

Situação: O preprint não foi submetido para publicação

Modelos na filosofia da ciência e epistemologia: Implicações para a ciência escolar

Darlan Morais Oliveira, Caio Maximino

<https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.2105>

Este preprint foi submetido sob as seguintes condições:

- Os autores declaram que estão cientes que são os únicos responsáveis pelo conteúdo do preprint e que o depósito no SciELO Preprints não significa nenhum compromisso de parte do SciELO, exceto sua preservação e disseminação.
- Os autores declaram que os necessários Termos de Consentimento Livre e Esclarecido de participantes ou pacientes na pesquisa foram obtidos e estão descritos no manuscrito, quando aplicável.
- Os autores declaram que a elaboração do manuscrito seguiu as normas éticas de comunicação científica.
- Os autores declaram que os dados, aplicativos e outros conteúdos subjacentes ao manuscrito estão referenciados.
- O manuscrito depositado está no formato PDF.
- Os autores declaram que a pesquisa que deu origem ao manuscrito seguiu as boas práticas éticas e que as necessárias aprovações de comitês de ética de pesquisa, quando aplicável, estão descritas no manuscrito.
- Os autores concordam que caso o manuscrito venha a ser aceito e postado no servidor SciELO Preprints, a retirada do mesmo se dará mediante retratação.
- Os autores concordam que o manuscrito aprovado será disponibilizado sob licença [Creative Commons CC-BY](#).
- O autor submissor declara que as contribuições de todos os autores e declaração de conflito de interesses estão incluídas de maneira explícita e em seções específicas do manuscrito.
- Os autores declaram que o manuscrito não foi depositado e/ou disponibilizado previamente em outro servidor de preprints ou publicado em um periódico.
- Caso o manuscrito esteja em processo de avaliação ou sendo preparado para publicação mas ainda não publicado por um periódico, os autores declaram que receberam autorização do periódico para realizar este depósito.
- O autor submissor declara que todos os autores do manuscrito concordam com a submissão ao SciELO Preprints.

Submetido em (AAAA-MM-DD): 2021-04-12

Postado em (AAAA-MM-DD): 2021-05-11

**MODELOS NA FILOSOFIA DA CIÊNCIA E EPISTEMOLOGIA:
Implicações para a ciência escolar**

**MODELS IN PHILOSOPHY OF SCIENCE AND
EPISTEMOLOGY: Implications for school science**

**MODELOS EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA Y
EPISTEMOLOGÍA: Implicaciones para la ciencia escolar**

Darlan Moraes Oliveira^{1,a}, Caio Maximino^{1,2,b*}

¹ Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática, Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Marabá/PA, Brasil

² Faculdade de Psicologia, Instituto de Estudos em Saúde e Biológica, Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Marabá/PA, Brasil

^a ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5855-6886>

^b ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3261-9196>

* Autor de correspondência:

Caio Maximino – Laboratório de Neurociências e Comportamento “Frederico Guilherme Graeff”, Instituto de Estudos em Saúde e Biológicas, Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Unidade III – av. dos Ipês, SN, CEP 68500-000, Marabá/PA
e-mail: cmaximino@unifesspa.edu.br

Resumo

Os modelos são importantes componentes na atividade científica, porém suas funções são divergentes diante das várias vertentes da filosofia da ciência e epistemologia. Correntes como o realismo e antirrealismo discutem a importância dos modelos, colocando-os em patamares distintos. Ao mesmo tempo, é imprescindível compreender a visão sobre o uso dos modelos enquanto subsídios no ensino de

ciências. O debate realismo/anti-realismo não representa uma mera curiosidade epistemológica, mas algo que têm consequências para a ciência escolar, entendida como um processo de transposição didática que, por necessidade, apóia-se em idealizações. Saídas para o problema são apresentadas, incluindo um foco nas transposições didáticas e na historiografia das ciências.

Palavras-chave: Antirrealismo. Entidades. Realismo. Modelos no ensino de ciências.

Abstract

Models are important components in scientific activity, but their functions are divergent among the various schools of philosophy of science and epistemology. Schools such as realism and anti-realism discuss the importance of models, placing them at different levels. At the same time, it is essential to understand the use of models as aids in science teaching. The realism/anti-realism debate is not a mere epistemological curiosity, but something that has consequences for school science, understood as a process of didactic transposition that, of necessity, relies on idealizations. Solutions to the problem are presented, including a focus on didactic transpositions and the historiography of science.

Keywords: Anti-realism. Entities. Realism. Models in science teaching.

Resumen

Los modelos son componentes importantes en la actividad científica, pero sus funciones son divergentes entre las distintas corrientes de la filosofía de la ciencia y la epistemología. Corrientes como el realismo y el antirrealismo discuten la importancia de los modelos, situándolos en diferentes niveles. Al mismo tiempo, es esencial comprender el uso de modelos como subsidios en la enseñanza de las ciencias. El debate realismo/antirrealismo no representa una mera curiosidad epistemológica, sino algo que tiene consecuencias para la ciencia escolar, entendida como un proceso de transposición didáctica que, por necesidad, se apoya en idealizaciones. Se presentan soluciones al problema, incluyendo un enfoque en las transposiciones didáticas y la historiografía de la ciencia.

Palabras clave: Antirrealismo. Entidades. Realismo. Modelos em la enseñanza de ciencias.

1. Introdução

A especificação da natureza exata da relação entre modelos e o mundo tem sido um ponto central de debate na filosofia da literatura científica. Estudiosos da história e da filosofia da ciência recorrem ao papel central que os modelos e a modelagem desempenham na organização das práticas dos cientistas e apontam o crescimento da importância dos modelos e modelagem em educação científica (Passmore et al., 2014).

As perspectivas cognitivas da Filosofia da Ciência assumem que a finalidade das ciências é construir modelos que se adequam a (e preservam) os fenômenos modelados. Essa vertente filosófica, defendida por teóricos como Bas van Fraassen e Ronald Giere, propõe que as teorias científicas são caracterizadas como um conjunto de modelos, sendo que alguns autores defendem que o modelo é, dentre outras coisas, uma versão simplificada de algo natural, como, por exemplo, o modelo do sistema solar, modelo atômico, modelo do pêndulo, etc. (Adúriz-Bravo, 2013; De Araújo Dutra, 2008, 2013; Passmore et al., 2014; Pino, 2010). Nas diferentes teorias de modelos, como veremos, um modelo não é só um ente ontológico (i.e., uma simplificação de um objeto existente ou teórico), mas um ente epistemológico, que tem uma função semântica (“representacional”) (R. Giere, 1988; Thagard, 1987; van Fraassen, 2007).

Existem diversas definições possíveis de “modelo” em filosofia da ciência. A virada cognitiva, entretanto, é de matriz instrumentalista¹, e identificou como atributos-chave dos modelos científicos o fato de serem definidos pelo contexto de seu uso; serem representações parciais de fenômenos; e serem distintos das formas representacionais que assumem (Passmore et al., 2014). Essa visão instrumentalista argumenta que o relacionamento entre modelos e o mundo só faz sentido no contexto de seu uso pretendido por algum agente cognitivo. O agente cognitivo é quem decidirá como vincular, filtrar, simplificar e representar o fenômeno para gerar um modelo; quais recursos precisam ser compartilhados e em que grau vai depender da maneira como o usuário do modelo quer entender esse fenômeno (De Araújo Dutra, 2008; Passmore et al., 2014).

1 “Instrumentalismo” aqui é entendido como uma forma de definir ciência a partir de suas consequências práticas – isso é, a partir da observação de como os cientistas e educadores realmente fazem e ensinam ciência, não a partir de uma concepção *a priori* de verdade e correspondência.

Essa perspectiva também têm inspiração na sociologia da ciência, que demonstra ter sua relação com a prática científica e por consequência com os modelos que estão intimamente ligados a essa prática. Diversos sociólogos da ciência examinaram a complexidade da prática científica de uma gama de perspectivas, valendo-se, dentre outras coisas, da estrutura social da ciência, a normas culturais e epistemológicas, as práticas e rotinas cotidianas dos cientistas, o papel das ferramentas e formas materiais, e o raciocínio e resolução de problemas estratégias utilizadas na prática científica (Passmore et al., 2014). Assim, os modelos também ocupam espaço de relevância dentro da sociologia da ciência, uma vez que somente pelo contexto e pelo agente cognitivo poderá ser definido se um dado modelo *corresponde* a um dado fenômeno natural; portanto assim como as teorias científicas, os modelos também são socialmente construídos (R. Giere, 1988).

Um influente filósofo da virada cognitiva, Paul Thagard sugeriu que a ciência cognitiva² oferece a possibilidade de desenvolver modelos muito mais detalhados e poderosos de mudança científica. Nesse contexto, Thagard (1987) propõe que é possível analisar as teorias científicas de forma bem mais elaborada unindo inteligência artificial (através da modelagem computacional), a cognição “quente” (sociologia da ciência), e a cognição “fria” (filosofia da ciência). Nesse caso, por meio de algoritmos, seria possível avaliar a coerência e a coesão das explicações de teorias científicas, proposições, hipóteses, e até mesmo o contexto social e motivações pessoais, dentre outros fatores, que somados e obedecendo certos critérios e princípios definem com que uma teoria seja mais aceita que outra.

Nesse sentido, embora Thagard não o descreva, fica implícito que, na perspectiva da inteligência artificial enquanto área da ciência cognitiva, o modelo – por sua íntima relação com a teoria – não é definido amplamente pela razão ou pela construção social, mas pela somatória de fatores que podem ser tanto de ordem racional quanto social. Se, por um lado, as teorias de Giere e van Fraassen referem-se à **ontologia** do modelo (i.e., *o que é* um modelo) e à **semântica** do modelo (o queremos dizer com a afirmação de que o modelo *representa* algo), a teoria cognitiva de Thagard (1987) refere-se à **epistemologia** do modelo (i.e., como podemos usar os modelos para conhecer algo). Em analogia aos modelos mentais propostos pela

2 Estudo indisciplinar abrangendo a psicologia cognitiva, inteligência artificial e, mais periféricamente, filosofia, linguística, antropologia e neurociência.

ciência cognitiva, Thagard (1987) propõe que os modelos são formas de conhecer o mundo.

Uma parte significativa da investigação científica é feita utilizando-se modelos (realidade mediata), ao invés da realidade imediata, porque, ao estudar o modelo, podemos produzir inferências sobre o sistema que é alvo do modelo. Por exemplo, os cientistas estudam a natureza do átomo de hidrogênio, a dinâmica das populações, ou o comportamento dos polímeros utilizando seus modelos. Essa função epistemológica e cognitiva dos modelos é a base do “raciocínio baseado em modelos” (Adúriz-Bravo, 2013; Gilbert & Boulter, 1998; Luckie et al., 2011; Passmore et al., 2014; Thagard, 1987), fundamental para a compreensão do uso educacional dos modelos.

Ante tais conceitos e definições torna-se imprescindível entender a função dos modelos dentro das diferentes vertentes da Filosofia da Ciência, bem como compreender seu papel epistemológico, na medida que estes podem atuar como importantes ferramentas para o conhecimento dos fenômenos neles representados. Por consequência, tais percepções sobre os modelos podem trazer importantes contribuições para o ensino de ciências tendo em vista que se utiliza o modelo para lecionar, praticar e aprender ciências. Desse modo, a presente pesquisa desenvolveu-se com o objetivo de demonstrar o papel dos modelos nos diversos aspectos da Filosofia da Ciência e da Epistemologia e seu consequente uso no ensino de ciências.

2. Os modelos na tensão entre racionalismo/empirismo e realismo/antirrealismo

A filosofia da ciência é composta por vários “ismos” – ou seja, vários termos para designar distintas posições nesse ramo filosófico (Okasha, 2002). Esses diferentes modos de se pensar ciência na maioria de vezes se opõem; nesta seção em particular propõe-se visualizar as definições básicas e contrárias entre o racionalismo e empirismo, bem como entre realismo e antirrealismo. A distinção entre racionalismo e empirismo fundamenta a filosofia da ciência em todos os aspectos, dado que se refere ao problema epistemológico básico de como conhecer o mundo: pela razão ou pelos sentidos? Essa distinção encontra consistência no Iluminismo e movimentos históricos posteriores, e lança uma sombra sobre a epistemologia dos modelos, dado que os modelos constituem um elo entre conteúdo e metodologia, ou ainda, entre

teoria e empiria (Krapas et al., 1997) e portanto entre a razão e a observação/experiência.

Além da razão e a observação, outro elemento que norteia as correntes da filosofia da ciência é a noção de verdade, falsidade, real e existente, que diz respeito principalmente acerca das realidade ou possibilidade de existência das entidades científicas:

[...] por um lado podemos argumentar em favor da existência das entidades que povoam o universo das teorias atuais; por outro se pode argumentar que elas talvez não existam. O jogo desses argumentos ocorre num fórum filosófico específico: o debate realismo/ antirrealismo (Silva, 2013, p. 483).

Na posição realista, assumida por diferentes filósofos da ciência, se uma teoria fornece uma explicação fidedigna para os fatos que ela descreve ela é verdadeira. Nesse sentido, quanto mais uma teoria se aproxima de uma realidade que lhe é externa, mais verdadeira é. Essa corrente afirma que a ciência contemporânea tem o objetivo encontrar uma descrição verdadeira de processos inobserváveis que possam explicar aqueles observáveis (Brante, 2010; Gordon, 2012; Silva, 1998, 2013).

A afirmação do realismo científico sustenta a tese de que as teorias científicas possuem um valor-de-verdade (ou são verdadeiras, ou são falsas), uma vez que os argumentos teóricos referem a entidades realmente existentes no mundo. O realista compromete-se com entidades inobserváveis que são externas à teoria, e descobertas pela teoria, e não construídas pela produção científica; desta forma, as leis científicas são descobertas, sendo as entidades teóricas existentes de forma independente (Silva, 1998).

Okasha (2002) reforça que o posicionamento daqueles que se encaixam dentro do Realismo Científico é de que a função da ciência é descrever a verdade do mundo. Assim, o Realismo Científico pode ser descrito como uma vertente da ciência que objetiva formular enunciados verdadeiros em suas teorias sobre os fenômenos do mundo, e desse modo aceitar uma teoria científica significa dizer que ela é verdadeira (Ferrador, 2013; Ghins, 2010; van Fraassen, 2004, 2007).

Assim, um cientista realista tem a crença de que a teoria é verdadeira e ela só deverá ser superada quando uma “nova” teoria se aproximar mais ainda da verdade. Para isso, a ciência descreve os mínimos detalhes da realidade da natureza em seus processos e entidades, mesmo que sejam inacessíveis ao sentido do homem (Ody, 2005).

De acordo com os defensores do Realismo científico – Richard Boyd, Hilary Putnam, William Newton-Smith e Alan Musgrave, entre outros –, essa vertente

compreende as seguintes afirmações: as teorias das ciências possuem uma legítima correspondência com a realidade (teoria-mundo), portanto as entidades compreendidas na teoria, embora invisíveis, existem realmente não sendo meros instrumentos ou ficções adequadas para representar, organizar e inferir os fenômenos experimentais; a sucessão das teorias de uma ciência constitui uma maior aproximação da verdade, seja em relação aos fenômenos observáveis ou inobserváveis (Silva, 1998, 2013).

Em oposição à visão do realismo científico está o antirrealismo ou instrumentalismo. Para o antirrealista, a teoria não necessariamente precisa ser fiel à realidade/verdade, podendo ser aceita se possuir características importantes (Gordon, 2012; Ody, 2005). Ao contrário dos realistas, os antirrealistas argumentam que a finalidade da ciência é formular um detalhamento verdadeiro apenas da parte observável do mundo. Para os antirrealistas, o observável refere-se ao que existe no mundo e percebido pelo homem, como mesas, cadeiras, plantas, animais, tubos de ensaio, bicos de Bunsen, trovoadas, e nevascas. Se algumas ciências terão como objeto de estudo apenas objetos visíveis, outras ciências, como a Física e Química, fazem afirmações teóricas sobre objetos inobserváveis – como átomos, elétrons, *quarks*, *leptons*, etc –, que estão além do alcance das faculdades de observação dos seres humanos. Nesse caso, o *status* de verdade dessas estruturas não está em sua correspondência com o estado do mundo, mas com características internas da teoria (Okasha, 2002). Consideremos o exemplo do elétron nas perspectivas realista e antirrealista: para o realista, o elétron realmente *tem* que existir, pois é passível de manipulação e portanto real. Por outro lado, para o antirrealista o elétron não precisa existir mesmo que a teoria tenha sucesso na previsão de observações e manipulações (Gordon, 2012; Silva, 1998).

A modelagem, dentro da concepção antirrealista, não tem como objetivo representar a verdade, de modo que é aceito o critério da falsidade na produção de modelos. No entanto, há concordância entre os realistas e antirrealistas a respeito dos modelos quanto à sua função epistemológica, pois as teorias e os modelos são capazes de explicar com êxito os fenômenos observados e produzidos pela ciência. Assim, modelos e teorias são, além de instrumentos de exposição, *elementos de explicação científica* e desse modo indispensáveis para adquirir conhecimento científico sobre o mundo (Silva, 1998). Entretanto, realismo e antirrealismo divergem quanto ao *status* ontológico dos modelos.

Portanto, diante dos argumentos anteriores, a legitimidade da inferência a respeito da existência de entidades inobserváveis em teorias aceitas e bem sucedidas experimentalmente é o grande problema em torno das vertentes da filosofia da ciência realista e antirrealista (Silva, 1998).

Ante essas visões, quando confrontadas na educação em ciências, percebe-se favorecimento da tendências realista, haja vista que a construção é um processo ignorado no ensino de ciências, onde as teorias e modelos científicos são ensinados como verdades, como descobertas estupendas, como definitivos, concluídos, pois os professores de ciência geralmente não apresentam os conhecimentos como construções científicas (Adúriz-Bravo, 2013; Bentley & Garrison, 1991; Moreira, 2014; Silva, 2013). Isso se torna ainda mais explícito na modelagem material, quando se tenta construir uma cópia idêntica e maximizada da realidade, como é demonstrado em algumas pesquisas desse âmbito; por exemplo, o estudo de FREITAS et al. (2009), ao estimular alunos de ensino médio a reproduzirem modelos de células tridimensionais, afirmou que o kit utilizado para construção das células propiciava aos alunos reproduzi-las de modo mais **próximo do real**. Tomando-se esse exemplo, é possível afirmar que células representadas bidimensionalmente nos livros didáticos, e por vezes materializados em atividades pedagógicas, são mais *didáticas* do que *reais*, com a intenção de simplificar a realidade e se tornar compreensível ao aluno, nisso constitui-se um equívoco o professor tentar persuadir o aluno a crer que o modelo construído é algo fiel a uma realidade pronta e acabada.

2.1. Modelos na concepção Realista da Ciência

A noção de modelo dentro do realismo científico possui valor ontológico e, desse modo, os modelos tenderiam a reproduzir a realidade ao menos de modo aproximado e provisório. Nesse sentido, a função da modelagem científica é a constituição de modelos voltados para a verdade, pretendendo albergar o mais próximo possível o que de fato existe no mundo (Giere, 1988).

Frisa-se que o realismo científico não prioriza a crença da existência de entidades como fator essencial da explicação científica; antes de tudo, vem a aceitação de uma teoria que, pelo fato desta explicar mais claramente diversos fenômenos, pressupõe-se que não faltam razões para crer em sua verdade e, portanto, acreditar na existência de entidades inobserváveis ocorrentes em tais teorias (Brante, 2010), por

consequência os modelos dessas entidades representam sim estruturas reais. Esse é um ponto contraditório importante do realismo científico, que normalmente é resolvido pelo procedimento de abdução. Alguns autores, como Bas van Fraassen (2004, 2007), abandonam a postura realista precisamente pela crítica à abdução, como veremos à frente.

O realismo científico é tido como hipótese empírica de grande generalidade, capaz de explicar suficientemente o sucesso instrumental da ciência e a convergência das teorias científicas – teorias estas que se renovam, sendo que cada teoria nova preserva tanto quanto possível alguns fatores da teoria anterior (Guitarrari, 2016). Todavia, nem sempre essa concepção garante a “verdade” na ciência, pois muitas teorias, quanto colocadas em prática, surtiam efeitos esperados, fazendo-se crer nas entidades nelas existentes; entretanto com o progresso das ciências percebeu-se que tal teoria não mais condizia com a realidade. Teorias bem sucedidas em sua época se mostravam experimentalmente possíveis, depois foram questionadas e substituídas por outras, colocando em questão a existência das entidades que postulavam. Alguns filósofos da ciência explicam como o progresso é possível na ciência com base em uma teoria da verossimilitude ou aproximação da verdade, sendo que não há critérios gerais para definir uma verdade; ao invés disso há uma direção à verdade onde os êxitos aumentam e os erros diminuem (Frigg, 2006; Guitarrari, 2016).

Sobre os argumentos anteriores, há vários exemplos de teorias e seus respectivos modelos que tiveram validade em determinado tempo, tidas como verdadeiras, sendo posteriormente superadas. Por exemplo, a ciência pregara a teoria do pré-formacionismo em que o espermatozóide era constituído de entidade denominada homúnculo, havendo inclusive um modelo desenhado no século XVII para representar tal entidade (Wang, 2018). Muito embora essa teoria hoje pareça fantasiosa, no mínimo ela serviu para explicar a fecundação, uma vez que o espermatozoide era a semente que se desenvolvia no terreno (óvulo). Com a superação dessa teoria, percebe-se não apenas a troca de uma teoria pela outra mas o surgimento de uma “verdade melhorada” mais próxima do que se acredita ser a realidade, onde diminuíram-se os erros substituindo-se entidades por outras (homúnculo x núcleos haploides e genes) e mantendo a veracidade da fecundação (espermatozoide + ovulo).

Outro importante exemplo que gerou revolução Lavoisierana na ciência foi a substituição da teoria do flogisto pela teoria da combustão; nessa virada de teorias, novas entidades (o oxigênio) surgiram, enquanto que outras (o flogisto) sumiram, e

consequentemente um modelo substituiu o outro. No entanto nesse episódio a história dá fortes indícios de que Lavoisier claramente evitou questionar a existência do flogisto, em vez disso, procurou de modo sistemático construir uma teoria possível e alternativa à teoria do flogisto – alternativa ao ponto que resultaria em convencer os próximos cientistas a abandonarem a ideia do flogismo (Silva, 2013); nesse caso demonstra-se mais uma vez que a intenção era aproximar a teoria da realidade e não eliminar uma teoria já existente.

O realismo científico também considera que uma teoria científica está alicerçada em fatos disponíveis, que, havendo boas evidências favoráveis à sua aceitação, acredita-se que essa teoria não é apenas uma idealização mental adequada ou instrumento útil para a realização de um experimento, mas que oferece detalhes mais próximos da realidade do mundo, que seriam ocultos sem os recursos da ciência (Brante, 2010; Guitarrari, 2016). Um dos eixos principais do realismo científico é a crença nas entidades como verdadeiras, mas antes vem a crença na teoria que prega a entidade inobservável, como já dito antes. A crença nas entidades inobserváveis no realismo científico vem fortemente justificada pelo “argumento do milagre” que funciona da seguinte forma: se em uma teoria for postulado um valor para uma propriedade física referente a algum suposto entidade inobservável, pela eficiência da teoria somos convidados a acreditar que de fato há algo no mundo que corresponde ao tal ente (Chibeni, 2006).

O sucesso empírico das teorias que postulam entidades inobserváveis é a base de um dos argumentos mais fortes a favor do realismo científico, a que se chama *argumento do “milagre.”* De acordo com esse argumento, seria uma coincidência extraordinária se uma teoria que fala sobre elétrons e átomos fizesse previsões exatas sobre o mundo observável – a menos que os elétrons e os átomos existam realmente. Se não há átomos e elétrons, o que explica o ajuste perfeito da teoria com os dados observacionais? Similarmente, como explicar os avanços tecnológicos a que as nossas teorias têm conduzido, a menos que suponhamos que as teorias em questão são verdadeiras? Se os átomos e elétrons são apenas “ficções úteis,” como sustenta o antirrealista, então por que funcionam os *lasers*? (Okasha, 2002, p. 4).

Muitas teorias que propõem a existência de entidades inobserváveis são experimentalmente exitosas fazendo previsões confiáveis sobre o comportamento dos fenômenos observáveis; por exemplo, o *laser* que é visível se baseia numa teoria sobre o que acontece quando elétrons (invisíveis) num átomo passam de estados de energia mais altos para estados mais baixos, portanto funcionamento dos *lasers* é uma comprovação experimental bem sucedida do funcionamento e existência de partículas subatômicas (Okasha, 2002).

O realismo atribui às entidades inobserváveis uma dimensão ontológica, onde tais entidades devem verdadeiramente existir para que o mundo funcione da forma como a teoria prediz; outro exemplo é a molécula de DNA: se esta é modelada como uma dupla-hélice, então na realidade ele deve se comportar como é descrito, além de explicar certos fenômenos (transcrição, duplicação, ligações químicas etc) a partir da configuração do modelo da dupla-hélice (Schaffner, 1969). Logo, no realismo perspectivista o modelo prevê como a entidade se comporta e não necessariamente a sua forma ou aparência, mas sempre considerando a sua existência como algo real no mundo (R. Giere, 1988).

O realismo científico, através do argumento do milagre, não pretende provar que o antirrealismo está errado, apenas se torna um argumento plausível – uma inferência a favor da melhor explicação (abdução), alegando seus defensores que as teorias são verdadeiras e suas entidades são existentes, e se comportam como as teorias dizem. Caso essa explicação não seja aceita, então o êxito empírico das teorias constitui um mistério inexplicado (Souza, 2019). Percebe-se que muito do realismo se sustenta na explicação e na experimentação: se os modelos desenvolvidos explicam com êxito as teorias científicas e por isso representam a realidade (Inferência à Melhor Explicação); e se o teste experimental desses modelos na realidade produz efeitos esperados; então não haveria porque duvidarmos da existência das entidades representadas nos modelos (Argumento do Milagre).

O argumento do milagre é um dos argumentos realistas de expressiva notoriedade contemporânea, mas, além dele tem-se o “argumento da coincidência cósmica”; ambos são muito confundidos entre si, porém este último é a alegação de que, se uma teoria prediz corretamente uma grande quantidade e variedade de fenômenos, então ela é verdadeira sob a ótica dos fenômenos que ela consegue prever através da experiência; caso contrário, se a teoria não fosse aproximadamente verdadeira, somente uma coincidência de proporções cósmicas poderia explicar seu sucesso experimental da mesma (Chibeni, 2006; Souza, 2019).

Trata-se de dois argumentos de natureza abductiva (Chibeni, 1996). A ‘abdução’ é uma concepção de que, a partir de determinadas evidências, nós deduzimos a hipótese que melhor as explica; por exemplo, ao se observar pegadas na areia imediatamente infere-se a melhor explicação de que uma pessoa passou por ali (Junges, 2008). A abdução ou inferência de melhor explicação, constitui uma alegação favorável ao realismo científico, pois sugere um tipo de atrelamento entre o

poder explicativo de uma teoria e a seu valor de verdade (Chibeni, 1996). Por conseguinte a abdução tem grande influência na concepção e aceitação de modelos; por exemplo, o modelo da terra redonda, representada pelo globo terrestre, é bem mais aceito pela comunidade científica e sociedade em geral, pois dentre outros motivos a terra redonda explica muitos mais fenômenos naturais que podem ser vivenciados (movimentos do astros, fases da lua, estações do ano, rotas marítimas etc.) se comparada à terra plana, o que incide na validação do argumento da coincidência cósmica; de igual modo a terra redonda explica a existência entidades inobserváveis (aos olhos humanos pelo menos) como seu próprio formato, pois só um milagre explicaria por exemplo, o fato de que embarcações marítimas e áreas não esbarrarem em alguma grande barreira ou cascata que limitaria as bordas de uma terra plana, incorrendo assim o argumento do milagre nesse exemplo.

Esses tipos de argumentos abduativos que favorecem o realismo são bastante criticados pelo filósofo van Fraassen (2007), uma vez que este teórico prega que as teorias científicas não tem o valor de verdade, mas sim de adequação empírica, e que para qualquer teoria científica não existe apenas uma hipótese experimentalmente eficaz como sugere os argumentos da coincidência cósmica e do milagre, existem indefinidamente muitas outras hipóteses rivais também empiricamente adequadas (Ladyman et al, 2020).

2.2. Modelos e o Empirismo Construtivista de van Fraassen

O Empirismo construtivista é uma alternativa proposta pelo filósofo holandês Bas Cornelis van Fraassen, oposta ao realismo científico e ao perspectivismo de Ronald Giere acerca dos pontos fundamentais que separam essas as duas posições – especialmente a relação entre teoria e mundo (Ghins, 2010). O principal texto que embasa sua posição, *A Imagem Científica* (van Fraassen, 2007), é uma versão atualizada da abordagem experimental do empirismo lógico, afirmando que a função da ciência é construir modelos (numa visão semântica) a partir de teorias experimentalmente adequadas, “salvando” assim os fenômenos.

Acreditar em uma teoria é acreditar que um dos seus modelos representa corretamente o mundo. Pode-se pensar que os modelos representam os mundos possíveis admitidos pela teoria; entende-se que um desses mundos possível é o mundo real. Acreditar na teoria é acreditar que exatamente um de seus modelos representa corretamente o mundo (não apenas em alguma medida, mas a todos os respeito). Portanto, se acreditarmos que todas as teorias de uma família são empiricamente adequadas, mas que cada uma delas vai além dos fenômenos,

então ainda estamos livres para acreditar que cada uma delas é falsa e, logo, que uma parte comum é falsa. Pois tal parte comum pode ser formulada da seguinte maneira: um dos modelos de uma dessas teorias representa corretamente o mundo (van Fraassen, 2007, p. 93).

Em uma perspectiva cognitivista e antirrealista, o exercício da ciência consiste na formulação de modelos que devem ser condizentes com os fenômenos descritos, e não a descoberta de verdades sobre aquilo que ainda não foi possível observar, as chamadas entidades inobserváveis (van Fraassen, 2004, 2007). Essa visão antirrealista dentro da filosofia da ciência sugere que as teorias científicas não precisam ter compromisso de comprovarem a verdade, mas sim “salvar os fenômenos”, na forma de modelos científicos (Ferrador, 2013; Ghins, 2010; Simon & Moraes, 2007). Nesse sentido, o modelo científico ganha um *status* elevado na ciência, tornando-se não só mero componente de ilustrativo da ciência mas sim a finalidade da mesma.

A importância dos modelos para a prática científica é relativa à visão na qual estão inseridos, destacando-se a visão sintática das teorias e a visão semântica das teorias. Na primeira visão o modelo científico é considerado um entendimento alternativo de determinada teoria e por isso é tido como irrelevante e simples acréscimos supérfluos às teorias científicas, apenas como forma de atribuir valor pedagógico, estético, e psicológico a elas; em contrapartida, na visão semântica os modelos tem uma importância maior, tidos como elementos fundamentais e integrantes das teorias, possibilitando testá-las e fornecer suas explicações; nessa visão uma teoria é como uma família de modelos (Adúriz-Bravo, 2013; Frigg, 2006; Pino, 2010). van Fraassen (2007) diz que somente nessa visão as noções de verdade e de modelo são importantes, sendo este último peça central do cenário científico: “Assim, as alegações lógicas, formuladas em termos puramente sintáticos, entretanto, frequentemente, podem ser demonstradas de um modo mais simples, por meio de um desvio, com um exame dos modelos – mas as noções de verdade e modelo pertencem à semântica” (van Fraassen, 2007, p. 87).

E nesse contexto, van Fraassen usa a noção de “adequação empírica”, para substituir a verdade na busca pelo conhecimento a partir da experimentação bem sucedida:

Apresentar uma teoria é especificar uma família de estruturas, seus modelos (as substitutas empíricas) como candidatos à representação direta dos fenômenos observáveis. As estruturas que podem ser descritas em relatos experimentais e de medição podemos chamar de aparências; a teoria é empiricamente adequada se possui algum modelo tal que todas as aparências sejam isomórficas a subestruturas empíricas daquele modelo (van Fraassen, 2007, p. 122).

A noção de “salvar fenômenos” presente em *A Imagem Científica* é colocada no sentido de guardar e preservar o fenômeno dentro de teoria composta por um conjunto de modelos, onde qualquer estrutura que satisfaça os axiomas de uma teoria desse modo é chamado de *modelo* daquela teoria (van Fraassen, 2007, p. 86). van Fraassen critica a posição realista de que o objetivo da ciência é produzir teorias verdadeiras; portanto, para ele os conceitos não-observáveis, como próton, magnetismo, inconsciente etc., são úteis apenas para elucidar os fenômenos visíveis, sem qualquer intenção de corresponder a uma estrutura real (Ody, 2005), ficando claro, portanto, que o empirismo construtivista é uma posição antirrealista.

Para sermos breves, digamos que Leibniz, aceita a teoria mas não acredita nela. Quando houver dificuldades, podemos ampliar o sentido daquela expressão, para dizer que ele aceita a teoria como empiricamente adequada, mas que não acredita que ela seja verdadeira (van Fraassen, 2007, p. 92).

Assim, a teoria de Newton não é verdadeira nem falsa, ela apenas explica um sistema que pode existir ou não na natureza. Por exemplo, o sistema solar não seria newtoniano nessa concepção, pois a anomalia da órbita de Mercúrio não atende às leis do movimento e da gravitação universal de Newton. Isso não significa que a Teoria de Newton seja falsa ou verdadeira, ou *real*; apenas não se aplica ao sistema solar, mas pode se aplicar a outros sistemas (Guitarrari, 2016). Essa concepção se aplica em grande parte às teorias em ciências naturais, por serem compostas de regras e exceções.

O cerne do empirismo construtivista é a construção de modelos que devem ser adequados aos fenômenos, e não no encontro da verdade relativa a aquilo que é inobservável; o adjetivo “construtivista” é enfatizado, sugerindo que a atividade científica deve ser uma atividade de construção e não de descoberta (Simon & Moraes, 2007). Nesse contexto apenas o que é observável no discurso das ciências é verdadeiro, o resto é irrelevante (Gava, 2017).

Porém, diferenciar observável do inobservável não é algo tão fácil, pois são definições ambíguas que variam de acordo com contexto (Gava, 2017) de modo que não há distinção clara de onde a observação acaba (Simon & Moraes, 2007). van Fraassen (2007) explica que a observabilidade depende da atividade epistêmica, citando como exemplo os satélites de Júpiter, que podem ser observados por telescópios, porém também podem ser observados sem telescópio caso o observador

esteja muito perto deles – sendo assim, a observação não depende da existência ou não dos satélites, mas sim do contexto do observador.

2.3. Modelos na Epistemologia Cognitivista de Ronald Giere

Ronald Giere é um dos autores que defendem a ideia da centralidade dos modelos na ciência, alegando que *modelo* é um conceito fundamental na prática científica enquanto entes representacionais dos aspectos do mundo, utilizados pelos cientistas, dando-se um foco maior nos modelos teóricos, os quais o autor classifica como objetos abstratos, entidades imaginárias que podem ou não serem análogas as entidades correspondentes no mundo real (Frigg, 2006; R. Giere, 1988).

Giere (1988, 1992, 1999a, 2006) concebe que o modelo seria uma estrutura cognitiva de algo que lhes atribui um papel fundamental na prática científica. Muito do que o autor prega tem base no empirismo construtivista de van Fraassen; todavia, para Giere, muito embora os modelos deixem de ser meros adornos, estes possuem propriedades dadas pelas teorias científicas, satisfazendo aquilo que determinadas leis postulam (R. Giere, 2009b). Logo, o autor defende uma abordagem realista da semântica, discordando assim do antirrealismo semântico defendido por van Fraassen (Brante, 2010; De Araújo Dutra, 2008, 2013; Silva, 1998).

Giere (1992) propõe os modelos como unidade de sua análise da ciência, discutindo que as teorias científicas são estruturadas sobre a base de certas famílias de modelos, sendo cada um destes modelos um mapa cognitivo individualizado representando um tipo de situação possível. Cada modelo é uma *estrutura cognitiva* projetando alguma situação provável; por exemplo, um mapa é um tipo de modelo baseado em semelhança topológica, determinado por relações espaciais entre estruturas reais, fazendo com que o mapa apresente aspectos *similares* à região mapeada – similares mas não idênticos, correspondendo a realidade em três aspectos: representam alguns aspectos do território (linhas representando ruas e desenhos de edificações); elementos representados incompletos (não contendo toda a extensão de uma rua ou não contendo a altura das edificações); *precisão limitada* (distâncias relativas no mapa podem não corresponder exatamente às distâncias relativas na superfície do território representado). Essa relação não poderia ser diferente, pois um mapa idêntico a um território já não seria mais um mapa e sim o próprio território

(Adúriz-Bravo, 2013; R. Giere, 1988, 1999a), ratificando a ideia de representação do modelo não corresponder a ideia de igualdade.

Giere também discute estruturas como diagramas e modelos tridimensionais em escala – ou seja, modelos físicos. Nos modelos tridimensionais em escala, a relação espacial é a determinante no processo de modelagem, como se observa em uma maquete de uma casa ou em modelo físico da dupla hélice da molécula de DNA, sendo que, nesses dois exemplos, a relação espacial é a base da relação *estrutural*. Por sua vez, nos diagramas (como nos circuitos elétricos, por exemplo) são determinados por uma relação de conexão na modelagem e não uma relação espacial (R. Giere, 2009a).

Giere argumenta que modelos são diferentes da realidade e por isso não podem, e nem devem, ser vistos como a mesma coisa; caso contrário, um modelo que tenta ser a realidade não pode ser definido como modelo, mas uma descrição do real. Além disso, como afirma Giere (2004, p. 747), o modelo por si só não realiza a representação, é o cientista que faz com que o modelo represente a teoria. Assim, o papel de representação não é algo próprio do modelo e sim algo atribuído a ele. Desta forma, dentro de uma perspectiva ontológica, um modelo não seria uma representação em si, mas algo construído e *utilizado* para representar, dentre outras funções. Por fim, para Giere, o uso que se faz de um modelo depende do propósito que se quer alcançar (Brante, 2010; R. Giere, 2006; Pearce, 2013).

3 De modelos científicos a modelos escolares

Existem questões importantes quando pensamos no uso dos modelos científicos no ensino de Ciências. A primeira delas está relacionada às concepções epistemológicas dos professores de ciências, que comumente assumem uma visão sintática das teorias científicas, e não uma visão semântica (baseada em modelos) (Bauer, 1992; McComas, 1996; Wivagg & Allchin, 2002). A segunda está relacionada à natureza dos modelos escolares (Adúriz-Bravo, 2013). Uma terceira questão relacionada se encontra na pragmática dos modelos escolares (Adúriz-Bravo, 2013; Chassot, 1996).

São poucos os estudos brasileiros acerca das concepções de professores de ciências em relação aos modelos científicos. Em um estudo de caso, Brandão e colaboradores (2010) observou que os participantes (professores de Física do Ensino

Médio) confundem modelos científicos com teorias, enunciados de lei, analogias, e situações. Comumente, o “método científico”, como apresentado em textos e webpages educacionais sobre a natureza das ciências, é apresentado na forma de passos fixos que mimetizam concepções sintáticas (Blachowicz, 2009), resultando em concepções distorcidas por parte de professores (Osborne et al., 2003; Pérez et al., 2001). Adúriz-Bravo (2013) aponta que – em parte devido a um foco importante em aulas práticas e ensino por investigação em parte dos currículos nacionais – a noção de modelo científico está presente, de maneira implícita ou latente, nos currículos de Ciências em todos os níveis educacionais. Entretanto, o mesmo autor também aponta que há um movimento internacional na direção de *explicitar* as concepções de ciência localizadas no currículo escolar, e tratar de maneira intencional os construtos relacionados aos modelos científicos (Adúriz-Bravo, 2013). Por exemplo, na Base Nacional Comum Curricular do Ministério da Educação, espera-se, para o Ensino Fundamental, que o aluno aprenda a “Elaborar explicações e/ou modelos”, “Associar explicações e/ou modelos à evolução histórica dos conhecimentos científicos envolvidos”, “Selecionar e construir argumentos com base em evidências, modelos e/ou conhecimentos científicos”, e “Avaliar informação (validade, coerência e adequação ao problema formulado)” (Brasil, 2018).

Existem diversas vantagens de um deslocamento para uma visão semântica (Adúriz-Bravo, 2013). Primeiro, mudar o foco da visão sintática para a visão semântica “implicaria prestar menos atenção a aspectos formais e mais atenção aos sentidos na educação de ciências” (Adúriz-Bravo, 2013, p. 1605), removendo o grande peso imposto pelos formalismos da sala de aula. Além disso, os modelos científicos (escolares) podem ser usados como representações teóricas do mundo, permitindo pensar sobre, falar sobre, e agir sobre os sistemas sendo estudados de maneira rigorosa e profunda. Como parte das funções epistemológicas dos modelos envolvem não uma aproximação à verdade, mas um juízo acerca da adequação entre nossas ideias e intervenções (van Fraassen, 2007). Assim, uma forma menos dogmática dos métodos científicos pode ser introduzida nas salas de aula (Adúriz-Bravo, 2008; R. Giere, 1999b), “derivando consequências a partir de nossas ideias teóricas (‘botando os modelos para trabalhar’) e extraindo dados a partir de observações e experimentos” (Adúriz-Bravo, 2013, p. 1606).

Apesar desse deslocamento para uma visão semântica (ou, ao menos, reconhecer que parte do fazer científico envolve criar e avaliar modelos), mesmo essa

concepção é, muitas vezes, superficial e reificada. Izquierdo-Aymerich e Adúriz-Bravo (2003) sugeriram uma *epistemologia da ciência escolar* (i.e., da ciência ensinada na escola) que, ainda que diretamente relacionada à ciência praticada pelos cientistas, *não é* exatamente a mesma coisa. A ciência escolar tem um importante componente epistemológico, no sentido de que fazer alfabetização científica é promover novas formas de raciocínio e pensamento teóricos (Chassot, 2016). Assim, aprender Ciências envolve aprender conteúdos que participam em um sistema de ideias e ações que seja “coerente, válido, e ao alcance dos estudantes” (Izquierdo-Aymerich & Adúriz-Bravo, 2003, p. 27). Izquierdo-Aymerich e Adúriz-Bravo (Izquierdo-Aymerich & Adúriz-Bravo, 2003) apontam três conceitos teóricos importantes dessa epistemologia da ciência escolar:

1. a importância dos *processos metacognitivos*, relacionada ao objetivo de ajudar os estudantes a pensar de maneira autônoma;
2. a importância das *concepções dos estudantes*, relacionada ao objetivo de ensiná-los como pensar teoricamente [...]; e
3. a *transposição didática*, isso é, a ideia de que a ciência é profundamente reconstruída para que seja ensinada [...](Izquierdo-Aymerich & Adúriz-Bravo, 2003, p. 28).

A partir dessa epistemologia da ciência escolar – e, principalmente, a partir do conceito de transposição didática – Adúriz-Bravo (2013; Izquierdo-Aymerich & Adúriz-Bravo, 2003) sugere que a introdução dos modelos em sala de aula pode ser feito através dos *fatos reconstruídos*. “Esses fatos-chave, teoricamente reconstruídos, ‘paradigmáticos’, permitiriam aos estudantes dar sentido aos fenômenos do mundo ao seu redor (por exemplo, gravitação, oscilações, movimentos, colisões...), que lhes pareceriam ‘similares’ a tais fatos” (Adúriz-Bravo, 2013, p. 1606)

Adúriz-Bravo (2013) propôs uma taxonomia das teorias sobre modelos que cruza dimensões epistemológicas (quais são os usos cognitivos dos modelos na ciência?) com dimensões semânticas (como os modelos representam a realidade?). A dimensão semântica divide modelos em modelo-entrada (o *objeto* do ato de modelar) e modelo-saída (o *resultado* do ato de modelar); a dimensão epistemológica divide modelos em modelo-para (objetos retirados da realidade *para* uma representação) e modelo-de (modelos representacionais construídos *a partir de* um objeto real). A combinação desses itens produz *paradigmas* (modelo-para/modelo-entrada), “um arquétipo ou exemplar para algo, um canône que deve ser seguido, imitado, ou copiado” (ADÚRIZ-BRAVO, 2013, p. 1595); *instâncias* (modelo-de/modelo-entrada), “um exemplo representativo de uma situação geral ou abstrata ou de um conjunto de

princípios” (Adúriz-Bravo, 2013, p. 1595); *esquema* (modelo-para/modelo-saída), “um plano, projeto, esquema, protótipo, planta, ou modelo em escala de algo que ainda não existe materialmente” (Adúriz-Bravo, 2013, p. 1596); ou *cópias* (modelo-de/modelo-saída), “uma versão simplificada, réplica, esboço, imitação, ou simulação de algo” (Adúriz-Bravo, 2013, p. 1596).

Os modelos da ciência escolar, portanto, podem ser entendidos como *modelos-para* como forma de entender e intervir nos sistemas; assim, os fatos reconstruídos representam transposições didáticas que são formas de ensinar o *raciocínio baseado em modelos*, uma maneira de “realizar inferências a partir da criação de modelos e de sua manipulação, adaptação, e avaliação” (Nersessian, 1999). A introdução desse raciocínio é a dimensão *pragmática* do problema dos modelos escolares (Chassot, 1996). Uma forma importante de introduzir esse raciocínio é de maneira *ativa* – ou seja, não ensinar (somente) quais são os modelos científicos escolares (Chassot, 1996), mas principalmente o *ato de modelar*. Adúriz-Bravo (2013) define quatro sentidos do termo “modelagem” em contexto escolar:

1. a ‘modelagem’ como a construção ou criação de modelos científicos originais, novos em relação ao corpo de conhecimento estabelecido em um determinado momento histórico;
2. a ‘modelagem’ como o processo de subsumir os fatos científicos a serem investigados sob modelos disponíveis que podem explicá-los, ou dar conta deles;
3. a ‘modelagem’ como o ajuste de modelos estabelecidos após o surgimento de dados novos, surpreendentes ou anômalos durante a pesquisa; e
4. a ‘modelagem’ como o ‘exercício’ intelectual de aplicar modelos existentes para explicar fatos estudados em um ambiente de aprendizagem (p. 1607)

Um método para introduzir essas quatro formas de modelagem implicaria em derivar consequências a partir de conceitos teóricos e em extrair dados a partir de observações e experimentos (Adúriz-Bravo, 2013). O objetivo da modelagem escolar seria, então, traduzir a transposição didática entre esses dois elementos.

Essas dimensões da modelagem escolar exploram basicamente a ideia de que os modelos podem ser modelos-para como forma de entender os fenômenos do mundo. Mas os modelos científicos podem ser *simultaneamente* modelos-para e modelos-de – ou seja, ao mesmo tempo em que são simulações abstraídas de um fenômeno, são também exemplares com os quais podemos criar novos modelos (Adúriz-Bravo, 2013; R. Giere, 1988). Isso é particularmente verdadeiro no caso dos modelos escolares, em que um modelo apresenta essas duas funções: o modelo escolar de uma célula é tanto uma simplificação altamente esquemática daquilo que é observável em cortes histológicos, quanto uma espécie de “protótipo” a partir do qual alunas e alunos podem desenvolver seu conhecimento sobre os diferentes tipos

celulares. Perceber essa dualidade do modelo escolar permite que um modelo abstrato possa ser usado, por analogia, para representar mais de um fenômeno (Adúriz-Bravo, 2013).

4. A controvérsia realismo-antirrealismo: Implicações para o Ensino de Ciências

A discussão entre realismo e antirrealismo não é meramente uma questão arcana da filosofia da ciência. Se os modelos científicos têm relevância para o Ensino de Ciências, como argumentamos anteriormente, é fundamental entender o impacto que uma escolha ontológica nesse campo pode ter na educação. Ariza e colaboradores (2016) apontam que a perspectiva realista de Ronald Giere domina o campo da didática baseada em modelos, mas que existem outras perspectivas semânticas – incluindo o empirismo construtivista de van Fraassen – que são relevantes para a área.

Seungbae Park (2016) argumenta que, apesar dos argumentos em favor do antirrealismo não serem irracionais, assumir uma posição antirrealista apresenta sérias “desvantagens pedagógicas” no Ensino de Ciências. Em primeiro lugar, Park sugere que a posição antirrealista não ajuda os estudantes a entenderem a maioria das teorias e modelos científicos, já que assume que entes inobserváveis são meramente *úteis*, mas não necessariamente *reais*. Park invoca o paradoxo de Moore, enunciado por Wittgenstein, e que ocorre quando afirmo uma sentença na forma *p*, mas não acredito que *p*. Assim, um professor que assuma uma posição antirrealista pode se encontrar na situação em que deve afirmar: “um objeto material é feito de moléculas e, como as moléculas estão em constante movimento, quanto mais rápido é esse movimento, maior a temperatura do objeto”, *mas não acreditar na existência real de moléculas*:

Não importa se o objetivo dos professores é ajudar seus alunos a formar crenças sobre moléculas e fenômenos de calor, ou se é meramente ajudar seus alunos a formar crenças sobre fenômenos de calor. Sem proferir frases como as [expostas acima], os professores não podem fazer o trabalho de ajudar seus alunos a compreender a teoria cinética do calor (Park, 2016, p. 76).

Para Park, essa questão não é meramente um jogo de linguagem, mas está diretamente relacionada à inteligibilidade daquilo que é ensinado. Ainda que possamos afirmar que o objetivo do professor seja ajudar seus alunos a formar crenças sobre fenômenos observáveis, mas não sobre fenômenos inobserváveis, os fenômenos

inobserváveis são parte fundamental da ciência escolar. Assim, uma posição antirrealista corre o risco de tornar o ensino ininteligível.

Da mesma maneira, Park (2016) argumenta que o paradoxo de Moore surge quando um antirrealista utiliza uma teoria para *explicar* um modelo. Para Park (2014), explicar um fenômeno em termos de teorias ou modelos implica em acreditar que as teorias e modelos são verdadeiros. Isso apresenta implicações para o ensino:

“Aprender uma teoria envolve adquirir a habilidade de explicar os fenômenos em seus termos. Se os alunos não conseguem explicar fenômenos de calor em termos da teoria cinética do calor, não podemos dizer que eles entenderam o que a teoria cinética do calor diz sobre o mundo. Para ajudar os alunos a adquirir tais habilidades, os professores podem precisar explicar os fenômenos de calor em termos da teoria cinética do calor, apresentar novos fenômenos de calor, e então pedir aos alunos que expliquem esse novo fenômeno em termos da teoria cinética do calor. Professores antirrealistas, entretanto, não podem realizar esse processo, porque não acreditam que a teoria cinética do calor é verdadeira” (Park, 2016, pp. 77–78).

Essa concepção de Park (2014, 2016) sobre o antirrealismo, entretanto, parece endereçada mais a concepções “fortes”, mais próximas do relativismo do que ao empirismo construtivista. Entretanto, a reconstrução teórica realizada em sala de aula – a transposição didática – envolve uma aspectos mais esquemáticos, incluindo pontos sem assa, substâncias puras, gases ideais, seleção natural, e outras idealizações (Barra, 1998). Se é verdade que o antirrealismo de van Fraassen considera as entidades teóricas e/ou modelos como “empiricamente adequados”, isso não significa necessariamente uma adesão a um relativismo, porque o critério de avaliação da adequação empírica é racional e cognitiva, e portanto os modelos são instrumentos adequados e confiáveis tanto para a investigação científica quanto para o Ensino de Ciências. Por outro lado, o realismo tem mais dificuldade em acomodar essas questões – em especial à luz da idealização dos modelos escolares:

Devo reconhecer que, ao contrário do que ocorreu acima, o anti-realismo encontra-se aqui em melhor situação do que o realismo. Mas isso não significa que o realista esteja impossibilitado de articular uma explicação plausível e consistente para o uso de idealizações na ciência. Pelo contrário, por meio de uma certa forma de conceber o papel das idealizações nas explicações científicas podemos identificar características da ciência que, de outro modo, ficariam ocultadas ou deslocadas dentro de uma imagem coerente da ciência (Barra, 1998, p. 24).

Como aponta Silva (2013), entretanto, meramente apresentar o debate realismo/antirrealismo para alunos da Educação Básica seria uma saída insuficiente: “a apresentação desse debate sem menção a uma história sofisticada do assunto pode acabar por distorcer a própria história do assunto, além, é claro, de fornecer uma imagem de ciência comprometedor para uma compreensão adequada da natureza da ciência” (p. 493). O recurso à historiografia da ciência poderia ser uma maneira de

introduzir o debate realismo/antirrealismo e, como consequência, evitar alguns dos problemas de assumir explicitamente uma posição realista ou antirrealista nos modelos escolares.

Ariz e colaboradores (2016) apontam ainda uma solução na transposição didática. Se, por um lado, o conhecimento de diferentes teorias baseadas em modelos é importante para o professor de ciências, o objetivo, na formação de professores, não é preparar filósofos, mas educadores. Assim, o ensino das teorias semânticas para futuros professores (ou na formação continuada) deve implicar em uma transposição didática que esteja ligada às necessidades reais dos professores de ciências. Isso não deveria ser feito em um contexto *à parte* – somente em disciplinas de filosofia da ciência ou epistemologia –, mas através do tratamento meta-teórico daqueles conceitos e teorias que figuram na prática de ensino (Ariza et al., 2016). Nesse sentido pragmático, *não importa* se os modelos são realistas ou antirrealistas, ou se assumir uma postura antirrealista implica em incorrer no paradoxo de Moore; o que importa são os *usos reais* que serão feitos por professores de ciências desses tratamentos meta-teóricos.

5. Conclusão

No presente artigo, discutimos a centralidade dos modelos na epistemologia e sua importância para o ensino de ciências. Ao apresentar a controvérsia realismo vs. antirrealismo, não intencionamos colocá-la como central à prática de ensino, mas como um obstáculo meta-teórico importante para a formação de professores de ciências em uma perspectiva baseada em modelos. Se, de fato, o ensino de ciências deve *também* pautar uma compreensão crítica da Natureza das Ciências (Burbules & Linn, 1991), não se pode perder de vista que o objetivo final é empreender uma *visão de mundo* pela qual o aluno pode compreender de maneira crítica o mundo (Chassot, 2016). Assim, a introdução a esses conceitos e a essa controvérsia pode ser transformada, através da transposição didática, de um obstáculo meta-teórico em uma oportunidade de reflexão crítica. Que caminhos seguiremos daqui?

Contribuições dos autores

DMO e CM contribuíram igualmente na pesquisa e escrita do primeiro rascunho do manuscrito. CM foi responsável pela orientação e pela escrita da versão final do manuscrito.

Conflito de interesses

Os autores declaram não possuir conflitos de interesses relevantes.

Referências

- Adúriz-Bravo, A. (2008). ¿Existirá el “método científico”? In L. Galagovsky (Ed.), *¿Qué tienen de ‘naturales’ las ciencias naturales?* (pp. 47–59). Biblos.
- Adúriz-Bravo, A. (2013). A “Semantic” View of Scientific Models for Science Education. *Science and Education*, 22, 1593–1611. <https://doi.org/10.1007/s11191-011-9431-7>
- Ariza, Y., Lorenzano, P., & Adúriz-Bravo, A. (2016). Meta-Theoretical Contributions to the Constitution of a Model-Based Didactics of Science. *Science & Education*, 25, 747–773. <https://doi.org/10.1007/s11191-016-9845-3>
- Barra, E. S. O. (1998). A realidade do mundo da ciência: Um desafio para a história, a filosofia e a educação científica. *Ciência & Educação (Bauru)*, 5, 15–26. <https://doi.org/10.1590/S1516-73131998000100003>
- Bauer, H. H. (1992). *Scientific Literacy and the Myth of the Scientific Method*. University of Illinois Press.
- Bentley, M. L., & Garrison, J. W. (1991). The role of philosophy of science in science teacher education. *Journal of Science Teacher Education*, 2(3), 67–71. <https://doi.org/10.1007/BF02629750>
- Blachowicz, J. (2009). How Science Textbooks Treat Scientific Method: A Philosopher’s Perspective. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 60, 303–344. <https://doi.org/10.1093/bjps/axp011>
- Brandão, R. V., Araujo, I. S., & Veit, E. A. (2010). Concepções e dificuldades dos professores de Física no campo conceitual da modelagem científica. *Revista Electrónica de Enseñanza de Las Ciencias*, 9, 669–695.
- Brante, T. (2010). Perspectival realism, representational models, and the social sciences. *Philosophy of the Social Sciences*, 40, 107–117. <https://doi.org/10.1177/0048393109352771>
- BNCC - Base Nacional Comum Curricular. (2018). Recuperado de: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/download-da-bncc>

- Burbules, N. C., & Linn, M. C. (1991). Science education and philosophy of science: Congruence or contradiction? *International Journal of Science Education*, 13(3), 227–241. <https://doi.org/10.1080/0950069910130302>
- Chassot, A. (1996). Sobre prováveis modelos de átomos. *Química Nova Na Escola*, 3, 3.
- Chassot, A. (2016). *Alfabetização científica: Questões e desafios para a educação* (7ª ed.). Editora Unijuí.
- Chibeni, S. S. (1996). A inferência abdução e o realismo científico. *Cadernos de História e Filosofia Da Ciência*, 6, 45–73.
- Chibeni, S. S. (2006). Afirmando o conseqüente: uma defesa do realismo científico (?!). *Scientiae Studia*, 4, 221–249. <https://doi.org/10.1590/S1678-31662006000200004>
- De Araújo Dutra, L. H. (2008). A ciência e o conhecimento humano como construção de modelos. *Philosophos - Revista de Filosofia*, 11, 247–286. <https://doi.org/10.5216/phi.v11i2.4722>
- De Araújo Dutra, L. H. (2013). *Pragmática de modelos - Natureza, estrutura e uso dos modelos científicos*. Edições Loyola.
- Ferrador, T. M. (2013). *O projeto epistemológico empirista de Bas van Fraassen: Empirismo construtivo, epistemologia voluntarista, e empirismo estrutural* [Universidade Federal de Santa Catarina]. <https://doi.org/10.1016/j.bbapap.2013.06.007>
- Freitas, M. Es. M., Miranda, M., Fernandes, H. L., Cinquetti, H. C. S., Beneditti, R., & Costa, E. (2009). Desenvolvimento e aplicação de kits educativos tridimensionais de célula animal e vegetal. *Ciencias Em Foco*, 1, 1–11.
- Frigg, R. (2006). Scientific representation and the semantic view of theories. *Theoria-Revista De Teoria Historia Y Fundamentos De La Ciencia*, 21, 49–65. <https://doi.org/10.1387/theoria.553>
- Gava, A. (2017). A não-ciência de humanóides e golfinhos: Van Fraassen e o conceito de comunidade epistêmica. *Griot: Revista de Filosofia*, 15, 291–300.
- Ghins, M. (2010). Bas van Fraassen on Scientific Representation. *Analysis*, 70, 524–536. <https://doi.org/10.1093/analys/anq043>
- Giere, R. (1988). *Explaining science: A cognitive approach*. Chicago University Press.
- Giere, R. (1992). *Cognitive models of science*. University of Minnesota Press.
- Giere, R. (1999a). *Science without laws*. University of Chicago Press.
- Giere, R. (1999b). Un nuevo marco para enseñar el razonamiento científico. *Enseñanza de Las Ciencias, Num extra*, 63–70.
- Giere, R. (2006). *Scientific perspectivism*. University of Chicago Press.

- Giere, R. (2009a). *Representing with physical models*. http://philsci-archive.pitt.edu/8386/1/Giere-Representing_with_Physical_Models-Revised.doc
- Giere, R. (2009b). Why Scientific Models Should Not be Regarded as Works of Fiction. In *Fictions in science: Philosophical essays on modeling and idealization* (pp. 248–258). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203890103>
- Giere, R. N. (2004). How Models Are Used to Represent Reality. *Philosophy of Science*, 71, 742–752. <https://doi.org/10.1086/425063>
- Gilbert, J., & Boulter, C. (1998). Learning science through models and modeling. In B. Fraser & K. Tobin (Eds.), *International Handbook of Science Education* (pp. 53–56). Kluwer Academic.
- Gordon, P. E. (2012). Agonies of the real: Anti-realism from Kuhn to foucault. *Modern Intellectual History*, 9(1), 127–147. <https://doi.org/10.1017/S1479244311000515>
- Guitarrari, R. (2016). A verdade importa para o debate realismo/antirrealismo? In A. B. Duarte, A. B. Haddad, & R. Guitarrari (Eds.), *Realismo & Antirrealismo* (pp. 55–67). Editora do PPGFIL-UFRRJ.
- Izquierdo-Aymerich, M., & Adúriz-Bravo, A. (2003). Epistemological Foundations of School Science. *Science and Education*, 12, 27–43. <https://doi.org/10.1023/A:1022698205904>
- Junges, A. L. (2008). Inferência à melhor explicação. *Intuitio*, 1, 82–97.
- Krapas, S., Queiroz, G., Colinvaux, D., & Franco, C. (1997). Modelos: Uma análise de sentidos na literatura de pesquisa em ensino de ciências. *Investigações Em Ensino de Ciências*, 2, 185–205.
- Ladyman, J., Douven, I., Horsten, L., van Fraassen, B. Uma defesa da crítica de van Fraassen à inferência abduativa: uma réplica a Psillos. Disponível em: <http://www.uel.br/pessoal/mrs/pages/arquivos/fraassen.critica.2000.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2020
- Luckie, D., Harrison, S. H., & Ebert-May, D. (2011). Model-based reasoning: Using visual tools to reveal student learning. *American Journal of Physiology - Advances in Physiology Education*, 35(1), 59–67. <https://doi.org/10.1152/advan.00016.2010>
- McComas, W. F. (1996). Ten myths of science: Reexamining what we think we know about the nature of science. *School Science and Mathematics*, 96, 10–16.
- Moreira, M. A. (2014). Modelos científicos, modelos mentais, modelagem computacional e modelagem matemática: aspectos epistemológicos e implicações para o ensino. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*, 7, 1–20. <https://doi.org/10.3895/S1982-873X2014000200001>
- Nersessian, N. J. (1999). Model-Based Reasoning in Conceptual Change. In L. Magnani, N. J. Nersessian, & P. Thagard (Eds.), *Model-Based Reasoning in*

- Scientific Discovery* (pp. 5–22). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4813-3_1
- Ody, J. C. (2005). A questão do observável/inobservável nas visões de Bas van Fraassen e Ian Hacking. *Revista Paradigmas: Filosofia, Realidade & Arte*, 28, 4–7.
- Okasha, S. (2002). *Philosophy of science: A very short introduction*. Oxford University Press.
- Osborne, J., Simon, S., & Collins, S. (2003). Attitudes towards science: A review of the literature and its implications. *International Journal of Science Education*, 25, 1049–1079. <https://doi.org/10.1080/0950069032000032199>
- Park, S. (2014). The Doxastic Requirement of Scientific Explanation and Understanding. *Prolegomena*, 13, 279–290.
- Park, S. (2016). Scientific realism versus antirealism in science education. *Coactivity: Philosophy, Communication*, 24, 72–81.
- Passmore, C., Gouvea, J. S., & Giere, R. (2014). Models in Science and in Learning Science: Focusing Scientific Practice on Sense-making. In *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (pp. 1171–1202). Springer.
- Pearce, J. V. (2013). The Potential of Perspectivism for Science Education. *Educational Philosophy and Theory*, 45(5), 531–545. <https://doi.org/10.1080/00131857.2012.732013>
- Pérez, D. G., Montoro, I. F., Alís, J. C., Cachapuz, A., & Praia, J. (2001). Para uma imagem não deformada do trabalho científico. *Ciência & Educação*, 7, 125–153.
- Pino, G. G. (2010). La noción de modelo en el enfoque semántico de las teorías. *Praxis Filosófica*, 31, 169–185.
- Schaffner, K. F. (1969). The Watson-Crick Model and Reductionism. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 20, 325–348. <https://doi.org/10.1093/bjps/20.4.325>
- Silva, M. R. da. (1998). Realismo e anti-realismo na ciência: aspectos introdutórios de uma discussão sobre a natureza das teorias. *Ciência & Educação (Bauru)*, 5, 07–13. <https://doi.org/10.1590/S1516-73131998000100002>
- Silva, M. R. da. (2013). Ensino de ciências: Realismo, antirrealismo e a construção do conceito de oxigênio. *História, Ciências, Saúde - Manguinhos*, 20, 481–497. <https://doi.org/10.1590/S0104-59702013005000006>
- Simon, S., & Moraes, A. (2007). O empirismo construtivo de Bas C. van Fraassen e o Problema do Sucesso Científico. *Philosophos*, 12, 131–169.
- Souza, E. A. de. (2019). Sobre a relevância filosófica do argumento do milagre. *Trans/Form/Ação*, 42, 47–80. <https://doi.org/10.1590/0101-3173.2019.v42n4.04.p47>
- Thagard, P. (1987). Scientific cognition: Hot or cold? In S. Fuller, M. de Mey, T. Shinn, & S. Woolgar (Eds.), *The cognitive turn: Sociological and psychological*

perspectives on science (pp. 71–82). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-015-7825-7_4

van Fraassen, B. C. (2004). Science as representation: Flouting the criteria. *Philosophy of Science*, 71, 794–804.

van Fraassen, B. C. (2007). *A imagem científica*. UNESP Editorial.

Wang, T. (2018). Good Theory Gone Bad – Preformationism. *ESSAI*, 16, 29.

Wivagg, D., & Allchin, D. (2002). The Dogma of the Scientific Method. *The American Biology Teacher*, 64, 645–646