

O centenário de Mario Bunge: contextualizando sua obra sobre modelos científicos na filosofia da ciência e como referencial na pesquisa em ensino^{+,*}

*Juliana Machado*¹

*Marco Braga*¹

Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca
Rio de Janeiro – RJ

Resumo

O ano de 2019 marca o centenário de nascimento do físico e filósofo da ciência argentino Mario Augusto Bunge, prolífico autor de uma vastíssima obra que cobre um amplo espectro de interesses. Neste artigo discutimos sua obra sobre modelos científicos no contexto da filosofia da ciência a partir do século XX. Ao caracterizar a concepção epistemológica do autor, procuramos enfatizar aspectos dessa concepção que se destacam na sua teoria sobre os modelos especificamente quanto à problemática da relação entre o conhecimento e a realidade e argumentamos em favor da fecundidade das ideias bungeanas como referencial para o ensino relativamente a essa problemática. Finalmente, abordamos uma objeção frequentemente feita a esse referencial.

Palavras-chave: *Filosofia da Ciência; Epistemologia; Modelos; Modelização.*

Abstract

The year 2019 marks the centenary of the birth of Argentinean physicist and philosopher of science Mario Augusto Bunge, prolific author of a vast work that covers a wide spectrum of interests. In this article we

⁺ The centenary of Mario Bunge: contextualizing his work on scientific models in the philosophy of science and as a reference in research in teaching

^{*} *Recebido: novembro de 2018.
Aceito: abril de 2019.*

¹ E-mails: juliana.fsc@gmail.com; marcobraga@namelab.education

discuss his work on scientific models in the context of the philosophy of science from the twentieth century. We seek to characterize the author's epistemological conception, emphasizing aspects of this conception that stand out in his theory about models, specifically regarding the problematic of the relation between knowledge and reality. Finally, we argue in favor of the fecundity of bungean ideas as a framework for modelling-based teaching, and we also address an objection frequently made to this framework.

Keywords: *Philosophy of Science; Epistemology; Models; Modelling.*

I. Introdução

Mario Augusto Bunge, físico e filósofo argentino nascido em 1919, atualmente é Professor Frontingham Emérito da Universidade McGill, no Canadá. Acadêmico prolífico e diverso, Bunge é autor ou editor de cerca de 70 livros e de mais de 500 artigos científicos e filosóficos abrangendo tópicos como Física, Metafísica, Ontologia, Filosofia da Ciência e Epistemologia, entre muitos outros. O estudo da interação entre a Ciência e a Filosofia tem sido um compromisso vitalício do seu trabalho acadêmico e suas ideias epistemológicas sobre os modelos científicos são um exemplo disso. Sua principal obra é o *Tratado de Filosofia Básica*, que envolve Semântica, Ontologia, Epistemologia e Ética em oito volumes, divididos em nove partes, sendo três volumes dedicados à Epistemologia. O primeiro filósofo da ciência sul-americano a ter formação científica, Bunge não apenas subscreve ao realismo científico crítico, mas também é um de seus principais defensores desde há décadas (MATTHEWS, 2012).

Entre os exemplos do reconhecimento da relevância de sua obra, podemos citar: 16 doutorados honorários; quatro cátedras honorárias; o financiamento pela Guggenheim Fellowship em 1971, concedida por excepcional produtividade acadêmica; em 1982, foi laureado Príncipe de Astúrias; e, em 2014, foi a vez de receber o prêmio Ludwig von Bertalanffy em Pensamento em Complexidade. Adicionalmente, Bunge é um dos dois únicos filósofos que integram o *Science Hall of Fame* da Associação Americana pelo Avanço da Ciência (AAAS), o outro sendo Bertrand Russell.

Por ocasião do ano em que é comemorado seu centenário de nascimento, propomos neste artigo trazer uma discussão de suas ideias sobre modelos científicos, enfatizando aspectos da concepção epistemológica do autor no contexto das principais vertentes filosóficas sobre modelos a partir do século XX. Para isso, inicialmente apresentamos algumas dessas vertentes, cotejando-as com considerações sobre o ensino de ciências. Em seguida, apresentamos de forma sintetizada as ideias bungeanas sobre modelos científicos e argumentamos em favor da fecundidade dessas ideias como referencial para o ensino e, finalmente, abordamos uma objeção frequentemente feita a esse referencial.

II. Modelos e modelização na filosofia da ciência a partir do século XX: da visão sintática aos modelos como artefatos epistêmicos

Nessa seção, procuramos inicialmente caracterizar de forma sintetizada a evolução do conceito de modelo no contexto da filosofia da ciência a partir do século XX, com o objetivo de auxiliar na compreensão da origem das diferentes acepções desse conceito na área da educação científica e tecnológica. Será possível evidenciar como as discussões da filosofia da ciência têm contribuído para essa área, desde os primeiros trabalhos sobre modelos e modelização no ensino até o estado presente, muito frequentemente – ainda que nem sempre – de forma explícita. Obviamente não se pretende esgotar o amplo tema *modelos* na filosofia da ciência, mas apenas apresentar as orientações principais – as visões sintática, semântica, dos modelos como mediadores e dos modelos como artefatos epistêmicos – indicando suas ênfases, principais contribuições e algumas de suas críticas.

O tema dos modelos praticamente não é focado na filosofia da ciência da primeira metade do século XX. Nesse período, discussões sobre o conhecimento científico na filosofia centram-se quase exclusivamente nas teorias. É principalmente a partir dos anos 1950 que o interesse em modelos começa a surgir nessa área (BAILER-JONES, 1999). Mais do que isso, Bailer-Jones (1999) destaca que o período precedente carrega uma tradição de desprezo pelos modelos. Parte do motivo, aponta a autora, está ligada à influência do positivismo lógico no pensamento da época. Por exemplo, para Carnap – um dos principais autores ligados ao Círculo de Viena –, “é importante perceber que a descoberta de um modelo não tem mais do que um valor estético ou didático ou, na melhor das hipóteses, um valor heurístico, mas não é de forma alguma essencial para a aplicação exitosa de uma teoria física” (CARNAP, 1939, p. 68, tradução nossa). Tal posicionamento é consistente com a orientação mais ampla do positivismo lógico, que de forma geral não se interessa pelo real processo de construção do conhecimento, mas pela relação da teoria com os fatos, no sentido de uma reconstrução lógica (REICHENBACH, 1938).

Também ao traçar um histórico das concepções filosóficas sobre modelos durante o século XX, Adúriz-Bravo (2013) aponta que as epistemologias positivista-lógica e racionalista crítica atribuíam aos modelos um papel hierarquicamente subordinado às teorias, tidas como as unidades estruturais da ciência. Priorizando a análise das teorias científicas, pouca ou nenhuma atenção era dada aos modelos. Após a segunda guerra mundial, surgem propostas de duas diferentes definições. Um *modelo matemático* seria um sistema que permite abstrair os axiomas da teoria, enquanto um *modelo físico* seria uma contraparte representacional, simplificada e abstraída, de um sistema (ADÚRIZ-BRAVO, 2013).

Entre alguns dos primeiros proponentes de benefícios dos modelos na filosofia da ciência, Bailer-Jones (1999) destaca Richard Braithwaite, Ernest Hutten e Mary Hesse. Enquanto o primeiro enfatiza principalmente a vantagem do uso de modelos como forma de interpretar os cálculos da teoria, mas ainda mantém-se numa abordagem muito próxima do positivismo lógico, os dois últimos começam a distanciar-se desse posicionamento e desenvolvem

suas concepções de modelos de forma mais aproximada das práticas dos cientistas. Com isso, ainda que de forma tímida, tornam as discussões sobre os modelos mais preocupadas com as atividades dos cientistas como de fato ocorrem (BAILER-JONES, 1999).

Entre os filósofos que entendem os modelos como tendo papel explanatório, já nos anos 1960 e 1970 começa a surgir a noção de que essa função dos modelos estaria diretamente relacionada com o uso de analogias, notadamente em autores como Harré (1960), Black (1962), Hesse (1966), e Achinstein (1968), entre outros. Assim, por exemplo, para Harré, modelos são “*análogos supostos para o mecanismo real*” (HARRÉ, 1960 p. 35, tradução nossa). Mary Hesse também entende a relação entre um modelo e seu referente como sendo de natureza analógica. Black inicia sua discussão sobre modelos falando em modelos tridimensionais que guardariam semelhança com os objetos, sistemas ou processos modelados, mantendo as devidas proporções: são modelos em escala (BLACK, 1962). O propósito desse tipo de modelo seria o de reproduzir algumas propriedades do seu referente de forma a torná-lo mais acessível e manipulável. Além dos modelos escala, Black fala em modelos que apresentam o seu referente em um meio diferente, tal como modelos hidráulicos de sistemas econômicos: são denominados pelo autor de modelos analógicos. Tanto modelos em escala quanto modelos analógicos são representações simbólicas que se apresentam de forma concreta, mas enquanto os primeiros reproduzem as magnitudes geométricas do seu referente, os últimos reproduzem sua estrutura. Black (1962) menciona ainda a existência de modelos matemáticos, que para ele constituem geralmente apenas uma forma pretensiosa de falar em teoria, mas que pode ser também algo mais simples e abstrato do que o objeto original, além de modelos teóricos, cujo uso consistiria em estender a linguagem sugerida pela teoria a um novo domínio (BLACK, 1962).

Tal consideração de modelos como estruturas de natureza essencialmente analógica é bastante popular na literatura da área de ensino de ciências, tendo inspirado um grande número de pesquisas e propostas ao longo dos anos, tais como os trabalhos de Clement (1989), Nersessian (1995), Duit e Glynn (1996), Gilbert e Boulter (1998), Harrison e Treagust (1998), Galagovsky e Adúriz-Bravo (2001), Adúriz-Bravo e Morales (2002), Chamizo (2013), entre muitos outros.

Por sua vez, a ênfase no aspecto matemático também é uma tendência marcante na literatura da educação científica. Ela se evidencia em trabalhos que concebem a modelização no ensino principalmente como uma construção das relações matemáticas – na maioria das vezes, algébricas ou geométricas – concernentes a algum fenômeno. Nessa linha, é bastante frequente que as atividades propostas para o ensino envolvam alguma experimentação com coleta de dados e posterior tratamento matemático. Alguns estudos que focalizam o caráter matemático dos modelos no ensino são encontrados em Hestenes (1987), Pinheiro (2006), Greca e Moreira (2001), Angell *et al.* (2008), Grandy (2003) Uhden *et al.* (2012), entre outros.

Ao traçar esses paralelos, não queremos com isso dizer que necessariamente todos os

autores da área de ensino de ciências tenham buscado uma fundamentação explícita nos respectivos filósofos, embora isso não seja incomum. O sentido desses paralelismos está mais relacionado com a particular concepção de modelo ou ênfase que cada autor atribui ao apresentar sua proposta. Notamos também que essas relações não são exclusivas, isto é, muitos dos proponentes que trabalham com modelos no ensino podem servir-se de mais de um tipo de contribuição filosófica.

De todo modo, no campo da filosofia da ciência, pelo menos até os anos 1960, ainda eram as teorias científicas que detinham a primazia nas discussões relegando-se, muitas vezes, os modelos a um papel de menor importância e interesse (ADÚRIZ-BRAVO, 2013). Esse mesmo período seria marcado pela influência da chamada visão sintática das teorias ou *Received View*, que Suppe (1989) caracteriza como uma posição filosófica que interpreta as teorias como a conjunção de leis – em forma de sentenças – e regras de correspondência que especificam como essas leis se manifestam nos fenômenos. Nessa visão, os modelos não tem um papel representacional: eles simplesmente fornecem as condições sob as quais os axiomas da teoria estariam satisfeitos (PORTIDES, 2011).

Na visão sintática das teorias, conforme desenvolvida principalmente por Carl Hempel e Rudolf Carnap, uma teoria científica é uma entidade linguística formulada em lógica de primeira ordem. Os termos dessa linguagem seriam divididos em duas classes disjuntas: termos observacionais – que descreveriam referentes macroscópicos da teoria – e termos teóricos, que se relacionariam com os termos observacionais através de regras de correspondência. Essas estabeleceriam consequências testáveis ou observacionais que permitiriam uma interpretação dos termos teóricos. Por exemplo, o termo “massa” poderia ser relacionado com certos procedimentos experimentais. Assim, uma teoria sem regras de correspondência poderia ser considerada como não-interpretada (SUPPE, 1989; MORGAN; MORRISON, 1999).

Com o surgimento das epistemologias pós-positivistas principalmente a partir dos anos 1960, o conceito de modelo na filosofia da ciência ganha ímpeto e seu sentido passa a se aproximar de uma espécie de *exemplo paradigmático*, tal como a ideia de “exemplar” da filosofia kuhniana. Modelos seriam, nessa linha, soluções canônicas a serem imitadas ao se buscar resolver novos problemas dentro de certo domínio. De exemplo paradigmático, o modelo se transforma em exemplo *pretendido* (no sentido de constituir situações que a teoria pretende explicar) nas visões semânticas da teoria (VST) que se desenvolvem a partir dos anos 1970 e 1980 como uma terceira via. Nessa linha, modelos seriam projeções da teoria sobre o mundo. A primazia teria sido transferida da teoria para o modelo: aquela é definida em termos deste (ADÚRIZ-BRAVO, 2013).

Essa nova perspectiva surge assim como forma de oposição à visão sintática das teorias, desenvolvendo-se principalmente a partir dos trabalhos de Patrick Suppes (1962), Frederick Suppe (1977), Bas van Fraassen (1980) e Ronald Giere (1988). O qualificativo “semântica” na VST é usado como forma de enfatizar a valorização do conteúdo semântico (significados que as teorias atribuem ao mundo) em detrimento da ênfase na sintaxe das teorias, própria

da visão sintática. Na VST, as teorias são consideradas entidades não-linguísticas. Isso não significa que o desenvolvimento, expressão e uso das teorias não envolva componentes linguísticos, mas que as teorias não podem ser *identificadas* com esses componentes. Elas seriam estruturas abstratas, cuja natureza é objeto de diferentes concepções na VST.

Em que pesem essas diferenças, para Suppe (1989), essas concepções aproximam-se da ideia de que a estrutura das teorias corresponderia a espaços de estado ou a imagens homomórficas de espaços de estado (SUPPE, 1989). Por exemplo: as leis do movimento especificam as trajetórias possíveis de uma partícula, através de suas equações. Do espaço de estados possíveis da partícula, somente aquelas trajetórias que satisfazem as equações são fisicamente possíveis. Cada uma dessas possibilidades seria um modelo. Assim, pode-se pensar em um grupo de modelos para o movimento de uma partícula como compartilhando um mesmo espaço de estado. Uma teoria, por sua vez, conteria um certo número de espaços de estado. Portanto, do ponto de vista epistemológico, na VST as teorias são identificadas como conjuntos de modelos (PORTIDES, 2005; HARTMANN, 2008; MORRISON, 2007). Não haveria diferença em essência entre teorias e modelos.

Mas o que havia de “errado” com a visão sintática? Entre outros aspectos, Suppe (1989) sumariza suas críticas à essa visão destacando que ela obscurece aspectos importantes da teorização científica, que seriam considerados de forma mais adequada na VST. Para exemplificar, Suppe desenvolve a noção de “sistema físico” (*physical system*). Um sistema físico, segundo o autor, seria uma classe de cópias (*replicas*) abstratas de um fenômeno que se pretende explicar com a teoria científica. O sistema físico seria obtido selecionando-se e abstraindo-se certos parâmetros idealizados do fenômeno. Dessa forma, o papel da teoria seria o de descrever, prever e explicar o comportamento dos sistemas físicos correspondentes aos fenômenos sob seu escopo. Além disso, a teoria deveria também prover uma caracterização completa de todos os sistemas físicos possíveis para esses fenômenos (SUPPE, 1989).

Koponen (2007) aponta a visão semântica das teorias como fundamentação filosófica que sustenta um grande número de abordagens didáticas para o ensino de ciências dentro da visão baseada em modelos (*model-based view*). Nessa linha, Adúriz-Bravo (2013), ao defender a adesão à VST como embasamento teórico para a discussão sobre modelos no contexto do ensino, caracteriza essa visão em quatro principais pontos:

*(1) o foco da análise meta-teórica é colocado em como as teorias científicas dão significado ao mundo e fazem sentido a seus usuários [...] (2) uma teoria científica pode ser caracterizada como uma família de modelos [...] (3) ... mas também por um conjunto de sistemas empíricos que essa teoria **pretende** explicar [...] (4) existe uma relação substantiva entre modelos e seus sistemas: [a teoria] “afirma empiricamente” que alguns fenômenos são adequadamente explicados por seus modelos (ADÚRIZ-BRAVO, 2013, p. 1594, tradução nossa, grifo do autor).*

Adúriz Bravo (2013), em sua defesa de uma didática de modelos baseada na VST, lista algumas vantagens pretendidas com a adoção dessa abordagem para o contexto do ensino

de ciências. De acordo com o autor, ela favoreceria a focalização de aspectos mais significativos do conhecimento científico, ao invés de aspectos formais tais como a manipulação de proposições; promoveria a utilização de modelos científicos escolares como representações teóricas do mundo; possibilitaria aos alunos dar significado a certos fenômenos através da *similaridade* desses com certos modelos paradigmáticos; permitiria entender a modelização como a testagem do grau de ajuste entre as ideias e observações ou experimentos e sugeriria explicações robustas (ADÚRIZ-BRAVO, 2013).

A similaridade a que se refere Adúriz-Bravo (2013) é, dentro dessa discussão, um conceito desenvolvido por um dos principais representantes da VST: Ronald Giere. Ela é proposta como critério para compreender a relação entre os modelos e a realidade e é empregada pelo autor no sentido de um “ajuste imperfeito” ou “verdade vaga”. Um modelo seria similar ao sistema real que modela em certos aspectos e graus. Segundo Giere, ao adotar o critério da similaridade, não há mais necessidade em se falar de verdade aproximada ou ajuste aproximado. Outra vantagem é que dessa forma seria possível compreender a relação entre modelos e realidade tanto para modelos concretos quanto abstratos, não sendo mais necessário considerá-los separadamente (GIERE, 2010).

Algumas críticas à VST, elaboradas principalmente tendo em vista sua incorporação na área de ensino de ciências, são tecidas por Koponen (2007). O autor pontua, em primeiro lugar, que a VST é excessivamente limitada para permitir o reconhecimento da semi-autonomia² dos modelos no sentido atribuído por Morgan e Morrison (1999). Outra lacuna na VST seria a ausência de uma explicação da bi-direcionalidade na relação entre modelo e fenômenos, isto é, do fato de que os fenômenos não apenas são modelizados, mas também são adaptados aos modelos. Koponen (2007) destaca também que o conceito de similaridade é por demais vago para esclarecer como se dá a relação entre o modelo e a realidade a qual este se refere: nessa linha, questiona a validade do conceito de similaridade, declarando não haver razões convincentes para considerá-la um critério para modelos.

Adicionalmente, Koponen (2007) sublinha que a principal desvantagem da VST é que ela ainda considera os modelos como subordinados à teoria. Como consequência, “... a maioria das versões da VST não considera adequadamente a **metodologia de estabelecer correspondência entre teoria e experimentos**” (KOPONEN, 2007, p. 762, tradução nossa, grifo do autor). À luz dessas considerações, Koponen (2007) propõe um conjunto de sugestões para uma fundamentação revisada de modelos para o ensino de física: a consideração de modelos empiricamente confiáveis como nossa ponte para a realidade; a noção de que confiabilidade empírica é estabelecida no processo de correspondência com os experimentos (*matchmaking*); e o requisito de um “realismo mínimo” para configurar uma imagem autêntica da ciência (KOPONEN, 2007).

² A semi-autonomia dos modelos é a propriedade destes serem parcialmente independentes quer da teoria, quer dos dados, enquanto tipicamente envolvem algo de ambas as dimensões (Morgan; Morrison, 1999).

A relação entre o fenômeno e o conhecimento teórico produzido sobre esse fenômeno - seja ele modelo ou de teoria -, conforme entendida pelos proponentes da VST, também é examinada criticamente por Chakravartty (2001). À primeira vista, diz Chakravartty, pode parecer promissor adotar a VST para compreender essa relação, pois, se as teorias são modelos (ao invés de serem proposições linguísticas, como quer a visão sintática), a comparação entre o conhecimento teórico e o fenômeno de referência ocorre entre duas entidades não-linguísticas, sendo portanto mais fácil do que comparar uma entidade linguística com outra não-linguística. Contudo, para Chakravartty, essa facilidade é ilusória, ao menos se se considera alguma versão do realismo. Para que um modelo possa expressar algum conhecimento sobre o real, é necessário que algum aspecto do modelo possua uma contraparte no real: não há como escapar da necessidade de alguma declaração explícita que estabeleça um tipo de correspondência entre o modelo e sua contraparte real. Por isso, argumenta o autor, ainda que alguns proponentes apontem na VST uma forma de evitar as dificuldades que surgem ao considerar as teorias como formulações linguísticas, ela não resolve de fato o problema da relação entre a teoria e o fenômeno, pelo menos não em uma perspectiva realista (CHAKRAVARTTY, 2001).

Outra crítica importante que, não obstante seja feita no contexto da filosofia da ciência, pode ser relevante à educação científica, é apresentada por Morrison (2007). A autora observa que, ao identificar a teoria como um conjunto ou família de modelos, a VST acaba por dispensar completamente a necessidade da teoria em si. Assim, já não há nada de específico a que chamar de “Mecânica Newtoniana” a não ser pelo conjunto de modelos usados para tratar classicamente sistemas mecânicos. Isso é problemático porque

... modelos contêm uma grande quantidade de excesso de estrutura tais como métodos de aproximação e outros aparatos matemáticos que normalmente não incluímos como parte da teoria. Além disso, eles frequentemente contêm descrições altamente estilizadas de fenômenos e propriedades particulares que sabemos serem falsas, descrições que nem sempre identificamos como parte de nossa teoria. Nessa medida, queremos algum modo de diferenciar sobre o que versa a teoria (isto é, seu conteúdo) dos vários pressupostos requeridos para sua aplicação em contextos particulares (MORRISON, 2007, p. 197, tradução nossa).

Margaret Morrison é uma autora ligada a uma concepção de modelos distinta ao mesmo tempo da visão sintática e da VST. Trata-se de uma compreensão de modelos como *agentes autônomos* (MORGAN; MORRISON, 1999). Nessa visão, os modelos ocupam uma posição central na construção de conhecimento científico, e isso se deve, em parte, a não serem idênticos às teorias. Para elas, assim como já havia sido apontado por Cartwright (1983), os modelos são parcialmente independentes tanto da teoria quanto dos dados. É dessa propriedade que os modelos derivam seu poder de funcionar como *mediadores* entre essas duas instâncias. Portanto, as teorias não poderiam ser definidas apenas em termos de seus modelos, nem o inverso. Ainda assim, existem conexões entre o modelo e a teoria, bem como entre o

modelo e os dados: do contrário, seria impossível aos modelos dizer o que quer que fosse sobre qualquer das duas instâncias (MORGAN; MORRISON, 1999).

Em adição, ao discutir como se dá o funcionamento autônomo dos modelos, Morrison (1999) enfatiza que eles podem também ser entendidos como *representativos* de objetos ou sistemas do mundo. A autora destaca que isso não significa dizer que eles sejam descrições acuradas desses objetos e sistemas, já que não apenas envolvem elementos como a abstração e a idealização, como também, muitas vezes, não apresentam qualquer similaridade com seus referentes. Isso coloca um problema: se os modelos representam o mundo de maneiras que sabemos serem falsas, como eles podem expressar conhecimento sobre o mundo?

Analisando alguns casos paradigmáticos da física, em especial o pêndulo e a dinâmica de fluidos, Morrison defende que os modelos podem ser explanatórios porque, ao representar sistemas físicos, eles exibem certas dependências estruturais, ou relações que provém da contextualização da teoria em circunstâncias específicas. Por exemplo, o modelo do pêndulo diz-nos do movimento de um pêndulo de uma forma que as leis de Newton não fazem, assim como o modelo de camada limite diz sobre o fluxo laminar de maneiras que a dinâmica clássica de fluidos e a equação de Navier-Stokes não dizem (MORRISON, 1999). É dessa forma que o papel representacional do modelo estaria interconectado com a sua capacidade de produzir explicações e de mediar entre a teoria e os dados. A autora observa, contudo, que não há um modo único de caracterizar a natureza da representação.

Assim como Morrison (1999), Cartwright (1983) também identifica a essência dos modelos como elementos não pertencentes à teoria, ainda que guardem relações importantes com esta. Portanto, essa autora também se distancia tanto da visão sintática quanto da VST. Cartwright (1983) propõe o conceito de *simulacro* como “... algo que possui meramente a forma ou aparência de certa coisa, sem possuir sua substância ou suas qualidades próprias” (CARTWRIGHT, 1983, p. 17, tradução nossa). Na concepção desenvolvida por Cartwright (1983), explicar um fenômeno significa construir um modelo que ajuste o fenômeno dentro de uma teoria. As teorias seriam verdadeiras para os objetos com que lida o modelo, mas esses objetos são simulacros (CARTWRIGHT, 1983).

A perspectiva de modelos como agentes autônomos e sua independência também são considerações tomadas por Knuutila (2005). Entretanto, essa autora vai mais além nessa direção e propõe “... libertar os modelos do referencial teoria-dados ainda presente em Morgan e Morrison (1999) e interpretar os modelos materialmente, desta maneira concedendo a eles um status individual como artefatos epistêmicos” (KNUUTILA, 2005, p. 48, tradução nossa). Os pontos principais da tese de Knuutila podem ser assim resumidos:

i) modelos são artefatos feitos por humanos que são usados para interagir com o mundo ao invés de meramente representá-lo; ii) portanto, ao invés de serem construções teóricas abstratas eles são melhor concebidos como entidades que são materializadas em algum meio; iii) o valor epistêmico advém de forma significativa de sua dimensão material, o que explica por que modelos tem várias outras funções

epistêmicas além daquela de representar o mundo; iv) a função representacional dos modelos não deve ser abordada em termos “representacionistas”; v) representação é melhor entendida como uma atividade que repousa tanto nas possibilidades do meio específico do veículo-signo material quanto no processo intencional de relacionar o signo-veículo a seu objeto (KNUUTILA, 2005, p. 18, tradução nossa).

Ao desenvolver sua proposta, Knuutila (2005) usa exemplos oriundos principalmente da linguística computacional e da inteligência artificial, ressaltando que não tem a pretensão de afirmar com isso que tais modelos sejam representativos de modelos em geral, de quaisquer áreas científicas, mas que apesar disso sua abordagem pode ser útil para ver os modelos de um outro ponto de vista, diferente do usual.

É preciso salientar que Knuutila critica uma noção de representação no sentido de substituir algo ausente por algo presente (*standing for*); a autora destaca que essa abordagem muitas vezes se apóia na metáfora de delinear um retrato, mapa ou espelho. Essa noção seria central na linha que a autora denomina de *representacionismo*. Para ela, um problema crucial do representacionismo é que, ao admitir que a mente não possui acesso direto à realidade exterior e por isso necessita representá-lo através de ideias, ela não tem acesso à representação a não ser através de outras ideias. Isso seria problemático porque nos deixaria reféns de duas alternativas tidas como indesejáveis: ou a representação é incapaz de alcançar as coisas em si mesmas, ou ela cria um efeito de realidade que se esforça por captar, mas em vão (KNUUTILA, 2005).

Partindo dessas considerações, Knuutila (2005) propõe uma reconstrução da noção de representação, descartando certas premissas que ela atribui ao representacionismo: para ela, conhecimento não é constituído apenas por representações; representações não correspondem de forma acurada a pedaços do mundo; e a realidade não está “pronta” e não é formada por um conjunto fixo de objetos. A autora desenvolve então sua concepção de modelos como artefatos que possuem diversas funções, sendo a representação apenas uma delas.

No contexto do ensino, a adoção da perspectiva de modelos como artefatos epistêmicos no sentido proposto por Knuutila é muito recente, sendo realizada por Gilbert e Justi (2016). A justificativa apresentada por esses autores para sua mudança de posicionamento – já que anteriormente assumiam a visão semântica em suas publicações (GILBERT, 1993; JUSTI; GILBERT, 2006) – é a coerência entre os argumentos levantados por Knuutila e as ideias que eles têm desenvolvido, ao longo dos últimos, em suas pesquisas sobre a modelização no ensino de ciências. Alguns pontos em comum seriam a percepção dos autores de que os estudantes, ao trabalharem com modelos, empregam-nos como artefatos, além da relevância que atribuem para a questão da materialidade e dos múltiplos usos dos modelos, tais como: explicar, simplificar, abstrair, argumentar, representar, entre outros (GILBERT; JUSTI, 2016).

III. A Modelização à luz da epistemologia de Mario Bunge

Há duas categorias de pensamento na concepção bungeana que conceituam o que pode ser um “modelo”, e é na relação entre elas (e as teorias científicas) que o autor assinala o processo de construção de modelos. A primeira categoria consiste no *referente* do conhecimento científico. Para Bunge, os conhecimentos teóricos produzidos pela Ciência não se referem diretamente a objetos reais, mas a contrapartes conceituais – construídas pelo sujeito epistêmico – que representam, de forma parcial e aproximativa, o objeto real que se pretende conhecer. Bunge denomina tais elementos de *objetos-modelo* (BUNGE, 1977).

Por exemplo, um sólido cristalino pode ser representado por um conjunto de pontos fixos correspondentes a átomos, com um punhado de elétrons em movimento em torno desses centros fixos. Como qualquer outro objeto-modelo, este se afasta do seu referente real em diversos aspectos: considera-se que a rede é fixa e rígida (idealizações) e que os elétrons não interagem entre si (abstração). Apesar de parecer algo paradoxal, para Bunge, é esse afastamento inicial da realidade que permite a construção do conhecimento científico, porque coisas concretas não podem ser encaixadas diretamente em sistemas conceituais: apenas conceitos é que podem fazê-lo. Assim, massas pontuais, corpos rígidos, modelos atômicos, meios contínuos dotados de certas propriedades, ondas planas, estruturas cristalinas, modelos de célula, a noção de espécie biológica, o modelo da dupla hélice do DNA, um plano infinito uniformemente carregado, uma corrente elétrica em um certo meio, o modelo do cérebro como uma rede de neurônios, fios inextensíveis e gases ideais estão entre os muitíssimo numerosos exemplos de objetos-modelo produzidos pela Ciência.

A consideração da referência direta (imediata) dos conhecimentos científicos como sendo os objetos-modelo, mantendo os objetos reais como uma referência indireta (mediata), denota o construtivismo epistemológico no pensamento de Bunge, já que os objetos-modelo são criações do sujeito epistêmico. Além disso, o autor destaca que o caráter parcial e aproximativo do objeto-modelo propaga-se para os conhecimentos teóricos que são elaborados tendo este por referência, de forma que não se deve esperar que esses conhecimentos sejam um retrato fiel da realidade. Assim, a noção bungeana de objeto-modelo ajuda a explicar por que as abstrações e idealizações são tão importantes: em primeiro lugar, elas são necessárias em face da impossibilidade de se captar toda a complexidade dos objetos reais; em segundo lugar, ao permitirem a construção de uma contraparte conceitual de um objeto real, abrem a possibilidade de explorar essa contraparte (objeto-modelo) de forma a eventualmente poder criar explicações sobre aquela realidade complexa.

Mas tais explicações não residem puramente no objeto-modelo em si. Nesse ponto entra em jogo a segunda categoria de pensamento bungeana: os *modelos teóricos*. Modelos teóricos são os sistemas hipotético-dedutivos que permitem criar explicações e previsões acerca do comportamento dos objetos. Assim, por exemplo, afirmar que um objeto oscilante pode ser modelado como um fio inextensível preso a uma massa pontual não é suficiente para prever o seu período de oscilação. Um caminho para criar um modelo teórico correspondente é tomar uma *teoria geral* – por exemplo, a Mecânica Clássica –, e articulá-la com o objeto-

modelo mencionado. Dessa articulação, é possível obter um modelo teórico na forma de uma equação relacionando período e comprimento do pêndulo. Tal modelo teórico permite não apenas fazer previsões, mas também explicar aspectos do comportamento do objeto (por exemplo, o isocronismo e a independência em relação à massa).

Contudo, nem sempre há teorias gerais disponíveis que englobem os fenômenos sob estudo. Mas isso não impede a criação de modelos teóricos. Também é possível uma abordagem do tipo caixa-preta, em que se procura relacionar variáveis mesmo não tendo conhecimento de teorias gerais nem sobre os “mecanismos internos” que produzem os comportamentos do objeto estudado. Assim, por exemplo, é que Galileo pôde criar modelos teóricos sobre o movimento de pêndulos, corpos em queda livre e em planos inclinados, que tomavam a forma de relações entre variáveis. A existência de ambas as possibilidades para a construção de modelos – fazê-la com base na articulação entre teoria geral e objeto modelo ou na ausência de teoria geral – torna mais clara a propriedade de semiautonomia dos modelos destacada por Morgan e Morrison (1999), além de evidenciar o papel dos modelos como mediadores entre teoria e realidade (ou, mais apropriadamente, nossas ideias sobre a realidade, i.e., objetos-modelo).

Em adição, essa perspectiva permite compreender porque há diferentes modelos teóricos para um mesmo fenômeno. No caso em que existam teorias disponíveis, tomando-se a mesma teoria geral, é possível nela engastar diferentes objetos-modelo. Assim, no exemplo anterior, poderíamos tomar um objeto-modelo do tipo corpo rígido para representar o objeto oscilante. Engastado no corpo teórico da Mecânica Clássica, tal construto produziria um modelo teórico diferente do anterior. Alternativamente, um mesmo objeto-modelo poderia ser conjugado com diferentes teorias gerais, o que também origina distintos modelos teóricos.

Essa dinâmica de construção de modelos em termos de objetos-modelo e teorias gerais também ajuda a compreender como os modelos teóricos podem produzir representações gradualmente mais aproximadas dos fenômenos. Por exemplo, o modelo atômico de Bohr postula inicialmente um próton massivo em repouso com um elétron em órbita circular em torno dele. Após, o modelo foi refinado permitindo-se um pequeno movimento do núcleo em torno do centro de gravidade comum. Mais tarde, a órbita foi representada como uma elipse e, posteriormente, passou-se a considerar efeitos relativísticos. Pode-se notar que esse refinamento sucessivo torna-se progressivamente mais dependente de construtos (e.g., centro de massa) e de teorias (e.g., a relatividade especial), ao mesmo tempo em que aprofunda seu poder explanatório. Nos termos de Bunge, isso ocorre à medida que passamos de abordagens mais *fenomenológicas* (típicas de caixas-pretas) para abordagens mais *representacionais* (caixas cinzentas ou translúcidas).

IV. Sobre a teoria bungeana como referencial para pesquisas no ensino de ciências

A compreensão de algumas características essenciais da Ciência tem sido defendida como um dos objetivos básicos da educação científica, seja através de documentos oficiais (AAAS, 1993; BRASIL, 2002) ou por meio de trabalhos de pesquisa na área de Ensino, focalizando abordagens centradas no tópico “Natureza da Ciência” (NdC) (McCOMAS, 2008; ABD-EL-KHALICK; LEDERMAN, 2007). De forma geral, há um reconhecimento de que qualquer que seja a opção – entre abordar aspectos da construção do conhecimento científico intencionalmente ou não fazê-lo – na prática educativa, alguma imagem da Ciência sempre estará em jogo. Desconsiderar a importância desses aspectos, seja para a formação de professores, para o planejamento didático, para a elaboração de materiais didáticos ou para outras instâncias envolvidas no sistema educativo, significaria substituir uma epistemologia explícita por uma epistemologia implícita e, portanto, acrítica e irrefletida, pois, como foi sintetizado por Cupani e Pietrocola, “(...) para bem ensinar (e aprender) as explicações científicas é preciso conhecer de que forma a ciência pode explicar”. (CUPANI; PIETROCOLA, 2002, p. 120). As consequências de se desconsiderar a relevância da Natureza da Ciência podem conduzir à disseminação do que Gil-Pérez *et al.* (2001) denominaram de *visões deformadas* do trabalho científico³, as quais não detalharemos aqui por já serem exaustivamente relatadas na literatura.

Tendo examinado de forma sintetizada as principais correntes de pensamento sobre modelos na filosofia ciência e algumas de suas influências no ensino de ciências, buscaremos nessa seção situar nossa própria compreensão de modelos que fundamenta esse estudo, relativamente a esse contexto. Ao fazer isso, estaremos nos baseando principalmente nas contribuições de Bunge, discutidas na seção anterior. Entendemos que a perspectiva desse autor afasta-se tanto da visão sintática quanto da visão semântica de modelos, enquanto guarda alguns pontos importantes em comum com a noção de modelos como mediadores, nas linhas de Cartwright (1983) e de Morgan e Morrison (1999).

Considerando a problemática da relação entre o conhecimento científico escolar e a realidade, é necessário ter por base um referencial que permita compreender essa relação, bem como os papéis da teoria, dos modelos e de outros elementos que tomem parte no processo de modelizar o real. Na medida em que a teoria bungeana de modelos oferece um quadro consistente e bem articulado dessas relações, consideramos que a transposição de suas ideias para o contexto educacional poderá prover tais bases e potencialmente ensinar contribuições à essa problemática. Isto posto, procuramos nas próximas linhas contrastar a visão bungeana de modelos com demais perspectivas filosóficas apresentadas.

³ Em síntese, as versões deformadas apontadas por Gil-Pérez *et al.* são: concepção *empírico-indutivista* e *ateórica*; visão *rígida de método científico*; visão *aproblemática* e *ahistórica*; visão *exclusivamente analítica*; visão *acumulativa de crescimento linear*; visão *individualista* e *elitista* e visão *socialmente neutra* da Ciência (GIL-PÉREZ *et al.*, 2001).

Com relação às visões de modelos como análogos, embora Bunge considere inegável a importância da analogia para a ciência, atribui a esta o papel de ser uma espécie de “primeiro passo”, mas não de determinante ou elemento principal dos modelos. Elas teriam um papel principalmente heurístico, podendo *sugerir* classes de equivalência, mas por si sós, não podem estabelecê-las. Em algumas situações elas podem ser úteis, especialmente em fases iniciais da elaboração de certas teorizações, mas também podem ser tão enganadoras quanto frutíferas (BUNGE, 1974). Uma das dificuldades que pode ser introduzida pelas analogias é a sua subjetividade, em contraste com o caráter compartilhado do conhecimento científico: o que parece semelhante a uma pessoa, pode parecer dessemelhante a outra. Outra questão é que o estabelecimento de uma analogia parece ser algo insuficiente para a apropriação conceitual de um certo objeto, porque a analogia é baseada em explicar o que é novo e desconhecido em termos do que é velho e conhecido, ao passo que o novo precisa ser diferente do velho em ao menos um aspecto importante, ou não seria realmente novo (BUNGE, 1973a). Em todo caso, Bunge define a formação dos objetos-modelo em termos de classes de equivalência, e não em termos analógicos ou metafóricos.

Antes de prosseguir nesse exame, reforçamos, mais uma vez, que a discussão sobre modelos que desenvolvemos nesse estudo orienta-se pelo problema da relação entre o conhecimento e a realidade sobre a qual versa esse conhecimento. Nesse contexto, são necessárias categorias de pensamento capazes de representar essas instâncias e aquelas que as mediam. É justamente nesse aspecto que encontramos as categorias bungeanas – teoria geral, modelo teórico e objeto-modelo – como desempenhando exatamente essa função: a teoria geral refere-se indiretamente (mediada pelo modelo teórico) a um objeto-modelo, enquanto o modelo teórico refere-se indiretamente (mediado pelo objeto-modelo) a um objeto ou conjunto de objetos ou eventos reais. Tais “estados” seriam por sua vez relacionados um ao outro por processos como as abstrações, idealizações e aproximações. Se o esclarecimento das relações entre o conhecimento escolar e a realidade é um objetivo pretendido no ensino de ciências, a explicitação didática desses processos parece um caminho potencialmente mais frutífero do que a sugestão de analogias.

Relativamente às noções de modelos matemáticos, notamos que o papel da matematização nas ciências naturais constitui um tema presente nos escritos bungeanos. Uma análise aprofundada das reflexões do autor sobre essa questão está além do escopo desse texto, mas podemos dizer que, para Bunge, a matematização não é apenas um auxílio útil, mas integra-se à essência de muitos conceitos físicos, estando frequentemente relacionada de forma bastante próxima à interpretação dos enunciados científicos, como nas controvérsias relativas ao conceito de massa no séc. XVIII e da função de estado na teoria quântica. No que tange à relação entre conhecimento teórico e realidade, o autor destaca que não há, na verdade, aplicação da matemática à realidade. O que é matematizado em uma teoria física não é a realidade e sim algumas de nossas ideias sobre ela. Na elaboração de um modelo matemático nas ciências físicas, o comprometimento ontológico da matemática não está no seu formalismo, mas nos

pressupostos semânticos que especificam o tipo de coisa real à qual o modelo se refere e quais propriedades de tal coisa são representadas por conceitos existentes naquele modelo (BUNGE, 1985). Nesses termos, uma reflexão sobre o papel da matemática no ensino de física tenderia a reforçar a perspectiva estruturante, segundo a qual não faria sentido analisar as partes física e matemática de um modelo separadamente, de forma semelhante ao que foi argumentado por Uhden *et al.* (2012).

Em resumo, Bunge reconhece a importância tanto das analogias quanto, especialmente, da matematização na construção do conhecimento científico, a ponto de sustentar que, sem tais recursos, esse tipo de conhecimento poderia não ser possível (BUNGE 1973a; 1973b). Ambos têm papéis a desempenhar na elaboração de modelos: as analogias trabalhando principalmente na heurística que pode originar classes de equivalência que venham a formar objetos-modelo, e a matematização fornecendo uma estruturação para os modelos teóricos. Contudo, nenhum desses recursos é suficiente, por si só, para definir ou identificar o que são modelos na visão desse autor, ou sequer subconjuntos de modelos como quer Coll (2005). Poderíamos dizer, usando a terminologia que ele emprega na sua teorização de modelos, que um objeto-modelo é algo mais que um analogia, assim como um modelo teórico é algo mais do que um modelo matemático. Portanto, um modelo conforme entendido na concepção bungeana, não é *reduzível* quer seja à uma analogia, quer a um construto matemático qualquer, tal como uma equação.

Quanto à visão artefactual, não resta dúvida de que o conceito bungeano de modelo – mais notadamente, do objeto-modelo – consiste, assim como o modelo na visão de Knuutila, em uma criação humana, por se tratar de uma *invenção*, o que remete também a uma tentativa de retratar o mundo por um processo imaginativo. Também notamos um alto grau de compatibilidade entre a modelização bungeana e a visão artefactual de Knuutila nos elementos do processo de modelização enfatizados pela autora, tais como as idealizações, abstrações e simplificações; a consideração tanto do conhecimento teórico quanto do experimental na construção de modelos; a autonomia dos modelos e a incompletude da representação que estes podem oferecer (KNUUTILA; BOON, 2011; KNUUTILA, 2005).

Por outro lado, a visão artefactual atribui destaque maior a outros aspectos dos modelos, em comparação com seu papel representacional. Esse é um dos pontos de relativo afastamento entre a visão bungeana e a proposta de Knuutila. Na medida em que se considerar que a essência dos modelos gira em torno da relação entre a teoria e a realidade – que também é a ênfase em Cartwright (1983), Morgan e Morisson (1999) e Koponen (2007) – o caráter representacional dos modelos se constitui como o foco da abordagem, pois são as representações dos objetos do mundo que podem ser articuladas com as teorias, e não as suas expressões materializadas.

Especificamente com relação às propostas ligadas à visão semântica das teorias, ainda que discutam relações entre teoria e modelo e entre modelo e real (IZQUIERDO-AYMERICH; ADÚRIZ-BRAVO, 2003), não costumam colocar os modelos nesses termos, já

que os veem como subconjuntos das teorias. Isso motivou Koponen (2007) a sugerir revisões à VST, buscando exatamente enriquecê-la com a atribuição desse papel mediador aos modelos, com fundamentação explícita no trabalho de Morgan e Morrison (1999). A adoção do referencial bungeano não requer essa revisão, pois já inclui esse papel como um pressuposto.

Outra consideração crítica da VST que pode ser desenvolvida a partir de Morrison (1999) é o esvaziamento de significado que essa visão acaba por impor às teorias. Ao defini-las como famílias de modelos, a VST elimina a necessidade de se falar em teorias, como foi notado pela autora. Isso é problemático no contexto do ensino porque tende a obscurecer o papel das teorias de funcionarem como princípios no sentido de guias heurísticos (CUSTÓDIO; PIETROCOLA, 2004) para a construção de modelos. Sendo potencialmente aplicáveis a todo um domínio, ao contrário dos modelos – que tendem a ser específicos – as teorias também atuam frequentemente impondo vínculos às possibilidades dos modelos que podem ser criados dentro desse domínio. Entendemos, portanto, que a noção de teoria possui valor epistemológico por si mesma, por oferecer todo um sistema de pensamento que vai além da soma dos modelos a ela relacionados e do conjunto de sistemas empíricos que constituem sua referência. Nesse ponto, o referencial bungeano parece oferecer mais possibilidades ao tratar a categoria das teorias gerais separadamente dos modelos teóricos. Ao assim proceder, esse referencial torna mais clara a dinâmica de construção de modelos teóricos como uma articulação entre as teorias gerais e os objeto-modelo, explicitando assim a relação entre o teórico e o empírico.

Em adição, como foi notado por Morrison (2007), modelos frequentemente envolvem ingredientes que não estão contidos nas teorias. Assim, é possível que a mesma teoria conduza a diferentes modelos de um mesmo referente, de acordo com a escolha desses “ingredientes”. A nosso ver, essa característica não pode ser ignorada se se procura compreender a relação entre o modelo e seu referente. Esses ingredientes de que fala Morrison (2007) são principalmente, em nossa interpretação, os objetos-modelo no sentido bungeano. Ao que parece, compreender que esses objetos constituem a referência do conhecimento científico – e não objetos reais – é indispensável para enfrentar a problemática da relação entre teoria e realidade. Além disso, a explicitação da existência de diferentes objetos-modelo para o mesmo objeto real é importante para compreender que não há um modelo teórico “correto” em contraste com os “errados”, desenvolvidos em momentos anteriores do processo de escolarização ou da história da ciência, mas modelos com diferentes aproximações, objetivos e domínios.

V. Respondendo a críticas

Pelo que viemos discutindo até aqui, pode-se defender que os modelos e seus processos de construção constituem um aspecto bastante importante da NdC. Assim, por exemplo, para Harrison e Treagust (1998; 2000), modelizar é a essência do pensamento e do trabalho científico. Na mesma direção, Coll (2005) destaca que os modelos são uma ferramenta-chave para cientistas, professores e estudantes de ciências e o papel crucial deles na Ciência justifica

sua inserção no ensino. Também nesta linha, Koponen, tomando uma perspectiva filosófica, defende que o fundamento básico das discussões sobre modelos e modelização localiza-se na relação entre a teoria e o mundo conforme acessado pelos sujeitos. (KOPONEN, 2007). Mas como se poderia trabalhar esta relação no contexto de sala de aula?

Gilbert *et al.* (2000), ao discutirem justamente esta questão, desenvolvem uma análise comparativa das contribuições de Thomas Kuhn, Nancy Nersessian e Mario Bunge ao problema. Mais especificamente, questionam em que medida as visões sobre natureza da ciência desses três autores – principalmente no que tange a relação realidade/teoria/modelo – poderiam fornecer uma base ontologicamente e epistemologicamente adequada para o ensino de ciências. Nessa obra, Gilbert *et al.* (2000) consideram que o trabalho de Bunge poderia ser muito útil para esse fim, ainda que não tivesse sequer sido sugerido, à época, que ele fosse utilizado como uma analogia para a cognição individual.

Por outro lado, quando Gilbert *et al.* (2000) comparam os três filósofos listados acima, classificam Bunge como um realista “forte” (*hard realist*), em contraste com Kuhn, que seria uma espécie de realista “suave” (*soft realist*). Com isso os autores querem dizer que, ainda que ambos (e também Nersessian) pressuponham que a realidade exista independentemente do sujeito, Bunge acreditaria que o conhecimento científico eventualmente dará uma compreensão completa da realidade. Por esse motivo, defendem, “... alguém que quisesse retratar a ciência como um caminho conduzindo a verdades definitivas sobre o mundo, como tantos cientistas acadêmicos veteranos querem, então basearia o currículo nas ideias de Bunge: ambições mais limitadas poderiam ser atingidas dentro de um referencial kuhniano” (GILBERT *et al.*, 2000, p. 31, tradução nossa).

Embora essa afirmação seja reiterada algumas vezes, em outros termos, ao longo do artigo de Gilbert *et al.* (2000), os autores não apresentam citações diretas ou indiretas de Bunge que justifiquem a tese de que esse autor crê numa ciência que dará, “no devido tempo”, uma explicação completa e final da realidade natural. Assim, ainda que os autores tenham usado exatamente esse critério para classificar Bunge como um realista “forte”, não indicam pontos específicos na obra do filósofo que expliquem por que tal critério se aplicaria.

Em nossa própria leitura tanto das obras de Bunge quanto de outros autores que o citam, também não foi possível encontrar tais pontos. Mas um grande número de passagens afirmando o oposto, tanto de forma mais explícita como mais implícita, e com diversas variações de termos, brota das páginas de seus livros. Ao discutir, por exemplo, o conceito de verdade no contexto dos conhecimentos físicos, Bunge destaca:

Sem dúvida, as verdades alcançáveis em física são verdades relativas no sentido que valem, se é que valem, em relação a certos conjuntos de proposições que são momentaneamente assumidas como certas [...] Elas são também verdades parciais ou aproximadas, pois a confirmação é sempre parcial e ademais temporária (BUNGE, 2007, p. 20).

De forma ainda mais explícita e empregando uma terminologia semelhante à de Gilbert *et al.* (2000), Bunge diz: “A teoria científica perfeita (completa e totalmente acurada) **não existe e nunca irá existir**” (BUNGE, 1998, p. 442, tradução nossa, grifo nosso). A argumentação que Bunge desenvolve para justificar essa tese é a seguinte. Qualquer teorização parte de uma idealização de certa situação ou objeto. Isso por si só já impõe algum erro, não no sentido de um equívoco, mas de um afastamento do real. Esses desvios propagam-se para quaisquer que sejam as consequências testáveis da teorização feita. As discrepâncias assim produzidas forçam o teórico a gradualmente sofisticar a teorização, ou começá-la de novo, com outro embasamento. Mas nem por isso as teorias novas deixam de ser idealizadas. Bunge destaca ainda que isso simplesmente não pode ser evitado, justamente porque teorias são sistemas conceituais ao invés de um acúmulo de dados experimentais (BUNGE, 1998).

Tendo em vista essas considerações e outras discussões sobre as concepções epistemológicas sustentadas por Bunge apresentadas em Cupani e Pietrocola (2002) e em Machado e Souza Cruz (2011), a leitura da obra desse autor não parece dar suporte ao realismo ingênuo atribuído a ele em Gilbert *et al.* (2000). É fato que Bunge entende que a realidade pode ser conhecida por aproximação, e que o conhecimento científico avança nessa direção (ou, no mínimo, pode avançar). Contudo, disso não decorre a crença de que o conhecimento completo será atingido; inclusive, Bunge deixa explícito sua convicção de que ele não é sequer atingível. Tal tese, própria do realismo *crítico*, é expressa pelo autor: “... as coisas em si são cognoscíveis, embora **parcialmente e por aproximações sucessivas** e não exaustivamente e de uma só vez [...] Esse conhecimento (conhecimento factual) é hipotético ao invés de apodítico, portanto é corrigível e não final...” (BUNGE, 1973b, p. 86, tradução nossa, grifo nosso).

Portanto, Bunge rejeita ao mesmo tempo o ceticismo e o dogmatismo – ao afirmar que o acesso progressivo e aproximativo ao conhecimento é possível –, aderindo a uma posição relativa ao problema da possibilidade do conhecimento chamada de *criticismo* (HESSEN, 1979, NIINILUOTO, 2002). Além disso, o autor também deixa claro – como havia sido corretamente apontado por Gilbert *et al.* (2000) – sua filiação ao realismo ontológico, uma posição que se refere à *essência* do conhecimento e que é rejeitada, por exemplo, pelos positivistas lógicos ligados ao Círculo de Viena (NIINILUOTO, 2002).

Até esse ponto, contudo, ainda nada se disse sobre o problema da *origem* do conhecimento. Bunge (1973b) rejeita tanto o extremo do racionalismo quanto do empirismo, defendendo que nem a razão, nem a experiência podem ser a fonte única ou primordial do conhecimento científico (BUNGE, 1985, p. 44). Em adição, ao destacar que as teorias e modelos não têm como referente imediato o real, mas representações conceituais de partes dele – isto é, objetos-modelo –, Bunge claramente pressupõe que o nosso conhecimento sobre o real é algo por nós construído. Essa tese é conhecida como *construtivismo epistemológico* (CUPANI; PIETROCOLA, 2002). Nas palavras do autor, “o construtivismo epistemológico é correto, mas o ontológico é falso” (BUNGE, 1991, p. 51, tradução nossa).

A adoção desses pressupostos é coerente com a perspectiva defendida à exaustão na

teoria bungeana de modelos segundo a qual essas entidades produzem um tipo de conhecimento aproximativo por natureza e cuja elaboração repousa fortemente sobre operações de pensamento do sujeito, notadamente as idealizações e abstrações. O quadro de referência produzido por Bunge propõe uma explicação clara e consistente da relação entre a realidade percebida e o conhecimento científico criado na intenção de apreender essa realidade – em especial, através de seu conceito de objeto-modelo. Suas ideias também oferecem uma visão sistemática de como os domínios teórico e empírico ambos tomam parte na construção de modelos, que por sua vez podem ser entendidos como um elemento mediador entre eles. Na medida em que suas ideias ajudam a compreender a relação entre realidade, teoria e modelo, consideramos que elas possuem um potencial para contribuir com os estudos sobre modelização no contexto do ensino de ciências.

Outra crítica ao referencial bungeano, de certa forma relacionada à anterior, consiste na “acusação” de ser o autor um positivista ou, pelo menos, exageradamente influenciado pelo positivismo (CUPANI, 1991). Acreditamos que essa percepção esteja ligada a uma indiferenciação entre o positivismo e o cientificismo. O último é certamente abraçado pelo autor, se por “cientificismo” entender-se a noção de que o conhecimento científico é superior, na busca por resolver problemas humanos, em comparação a outras classes de conhecimento disponíveis como mitos, ideologias, credos religiosos ou outras formas de não-ciência (o que, na visão bungeana, não significa que podemos prescindir de conhecimento não-científico). Outro aspecto ligado por vezes ao positivismo é a defesa de uma unidade axiológica e metodológica da ciência (STOCKMAN, 1983). Esta ideia também é, sem dúvida, integrante do pensamento de Bunge.

No entanto, essas discussões ligadas ao valor da ciência não implicam em posicionamentos positivistas nas questões epistemológicas básicas sobre a origem, a essência e a possibilidade do conhecimento. De fato, Cupani (1991) argumenta que a filosofia bungeana não corresponde a esses traços específicos do positivismo se tomado no sentido, por exemplo, dos positivistas lógicos ligados ao Círculo de Viena, ou tal como o próprio Bunge define o termo “positivismo”:

POSITIVISMO. Tipo de empirismo que se caracteriza pela ênfase nos dados sensíveis e na indução, pela aceitação das partes descritivas da ciência, certa desconfiança da teoria e que se recusa a admitir ou negar a realidade do mundo físico (BUNGE, 1996, p. 224).

Ainda, para o autor, o empirismo consiste na consideração da experiência como única fonte, único objeto e única prova do conhecimento (BUNGE, 1996). Pelo exposto até aqui, parece-nos estar claro que suas ideias sobre a modelização não vão ao encontro dessas teses do positivismo no sentido delineado acima. Mais do que isso, sua ênfase no aspecto representacional do conhecimento, explicitada no seu conceito de objeto-modelo, opõe-se frontalmente a esse positivismo. É possível assim que o hábito de censurar determinados autores em vis-

ta de um suposto “positivismo” seja algo que careça de significado, pelo menos na ausência de uma definição clara, previamente explicitada, sobre o que se entende pelo termo.

Pelos motivos expostos, entendemos que não há qualquer implicação da adoção do referencial bungeano com alguma visão de ciência dogmática ou ingênua no sentido proposto por Gilbert *et al.* (2000). Pelo contrário, esperamos que a exposição e análise de sua obra desenvolvida até aqui torne claro o seu compromisso com uma concepção epistemológica crítica. Adicionalmente, buscamos evidenciar que essa concepção harmoniza-se com uma concepção construtivista no sentido epistemológico, sendo, portanto, compatível e consistente com perspectivas contemporâneas da ciência no contexto da educação científica.

VI. Considerações finais

Nesse estudo, procuramos situar a contribuição de Mario Bunge às discussões sobre modelos na filosofia da ciência a partir do século XX, apontando possibilidades e limitações de sua teoria relativamente à problemática da relação entre conhecimento e realidade e destacando algumas aproximações e afastamentos relativamente a outras propostas. Adicionalmente, pudemos abordar uma objeção importante feita a este referencial. Em função das limitações de extensão de um artigo, não tivemos aqui a oportunidade de detalhar propostas mais específicas de como implementar tais contribuições no ensino.

Contudo, o presente estudo não é o único na defesa do referencial bungeano como potencialmente frutífero ao ensino, de forma que tais propostas vêm sendo desenvolvidas. Em sua crítica aos excessos do movimento construtivista – que teriam levado a certo relativismo epistemológico nas pesquisas em ensino de ciências – Pietrocola (1999) já apontava possibilidades no referencial bungeano para ajudar a compor uma concepção mais adequada do conhecimento científico, com base em seu realismo crítico. Essa discussão é aprofundada em Cupani e Pietrocola (2002) e, em uma perspectiva semelhante, também é desenvolvida por Westphal e Pinheiro (2004). Uma transposição das ideias de Bunge sobre modelos para o ensino, enfocando uma caracterização de propostas de modelização, pode ser encontrada em Machado e Souza Cruz (2011). Brandão e Veit (2011) propõem implicações ao ensino apoiando-se simultaneamente no referencial de Bunge e na Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud. Seguindo a articulação que promovem entre esses referenciais, Brandão, Araújo e Veit (2010) utilizam-na para analisar aspectos da conceitualização de professores do Ensino Médio e empreendem um estudo de caso com uma estudante de mestrado em Ensino de Física (2014). O referencial bungeano é ainda discutido em uma abordagem histórico-filosófica em Machado e Braga (2016) e aplicado na análise de conhecimentos-em-ação (também de forma articulada com a teoria de Vergnaud) de estudantes de Física em Machado e Braga (2018).

Finalmente, destacamos que a defesa da viabilidade e potencialidade desse referencial não implica na rejeição de outros referenciais possíveis. Trata-se de uma escolha baseada especificamente na problemática de modelos aqui abordada. Como ensina o próprio Bunge, sempre é possível, ao menos a priori, abordar um problema sob diferentes pontos de partida

teóricos, sem que isso signifique uma inconsistência ou exclusão mútua. Portanto, a adoção de outros referenciais para tratar o problema não só é possível como pode complementar as contribuições que buscamos desenvolver aqui. Além disso, a relação entre teoria e realidade, enfocada nesse trabalho, não é o único papel que os modelos desempenham, como já foi observado por Morgan e Morrison (1999) e, principalmente, por Knuutila (2005, 2011).

Por esse motivo, observamos que não cabe falar sobre “a” visão de modelos no ensino no sentido de uma concepção “correta” a ser escolhida. O que pode haver são propostas que apresentem maior ou menor sintonia com cada objetivo específico tomado. Isto é, as especificidades de cada estudo é que podem determinar as respectivas ênfases, estratégias metodológicas e concepções filosóficas que podem contribuir de maneira mais efetiva à sua consecução. Daí que a diversidade das categorias de modelização existentes não implica necessariamente que essas sejam conflituosas entre si: é possível vê-las como complementares, com cada ênfase respondendo a um particular aspecto dos modelos.

Referências

AAAS (American Association for the Advancement of Science). **Benchmarks for science literacy: A Project 2061 report**. New York, Oxford: 1993.

ABD-EL-KHALICK, F.; LEDERMAN, N. G. The influence of history of science courses on students' views of nature of science. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 37, n. 10, p. 1057-1095, 2000.

ACHINSTEIN, P. **Concepts of Science**. Baltimore: John Hopkins Press, 1968.

ADÚRIZ-BRAVO, A.; MORALES, L. El concepto de modelo en la enseñanza de la Física – consideraciones epistemológicas, didácticas y retóricas. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 19, n. 1, p. 76-88, abr. 2002.

ADÚRIZ-BRAVO, A. A ‘semantic’ view of scientific models for science education. **Science & Education**, v. 22, n. 7, p. 1593-1611, 2013.

ANGELL, C.; KIND, P. M.; HENRIKSEN, E. K; GUTTERSUD, O. An empirical-mathematical modeling approach to upper secondary physics. **Physics Education**, v. 43, n. 3, 2008.

BAILER-JONES, D. Models, Metaphors and Analogies. In: MACHAMER, P. K.; SILBERSTEIN, M. (Eds). **The Blackwell guide to the philosophy of science**. Copenhagen: Wiley-Blackwell, 2002.

BLACK, M. **Models and metaphors: Studies in language and philosophy**. New York: Cornell University Press, 1962.

- BRANDÃO, R. V.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Concepções e dificuldades dos professores de Física no campo conceitual da modelagem científica. **Revista electrónica de enseñanza de las ciencias**, Ourense, v. 9, n. 3, p. 669-695, 2010.
- BRANDÃO, R. V.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. A modelagem científica vista como um campo conceitual. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 3, p. 507-545, 2011.
- BRANDÃO, R. V.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Um estudo de caso para dar sentido à tese de que a modelagem científica pode ser vista como um campo conceitual. **Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias**, v. 9, n. 1, p. 1-21, 2014.
- BUNGE, M. Concepts of model. In: **Method, model and matter**. Springer Netherlands, p. 91-113, 1973a.
- BUNGE, M. **Philosophy of physics**. Dordrecht: Reidel, 1973b.
- BUNGE, M. **Semantics II: interpretation and truth**. Dordrecht: Reidel, 1974.
- BUNGE, M. **Treatise on basic philosophy: Ontology I: the furniture of the world**. Dordrecht: Reidel, 1977.
- BUNGE, M. **Epistemology and Methodology III: Philosophy of Science and Technology**. Dordrecht: Reidel, 1985.
- BUNGE, M. Una caricatura de la ciencia: la novísima sociología de la ciencia. **Interciencia**, Caracas, v.16, n. 2, p. 69-77, abr. 1991.
- BUNGE, M. **Intuición y Razón**. Buenos Aires: Sudamericana, 1996.
- BUNGE, M. **Philosophy of science: from problem to theory**. Transaction Publishers, 1998.
- BUNGE, Mario. **Física e filosofia**. São Paulo: Perspectiva, 2007.
- CARNAP, Rudolf. **Foundations of logic and mathematics**. Chicago: Chicago University Press, 1939.
- CARTWRIGHT, N. **How the laws of physics lie**. Oxford: Clarendon Press, 1983.
- CHAKRAVARTTY, A. The semantic or model-theoretic view of theories and scientific realism. **Synthese**, v. 127, n. 3, p. 325-345, 2001.
- CHAMIZO, J. A. A new definition of models and modeling in chemistry's teaching. **Science & Education**, v. 22, n. 7, p. 1613-1632, 2013.
- CLEMENT, J. Analysis of clinical interviews: Foundations and model viability. In: KELLY, A.; LESH, R. (Eds). **Handbook of research design in mathematics and science education**.

London: Lawrence Erlbaum, 2000. p. 547-589.

COLL, R. K.; FRANCE, B.; TAYLOR, I. 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.

CUPANI, A. A Filosofia da Ciencia de Mario Bunge e a questão do “Positivismo”. **Manuscrito**, v. 19, n. 2, p. 113-142, 1991.

CUPANI, A.; PIETROCOLA, M. A relevância da epistemologia de Mario Bunge para o ensino de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, n. especial, 2002.

CUSTÓDIO, J. F.; PIETROCOLA, M. Princípios nas ciências empíricas e o seu tratamento em livros didáticos. **Ciência & Educação**, v. 10, n. 3, p. 383-399, 2004.

DUIT, R.; GLYNN, S. Mental Modelling. In: WELFORD, G.; OSBORNE, J.; SCOTT, P. (Eds.). **Research in Science Education in Europe: Current Issues and Themes**. London: Falmer Press, 1996. p. 166-176.

GALAGOVSKY, L. R.; ADÚRIZ-BRAVO, A. Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales. El concepto de modelo didáctico analógico. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 19, n. 2, p. 231-242, 2001.

GIERE, R. **Explaining Science: A Cognitive Approach**. Chicago: University of Chicago, 1988.

GIERE, R. An agent-based conception of models and scientific representation. **Synthese**, v. 172, n. 2, p. 269-281, 2010.

GIL PÉREZ, D. *et al.* Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.

GILBERT, J. K.; WATTS, D. M. Concepts, misconceptions and alternative conceptions: Changing perspectives in science education. **Studies in Science Education**, v. 10, n. 1, p. 61-98, 1983.

GILBERT, J. K.; BOULTER, C. J. Learning science through models and modelling. In: FRASER, B, TOBIN, K. (Eds). **International Handbook of Science Education**. London: Kluwer Academics, 1998. p. 53-66. v. 2.

GILBERT, J. K.; PIETROCOLA, M.; ZYLBERSZTAJN, A.; FRANCO, C. Science and education: Notions of reality, theory and model. In: GILBERT, J. K.; BOULTER, C. **Developing models in science education**. Dordrecht: Springer, 2000. p. 19-40.

GILBERT, J. K.; JUSTI, R. Models of Modelling. In: **Modelling-based Teaching in Science Education**. Springer International Publishing, 2016. p. 17-40.

GRANDY, R. E. What are models and why do we need them? **Science & Education**, v. 12, n. 8, p. 773-777, 2003.

GRECA, I. M.; MOREIRA, M. A. Mental, physical, and mathematical models in the teaching and learning of physics. **Science Education**, v. 86, n. 1, p. 106-121, 2001.

HARRÉ, R. Metaphor, model and mechanism. **Proceedings of the Aristotelian Society**, v. 60, p. 101-122, 1960.

HARRISON, A. G.; TREAGUST, D. F. Modelling in science lessons: Are there better ways to learn with models? **School Science and Mathematics**, v. 98, n. 8, p. 420-429, 1998.

HARRISON, A. G.; TREAGUST, D. F. A typology of school science models. **International Journal of Science Education**, v. 22, n. 9, p. 1011-1026, 2000.

HARTMANN, S. Modeling in philosophy of science. **Representation, evidence, and justification: Themes from Suppes**, v. 1, p. 95-121, 2008.

HESSE, M. **Models and Analogies in Science**. Notre Dame: University of Notre Dame Press, 1966.

HESSEN, J. **Teoria do conhecimento**. 7. ed. Coimbra: Armênio Amado, 1979.

HESTENES, D. Toward a modeling theory of physics instruction. **American journal of physics**, v. 55, n. 5, p. 440-454, 1987.

IZQUIERDO-AYMERICH, M.; ADÚRIZ-BRAVO, A. Epistemological foundations of school science. **Science & Education**, v. 12, n. 1, p. 27-43, 2003.

JUSTI, R.; GILBERT, J. K. The role of analog models in the understanding of the nature of models in Chemistry. In: **Metaphor and analogy in science education**. Springer Netherlands, p. 119-130, 2006.

KNUUTILA, T. **Models as epistemic artefacts**: Toward a non-representationalist account of scientific representation. Helsinki, Finland: University of Helsinki, 2005.

KNUUTTILA, T.; BOON, M. How do models give us knowledge? The case of Carnot's ideal heat engine. **European journal for philosophy of science**, v. 1, n. 3, p. 309, 2011.

KOPONEN, I. T. Models and modelling in physics education: A critical re-analysis of philosophical underpinnings and suggestions for revisions. **Science & Education**, v. 16, n. 7, p. 751-773, 2007.

LEDERMAN, N. G. Nature of science: Past, present, and future. In: ABELL, S. K.; LEDERMAN, N. G. (Eds.). **Handbook of Research on Science Education** (p. 831-880). Mahwah, NJ: Erlbaum, 2007.

MACHADO, J.; SOUZA CRUZ, S. Conhecimento, realidade e ensino de Física: modelização em uma inspiração bungeana. **Ciência & Educação**, v. 17, n. 4, p. 887-902, 2011.

MACHADO, J.; BRAGA, M. A. B. Can the History of Science Contribute to Modelling in Physics Teaching?. **Science & Education**, v. 25, n. 7-8, p. 823-836, 2016.

MACHADO, J.; BRAGA, M. Secondary students' modelling conceptualisation in situations related to particle dynamics: a clinical perspective. **International Journal of Science Education**, v. 40, n. 13, p. 1606-1628, 2018.

MATTHEWS, M. R. Mario Bunge, systematic philosophy and science education: An introduction. **Science & Education**, v. 21, n. 10, p. 1393-1403, 2012.

MCCOMAS, W. C. Seeking historical examples to illustrate key aspects of the nature of science. **Science & Education**, v. 17, p. 1249-1263, 2008.

MORGAN, M. S.; MORRISON, M. **Models as mediators: Perspectives on natural and social science**. Cambridge: Cambridge University Press, 1999.

MORRISON, M. Where have all the theories gone? **Philosophy of Science**, v. 74, n. 2, p. 195-228, 2007.

NERSESSIAN, N. J. Should physicists preach what they practice? In: BERNARDINI, C.; TARSITANI, C.; VICENTINI, M. (Eds). **Thinking physics for teaching**. New York: Springer US, 1995. p. 77-96.

NIINILUOTO, I. **Critical Scientific Realism**. London: Oxford University Press, 2002.

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

PINHEIRO, T. F. **Aproximação entre a ciência do aluno na sala de aula da 1ª série do 2º grau e a ciência dos cientistas**: uma discussão. 1996. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências da Educação.

PORTIDES, D. P. A theory of scientific model construction: The conceptual process of abstraction and concretisation. **Foundations of Science**, v. 10, n. 1, p. 67-88, 2005.

PORTIDES, D. Seeking representations of phenomena: Phenomenological models. **Studies In History and Philosophy of Science Part A**, v. 42, n. 2, p. 334-341, 2011.

REICHENBACH, H. **Experience and Prediction**. Chicago: University of Chicago Press, 1938.

STOCKMAN, N. **Anti-positivist theories of science**: critical rationalism, critical theory and scientific realism. Dordrecht: Reidel, 1983.

SUPPE, F. **The Structure of Scientific Theories**. Illinois: University of Illinois Press, 1977.

SUPPE, F. **The semantic conception of theories and scientific realism**. Illinois: University of Illinois Press, 1989.

SUPPES, P. Models of Data. In: NAGEL, E.; SUPPES, P.; TARSKI, A. (Eds). **Logic, Methodology and Philosophy of Science**: Proceedings of the International Congress. Stanford: Stanford University Press, 1962.

UHDEN, O.; KARAM, R.; PIETROCOLA, M.; POSPIECH, G. Modelling mathematical reasoning in physics education. **Science & Education**, v. 21, n. 4, p. 485-506, 2012.

VAN FRAASSEN, B. **The Scientific Image**. Oxford: Clarendon Press, 1980.

WESTPHAL, M.; PINHEIRO, T. C. A epistemologia de Mario Bunge e sua contribuição para o Ensino de Ciências. **Ciência e Educação**, Bauru, v. 10, n. 3, p. 585-596, 2004.



Direito autoral e licença de uso: Este artigo está licenciado sob uma [Licença Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).