Teachers. **Journal of Science and Mathematics Education in Southeast Asia**, v. 42, p. 1-26, 2019.

GILBERT, John; BOULTER, C. J. Stretching model too far. In: **Annual Meeting of the American Educational Research Association**. San Francisco, 22-26, 1995.

GOBERT, Janice; CLEMENT, John. Student-generated diagrams versus student-generated summaries on conceptual understanding of causal and dynamic knowledge in plate tectonics. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 36, n. 1, p. 39-53, 1999.

GRECA, Ileana Maria; MOREIRA, Marco Antonio. Mental models, conceptual models, and modeling. **International Journal of Science Education**, v. 22, n. 1, p. 1-11, 2000.

GRIFFITH, Jonathan; KOZICK-KINGSTON, Margaret. Arctic Feedbacks: Not All Warming Is Equal. **Science Teacher**, v. 89, n. 4, p. 38-45, 2022.

PÉREZ, Daniel Gil; MONTORO, Isabel Fernández; ALÍS, Jaime Carrascosa; CACHAPUZ, António; PRAIA, João. Para uma Imagem Não-deformada do Trabalho Científico. **Ciência & Educação**, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.

HERNÁNDEZ, María Isabel; COUSO, Digna; PINTÓ, Roser. Teaching acoustic properties of materials in secondary school: Testing sound insulators. **Physics Education**, 46(5), 559-569, 2011.

HODSON, Derek. Nature of Science in the Science Curriculum: Origin, Development, Implications and Shifting Emphases. In: Matthews, M. R. (Ed.). **International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching**, Heidelberg: Springer Netherlands, p. 911-970, 2014.

JOHNSON-LAIRD, Philip Nicholas. **Mental models: Toward a cognitive science of language, inference and consciousness**. Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press, 1983.

JOHNSON-LAIRD, Philip Nicholas. Mental models and human reasoning. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, n. 43, p.18243-18250, 2010.

KHAN, Samia. Model-based inquiries in chemistry. **Science Education**, v. 91, n. 6, p. 877-905, 2007.

LORENZANO, Pablo. La teorización filosófica sobre la ciencia en el siglo XX (y lo que va del XXI). **Discusiones filosóficas**, v. 12, n. 19, p. 131-154, 2011.

LOSEE, John. The Golden Age of Philosophy of Science 1945 to 2000: **Logical Reconstructionism, Descriptivism, Normative Naturalism, and Foundationalism**. Londres: Bloomsbury Academic, 2019.

MARTINS, André Ferrer Pinto. Natureza da Ciência no ensino de ciências: uma proposta baseada em "temas" e "questões". **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 32, n. 3, p. 703-737, 2015.

MATTHEWS, Michael. **Science teaching: the role of history and philosophy of science**. New York: Routledge, 1994.

MELLADO, Vincent; CARRACEDO, D. Contribuciones de la filosofía de la ciencia a la didáctica de las ciencias. **Enseñanza de las ciencias**, v. 11, n. 3, p. 331-339, 1993.

PIETROCOLA, Maurício. Construção e realidade: o realismo científico de Mario Bunge e o ensino de ciências através de modelos. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 4, n. 3, p. 213-227, 1999.

PIETROCOLA, Maurício. A história e a epistemologia no ensino das ciências: dos processos aos modelos de realidade na educação científica. In: ANDRADE, M. R. **A ciência em perspectiva: Estudos, ensaios e debates**. Rio de Janeiro: MAST: SBHC, 2002.

SCHWARZ, Christine Virginia; WHITE, Barbara. Metamodeling knowledge: Developing students' understanding of scientific modeling. **Cognition and Instruction**, v. 23, n. 2, p. 165-205, 2005.

VAN DER VALK, Ton; VAN DRIEL, Jan; DE VOS, Wobbe. Common characteristics of models in present-day scientific practice. **Research in Science Education**, v37, n. 4, p. 469-488, 2007.

WINDSCHITL, Mark; THOMPSON, Jessica; BRAATEN, Melissa. Beyond the scientific Method: Model-Based Inquiry as a New Paradigm of Preference for School Science Investigations. **Science Education**, v. 92, n. 5, p. 941-967, 2008.

ZABALA, Antoni. **A prática educativa: como ensinar**, 1ª Ed., Porto Alegre: Artmed, 1998.

Submissão: 21/02/2024

Aceito: 03/04/2024