

O ensino da Natureza da Ciência como forma de resistência aos movimentos Anticiência: o realismo estrutural como contraponto ao relativismo epistêmico⁺*

*Felipe Prado Corrêa Pereira*¹

Mestrando do Programa Interunidades em Ensino de Ciências

Universidade de São Paulo

São Paulo – SP

*Ivã Gurgel*¹

Universidade de São Paulo

São Paulo – SP

Resumo

As discussões realizadas neste trabalho se situam no debate sobre a Natureza da Ciência (NdC) no ensino de ciências. Defendemos que os conteúdos metacientíficos que dão forma às abordagens histórico-filosóficas no ensino precisam sofrer atualizações que façam frente aos desafios políticos, sociais e educacionais impostos pelos nossos tempos, nos quais movimentos anticientíficos e discursos exageradamente relativistas ganham força. Advogamos por discursos críticos às visões “positivistas ingênuas” sobre a ciência, mas que ao mesmo tempo seja capaz de dar conta de suas virtudes epistêmicas, configurando uma estratégia de resistência a formas exageradas de relativismo epistêmico. Mais especificamente, localizamos este debate dentro do problema da mudança científica, tópico da filosofia da ciência que dialoga com temas considerados relevantes no ensino da Natureza da Ciência. Apresentamos as contribuições do realismo estrutural para a construção de um discurso moderado frente aos dilemas relacionados ao caráter provisório e descontínuo da ciência por um lado e, por outro, sua possibilidade de progresso e compromisso com a verdade e com a realidade.

⁺ Nature of Science as means of resistance against Anti-science movements: structural realism as a counterpoint to the epistemic relativism

^{*} Recebido: Junho de 2020.

Aceito: Outubro de 2020.

¹ E-mails: felipe.prado.pereira@usp.br; gurgel@usp.br

Palavras-chave: *Natureza da Ciência; História e Filosofia da Ciência; Relativismo; Realismo Científico; Realismo Estrutural.*

Abstract

This work addresses questions situated in the debate of the Nature of Science (NOS) on science teaching. We argue that the metascientific contents which shape the historical-philosophical approaches must be updated in order to face the political, social and educational challenges imposed by our times, namely the antiscience movements and exacerbated relativist speeches. We advocate for a critical discourse to naive positivist views of science, but that at the same time is capable of accounting for its epistemic virtues, configuring a resistance strategy against exaggerated forms of epistemic relativism. More specifically, we situate this debate within the issue of the scientific change, a topic of the philosophy of science that dialogues with the subjects considered relevant in the teaching of Nature of Science. We present the contributions of the structural realism for the construction of a moderate speech relative to the dilemma about the provisory and discontinuous aspect of science in one hand, and its possibility of progress and commitment with the truth and reality on the other hand.

Keywords: *Nature of Science; History and Philosophy of Science; Relativism; Scientific Realism; Structural Realism.*

I. Introdução

É notório que o ensino de ciências naturais é marcado por uma crise referente ao seu sucesso em atingir seus objetivos educacionais. Há tempos o ensino pouco significativo e vazio é diagnosticado e documentado por professores e pesquisadores da área, demonstrando que mudanças nas práticas e nas ideologias – explícitas e implícitas – no Ensino de Ciências são tão necessárias quanto desafiadoras.

Por décadas, a inserção da História, da Filosofia e, mais recentemente, da Sociologia da Ciência no ensino, embora não seja a solução para todos os problemas, tem sido amplamente advogada como uma abordagem capaz de reformar este cenário, propiciando uma aprendizagem mais crítica, mais desafiadora, mais reflexiva e humanizada, mais próxima de interesses pessoais e culturais dos alunos, além de permitir uma compreensão mais ampla e profunda da atividade e dos conteúdos científicos (MATTHEWS, 1995, p. 165).

Ao passo que se tornava consensual a necessidade do ensino de ciências com abordagem histórica/filosófica/sociológica e se consolidava de forma mais coesa a defesa do

ensino *sobre a ciência* (que, com o passar do tempo, convencionou-se chamar de Natureza da Ciência), surgia cada vez mais a necessidade de se estabelecer quais perspectivas e discursos histórico-filosóficos deveriam balizar as práticas docentes e os currículos de ciências. Em suma, colocava-se as questões: Quais filosofias ou histórias da ciência deveriam ser ensinadas? Quais conteúdos metacientíficos seriam os melhores candidatos a responder à longeva crise do ensino de ciências?

Tais questões foram, e são até hoje, motivo de disputas e debates, devido a seu caráter filosófico e controverso. Os questionamentos subjacentes à Natureza da Ciência, ou seja, de cunho histórico, epistemológico e sociológico, são perenes e as percepções sobre *o que é a ciência* são mutáveis. Consta-se isso ao analisar as obras de diversos autores destas disciplinas, como Gaston Bachelard, Karl Popper, Thomas Kuhn, Imre Lakatos, Paul Feyerabend, Larry Laudan, Robert Merton, David Bloor, Bruno Latour e muitos outros com grande reconhecimento. Cada um deles apresenta visões muito próprias sobre as ciências, que não raramente divergem entre si.

Considerando impossível eliminar todas as controvérsias inerentes a estes debates, alguns pesquisadores buscaram estabelecer o que se chamaria mais tarde de Visões Consensuais de Natureza da Ciência, que seriam aspectos suficientemente pacificados sobre o conhecimento científico para que não fossem alvo de graves discordâncias. Os proponentes e defensores mais expoentes de Visões Consensuais são Norman Lederman (2002, 2007) e William McComas (1998) que, cada um dos quais juntos a seus colaboradores, elencaram listas de aspectos não controversos sobre a ciência que poderiam guiar escolhas curriculares sobre os conteúdos metacientíficos a serem explorados no ensino básico.

Estas listas buscavam corrigir um problema constatado empiricamente a exaustão, que seria a persistência de visões ingênuas e distorcidas sobre a natureza e o desenvolvimento do conhecimento científico, tanto por parte de alunos quanto de professores (LEDERMAN, 2007). Dentre elas, pode-se destacar aquelas que tendem a conceber a ciência como um conhecimento absoluto, inquestionável, caracterizando-a como uma imagem fiel do mundo natural. Entendemos que tais concepções configuram um tipo de ‘positivismo ingênuo’ frente ao empreendimento científico. Assim, apesar das conhecidas e muito comentadas críticas às Visões Consensuais (ALTERS, 1997; EFLIN; GLENNAN; REISCH, 1999; ALLCHIN, 2011; MATTHEWS, 2012; IRZIK; NOLA, 2011), os esforços em se construir este consenso foram importantes e plenamente justificados.

Entretanto, podemos nos questionar hoje se este conjunto de conteúdos de Natureza da Ciência seria adequado para responder aos atuais desafios e contradições próprias ao nosso tempo. Dentro de uma perspectiva filosófica, ao longo das últimas décadas, ganharam força ideias frequentemente associadas à pós-modernidade que, muitas vezes de maneira justa, problematizam e relativizam o conhecimento científico. Já em um contexto cultural e político, a credibilidade da ciência tem sido relativizada por uma parcela da opinião pública, o que se evidencia na emergência de movimentos anticientíficos e da extrema relativização da verdade

associada às ondas de *fake news* e a líderes políticos autoritários que têm ganhado *momentum* político recentemente.

Neste contexto, podemos pensar que se anteriormente a prioridade dos discursos metacientíficos no ensino era combater visões que exageravam as capacidades e potencialidades da ciência, hoje se torna urgente reconhecer criticamente suas virtudes epistêmicas. As pesquisas em Ensino de Ciências, bem como os estudos e ensino de Natureza da Ciência, devem propor alternativas e resistências tanto à valorização quanto à desvalorização extremada da ciência e suas implicações na educação científica (MOREIRA, 2018). Assim, tanto nos contextos filosóficos, políticos e culturais mais amplos, quanto nos atuais debates sobre a Natureza da Ciência, podemos levantar as seguintes questões: o conhecimento científico ainda pode ser considerado confiável, mesmo levando em conta as importantes críticas à ciência moderna feitas por pensadores nos séculos XX e XXI? Qual a qualidade do conhecimento que a ciência nos fornece sobre o mundo natural? Qual a relação entre o conhecimento fornecido pelas teorias científicas (mais especificamente aquelas das ciências físicas) e o mundo real, dado o caráter abstrato e artificial do primeiro e o caráter concreto do segundo? De que maneira as teorias físicas “tocam” o mundo externo?

Com estas questões em mente, buscaremos fazer uma discussão educacional e epistemológica capaz de desenvolver algumas vias de respostas de modo a nos convencer de que algumas das problematizações e relativizações postas ao longo das últimas décadas por historiadores e filósofos da ciência não minam a aspirada confiabilidade da ciência e podem ser frutíferas para resistirmos ao seu atual descrédito perante a sociedade. Para tal, vamos nos apropriar de uma visão epistemológica nascida dentro do debate do Realismo Científico na filosofia da ciência, a saber, o Realismo Estrutural, idealizada pelo filósofo britânico John Worrall, mas cujas raízes remetem ao início do século XX, no pensamento metacientífico do matemático Henri Poincaré.

II. Em busca de uma atualização do discurso sobre a Natureza da Ciência

II.1 Visões ingênuas de Natureza da Ciência (NdC) e o estabelecimento das Visões Consensuais de Natureza da Ciência (VCNdC)

Os estudos e debates sobre a NdC costumam se referir às dimensões histórico-epistemológicas e sociológicas das ciências naturais, suas implicações no Ensino de Ciências (EC) e tendem a jogar luz sobre os conhecimentos *sobre as ciências*, com o objetivo de tornar mais rico, crítico e significativo os conhecimentos específicos *das ciências*. Pode-se traçar as origens das defesas do ensino do “método científico e dos processos da ciência” no início do século XX, e do ensino da “investigação científica” aos meados do mesmo século (LEDERMAN, 1992, p. 331), como pôde-se observar em projetos de ensino de ciências que marcaram a época, como o PSSC (Physical Science Study Committee).

Entre os anos de 1950 e 1960, iniciou-se uma tradição de pesquisa que objetivava avaliar as visões e entendimentos acerca da natureza do conhecimento científico de

professores e alunos de ciências naturais por meio de testes e questionários. Em detalhados estudos de revisão, Lederman (1992, 2007) sintetizou os resultados gerais de mais de vinte testes e questionários, desde os mais antigos até os mais recentes, dentre estes as várias versões de suas propostas com colaboradores, os Views of Nature of Science (VNOS). Analisando de maneira retrospectiva, esta tradição de pesquisa buscou: “(a) avaliar as concepções de estudantes sobre a natureza da ciência; (b) desenvolver, usar e avaliar currículos feitos para ‘melhorar’ as concepções dos estudantes; (c) avaliar e tentar ‘melhorar’ as concepções de natureza da ciência dos professores; (d) identificar as relações entre as concepções dos professores, sua prática em sala de aula e as concepções dos estudantes.” (LEDERMAN, 1992, p. 332).

Estas frentes de avaliações e pesquisas foram importantes para estabelecer resultados que orientaram novas pesquisas e tomadas de decisões associadas a políticas curriculares, bem como tentativas de estabelecer conjuntos das posteriormente denominadas Visões Consensuais de Natureza da Ciência. A frente (d) revelou dois aspectos importantes sobre o nível de instrução histórico-filosófica dos professores e suas práticas em sala de aula. A primeira é mais imediata: não é possível que professores ensinem sobre a NdC com poucos conhecimentos sobre a área. Para que o ensino destes conteúdos seja exequível, é imprescindível que os professores tenham formação mínima em história, filosofia e sociologia dos conhecimentos científicos, seja por meio da formação inicial ou continuada. A segunda é que não há relação direta entre a concepção de NdC dos professores e suas práticas em sala de aula, ainda que estes professores detivessem concepções adequadas sobre a NdC, não necessariamente as mesmas se refletiam em suas práticas. Por mais que uma instrução metacientífica adequada interfira no discurso filosófico implícito à retórica do docente (LEDERMAN, 2007, p. 858-9, citando MUNBY, 1976) é necessário que o ensino dos conteúdos metacientíficos seja realizado explicitamente. Isso significa que não basta que os docentes detenham este conhecimento. A apreensão deste pelos alunos não emerge naturalmente do discurso, mas só é estimulado quando a NdC é tratada de maneira explícita e contextualizada. Estes dois aspectos, sugere Lederman, deixaram clara a necessidade de tornar a Natureza da Ciência um conteúdo integrante dos currículos de ciências, com o mesmo status dos conhecimentos específicos de cada disciplina.

Outra classe de resultados que contribuiu de maneira essencial para posteriores propostas de VCNdC está associada ao mapeamento de concepções e visões sobre a natureza e desenvolvimento do conhecimento científico de alunos e professores de ciências. A maioria das pesquisas constatou a presença de concepções consideradas inadequadas e ingênuas, muitas delas recorrentes e algumas correlacionadas entre si: supervalorização das dimensões empíricas das ciências, considerando seu corpo de conhecimento como uma coleção de fatos, observações ou explicações necessariamente verdadeiras sobre a natureza; o desenvolvimento científico seria essencialmente cumulativo e fruto de um método universal a ser empregado passo a passo; teorias científicas seriam retratos fiéis da realidade; indistinguibilidade entre

observações dos fenômenos e explicações sobre os mesmos, como se as teorias e explicações indutivas emergissem necessariamente daquelas observações.

Esta tradição de pesquisa notabilizou a persistência de visões ingênuas nas dimensões metodológicas (observação ou experimentação mediadas por um método rígido resulta em conhecimento confiável); epistemológico (o corpo de conhecimento da ciência é a acumulação de fatos verdadeiros); e ontológicos (teorias são “espelhos” da realidade externa). Mais por conveniência do que por precisão conceitual, vamos batizar este conjunto de visões como “positivismo ingênuo”, devido ao exagerado peso atribuído à dimensão empírica e cumulativa da ciência.

Estes entendimentos metacientíficos próximos a este tipo de positivismo caricato foram denunciados à exaustão na literatura sobre Natureza da Ciência e Ensino de Ciências. Podemos, por exemplo, identificar muitas delas no conhecido artigo “Dez mitos da Ciência” de McComas (1996). O extenso trabalho de revisão feito por Gil Pérez e colaboradores (2001) elencam em detalhes as mais frequentes e comentadas “visões deformadas” sobre a ciência reportadas na literatura, acusando grande concordância com os resultados sintetizados por Lederman (2007, 1992). Algumas delas são listadas a seguir:

- Conceção empírico-indutivista e atórica da ciência. Segundo os autores, uma das visões ingênuas mais estudadas e comentadas na literatura consiste na concepção de que as observações e experiências científicas são neutras e livres de hipóteses ou suposições teóricas. Atribui excessiva importância à atividade empírica, como se esta consistisse em uma série de “descobertas” que se acumulam ao longo de um processo de contínua evolução.

- Visão de que a ciência é feita, em termos práticos, a partir de um inflexível e infalível “método científico”. Este seria definido por etapas rígidas e algorítmicas, que garantiriam o sucesso, o rigor quantitativo e a infalibilidade de conclusões ou descobertas científicas. Se conduzidas de maneira mecânica, os resultados seriam aproblemáticos e suas conclusões estariam acima da dúvida ou de reconsideração.

- Muito associada às duas anteriores, emerge uma visão aproblemática e ahistórica da ciência. Se o “método científico” é infalível e suas conclusões indubitáveis, o conhecimento científico se torna fechado e dogmático. Esta distorção é frequentemente reforçada em situações de ensino, em que o conhecimento científico é apresentado omitindo os problemas que motivaram sua construção. Desta maneira, as teorias, leis e modelos científicos se assemelhariam a respostas sem perguntas, sem que algo as justifique. Tal apresentação omite o caráter falível e limitado da ciência.

- Visão de crescimento exclusivamente cumulativo, configurada, de certa forma, como consequência das duas primeiras visões comentadas. Esta concepção ignora os momentos de crises, revisões, reformulações e, eventualmente, revoluções pelos quais a ciência passa. Esta visão simplista da evolução dos conhecimentos ignora também os frequentes confrontos entre teorias científicas, as controvérsias científicas e a falibilidade das

ciências.

A notável recorrência das mesmas visões ingênuas sobre a ciência sugeria que seria possível formar um discurso metacientífico consensual capaz de corrigir tais posições inadequadas, baseados em um conjunto de conteúdos razoavelmente pacificados entre autores da literatura especializada. Uma das mais comentadas listas de Visões Consensuais de Natureza da Ciência (VCNdC) foi proposta por Lederman e colaboradores (2002) e é sintetizada a seguir:

i) **A natureza empírica do conhecimento científico:** a ciência é, pelo menos parcialmente, baseada em observações do mundo natural e a validade ou falsidade de asserções científicas está, em última instância, amparada nas observações científicas. As observações, entretanto, não são diretas. É importante para a ciência a distinção entre observação e inferência. As observações são diretamente acessíveis aos sentidos, ou a suas extensões (aparatos experimentais e instrumentos de medidas). Já as inferências são asserções não diretamente acessíveis aos mesmos.

ii) **Teorias e leis científicas:** as teorias científicas são sistemas conceituais de explicações de observações, comumente baseadas em um conjunto de suposições ou axiomas. Assim, teorias não podem ser diretamente testadas. O acordo entre previsões teóricas e evidências empíricas não atestam, então, a validade das teorias, mas sim seu nível de confiabilidade. Leis científicas são, em geral, descrições de regularidades entre fenômenos observados. Estas considerações se opõem à visão de que teorias podem se tornar leis caso sejam suficientemente comprovadas por evidências.

iii) **Criatividade e imaginação do conhecimento científico:** embora o conhecimento científico dependa decisivamente de observações e experiências empíricas, ele envolve também a imaginação e criatividade dos cientistas. A invenção de conceitos e modelos científicos é uma parte importante da ciência.

iv) **O conhecimento científico é carregado de teoria:** comprometimentos teóricos, crenças e conhecimentos prévios influenciam o trabalho dos cientistas, pois estes elementos são determinantes e diretos na construção de problemas e investigações científicas.

v) **O conhecimento científico é social e culturalmente situado:** a ciência é uma atividade praticada no contexto de uma cultura humana mais ampla que a influencia e é por ela influenciada. Entre seus elementos figuram estruturas de poder, fatores socioeconômicos, religião, filosofia, entre outros.

vi) **O mito do método científico:** não há nenhum método que conduza os cientistas a conhecimentos infalíveis. O conhecimento científico não é formulado por uma sequência de etapas bem definidas que garantem indutivamente a certeza deste corpo de conhecimento.

vii) **O caráter tentativo do conhecimento científico**: a ciência está sempre sujeita a mudanças e não é um corpo de conhecimento absoluto e infalível. É possível que explicações, teorias e afirmações científicas mudem à luz de novas evidências.

Semelhantemente, McComas, Almazroa e Clough (1998) elencaram oito documentos com recomendações curriculares oficiais sobre o ensino de NdC e buscaram reconhecer nestes documentos uma série de aspectos convergentes sobre o empreendimento científico. Segundo os autores, a análise dos documentos acusava tais aspectos consensuais sobre a NdC:

- O conhecimento científico é durável, mas tem um caráter tentativo.
- O conhecimento científico depende fortemente, mas não inteiramente, de observações, evidências experimentais, argumentos racionais e ceticismo.
- Não há maneira única de se fazer ciência.
- A ciência é uma tentativa de explicação dos fenômenos naturais.
- Leis e teorias desempenham papéis diferentes na ciência, então os estudantes devem notar que teorias não se tornam leis mesmo com evidências adicionais.
- Pessoas de todas as culturas contribuem para a ciência.
- Novos conhecimentos devem ser relatados clara e abertamente.
- Cientistas precisam manter registros acurados, revisão de pares e replicabilidade.
- Observações são carregadas de teoria.
- A história da ciência apresenta tanto caráter evolucionário quanto revolucionário.
- A ciência é parte de tradições sociais e culturais.
- Ciência e tecnologia se impactam mutuamente.
- As ideias científicas são afetadas pelo meio social e histórico.

A uniformidade dos discursos metacientíficos adjacentes às listas de Visões Consensuais é explicada pela constância dos problemas que motivaram suas elaborações. Os repetidos diagnósticos sobre as visões espontâneas de ciência em professores e alunos implicitamente estimularam a noção de que estas concepções inadequadas seriam, portanto, constantes no tempo e, logo, ahistóricas. Em outras palavras, consolidou-se que o problema a ser combatido, por não mostrar um caráter dinâmico no tempo, seria devidamente corrigido com um arsenal estante e também constante de soluções. No entanto, observamos que nossos tempos fizeram emergir novas visões inadequadas sobre a ciência na opinião pública, desta vez não associadas ao “positivismo ingênuo”, mas a exageradas relativizações do saber científico ou ao total descrédito e ceticismo frente aos métodos e resultados da ciência (ANDRADE, 2019, p. 16-21).

Reconhecendo a urgência de se combater estas novas visões inadequadas, percebemos a necessidade de dinamizar o que entendemos como visões adequadas, reformando-as ou adicionando ponderações que nos permitam fazer frente às atuais necessidades educacionais, políticas e sociais. Embora as antigas visões deformadas ainda persistam, é necessário o debate e proposições de novos referenciais epistemológicos que permitam no opor ao que chamaremos de “relativismo ingênuo”, que tem ganhado força

atualmente.

II.2 Visões Consensuais de Natureza da Ciência e o relativismo epistêmico

As listas das Visões Consensuais (VC), por mais que representem contribuições importantes aos estudos de Natureza da Ciência no ensino, são alvos de constantes críticas motivadas tanto por disputas acerca de seus conteúdos quanto por fragilidades de sua forma. Comentaremos brevemente as primeiras e nos ateremos mais às segundas.

Uma das mais relevantes críticas ao conteúdo das VCNdC foi formulada por Irzik e Nola (2011) ao sugerirem a abordagem de *semelhança de família* para uma definição mais rica e dinâmica de ciência, inspirada no conceito criado por Wittgenstein no contexto da filosofia da linguagem². Segundo os autores, seria impossível caracterizar a atividade científica por meio de uma lista de características fazendo justiça às mais diversas áreas e disciplinas que a compõe. "A ideia básica da semelhança de família reside no fato de que membros de uma família podem se parecer uns com outros em alguns aspectos, mas não em outros" (ibid., p. 595). Assim, a caracterização por semelhança de família permitiria identificar a unicidade da ciência em meio a sua multiplicidade. Não será nosso objetivo expor em detalhes como este modelo realiza tal tarefa, mas nos interessa frisar uma das fragilidades dos conteúdos das VCNdC indicadas pelos autores. Eles apontam que Lederman deixa deliberadamente de lado os processos, valores e métodos de investigação científica, alegando que a NdC se refere apenas aos fatores epistemológicos subjacentes à atividade científica (ibid., p. 596). As metodologias para criação de hipóteses, modelos e teorias, bem como as regras metodológicas de testagem de hipóteses, comparação e escolha de teorias são, segundo defendem os autores, aspectos cruciais que caracterizam a ciência como um empreendimento de investigação crítica, sem as quais é impossível explicar sua objetividade (ibid., p. 601-2).

Ainda mais comuns na literatura são críticas acerca da forma como os conteúdos de NdC são apresentados, a saber, no formato de listas de *tenets* (princípios, em uma tradução direta), ou seja, um conjunto de sentenças declarativas. Como comentaremos a seguir, as limitações na forma escolhida para expressar estas VC implicam também em fragilidades acerca de seu conteúdo.

Matthews (2012, p.11) aponta que, a despeito das intenções de seus formuladores, a lista pode se tornar uma espécie de dogma ou mantra a ser ensinado nas salas de aula, ao

² Como explicam Irzik e Nola (2011, p.593), a ideia da semelhança de família foi criada para resolver um problema perene da filosofia, a saber, o problema dos universais, que pode ser colocado da seguinte maneira: será possível, por meio da linguagem, esgotar o significado de um termo ou de um conceito? A ideia da semelhança de família é empregada ao se admitir que não há definição única para um conceito, mas sim um conjunto de noções relacionadas, formando uma espécie de família (ibid.). Irzik e Nola indicam as seções 66-71 da obra *Investigações Filosóficas* (Wittgenstein, 1975 [1958]), nas quais o autor busca definir o termo "jogo". O autor mostra que os diferentes tipos de jogos existentes não se encaixam em uma definição única do termo. Entretanto, isso não significa que sejamos ignorantes sobre o que esta palavra significa, apenas que não há uma fronteira clara e única para sua definição, mas que pode ser traçada conforme seu uso.

invés de serem um meio para atingir um pensamento crítico e próprio sobre a ciência por parte dos alunos e professores, que sempre foi, em primeiro lugar, o objetivo da inserção da História e Filosofia no Ensino de Ciências e nos currículos. Buscando reforçar a importância desta abordagem, Matthews argumenta que os tópicos das VC precisam ser histórica e filosoficamente refinados para que seu ensino seja desejável e útil a professores e estudantes, uma vez que a forma declarativa dos *tenets* oculta muitos detalhes e sutilezas. Desta maneira, cada um deles não deveria ser um conteúdo por si só, mas sim gerador de toda uma classe de discussões epistemológicas ou sociológicas. Para além dos tópicos contemplados nas listas de VC, o autor sinaliza para a importância do debate de outras características da ciência: explicações científicas; escolha de teorias e racionalidade; matematização; idealização; modelos; valores e assuntos sociocientíficos; feminismo; realismo científico e construtivismo, entre outros.

A necessidade de aprofundamento acerca dos temas levantados pelas Visões Consensuais e o risco de supersimplificação de assuntos metacientíficos complexos estimularam Clough (2007) a elaborar uma abordagem em forma de “questões ao invés de princípios”, favorecendo tratamentos mais detalhados e refinados. Argumentando em uma linha semelhante à de Matthews, o autor afirma que uma lista de ideias-chave sobre a ciência pode facilmente ser distorcida por pesquisadores, professores e alunos. Pensando em uma aprendizagem mais problematizadora e potencialmente mais crítica sobre a Natureza da Ciência, o autor propõe que estas questões sejam objeto de investigação e debate ao invés de uma transmissão de conteúdos estanques. Na formulação de Clough, o princípio “O conhecimento científico é durável, mas tem um caráter tentativo”, que figura na lista de McCommas, p. ex., ganharia a formulação: “Em que sentido o conhecimento científico é durável? Em que sentido ele é tentativo?”. É razoável esperar que este tipo de abordagem facilite a emergência de nuances sobre o desenvolvimento e formulação da ciência e nos permitiria levantar uma série de questões correlatas a este tópico. Tomando o exemplo anterior, poder-se-ia questionar: uma vez validada pelos pares, uma explicação científica permanece sempre verdadeira?, o que é necessário, ou pode acontecer, para que algum tipo de resultado ou conclusão científica seja revista e posta em questão?, todo o conhecimento científico está sujeito a revisão?; indagações dessa natureza podem ser formuladas à exaustão, partindo de qualquer um dos *tenets*.

Com o intuito de propor uma alternativa ao formato declarativo das VC, Martins (2015) elaborou uma interessante abordagem orientada por temas e questões. Nesta proposta, o autor divide aspectos da NdC em dois grandes eixos temáticos: um sociológico e histórico, e outro epistemológico (este último dividido em outros três sub-eixos: origens do conhecimento, métodos e procedimentos e natureza do conhecimento produzido). Cada um destes eixos é composto por temas geradores de questões abertas. No eixo histórico e sociológico, p. ex., cabem temas como: intersubjetividade; questões morais éticas e políticas; ciência e tecnologia, para citar apenas alguns. Cada um destes temas pode ser explorado por

uma série de questões. No caso do tema *intersubjetividade*: “Há espaço para a subjetividade na ciência? É possível afastar a subjetividade do conhecimento construído pela ciência? Que procedimentos a comunidade científica utiliza para evitar isso? Tais procedimentos foram sempre os mesmos ao longo da história? Como evitar vieses pessoais? Conhecimento coletivo é conhecimento objetivo?” (ibid., p. 721). A lista de temas ou de questões para cada tema não pretende ser exaustiva. Novos tópicos podem ser adicionados aos eixos temáticos e novas questões formuladas para cada tema, deixando em aberto os temas relevantes a serem tratados em diferentes contextos educacionais. A principal contribuição deste trabalho, pensamos, é uma nova maneira de organizar e abordar os conteúdos e objetos de investigação de NdC, seja em sala de aula, seja em discussões curriculares.

Nenhum destes autores nega a importância do estabelecimento das listas de Visões Consensuais, ou diminuem a produção acadêmica e os pesquisadores nelas envolvidos. Muito pelo contrário, a formulação destas listas foi o ponto de partida para estas discussões, além de facilitarem a introdução de discussões metacientíficas no ensino e nos currículos. O que é problematizado, em geral, é como a forma de apresentação e investigação destes conteúdos pode refletir na qualidade de seu ensino. Para além disso, também estão em jogo as possíveis interpretações das VCNdC e as visões de ciência que elas podem estimular, seja explícita ou implicitamente, intencionalmente ou não. Comentamos anteriormente que estes estudos objetivavam combater visões ingênuas sobre a ciência e nos referimos a um conjunto delas como visões positivistas ingênuas. Entretanto, é possível que novas visões pouco ponderadas emergjam a partir do ensino de NdC e das VC, a saber, posições associadas a formas de relativismo epistêmico, o que tem sido motivo de alerta de alguns pesquisadores. Forato, Pietrocola e Martins (2011) apontaram como uns dos desafios associados ao ensino de História e Filosofia da Ciência não fomentar o relativismo e a percepção inadequada da falta de parâmetros objetivos na construção do conhecimento científico. O combate a visões empírico-indutivistas pode ser facilitado pela apresentação de conteúdos históricos, tomando o cuidado de não se desvalorizar desmedidamente a dimensão empírica, a racionalidade, incentivando o ceticismo excessivo. A busca de um equilíbrio frente a este dilema em sala de aula é relatada por Clough (ibid.):

Os princípios da Natureza da Ciência podem ser facilmente mal interpretados e abusados. Frequentemente estudantes enxergam as coisas em 'preto ou branco'. Por exemplo, quando me referia sobre o caráter histórico e tentativo da ciência anos atrás enquanto ensinava no ensino médio [high school], meus estudantes pulavam de um extremo de verem a ciência como conhecimento absolutamente verdadeiro para outro extremo de um conhecimento não confiável. Muito esforço foi necessário para movê-los a uma posição moderada (CLOUGH, 2007, p. 34).

Todo conhecimento altamente especializado precisa passar por processos de generalizações e simplificações para que possa se tornar um conhecimento escolar. É o que sinalizam McComas e Almazroa (ibid.) ao recordar que a NdC deva ser direcionada a

estudantes do ensino básico e não a futuros filósofos da ciência, justificando a busca pelas Visões Consensuais. No entanto, simplificações excessivas sem debates e aprofundamentos ulteriores podem gerar resultados adversos, como relata Clough.

A respeito do mesmo *tenet* citado por Clough, Allchin (2011) também tece comentários sobre a incompletude deste tópico ao ser expressado de maneira declarativa, afirmando que se oferece o risco de se desacreditar em consensos científicos particularmente importantes, como no caso das ciências climáticas e do já estabelecido entendimento da importância de fatores antropogênicos nas causas das mudanças climáticas. Evitar este tipo de risco é uma tarefa especialmente relevante em nossos tempos, nos quais a descrença com o discurso científico parece pulverizado na opinião pública e, além disso, ações a fim de reduzir os danos ambientais da atuação humana no planeta se tornam cada vez mais urgentes.

Preocupação semelhante é externada por Martins (ibid.). Segundo o autor, as visões consensuais flertam com posicionamentos relativistas moderados, embora os *tenets* não sejam exclusivamente coerentes com alguma posição filosófica específica. Em outras palavras, os princípios eleitos como consensuais por aqueles autores, ao serem conjugados, não nos levam a adoção de nenhum tipo específico de relativismo ou de qualquer outra posição filosófica bem definida e monolítica. Mas seu conteúdo sugere posições mais próximas ao relativismo, seja ele epistêmico, metodológico ou ontológico, do que as diagnosticadas “visões ingênuas”. Ora, neste sentido se pode argumentar que as Visões Consensuais são bem-sucedidas, pois tem o potencial de diluir crenças mais próximas às versões caricatas de positivismo ou do realismo ingênuo ao relativizar, p. ex., a existência de um método científico rígido ou o caráter exclusivamente objetivo da atividade científica. No entanto, parafraseando Bachelard (1996 [1938], p. 10), pode existir uma imensa distância entre o conteúdo ensinado e o conteúdo aprendido. O objetivo do ou da docente pode ser mirar no relativismo moderado intentado pelos proponentes das listas, mas a ideia compreendida pelos alunos pode ser muito diferente, flertando com posições relativistas extremadas ou, como chamaremos, *relativismo ingênuo*.

Neste sentido, é possível identificar possíveis concepções exageradamente relativistas que podem ser estimuladas por asserções das Visões Consensuais. Tomemos um exemplo.

Afirmar que não existe o chamado método científico, ou que não é possível garantir o sucesso da ciência por um único método são afirmações praticamente de lugar-comum entre filósofos ou historiadores da ciência, ou para cientistas e professores de ciências filosoficamente instruídos. O aprendizado adequado deste aspecto da ciência é desejável para uma educação básica mais crítica, mas a mera transmissão deste conhecimento pode ser enganosa para os alunos, podendo levá-los a pensar que não há quaisquer métodos característicos das ciências que permitam a construção de conhecimentos que sejam em boa medida objetivos. Pode-se minar também a ideia de que atividade científica não goza de sérios critérios de avaliação e validação, criando a percepção de “qualquer coisa vale”. Em

suma, é justo buscar o entendimento de que não há o método científico, desde que busque também entender melhor quais as limitações e potencialidades de métodos recorrentes nas ciências, como métodos hipotéticos-dedutivos, métodos indutivos (no caso de produção de hipóteses, modelos, teorias, etc.), ou como isolamento de variáveis em um experimento, análises de dados, simulações computacionais, etc. (no caso de checagem de hipóteses, testes de adequação de modelos e investigações empíricas de maneira mais ampla).

Martins (ibid., p. 713) delinea um caso que considera problemático na afirmação de McComas (2008): “A ciência tem um elemento subjetivo. Em outras palavras, ideias e observações em ciência são ‘carregadas de teoria’”. É bastante razoável afirmar que teorias, modelos ou explicações científicas não são realidades objetivas inerentes ao mundo natural, mas sim uma produção intelectual criada socialmente. Contudo, estes construtos não podem ser considerados subjetivos. É claro que um dos intuítos por trás, digamos, da construção de um modelo científico por parte de um cientista ou grupo de cientistas é representar, explicar ou teorizar sobre algo de maneira a transmitir aos pares uma mensagem objetiva acerca de seu significado e da relação deste modelo com um objeto de estudo. Em outras palavras, o debate sobre esta produção intelectual entre a comunidade científica só será possível caso todos os envolvidos estejam completamente cientes do que seus colegas estão falando, ou a que aquele modelo se refere, quais problemas ele pretende atacar e como se propõe a fazê-lo. Se isso acontecer, a comunicação entre estes pares é em grande medida objetiva. Mas a conquista desta objetividade só é viabilizada por meio de acordos, regras, métodos e conhecimento prévios *intersubjetivos*, o que é muito diferente de ser um elemento subjetivo. Matthews (ibid.) critica o fato de que por vezes conhecimentos sociológicos e epistemológicos aparecem de maneira confusa nos *tenets*. Ao identificar ou confundir, desta maneira, subjetividade com intersubjetividade se corre o risco perder de vista as virtudes epistêmicas particularmente presentes na ciência, como a busca da objetividade e do rigor. Não seria um engano afirmar que, por vezes, preferências pessoais, estéticas, filosóficas, contextos históricos e sociais, e até idiossincrasias, possam desempenhar certos papéis na construção do conhecimento científico. Talvez estes elementos sejam inescapáveis, dada a natureza humana e social da ciência, mas também não significa que a ciência não disponha de mecanismos intersubjetivos para atenuá-los ou incorporá-los sem que isso implique na suspeição de seus resultados e produtos. Ao incentivar o entendimento superficial de uma suposta dimensão subjetiva da ciência, é oferecido o risco de se desvalorizá-la ou concebê-la como indistinta de opinião pessoal, o que é comum no embate entre criacionistas e darwinistas, para citar um exemplo marcante em que este tipo de objeção desarrazoada é comumente evocada.

Para Romero-Maltrana e colaboradores (2019), um dos riscos de interpretações exageradamente relativistas a respeito das Visões Consensuais é o fato de elas serem tão gerais e tão aproblemáticas que alguns dos elementos das listas podem ser identificados em várias atividades humanas, não apenas nas ciências. Por exemplo, afirmar que a ciência é uma atividade criativa não nos diz muito sobre este tipo de conhecimento, uma vez que esta

característica também é compartilhada pelas artes, pela publicidade, pelo design ou por quase toda atividade intelectual humana. O mesmo se pode dizer ao afirmar, mesmo que corretamente, que a ciência influencia e é influenciada pelo contexto histórico, cultural e social no qual é produzida. Esta abordagem dificultaria a compreensão da ciência como um conhecimento em boa medida objetivo e cultiva demasiadamente os seus lados subjetivos. Caso o objetivo dos estudos educacionais sobre a Natureza da Ciência seja o ensino de suas características essenciais, argumentam os autores, uma melhor abordagem seria jogar luz às características que a diferencia de outros empreendimentos humanos. Eles não sugerem, no entanto, que haja uma clara distinção entre a ciência e outros tipos de conhecimento, reconhecendo que o chamado problema da demarcação³ tem uma longa história na filosofia e tem se mostrado insolúvel, ou até um pseudoproblema. Apesar destas ponderações, salientam que é possível identificar aspectos bastante marcantes e presentes nas ciências, cuja identificação pode se beneficiar da abordagem de *semelhança de família* de Irzik e Nola.

Considerando as críticas e recomendações a respeito das Visões Consensuais e ao ensino de Natureza da Ciência de maneira mais geral, direcionaremos a discussão deste artigo para um problema mais específico dentro da epistemologia da física e do debate educacional. Concordando com os autores citados até aqui, defendemos que visões relativistas, embora sejam importantes para a construção de visões mais críticas sobre a ciência, devem ser encorajadas somente mediante importantes ponderações para que os alunos, ou até mesmo os professores, fiquem alerta e cientes dos possíveis exageros e distorções a elas associadas. Porém, não podemos deixar de lado os objetivos iniciais de parte considerável das pesquisas sobre ensino de NdC realizados, isto é, combater as visões positivistas ingênuas que ainda persistem no imaginário de professores e alunos.

Em suma, planejamos nos colocar frente ao dilema epistemológico e educacional de encontrar um equilíbrio entre o *positivismo e o relativismo ingênuos*, buscando atualizar o debate sobre a Natureza da Ciência, trazendo-o mais próximo aos desafios próprios de nossos dias, a saber, aqueles associados à resistência da desvalorização do conhecimento científico. Para tal discutiremos temas da filosofia e história da ciência diretamente relacionados a alguns dos princípios das VC aqui expostos: “a história da ciência apresenta tanto caráter evolucionário quanto revolucionário” e “o conhecimento científico é durável, mas tem um caráter tentativo.”

Problematizaremos estes tópicos por meio de debates filosóficos sobre o estatuto cognitivo da ciência, sobre a mudança científica, e possibilidade de continuísmo e progresso da ciência. Nossa análise nos levará a conclusões particularmente presentes nas ciências

³ O problema da demarcação foi um debate bastante presente principalmente na primeira metade do século XX. Em suma, se refere à querela de como diferenciar a ciência de outras formas de crenças e conhecimentos. Citando alguns exemplos de tentativas de demarcação, para os positivistas do Círculo de Viena a verificabilidade das proposições científicas seria a chave para tal delimitação. Popper, por outro lado, defendia que todo conhecimento científico deveria ser passível de falsificação. Para mais detalhes sobre o problema da demarcação e tópicos a ele relacionados indicamos Laudan (1996) e Moulines (2020).

físicas e ciências altamente matematizadas, a saber, a identificação de estruturas matemáticas que se acumulam através de episódios de mudanças radicais da perspectiva científica que, por vezes, são referidas como *revoluções científicas*.

II.3 Delineando o problema da continuidade do conhecimento científico e seu domínio ontológico

Como já comentado, uma das visões inadequadas sobre a Natureza da Ciência mais reportadas na literatura está associada à falta do entendimento das limitações do conhecimento científico, mais especificamente sobre a sua falibilidade e provisoriedade. É pacificado o fato de que as conclusões científicas e os produtos da ciência, de maneira geral (como teorias, modelos, consensos científicos sobre qualquer objeto de estudo, entre outros), podem sempre ser reavaliados, reconsiderados ou até rejeitados mediante descobertas e evidência até então desconhecidas. Este é um benéfico efeito colateral da dinamicidade da pesquisa científica e da alta mutabilidade deste empreendimento, seja por meio do desenvolvimento de novas tecnologias associadas a técnicas de análise experimental ou de dados, sejam novas evidências empíricas, seja pela mudança de olhar da comunidade frente a algum problema científico específico. Não à toa, a falibilidade é um dos tópicos presentes nas listas de Visões Consensuais.

O diagnóstico de visões ingênuas que remetem a algum tipo de caráter definitivo ou inquestionável dos conhecimentos científicos justifica a necessidade de ser debatido em sala de aula, qualquer que seja o nível de instrução, básica ou superior, a possibilidade de reexames de resultados até então considerados corretos pela ciência e sua eventual retificação. De maneira geral, conclusões locais de qualquer disciplina podem ser postas em dúvida, p. ex., a eficácia de um remédio contra uma doença; a estimativa da idade de uma espécie de ser vivo baseada em evidências fósseis; a quantidade de planetas no Sistema Solar; a idade do Universo estimada por teorias cosmológicas; outros exemplos poderiam ser citados indefinidamente.

Para além de reconsiderações e reorganizações de resultados e conclusões locais, a ciência é capaz de sofrer mudanças muito mais amplas e profundas, levando à necessidade de grandes reestruturações conceituais e alterações de visões de mundo. Este tipo de mudança é referido pelo *tenet* de McComas (1998) sobre o caráter por vezes revolucionário da ciência e será nosso objeto de interesse. Muito menos frequentes do que o primeiro tipo comentado de mudança, episódios de alterações mais radicais do pensamento científico foram demasiadamente importantes e estudados na história da ciência para serem ignorados, caso se objetive o ensino historicamente e filosoficamente instruído.

O termo *revolução científica*, como um conceito referente à epistemologia histórica da ciência, ganhou notoriedade na literatura com o famoso ensaio de Thomas Kuhn, *A Estrutura das Revoluções Científicas* (1962). Em linhas gerais, Kuhn descreve esses processos históricos como grandes revoluções dos paradigmas científicos, alterando principalmente

compromissos teóricos, metodológicos e a maneira como as questões científicas são formuladas, pensadas e interpretadas pelos coletivos científicos. São citados diversos exemplos nos quais, segundo Kuhn, este tipo de transformação foi evidente: as revoluções quântica e relativística na física; a revolução de Lavoisier na química; a darwiniana na biologia evolutiva; a lyelliana na geologia; entre outros. O chamado problema da mudança científica, que ganhará nossa atenção daqui em diante, apesar de já presente na filosofia da ciência antes das obras de Kuhn, ganha notoriedade depois delas. Tal visibilidade se deve aos termos nos quais o autor se refere às descontinuidades das ciências e suas implicações filosóficas, como comentaremos a seguir.

Kuhn argumenta que ao se estabelecer novos alicerces teóricos, padrões de evidências e racionalidade em uma disciplina específica, é criada uma nova visão de mundo totalmente incompatível com aquela do velho paradigma. Assim, a nova teoria ou conjunto de teorias associadas ao novo paradigma são conceitualmente e axiomáticamente inconciliáveis com as antigas, fazendo com que seus conceitos sejam mutuamente intraduzíveis. Esta inconsistência profunda entre sucessivas teorias agregadas a diferentes paradigmas é chamada de *incomensurabilidade*. Duas teorias que podem versar sobre a mesma classe de fenômenos (p. ex., gravitação clássica e gravitação relativística) são formalmente incomparáveis, pois se referem a objetos estranhos uma à outra. Enquanto a gravitação newtoniana faz referência a forças à distância, espaço e tempo absolutos, e massas invariantes, a relatividade se refere à curvatura do espaço-tempo para explicar a trajetória dos corpos, massas variáveis, quebra de simultaneidade, entre outras diferenças fundamentais entre ambas as teorias. Buscando justificar a incomensurabilidade entre paradigmas, Kuhn (1962 [2013]) argumenta que tentativas de recuperar o formalismo da mecânica newtoniana pela teoria da relatividade, apesar de matematicamente possível, é um esforço demasiadamente artificial do ponto de vista conceitual. Em outras palavras, por mais que seja possível recair nas equações de Newton pelo formalismo relativístico, admitindo, por exemplo, que a velocidade da luz seja infinita, os conceitos e concepções de mundo de cada uma das perspectivas teóricas não são retomados. Por mais que as equações se aproximem, feitas as manipulações de parâmetros e variáveis adequadas, a ação à distância de uma força não se aproxima de uma geometrização não-euclidiana no espaço; a independência entre tempo e espaço não se aproxima do *continuum* tempo-espaço einsteiniano, e assim por diante. Assim, a incomensurabilidade se impõe como um dos conceitos kuhnianos mais importantes para entender em que sentido as revoluções acusam descontinuidades do conteúdo cognitivo das ciências, justificando o aspecto “revolucionário” da ciência evidenciado pela sua história, como reza o *tenet* de McComas.

O modelo epistemológico proposto por Kuhn antagoniza a tradição historiográfica positivista caracterizada, segundo Gravroglu (2007, p. 19), pelo “desenvolvimento cumulativo da ciência, bem como a relação dialética entre teoria e a experimentação, segundo a qual as propostas e previsões teóricas são experimentalmente verificadas e os eventuais desvios

conduzem à reformulação das teorias”. Apesar de se admitir o caráter tentativo da ciência, a acumulação de conhecimentos positivos era vital para o entendimento positivista do progresso cognitivo, inclusive quando se buscava dar respostas ao problema das mudanças científicas (LAUDAN, 1996, p. 21).

Desafiando as doutrinas positivistas e visões espontâneas que podem ser consideradas como “positivistas ingênuas”, a existência de revoluções científicas implica na descontinuidade das metodologias de investigação, em contraponto à ideia de método científico rígido e atemporal. Além disso, noções ainda mais estranhas ao positivismo e ao realismo ingênuos são admitidas, como descontinuidades em aspectos centrais dos próprios conteúdos cognitivos das teorias, como seus princípios mais básicos e as entidades teóricas nelas postuladas. Este aspecto da natureza da ciência coloca em perspectiva o significado e a existências das entidades teóricas inobserváveis, partes relevantes tanto da ciência enquanto conhecimento especializado quanto como conhecimento escolar, afinal de contas, professores de ciência invariavelmente fazem referência a objetos abstratos como campos elétricos, moléculas, genes, vírus, elétrons, e assim por diante. A sujeição da ciência a passar por grandes revoluções conceituais coloca sob suspeição o conteúdo de verdade das teorias científicas atuais no que diz respeito aos referentes nelas utilizados para criar uma imagem científica do mundo natural. Em outros termos, o desenvolvimento por vezes descontínuo da ciência põe em debate o estatuto ontológico das entidades teóricas, sejam estas associadas teorias do passado ou teorias correntes.

Exposto este elemento da NdC, faz-se necessário esclarecer uma série de questões sobre o status de existência das entidades não observáveis e sobre estatuto cognitivo da ciência de maneira mais geral: se sucessivas teorias são realmente incomensuráveis, como confiar que qualquer uma delas atingiu, em algum nível, “a verdade” sobre seus objetos?; se o conteúdo de verdade das teorias científicas está sempre sob suspeição, é possível atribuir algum sentido ao progresso científico?; há algum tipo de acumulação de conhecimento?; o que se mantém verdadeiro após uma mudança científica?

Não pretendemos, obviamente, lançar soluções únicas para tais questões, tarefa que não pode ser realizada satisfatoriamente com o emprego de uma só perspectiva teórica. Buscamos, entretanto, contribuir com a reflexão desta classe de problemas epistemológicos, propondo um possível tratamento teórico do dilema acerca da continuidade do conhecimento científico ao mesmo tempo em que o sugerimos como um discurso metacientífico educacional frutífero e potencialmente desejável para nossos tempos. Para tal, consideraremos as contribuições do realismo estrutural.

O dilema associado às descontinuidades e rupturas da ciência sugere que, para que seja possível defender a continuidade do conhecimento científico e seu progresso, é necessário nos tornarmos seletivos aos aspectos teóricos aos quais atribuímos verdade ou realidade. Em outras palavras, podemos questionar como se pode adotar uma postura otimista frente à imagem de natureza e de mundo que a ciência é capaz de tecer tendo em mente a

provisoriamente de seus grandes esquemas teóricos e a provisoriamente da referência que se faz a objetos teóricos, como as entidades inobserváveis centrais a tais teorias.

O realismo estrutural busca diluir estas tensões sinalizando para elementos de continuidade através destas profundas mudanças científicas, preservando tanto quanto possível o realismo científico (PSILLOS, 1995). A fim de superar estas contradições, esta postura deve admitir a descontinuidade referencial dos termos teóricos e adotar o relativismo ontológico dos referentes centrais das teorias científicas. Em termos menos formais, pode-se dizer que o realista estrutural adota certa humildade frente às entidades inobserváveis consideradas reais pelas atuais teorias científicas. Isso é justificado pelo histórico de abandono de entidades ligadas às teorias refutadas ou obsoletas do passado da ciência (WORRALL, 1989), dentre as quais podemos citar diversos exemplos, como o flogisto na química, o calórico no campo da termodinâmica e calorimetria, o éter luminífero na óptica e no eletromagnetismo, as esferas celestes na astronomia aristotélico-ptolomaica, entre outras entidades tomadas como fundamentais e centrais em antigas teorias científicas. Então, segundo o realismo estrutural, devemos selecionar quais elementos dos sistemas teóricos atribuímos realidade, considerando prudente suspeitar da ontologia dos referentes. Assim, a continuidade entre sucessivas teorias incomensuráveis se encontra nas estruturas formais e matemáticas que as teorias tecem entre os objetos inobserváveis, de maneira que não se atribui realidade aos objetos em si, mas sim às relações formais entre eles, cuja referência é, muito provavelmente, sempre putativa. Estas peculiaridades resultam de que o realismo estrutural se compromete mais com a dimensão epistemológica do que ontológica do realismo científico, no sentido de que é possível construir conhecimento (estrutural) da ordem natural no mundo sem que conheçamos a natureza última de seus objetos (POINCARÉ, 1995 [1905]).

Considerando que a ciência é capaz de capturar corretamente a estrutura objetiva do mundo natural, o realismo estrutural pode amenizar percepções excessivamente relativistas possivelmente estimuladas pela provisoriamente do conhecimento científico, agravada pela existência de grandes rupturas em seu desenvolvimento, ao indicar a continuidade estrutural das ciências matematizadas.

Não é raro nos depararmos com a defesa de posturas metacientíficas realistas ou objetivistas no campo da pesquisa em ensino de ciências em oposição a posições marcadamente relativistas ou construtivistas. Entre os anos 1990 e 2000, alguns autores abordaram o dilema de se entender a ciência exclusivamente como descobertas sucessivas ou como meramente construções sociais e psicológicas (p. ex. OGBORN, 1997), uma vez que diversas formas de construtivismo ganharam visibilidade à época. Na tentativa de balancear ou diluir o peso de fatores psicológicos e sociais na construção da ciência, alguns autores propuseram abordagens metacientíficas realistas no ensino (PIETROCOLA, 1999; GILBERT *et. al.*, 2000). O objetivismo dependente das metodologias científicas também foram alvo de interesse para se contrapor a formas de construtivismo (LABURÚ; SILVA, 2000).

Para além de debates mais localizados, o realismo científico epistemológico foi sugerido por Cobern e Loving (2008) como um bom senso comum, desejável no ensino. Há também pesquisadores que defendem que *não* se aborde os debates sobre realismo científico no ensino (EFLIN; GLENNAN; REISCH, 1999), seja por considerarem confusos, ociosos, ou demasiadamente complicados para os alunos. Porém, defendem que é mais conveniente, do ponto de vista educacional, que neles se cultive visões mais próximas ao realismo ingênuo. Matthews (ibid.) considera este um dos debates perenes dentro da história da ciência, lembrando-nos que a disputa entre realistas, por um lado, e instrumentalistas, empiricistas e construtivistas, por outro, acirrou-se em diversos episódios do desenvolvimento da física, como no caso da querela entre os sistemas de mundo geocêntrico e heliocêntrico ao longo da revolução copernicana, nas críticas de Mach a interpretações realistas do atomismo e nas controvérsias sobre a existência de forças à distância na gravitação de Newton. O embate entre o realismo e o instrumentalismo foi particularmente marcante, e até central, na história da mecânica quântica. Moreira (2018) entende que metaconhecimentos alinhados a formas de realismo crítico (em particular, o que o autor chamou de realismo social estrutural, um posicionamento filosófico que não nega nem a socialidade nem a objetividade do conhecimento científico) podem estar comprometidos com a justiça social e a resistência ao relativismo epistêmico. Associado a questões muito próximas ao realismo científico, há autores que consideram indispensáveis reflexões acerca do significado e do papel que entidades teóricas desempenham no sistema de pensamento científico (MATTHEWS, 2014 [1994]; MARINELI, 2016; SILVA, 2013).

Pensando que o realismo estrutural tem a potencialidade de contribuir com reflexões sobre as querelas educacionais e epistemológicas expostas acima, buscaremos discutir com mais detalhes como ele aborda o problema da mudança científica, como foi inserido no debate acerca do realismo científico, além de resgatar suas raízes no pensamento filosófico de Henri Poincaré. Desejamos mostrar que o realismo estrutural é capaz de nos dar condições mínimas para reconhecer elementos de continuidade através de importantes rupturas conceituais, de forma a facilitar a defesa do realismo epistemológico e posturas otimistas frente à possibilidade de progresso⁴ e crescimento do conhecimento científico.

III. O debate sobre o Realismo Científico

As controvérsias acerca da realidade das teorias científicas e suas entidades são um tema caro à filosofia da ciência e por vezes é referido como “debate realismo/antirrealismo científico”, ou apenas debate sobre o realismo científico. Há diversas maneiras de se definir a posição realista, muitas delas inconsistentes entre si, uma vez que o realismo científico não

⁴ Como ficará claro mais adiante, nos alinharemos à noção de progresso científico conforme defendida por Henri Poincaré.

configura uma doutrina filosófica única, mas uma pluralidade de posturas frente ao estatuto cognitivo e ontológico das ciências.

Apesar das diversas variações de realismo científico e das diversas maneiras de conceituá-lo, podemos afirmar, em primeira aproximação e com alguma cautela, que seja uma posição filosófica “otimista em relação aos resultados da investigação científica, que abrangem os aspectos dos mundos tanto observável e inobservável” (SOUZA, 2015, p. 10). Adjunto a este otimismo racionalmente justificado frente ao conhecimento científico, o realista geralmente carrega noções de progresso e de adequação representacional da ciência em relação ao mundo (SAATSI, 2017). Em outras palavras, pode-se dizer que o realismo científico defende que há uma relação de correspondência⁵, mesmo que indireta e imperfeita, entre a ciência e a realidade objetiva, isto é, que existe independente do pensamento. É fundamental ao realista entender que “o mundo precede a mente (e, naturalmente, as teorias por ela produzida) de modo que esta se adapta ao caráter objetivo daquela” (SILVA, 1998, p. 8).

Uma das dificuldades em tentar expressar o significado do realismo científico se encontra no fato de existirem diversas dimensões às quais este pode ser dividido, cada uma delas apontando para questionamentos diferentes (NIINILUOTO, 1999): o realismo ontológico, que busca refletir sobre a possibilidade de existirem entidades científicas de maneira independente da mente cognoscente; o realismo epistemológico, que versa sobre a possibilidade de se adquirir conhecimento sobre o mundo externo; o realismo semântico, que se preocupa com as possíveis relações de verdade entre os significantes de uma dada linguagem (proposições, símbolos, palavras) e os seus referentes, i.e., os objetos aos quais eles se referem; o realismo metodológico, que está associado à confiabilidade e capacidade dos métodos das ciências de proverem os meios para a construção de conhecimento sobre o mundo natural; o realismo axiológico, que se refere ao questionamento sobre se a verdade é um valor intrínseco à ciência.

Destas cinco dimensões do realismo científico se farão presentes, nesta discussão, principalmente as duas primeiras, os realismos ontológicos e epistemológicos, por causa da seletividade do realismo estrutural ao domínio epistemológico em detrimento ao primeiro. Em certa medida, reflexões sobre o realismo semântico também estarão presentes, uma vez que as origens do realismo estrutural estão associadas a dificuldades impostas pelos problemas de

⁵ Relações de correspondências, ou a noção de verdade por correspondência ocupam papel relevante na história do debate sobre o realismo científico. Este tipo de relação é invocado quando se quer advogar que um termo teórico, por exemplo, obtém sucesso ao se referir a um objeto existente no mundo natural. Tomemos como exemplo o termo “elétron”. Caso haja no mundo um objeto que satisfaça exatamente as qualidades e propriedades atribuídas a este termo, então se diz que a palavra “elétron” corresponde, ou tem sucesso referencial àquele objeto. Algo semelhante pode ser defendido para o conteúdo de verdade de uma proposição: caso ela se verifique na realidade, é possível dizer que há uma relação de correspondência entre a afirmação e o real. Estas relações de correspondência e sucesso referencial não passam incólumes a certos exames histórico-filosóficos, como será comentado na próxima seção.

mudança científica relacionados às referências de uma teoria e seus respectivos (e supostos) referentes no mundo real.

Por vezes, o realismo ontológico é também referido como *realismo de entidades*, termo tributário à Ian Hacking (2012 [1983]), segundo o qual as entidades teóricas postuladas pelas teorias científicas (ou, pelos menos, muitas delas) realmente existem e sua existência independe de nossos conhecimentos sobre elas. A defesa de Hacking sobre a existência de entidades inobserváveis é balizada pela física experimental contemporânea. Segundo o autor, a possibilidade de manipulação destas entidades (como o elétron) atestam sua existência. Hacking traduz seu posicionamento com a máxima “se podemos bombardeá-los, então eles existem”. A formulação de Hacking para o realismo de entidades nos permite, em algum nível, apartá-la de outros domínios. Alguém pode ter uma posição realista, digamos, frente aos elétrons: eles realmente existem, tanto que é possível manipulá-los; contudo, não se aceita, por consequência, que a referência que uma teoria faça a estes objetos tenha necessariamente uma relação de verdade ou de correspondência inequívoca. Em outros termos, é possível defender que os elétrons existam, mesmo que nossas teorias não nos permitam dizer com certeza *o que e como eles são*. Por esta sutileza, Hacking define também o realismo de teorias, que seria a crença justificada de que as teorias científicas são corretas ou correspondem em algum nível à verdade. Esta formulação do autor para o realismo científico é bastante diferente de formulações mais clássicas, como a Wilfrid Sellars (*apud* VAN FRAASSEN, 2006 [1980]): “ter boa razão para sustentar uma teoria é *ipso facto* ter boa razão para sustentar que existem as entidades postuladas por essa teoria”. Nesta formulação, crer na teoria implica em crer nas entidades por ela referida. Como veremos, será fundamental para o realista estrutural que seja possível efetuar a distinção entre estes domínios.

Nesta breve apresentação, é importante ressaltar uma característica marcante de muitas posições realistas, que as diferencia de formas de antirrealismo (como formas de positivismo e empirismo): a busca de conhecimento dos processos inobserváveis causais, i.e., a suposição de mecanismos que envolvem entidades inobserváveis com objetivo de explicar os fenômenos observáveis. Em outras palavras, o realista julga ser possível e necessário encontrar explicações causais dos fenômenos e regularidades observáveis, buscando alcançar conhecimento (mesmo que falível e aproximado) sobre como as coisas acontecem “atrás das telas” como disse Mário Bunge (2010, p. 177-211). Seguindo o raciocínio de Bunge, para um realista (e, segundo o autor, para qualquer cientista), não basta, p. ex., saber que um remédio é eficaz contra determinada doença. É imprescindível entender o porquê de seu sucesso, ou seja, por meio de quais mecanismos os princípios ativos do remédio interagem com organismo do paciente e com o agente causador da enfermidade de modo a eliminá-la ou arrefecê-la. Para tal, é inescapável a criação de objetos e processos abstratos inobserváveis e explicativos, contrastando com tendências descritivistas comuns em forma de empirismo e positivismo.

Concepções realistas frente à ciência são antagônicas às visões antirrealistas que, de maneira geral, são céticas ou agnósticas em relação à existência de entidades inobserváveis e evitam julgar teorias como verdadeiras. É comum antirrealistas fazerem referência a entidades inobserváveis, no entanto sem atribuir a elas qualquer realidade, considerando-as meras ferramentas heurísticas úteis, o que configura uma postura *instrumentalista*. Tal interpretação das teorias científicas remete ao físico Pierre Duhem, para quem as teorias científicas além de não poderem ser consideradas nem falsas nem verdadeiras, buscam simplesmente “salvar os fenômenos”, i.e., dar conta dos fenômenos observáveis da maneira mais satisfatória possível (MOULINES, 2020, p. 44).

Correntes tipicamente antirrealistas são aquelas associadas a formas de positivismo, como o *positivismo e o empirismo lógicos*. Hacking (ibid., p. 107-8) faz referência ao que chama de “seis instintos positivistas”, no que se refere ao estatuto cognitivo e ontológico do conhecimento. São eles: i) *verificacionismo*, segundo o qual proposições só adquirem sentido caso possam ser submetidas a testes de verdade ou falsidade; ii) *pró-observação*, o fundamento do conhecimento (não lógico/matemático) está diretamente associado ao que se pode perceber, experienciar por meio dos sentidos; iii) *anticausação*, nega a causalidade perseguida pelos realistas, afirmando de maneira positiva apenas a existência e possibilidade de conhecimento de eventos regulares sucessivos (correlação entre fenômenos); iv) *antiexplicação*, rejeita a busca por especulações explicativas que vão além do que se pode extrair dos fenômenos; v) *antientidades teóricas*, nega a existência de entidades abstratas inobserváveis e seu papel causal nas regularidades fenomênicas; vi) *antimetafísica*, que resulta da articulação dos cinco itens anteriores, a eliminação de qualquer consideração, referência ou proposição metafísica.

O programa filosófico de positivistas lógicos do Círculo de Viena, como Rudolf Carnap, intentava “reduzir todos os conceitos científicos, por meio de definições estritas e logicamente irrefutáveis, a conceitos muito simples do tipo diretamente observacional” (MOULINES, 2020, p. 71). Buscava-se, por meio de dispositivos lógicos, criar uma linguagem científica que fosse metafisicamente neutra, reduzindo a linguagem científica a combinações de enunciados passíveis de verificação, eliminando qualquer tipo de confusão metafísica desprovida de significado (ibid.). Este pilar do positivismo lógico é chamado de *reducionismo*.

Mais recentemente, foi proposta por Bas van Fraassen (2006 [1980]) uma nova forma de empirismo que se tornou bastante comentada na literatura, o *empirismo construtivo*. Segundo o autor, as teorias científicas devem ser interpretadas literalmente. Isto é, se uma teoria diz que *há elétrons*, então não se deve reduzir esta referência a outro termos, observacionais, por exemplo, como desejavam os positivistas lógicos. Entretanto, o empirista construtivo não se deve comprometer com sua existência e afirma que aceitação de uma teoria implica somente na crença de que ela é *empiricamente adequada*.

Nas últimas décadas, posições antirrealistas próximas ao relativismo ganharam força

no campo da sociologia da ciência, mais marcadamente dentro do Programa Forte da Sociologia da Ciência, e da corrente conhecida como “construtivismo social” (BAGDONAS; GURGEL; ZANETIC, 2014). Tal posição pode ser exemplificada por um de seus expoentes, Bruno Latour, que entende que a atividade científica não se refere à natureza, mas “é uma feroz luta para a construção da realidade” (LATOURE; WOOLGAR, 2000, p. 206). Segundo o autor, os fatos científicos não estão na natureza, mas são construídos socialmente.

Apresentados em linhas gerais os extremos do debate realismo/antirrealismo científicos, buscaremos apresentar argumentos centrais de cada uma das posições intimamente associados à emergência do realismo estrutural.

III.1 Argumentos a favor e contra o Realismo Científico

Na primeira metade do século XX, dominavam na filosofia da ciência posições bastante próximas a formas de antirrealismo, como o positivismo lógico e correntes posteriores de inclinações reducionistas e instrumentalistas (MOULINES, 2020). A partir das décadas de 1950 e 1960, começa a emergir uma geração de filósofos que reivindicavam o realismo científico, opondo-se aos cânones filosóficos das correntes anteriores, configurando o que Psillos (2017) chamou de “Virada Realista”. Uma das críticas ao instrumentalismo e ao empirismo verificacionista estava associada à reivindicação explicacionista da ciência, segundo a qual o objetivo do cientista não se limitaria a prover previsões acuradas dos fenômenos, nem se reduziria à mera adequação empírica, sem se comprometer com a realidade ou sucesso referencial dos termos teóricos. Hilary Putnam (1965) argumenta que, embora alguns cientistas considerem que este seja realmente o objetivo da ciência, muitos outros discordariam, defendendo que seu propósito seria a *explicação* dos fenômenos por meio da obtenção de conhecimento das entidades científicas que estariam por trás das observações. Putnam afirma que os cientistas se referem a “vírus”, “estrelas de rádio” e “partículas elementares”, pois, sem tais referentes, seria impossível conhecer tais objetos que considera reais e inteligíveis. Em suma, quando os cientistas se referem às “partículas elementares”, ou “vírus”, é porque eles realmente “desejam” se referir a eles para que assim possam aprofundar o conhecimento sobre tais objetos, buscando explicar seus comportamentos e propriedades (ibid., p. 257-8).

A Virada Realista é marcada pelo posicionamento segundo o qual os termos teóricos carregam propriedades particulares àqueles referentes, que são irreduzíveis às sentenças observacionais. Dentro deste quadro de pensamento, as entidades inobserváveis têm a função de causar os fenômenos captados pelos sentidos, de maneira que o cientista se esforça para conhecer, em maior profundidade, as propriedades destas entidades. Assim, “as categorias conceituais e linguísticas usadas pela ciência para se referir ao mundo são ajustadas de maneira a acomodar a estrutura causal do mundo” (PSILLOS, ibid., p. 23), posição radicalmente diferente dos positivistas e empiristas.

Para além da visão de ciência que extrapola o mero descritivismo, o realismo científico reivindica não apenas o sucesso referencial das teorias (*realismo semântico*), mas também alega explicar o seu inelutável sucesso empírico. Frequentemente, a explicação do enorme sucesso da ciência em prever os fenômenos naturais é invocada pelos realistas (PUTNAM, 1975a, 1975b; SMART, 1982; BOYD, 1984; MAXWELL, 1962) como um poderoso argumento em defesa do realismo. Segue o raciocínio: é tão notório o sucesso empírico da ciência, tanto em sua capacidade de previsão de eventos quanto no sentido de manipulação laboratorial e aplicações tecnológicas, que se torna urgente alcançar uma explicação para este fato. Este sucesso sugere que as mais fecundas e precisas teorias científicas sejam verdadeiras, ou aproximadamente verdadeiras. Se estas teorias nos dotam de explicações pelo menos aproximadamente corretas da ordem natural, isso se deve ao fato de que as entidades teóricas devam realmente existir. Caso contrário, o sucesso da ciência se tornaria uma grande coincidência ou uma espécie de milagre. Assim, o realismo científico seria a alternativa filosófica que nos previne de considerar este sucesso um milagre, configurando uma inferência à melhor explicação do *explanandum* em questão. Por este motivo, este argumento é conhecido como o Argumento do Milagre (ou, *no-miracle argument*, do inglês).

Este argumento é fortalecido pela existência de *novidades preditivas* (MUSGRAVE, 1988), tornando-o ainda mais convincente. Houve diversos casos em que teorias científicas previram fenômenos novos, derivados de consequências internas à própria teoria. Estas classes de fenômenos correspondem a resultados inesperados e desconhecidos no contexto de formulação da teoria, cujas explicações não eram seu objetivo. Esta novidade preditiva goza de independência em relação à gênese da teoria, de maneira que este sucesso empírico não foi “encomendado” em seu desenvolvimento, ganhando o status de descoberta. Assim, um realista pode argumentar que este fato necessita de uma explicação especial que seja mais satisfatória do que uma interpretação instrumentalista. Se um esquema teórico consegue prever com sucesso um fenômeno até então insuspeitado, então ele deve nos dizer algo positivo sobre a ordem natural. Um caso relativamente recente de novidade preditiva empiricamente confirmada, que gerou grande repercussão, foi a detecção das ondas gravitacionais, consequência da teoria da relatividade geral.

O argumento do milagre, aliado às novidades preditivas, sugerem que o crescimento do conteúdo empírico das teorias científicas é explicado por uma aproximação cada vez maior à realidade. Em síntese, a defesa desta posição depende de três teses: i) termos teóricos se referem a entidades inobserváveis; ii) teorias são (aproximadamente) verdadeiras; iii) há continuidade referencial através de mudanças teóricas (PSILLOS, *ibid.*). Estas teses serão fortemente abaladas com a consolidação de um dos mais importantes argumentos antirrealistas, realizada por Larry Laudan (1981) em sua “confutação ao realismo convergente”, conhecido como a *metaindução pessimista*.

Por meio de uma análise de tendências históricas do desenvolvimento da ciência,

Laudan argumenta que diversas teorias bem-sucedidas do passado (inclusive algumas que gozavam de *novidades preditivas*) foram eventualmente provadas falsas e suas entidades teóricas tornadas obsoletas. Dentre elas, o autor cita as esferas cristalinas do sistema aristotélico-ptolomaico; a teoria flogística da combustão; a teoria do calórico na termodinâmica; a teoria do éter luminífero, entre outras. Todas estas teorias e entidades, por mais que pudessem ser consideradas bem-sucedidas em seus respectivos contextos históricos, foram eventualmente falseadas e abandonadas. Laudan, endereçando sua crítica à Putnam, estende a descontinuidade referencial aos termos de antigas teorias que são recorrentes em teorias atuais, como o átomo de Dalton, os elétrons de Bohr, a massa de Newton ou os genes de Mendel. Segundo o autor, as propriedades e interações associadas a estas entidades sofreram tantas mudanças que dificilmente se pode considerar que houve continuidade semântica ao longo do tempo, de forma que seria forçoso afirmar que elas realmente se referiam a objetos realmente existentes na natureza.

O argumento da metaindução pessimista consiste em uma atitude de desconfiança perante as induções de existência de entidades inobserváveis associadas às teorias científicas atuais, dado o histórico de reiterados abandonos de sistemas e termos teóricos na ciência do passado, independentes de seu sucesso empírico. Desta maneira, seria razoável esperar que as teorias correntes tenham o mesmo destino das antigas sendo, assim, abandonadas e suas entidades consideradas não-referentes a objetos reais.

Este raciocínio não é inaugurado por Laudan, mas já havia sido sistematizado de maneira semelhante por Mary Hesse (1976), em seu "*principle of no privilege*", segundo o qual as teorias atuais estão tão sujeitas a mudanças quanto as teorias do passado, ou no contexto da "falência da ciência" (*the bankruptcy of science*), que motivou Henri Poincaré a formular os germes do realismo estrutural ao rebater posições nominalistas e anti-intelectualistas na passagem dos séculos XIX ao XX (Poincaré, 1995 [1905]). A novidade empreendida por Laudan foi a articulação deste raciocínio para mostrar os limites da teoria da continuidade referencial, essencial ao realismo científico como se entendia desde a Virada Realista. Pode-se considerar que foi um golpe de efeito, dado que a metaindução pessimista é largamente debatida na literatura e oferece um importante desafio (porém, não intransponível) aos defensores do realismo.

Diante destas constatações, persistem as principais questões a respeito do estatuto cognitivo das ciências: o que elas nos revelam sobre a natureza íntima do mundo? Por que a ciência goza de tamanho sucesso empírico e manipulativo? Ainda é possível adotar posturas ontologicamente e semanticamente realistas? O que há de real nas representações teóricas produzidas pelas ciências naturais? Existe alguma forma de aproximação à verdade? Ou será que os esforços da atividade científica são, na melhor das hipóteses, recompensados apenas com a possibilidade da adequação empírica? Se as mudanças científicas são radicais (e merecem amplamente a alcunha de revoluções científicas), é possível defender alguma forma de progresso da ciência? É possível reconhecer elementos de continuidade através das

revoluções científicas? Em suma, como defender uma posição epistemicamente otimista, característica do pensamento realista, que leve em consideração e busque contornar as fragilidades expostas acima? Como uma resposta a esta crise, o filósofo John Worrall (1989) buscou desenhar uma solução ao propor uma alternativa ao realismo tradicional, o que chamou de realismo estrutural.

IV. Realismo Estrutural

Em linhas gerais, o realismo estrutural (em sua forma *epistêmica*) pode ser considerado uma corrente de pensamento, em princípio, cética em relação às referências às entidades teóricas que ocorrem nas teorias científicas. Segundo este pensamento, qual parte das teorias científicas é real? O realismo estrutural valoriza a conexão entre os termos teóricos em detrimento da possibilidade de se conhecer estes objetos ou conhecê-los como *coisas em si*. É uma visão que nos diz que as teorias científicas provêm sistematizações verdadeiras da realidade, mas não sua natureza íntima. Ao invés disso, as teorias nos dizem respeito à estrutura da natureza. Caso elas sejam bem-sucedidas em mapear a estrutura do mundo, então isso explicaria o grande sucesso empírico da ciência, o que acomoda o argumento do milagre (CHAKRAVARTTY, 2004), caracterizando uma atitude realista no domínio estrutural e formal das teorias.

Michel Redhead (2001a, p. 74) resume o que entende como estrutura e estruturalismo na ciência: “informalmente a estrutura é um sistema de elementos relacionados e o estruturalismo é o ponto de vista que foca sua atenção nas relações entre os elementos como distintos dos próprios elementos em si.” Em suma, pode-se dizer que, para o realista estrutural, a ciência se aproxima da realidade (ou se aprofunda nela) conforme se tece mais e mais relações verdadeiras entre as entidades científicas, sem se comprometer com a realidade íntima destas.

Há uma formulação mais forte deste tipo de realismo. Em sua forma *ôntica*, defende que as estruturas são primárias em relação aos objetos. Diferente do realismo estrutural epistemológico, sua formulação metafísica defende que somente as relações podem ser conhecidas, não por serem os únicos aspectos cognoscíveis da realidade, mas por serem de fato *apenas o que há* (LADYMAN, 1998; FRENCH; LADYMAN, 2003; PSILLOS, 2009), tornando os objetos (os *relata*) metafisicamente ociosos diante da prioridade ontológica das *relações* (CHAKRAVARTTY, 2003). Não será nosso objetivo comentar os pormenores desta versão do realismo estrutural, uma vez que esta busca versar predominantemente sobre questões metafísicas, enquanto buscamos aqui fornecer reflexões epistemológicas sobre o conhecimento científico e os problemas associados a suas descontinuidades, embora ambos os domínios estejam de certa forma imbricados (LADYMAN, 1998).

No quadro filosófico do realismo estrutural, o significado dos termos teóricos, tema que ocupa a filosofia da ciência desde pelo menos os positivistas lógicos, ganha outros contornos, diferentes daqueles dados pelo realismo científico tradicional. Exemplificando:

segundo um estruturalista, o papel da teoria eletromagnética não seria nos dizer *o que é* (no sentido de *coisa em si*) o campo elétrico, mas sim como esta entidade se relaciona com os demais objetos da teoria, tais como cargas, correntes de deslocamento, campos magnéticos etc. Esta forma de realismo se dirige à *forma*, à *estrutura* das teorias, o que sugere um abandono do compromisso em relação às referências putativas das teorias aos seus objetos (ibid.). Este aspecto fundamental do realismo estrutural o distancia tanto das teorias da referência assumidas pelos realistas tradicionais quanto das teorias do significado dos termos teóricos dos positivistas lógicos e de alguns tipos de instrumentalistas reducionistas ou operacionalistas. Os primeiros admitiam uma espécie de teoria da verdade por correspondência ao argumentar que termos como “vírus”, “estrelas de rádio” e “partículas elementares” realmente correspondem a objetos que existem na natureza, que gozam de todas as propriedades a elas conferidas pelas respectivas teorias. Já o segundo grupo assumia que os termos teóricos não dispõem de qualquer significado intrínseco, buscando reduzi-los a sentenças que dependessem apenas de termos observacionais, estas sim passíveis de ser atribuído algum de valor de verdade ou falsidade mediante verificação empírica. Em outras palavras, para o realismo estrutural, um termo teórico só ganha significado caso esteja situado em uma rede de relações teóricas que o interligue a outros termos teóricos. Esta visão é legada às contribuições de Grover Maxwell (1970), quem cunhou o termo realismo estrutural, dentro do debate sobre o significado dos termos teóricos. Influenciado por trabalhos de Bertrand Russell, Maxwell deu ênfase às propriedades estruturais dos termos teóricos, sugerindo que o conhecimento sobre entidades inobserváveis é limitado por suas descrições estruturais. Segundo esta visão, o mundo objetivo é composto por objetos inobserváveis dentre os quais certas propriedades e relações são obtidas; o conhecimento humano, entretanto, está limitado a estas relações estruturais entre os objetos (LADYMAN, 1998). Assim, o conteúdo dos termos teóricos é exaurido por suas relações estruturais.

A princípio, o realismo estrutural empregado por Maxwell, que buscava solucionar questões deixadas em aberto pelos positivistas lógicos, não joga luz diretamente sobre o problema da mudança teórica. Para isso, John Worrall adota esta posição para argumentar que os elementos de continuidade que podem ser identificados através de episódios de mudança teórica são aqueles associados à estrutura formal das relações entre os termos teóricos.

IV.1 O melhor dos dois mundos

Em 1989, Worrall propôs uma conciliação entre as visões antagônicas do debate referente ao realismo científico em seu famoso artigo *Structural Realism: The Best of Both Worlds*, buscando realizar uma síntese entre os argumentos do milagre e da metaíndução pessimista dentro uma perspectiva realista.

Por um lado, o incrível sucesso empírico e manipulativo da ciência ainda necessita de uma explicação, de maneira que a visão realista que se ofereça como alternativa filosófica viável deva satisfazer a intuição implícita ao *argumento do milagre*. Isto é, oferecer algum

tipo de correspondência entre a ordem natural, cuja a existência é independente da mente e do agente cognoscente, e os melhores quadros teóricos das ciências. Por outro lado, esta alternativa deve ponderar que a *metaindução pessimista* dificulta tanto a defesa desta relação de correspondência no domínio do realismo referencial (*semântico*), quanto a tradicional noção realista de verdade aproximada (*realismo convergente*). Worrall busca argumentar que sua formulação do *realismo estrutural* oferece a ponderação imposta pela *metaindução*, preservando a postura realista como inferência à melhor explicação do sucesso científico.

Para empreender tal tarefa, o movimento da argumentação de Worrall se desenvolve primeiramente aceitando algumas conclusões da indução pessimista no que diz respeito a mudanças radicais das concepções ontológicas de teorias sucessivas, citando diferentes teorias que se desenvolveram ao longo da era moderna, como a óptica. No século XVIII, a teoria óptica newtoniana concebia a luz como um fluxo de partículas emitido por corpos luminosos. Ao longo do século XIX, esta teoria foi perdendo força em benefício da teoria ondulatória da luz, segundo a qual a natureza da luz consistiria em ondulações em um meio mecânico que permearia todo o universo, o *éter*. Já no início do século XX, começa a se desenvolver uma nova concepção da luz, estimulada pela emergente teoria quântica. A luz voltava a ser considerada como uma corrente de partículas, os fótons, obedecendo a leis e mecânicas bastante diferentes daquelas propostas no século XVIII. Worrall afirma que apenas uma concepção extremamente elástica de verdade aproximada (no domínio ontológico) justificaria a defesa de que partículas são “aproximadamente” ondas em um meio mecânico e estas, por sua vez, “aproximam-se” aos fótons. Estendendo este argumento à gravitação, o autor alega que apesar de a lei universal da gravitação de Newton poder ser obtida como caso limite das equações de Einstein para campos gravitacionais suficientemente fracos, a teoria newtoniana não consiste apenas de suas equações matemáticas, mas conta também com a interpretação destas, além de “várias assumpções teóricas gerais, dentre elas o espaço infinito, o tempo absoluto”, a simultaneidade e a constância da massa de um corpo (ibid., 109). A teoria relativística contradiz logicamente vários aspectos da teoria predecessora, de maneira que elas são, de fato, irreconciliáveis em sua ontologia e na imagem que elas tecem a respeito do mundo. Ao fazer concessões caras ao realismo tradicional, Worrall parece aceitar discontinuidades e rupturas neste domínio (e aceita acúmulos na dimensão empírica, uma vez que o sucesso que uma teoria antecessora tem em explicar seus fenômenos pertinentes é incorporado pela sua sucessora), afirmando o desacordo nas bases conceituais. Worrall também endossa que os esquemas teóricos atualmente aceitos provavelmente terão o mesmo destino dos antigos. Isso quer dizer que uma indução histórica nos permite defender que as teorias científicas, de maneira geral, são provavelmente falsas em sua ontologia e em sua dimensão referencial.

Apesar de ceder a estes importantes elementos de ruptura, o autor advoga ser possível identificar alguma forma de continuísmo e acumulação ao longo das revoluções científicas que não se dão no domínio do *conteúdo* das teorias, como já sinalizado, mas em

sua *forma*, ou *estrutura*. Para exemplificar sua tese, Worrall se refere à mudança teórica que marcou a passagem da óptica mecanicista de Fresnel para a teoria eletromagnética da luz, a qual carrega uma visão campista desmecanizada. Segundo a teoria de Fresnel, a luz era a manifestação da vibração de um meio material sólido e elástico, cujas partículas oscilam perpendicularmente à direção de propagação luminosa. Com base nesta concepção teórica, e se apoiando também no princípio da conservação da *vis-viva* (conceito antecessor à conservação de energia), Fresnel foi capaz de tecer as relações de transmitância e refletância de raios de luz polarizados. Em linhas gerais, estas relações acusam o balanço energético nos processos de reflexão e transmissão da luz na passagem de um meio para outro. No sistema teórico de Fresnel, a energia é identificada com o quadrado das intensidades de cada raio, o incidente, o refletido e o transmitido. A assumpção mecânica subjacente a estas leis é a de que as intensidades dos raios de luz são proporcionais à velocidade absoluta do deslocamento das partículas do éter (PSILLOS, 1995), coerente à visão mecanicista do mundo, característica da época. Estas mesmas equações são retidas sem quaisquer alterações dentro da teoria eletromagnética, exceto pela interpretação que se dá às amplitudes dos raios de luz. Dentro deste esquema teórico, a amplitude não é representada pela velocidade das partículas do éter, mas pela intensidade dos campos elétrico e magnético que dão origem à propagação da luz. Ou seja, o que Fresnel identificava como movimento de partículas foi identificado como corrente de deslocamento no contexto do eletromagnetismo. Worrall argumenta que, do ponto de vista do eletromagnetismo, Fresnel não estava certo a respeito da natureza da luz; entretanto, sua teoria foi bem-sucedida não apenas para interpretar resultados experimentais, mas também *capturou a estrutura correta da luz e sua propagação*. Segundo o realismo estrutural de Worrall, a teoria mecanicista se engana “apenas” em dizer *o que* oscila, mas capturou a *forma exata* desta oscilação, identificando corretamente certas relações entre os fenômenos ópticos (reflexão e refração de um raio incidente em um dióptro).

Worrall não expressa dúvidas sobre o fato de que *Fresnel estava errado sobre a natureza da luz*, e que os mecanismos por ele imaginados *não são*, aproximadamente, os mecanismos que emergem da teoria eletromagnética e nem são casos limite destes, ao contrário do que sugeriram os autores que marcaram a Virada Realista, como Boyd e Putnam (ibid.). Segundo esta formulação do realismo estrutural, o erro desta explicação das mudanças científicas consiste em manter compromisso com o realismo ontológico e referencial, no sentido de afirmar que a ciência é capaz de nos dar um retrato verdadeiro (ou aproximadamente verdadeiro) dos objetos inobserváveis que existem por trás dos fenômenos.

Aceitando a metaindução pessimista dentro do domínio ontológico, Worrall defende que o sucesso da ciência não configura um “milagre” justamente pelas teorias novas reterem a rede estrutural das teorias anteriores, isto é, as relações entre os objetos cuja referência teórica sempre será provisória. Os acúmulos e a continuidade através da mudança científica se manifestam puramente no nível das estruturas matemáticas, ou seja, as relações que interligam os termos teóricos.

O artigo de Worrall se tornou uma pedra angular para os debates contemporâneos sobre o realismo estrutural e colocou esta visão no centro do debate sobre o realismo científico. Entretanto, como exposto pelo próprio Worrall, esta visão epistemológica remonta às ideias do matemático, físico e filósofo Henri Poincaré, que desenvolveu semelhantes argumentos em um contexto filosófico também semelhante àquele imposto pela indução pessimista de Laudan.

Não raro, Poincaré é apontado como uma espécie de precursor do realismo estrutural (VOTSIS, 2004, 2010; WORRALL, 1989) por ter sinalizado que os aspectos de continuidade teórica seriam acusados pela retenção de “relações objetivas” entre objetos (POINCARÉ, 1902, 1905). Em suas obras filosóficas, *A Ciência e a Hipótese* (1902) e *O Valor da Ciência* (1905), Poincaré se dispõe a rebater dois tipos considerações e questionamentos tipicamente antirrealista. O primeiro está associado a uma suposta artificialidade da ciência teórica, isto é, se origina em indagações, em algum nível, céticas, sobre conteúdo cognitivo da ciência e sua capacidade de versar sobre o mundo natural dada suas características altamente abstratas e convencionais. Contra tais instintos nominalistas, Poincaré busca esclarecer o papel da geometria e das equações diferenciais na física matemática, bem como o das convenções na física. Este aspecto de seu pensamento – que o distancia do realismo estrutural contemporâneo – é conhecido como *convencionalismo* (BRADING; CRULL, 2017; PSILLOS, 2014).

O segundo é justamente uma versão do argumento da metaindução pessimista, como o próprio Poincaré expõe (1995 [1905], p. 168): “à primeira vista, parece-nos que as teorias só duram um dia, e que se acumulam ruínas sobre ruínas. Um dia nascem, no dia seguinte estão na moda, no outro dia se tornam clássicas, no terceiro dia são obsoletas e no quarto são esquecidas”. Entretanto, o autor chama a atenção ao fato de que “um olho experimentado” é capaz de enxergar nas teorias novas “vestígios” das teorias anteriores (ibid., p. 9). Estes vestígios são identificados como relações que tiveram seu conteúdo de verdade retido ao longo das mudanças científicas, como argumenta Poincaré ao jogar luz sobre as equações diferenciais obtidas pela teoria óptica de Fresnel e pela teoria de Maxwell, exemplo mobilizado também por Worrall:

As equações diferenciais continuam a ser verdadeiras. [...] E que não se diga que reduzimos, assim, as teorias físicas ao papel de receitas práticas. Essas equações exprimem relações, e, se as equações permanecem verdadeiras, é porque essas relações conservam sua realidade. Elas nos mostram, agora, como faziam antes, que há uma dada relação entre duas coisas; unicamente, o que chamávamos de movimento, hoje chamamos de corrente elétrica. Mas as denominações não passavam de imagens que substituíam os objetos reais que a natureza nos ocultará para todo o sempre. As verdadeiras relações entre esses objetos reais são a única realidade que podemos atingir, e a única condição para isso é que as relações entre objetos sejam as mesmas que existem entre as imagens que somos obrigados a pôr em seu lugar. Se conhecermos essas relações, pouco importa que julguemos ser

Notamos no discurso de Poincaré diversas ideias e valores apropriados de Worrall em seu realismo estrutural, como a retenção de relações objetivas que se mostram verdadeiras e, portanto, definitivamente adquiridas, e provisoriedade das referências dos termos teóricos e a interpretação de sua ontologia. Outro aspecto do pensamento de Poincaré, caro às posições realistas de maneira geral, é marcado pela crítica ao instrumentalismo. Seu ceticismo sobre a obtenção de conhecimento dos objetos como *coisa em si* e sobre sua correspondência com os termos teóricos não pode ser reduzido a posicionamentos antirrealistas, uma vez que o autor assume a existência de uma “harmonia universal” preexistente ao agente cognoscente que pode ser corretamente capturada por um adequado “sistema de relação”, as teorias científicas (POINCARÉ, 1995 [1905], p.167-8). O otimismo representacional diante da ciência e da postura realista (mesmo que favorecendo o domínio epistemológico em detrimento do domínio onto-semântico) não deixa dúvidas de sua distância às posturas instrumentalistas.

A retenção estrutural se mostra uma alternativa frutífera ao realismo científico abalado pela metaíndução pessimista; entretanto, merece ser alvo algumas ponderações e sofisticações. Considerando que Worrall e Poincaré buscam apoio no mesmo caso histórico (mudança Fresnel-Maxwell) no qual há retenção estrutural completa, é razoável questionar se não seria este um caso atípico na história da ciência (REDHEAD, 2001). Como acomodar o realismo estrutural em casos nos quais não há retenção de estruturas? E quando as estruturas não são retidas de maneira intacta? Uma vez que nem todas as estruturas estão associadas a versões predecessoras, a emergência de novas estruturas mina o realismo estrutural? Estas questões foram levantadas por Ioannis Votsis (2010) para tornar mais robusta a reivindicação da continuidade estrutural.

A falta de retenção de certas estruturas ao longo das mudanças científicas dificilmente inviabiliza o realismo estrutural, afinal de contas, não são de seu interesse todas as estruturas e relações tecidas em toda a história da ciência, apenas aquelas responsáveis pelo sucesso preditivo e explicativo de uma teoria (ibid.). Esta restrição está explícita no pensamento de Poincaré ao se referir às “relações verdadeiras”. Segundo Votsis, os elementos que se mostram falsos, ou que não desempenham nenhum papel no sucesso de uma teoria, devem ser considerados *inoperativos*, enquanto aqueles que foram retidos, como as equações de Fresnel, *operativos*.

Entretanto, casos como o da óptica clássica são relativamente raros, sendo mais comuns casos nos quais a estrutura de uma teoria predecessora pode ser derivada como casos limite da teoria sucessora. Este caso é chamado por Worrall (1989, p. 121) de “continuidade aproximada”, apropriando-se do Princípio Geral da Correspondência (POST, 1971, p. 228), segundo o qual “uma teoria L deve dar conta do sucesso de sua predecessora S, ‘degenerando-se’ nesta teoria sob aquelas condições nas quais S tem sido bem confirmada”. Redhead (2001, p. 85-8), ao reconhecer as dificuldades postas pela “continuidade aproximada”, apropria-se da intuição do Princípio Geral da Correspondência ao afirmar que é possível identificar

afinidades entre novas e antigas estruturas teóricas. O espaço-tempo galileano e a simultaneidade, por exemplo, são recuperados do espaço-tempo de Minkowski caso se ajuste o parâmetro $1/c$ (o inverso da velocidade da luz no vácuo) para zero. De forma semelhante, a comutatividade é recuperada da mecânica quântica caso a constante de Planck tenda a zero. Definindo logicamente esta transição entre estruturas via ajuste de parâmetros, Redhead afirma que “qualitativamente, novas estruturas emergem, mas em certo sentido estas novas estruturas crescem naturalmente, embora de maneira descontínua, das antigas estruturas” (ibid., p. 88). Worrall (ibid.) afirma que dificilmente a aproximação entre estruturas pode servir de evidência em favor do realismo científico tradicional, o que acontece de maneira mais natural caso aplicado o Princípio Geral da Correspondência.

O fato de que nem todas as estruturas estabelecidas pelas disciplinas científicas têm estruturas predecessoras parece tornar impossível invocar o Princípio em benefício do realismo estrutural. Contudo, como sinaliza Votsis (2010), a formulação do Princípio Geral da Correspondência não exige que todas as estruturas sejam correspondentes às estruturas bem-sucedidas do passado. O realismo estrutural é invocado para estabelecer os vestígios de teorias do passado em teorias sucessoras mais precisas e abrangentes. Por consequência, novas estruturas ou novas relações entre objetos não ameaçam esta forma de realismo. Na verdade, o estabelecimento de novas estruturas lança bases para uma formulação estruturalista (ou relacionista) do progresso e crescimento científico.

Seguindo o raciocínio de Poincaré, as retenções estruturais nos revelam que as teorias do passado contribuíram objetivamente para o crescimento e acúmulo de conhecimento (estrutural) da natureza. Segundo Poincaré, as retenções estruturais só são possíveis porque as relações encontradas entre objetos físicos são verdadeiras e, uma vez que as relações verdadeiras são descobertas, são permanentemente adquiridas pelo edifício de conhecimento que a ciência constrói. A mesma tarefa será empreendida pelas teorias sucessoras, dando continuidade ao crescimento do conhecimento por meio do mapeamento das estruturas e das relações que interligam os termos teóricos, organizando e relacionando fenômenos que anteriormente pareciam desconectados, ou prevendo fenômenos antes desconhecidos. Em suas palavras: “a todo instante se descobrem novas ligações entre objetos que pareciam fadados a manter separados para sempre; fatos dispersos deixam de serem estranhos uns aos outros e tendem a se ordenar numa síntese imponente” (POINCARÉ, 2008, p. 247). Uma vez que se reconhece o elo entre objetos antes não ligados estruturalmente, ocorre uma síntese e fenômenos que antes pareciam ter completa independência são abarcados de uma vez só por apenas uma teoria. Um dos casos mais exemplares é a síntese entre a eletricidade e o magnetismo, cujas relações foram desveladas ao longo do século XIX. Poincaré argumenta que o passo em direção à unidade é sempre um passo definitivo (ibid.). Um exemplo empregado pelo autor envolve a comparação do poder explicativo entre as teorias de Ptolomeu e Copérnico:

Consideremos o movimento diurno aparente às estrelas e movimento diurno dos outros corpos celestes e, por outro lado, o achatamento da Terra, a rotação do pêndulo de Foucault, a giração dos ciclones, os ventos alísios, e o que mais sei eu? Para adeptos de Ptolomeu, todos esses fenômenos não têm qualquer ligação entre si; para Copérnico, são engendrados pela mesma causa. Ao dizer que a Terra gira, afirmo que todos esses fenômenos têm uma relação íntima, e isso é verdadeiro, e isso permanece verdadeiro. [...] Isso quanto à rotação da Terra em torno de si mesma; o que dizer de sua revolução em torno do Sol? Aqui temos três fenômenos que, para o adepto de Ptolomeu, são absolutamente independentes e que, para Copérnico, são relacionados à mesma origem; são os deslocamentos aparente dos planetas na esfera celeste, a aberração das estrelas fixas, a paralaxe dessas mesmas estrelas. [...] Adotar o sistema de Copérnico [...] é afirmar que há uma ligação entre os três fenômenos, e isso também é verdadeiro (POINCARÉ, 1995 [1905], p. 171).

Seguindo este raciocínio, é inequívoco afirmar que a teoria eletrodinâmica de Maxwell, por exemplo, é mais verdadeira que as teorias elétricas e magnéticas que existiam antes do experimento de Oersted, o qual evidenciou uma relação entre estas duas classes de fenômenos. A teoria eletromagnética nos diz objetivamente como os campos elétricos e magnéticos (à época de Maxwell identificados, respectivamente, como tensões e movimentos de um meio elástico) se interligam, formando uma rede de relações entre os objetos da teoria, os relata: cargas, correntes e campos. Cada uma dessas entidades apenas ganha significado quando se relacionam umas com as outras, quando são identificadas como “nós em uma estrutura”, como Votsis (2004, p. 3) se refere aos objetos físicos em geral. Em suma, a teoria de Maxwell é mais verdadeira do que as teorias antecessoras, pois elas evidenciam maior número de relações verdadeiras. A síntese eletromagnética encontrou elos entre as estruturas das teorias elétricas e magnéticas (cujas relações verdadeiras foram retidas na nova teoria), fazendo com que estas duas redes, antes independentes, tocassem-se, ampliando seu escopo de aplicação e seu domínio de relevância. Semelhante expansão estrutural pode ser identificada no contexto da relatividade restrita que propôs uma relação inédita entre energia e massa de repouso, pela equação $E = m_0c^2$ (VOTSIS, 2010). As novas relações entre tempo e espaço, representadas pelas transformações de Lorentz, podem ser entendidas também como relações estruturais desconhecidas no quadro teórico da mecânica clássica.

Alinhando-nos a Poincaré, pensamos ser possível falar sobre o progresso da ciência como uma espécie de expansão estrutural do mapa conceitual das ciências. O estabelecimento de novas relações entre entidades teóricas resulta em conhecimento mais profundo sobre o domínio inobservável. É possível pontuar como esta noção é diferente da noção de progresso no realismo convergente, segundo o qual a ciência é capaz de pintar retratos cada vez mais fiéis do mundo inobservável. O progresso científico, sob uma visão estruturalista, não seria acusado por representações cada vez mais precisas dos objetos inobserváveis, mas sim pelo acúmulo de relações estruturais entre estes objetos.

O realismo estrutural se apresenta como uma frutífera alternativa de resistência ao argumento da metaindução pessimista sugerindo importantes aspectos de continuidade no escopo teórico das ciências altamente formais e matematizadas, um problema persistente na disciplina da filosofia das ciências desde pelo menos a publicação da obra *A Estrutura das Revoluções Científicas*, por Thomas Kuhn. Contudo, é relevante lembrar que não é a única saída formulada por filósofos realistas a este problema. Teorias realistas das referências dos termos teóricos ganharam novos contornos e foram sofisticados. Tal movimento foi imposto pela necessidade de responder à indução pessimista. A título de citação, é relevante fazer menção a teoria do descritivismo causal dos termos teóricos, desenvolvido por Psillos (1999). É importante apontar também que o realismo estrutural não é uma posição filosófica única, mas uma diversa classe de concepções epistemológicas e metafísicas em desenvolvimento e com diferentes abordagens, como nos alerta Votsis (ibid.) ao salientar que a própria definição de *estrutura* é um tópico de disputa entre várias formas de estruturalismo na ciência. De qualquer forma, buscamos mostrar como as concepções de retenção estrutural advogadas por Worrall e Poincaré podem enriquecer o debate sobre a mudança científica, o estatuto cognitivo da ciência e o crescimento do conhecimento científico, assuntos de perene interesse das disciplinas metacientíficas e também intimamente ligadas aos aspectos mais consensuais da Natureza da Ciência.

V. Considerações finais

A história, a filosofia e a sociologia das ciências se estabeleceram como importantes abordagens à necessária reforma do ensino de ciências, há tempos em crise. Os esforços em construir um discurso metacientífico mínimo que desse suporte a novas visões sobre as disciplinas científicas e seu ensino fizeram emergir as Visões Consensuais de Natureza da Ciência, que foram importantes para o desenvolvimento da área de pesquisa e para a orientação curricular. Porém, tanto a natureza estanque e declarativa das listas de Visões Consensuais quanto os novos contornos políticos e sociais da atualidade exigem maiores esclarecimentos e debates sobre tópicos relevantes de Natureza da Ciência. Buscamos argumentar que tais aprofundamentos sobre a Natureza da Ciência devam ser ponderados pelos riscos de flerte com visões exageradamente relativistas, mas que ainda se preocupem em superar as visões positivistas ingênuas que persistem entre professores e alunos. Assim, consideramos que visões realistas e objetivistas críticas podem desempenhar importantes papéis no desenho de discursos metacientíficos desejáveis ao ensino.

Julgamos que aspectos de Natureza da Ciência associados às mudanças e às revoluções científicas são temas tão complexos quanto sujeitos a interpretações inadequadas, no sentido de potencializar visões de descrença diante da ciência, seu crescimento cognitivo e sua capacidade explicativa e representacional do mundo natural. Com o intuito de complexificar o importante *tenet* proposto por McComas sobre os aspectos contínuos e descontínuos de desenvolvimento científico, mobilizamos conceitos e debates filosóficos

concernentes às relações entre teoria e realidade.

As mudanças radicais pelas quais as ciências estão sujeitas impõe reflexões sobre o realismo científico e continuidade dos esquemas teóricos que os cientistas dispõem para versar sobre a ordem natural: em que sentido as representações teóricas são bem-sucedidas em capturar a realidade externa do mundo?; se é possível falar em progresso científico, como entendê-lo tendo em vista a provisoriedade dos mais fundamentais conhecimentos científicos? Tais questionamentos se agravam ao constatarmos o impacto que o argumento da metaindução pessimista representou as tradicionais visões realistas que se apoiavam na continuidade referencial sugerida pelo incrível sucesso das teorias científicas maduras.

Objetivando uma grande síntese entre os argumentos a favor e contra o realismo, Worrall propõe que o realismo estrutural – que remonta às ideias do matemático, físico e filósofo Henry Poincaré – seria “o melhor de ambos os mundos” (WORRALL, 1989). Este posicionamento metacientífico busca preservar, tanto quanto possível, o realismo científico mesmo admitindo a existência das revoluções científicas (PSILLOS, 1995). Segundo Poincaré, (1995 [1905]), as posições antirrealistas – ou nominalistas – parecem sugerir que as teorias superadas são completamente suplantadas por novas teorias, “ruínas sobre ruínas”, e que através das mudanças teóricas nada é preservado. Entretanto, o filósofo aponta que, apesar dessas mudanças, as relações lógico-matemáticas são preservadas. Uma vez que uma teoria produz relações verdadeiras entre diferentes objetos, tais relações são “definitivamente adquiridas” e incorporadas às teorias subsequentes. O peso realista das ideias de Poincaré e Worrall reside não nos objetos em si, mas nas relações que a linguagem matemática tece entre os objetos e no caráter cumulativo e progressivo das mesmas. A identificação de estruturas formais que relacionam diferentes termos teóricos e que persistem ao longo de mudanças conceituais sugerem que existem importantes elementos de continuidade na ciência, e que a descoberta/criação de novas relações nas redes teóricas apontam para o crescimento e acúmulo do conhecimento sobre o mundo natural, diluindo o problema da descontinuidade e sendo coerente com visões críticas, porém otimistas frente ao empreendimento científico.

De nenhuma maneira pensamos que o realismo estrutural deva se tornar um consenso dentro dos debates sobre Natureza da Ciência. Isso ocorre, primeiramente, por ele ser um tema não-consensual na filosofia, conforme detalhado anteriormente. Em segundo lugar, é importante destacar que a pertinência de o tratar em salas de aula de diferentes níveis de ensino depende muito dos objetivos educacionais pretendidos. Diversos assuntos relativos à Natureza da Ciência podem ser muito mais bem tratados com outras abordagens filosóficas ou por meio de episódios históricos. Estes últimos, em especial, ajudam a tornar a discussão muito menos abstratas aos estudantes.

O realismo estrutural cumpre uma função diferenciada quando professores e professoras se veem no papel de discutir por que, apesar de muitas de suas ideias serem abandonadas com o tempo, a ciência pode ser considerada como um projeto epistemológico comprometido com a verdade. Esta é uma questão que, embora muito específica na filosofia,

dialoga com preocupações sociais que se tornaram amplamente reconhecidas devidos aos diferentes movimentos anticiência. Em síntese, nossa defesa consiste em mostrar que o realismo estrutural é uma das principais correntes do realismo científico no que tange o problema da mudança científica, sendo, assim, referencial essencial para quando o mesmo está em debate.

Agradecimento

Esta pesquisa refere-se ao processo nº 2018/04779-6, da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), a qual agradecemos o financiamento.

Referências bibliográficas

ALLCHIN, D. Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. **Science Education**, v. 95, n. 3, p. 518-542, mar. 2011.

ALTERS, B. J. Nature of science: a diversity or uniformity of ideas? **Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching**, v. 34, n. 10, p. 1105-1108, ago. 1997.

ANDRADE, R. O. Crise de desconfiança suscita debate mundial sobre como enfrentar ataques ao conhecimento científico. **Pesquisa FAPESP**, ano 20, n. 284, p. 16-21, out. 2019.

BACHELARD, G. **A formação do espírito científico**. Tradução: Estela dos Santos Abreu. 1. ed. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996. 316 p.

BAGDONAS, A; ZANETIC, J; GURGEL, I. Controvérsias sobre a natureza da ciência como enfoque curricular para o ensino de física: o ensino de história da cosmologia por meio de um jogo didático. **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 7, n. 2, p. 242-260, dez. 2014.

BOYD, R. Scientific realism and naturalistic epistemology. **PSA: Proceedings of the biennial meeting of the Philosophy of Science Association**. Philosophy of Science Association, v. 2, n. 2, p. 613-662, 1980.

BRADING, K.; CRULL, E. Epistemic structural realism and Poincaré's philosophy of science. **HOPOS: The Journal of the International Society for the History of Philosophy of Science**, v. 7, n. 1, p. 108-129, 2017.

BUNGE, M. **Caçando a Realidade: a luta pelo realismo**. Tradução: Gita K. Guinsburg. 1. ed. São Paulo: Editora Perspectiva, 2010, 464 p.

CHAKRAVARTTY, A. The structuralist conception of objects. **Philosophy of Science**, v. 70, n. 5, p. 867-878, dez. 2003.

CHAKRAVARTTY, A. Structuralism as a form of scientific realism. **International Studies in the Philosophy of Science**, v. 18, n. 2-3, p. 151-171, jul. 2004.

COBERN, W. W.; LOVING, C. C. An essay for educators: Epistemological realism really is common sense. **Science & Education**, v. 17, n. 4, p. 425-447, abr. 2008.

CLOUGH, M. P. Teaching the nature of science to secondary and post-secondary students: Questions rather than tenets. **The pantaneto forum**, v. 25, p. 31-40, jul. 2007.

EFLIN, J. T.; GLENNAN, S.; REISCH, G. The nature of science: A perspective from the philosophy of science. **Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching**, v. 36, n. 1, p. 107-116, jan. 1999.

FORATO, T. C.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R. A. Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 1, p. 27-59, abr. 2011.

FRENCH, S.; LADYMAN, J. Remodelling structural realism: Quantum physics and the metaphysics of structure. **Synthese**, v. 136, n. 1, p. 31-56, jul. 2003.

GAVROGLU, K. **O passado das ciências como história**. Porto: Porto Editora, 2007. 301 p.

GILBERT, J. K. *et al.* Science and education: Notions of reality, theory and model. In: GILBERT, J. K.; BOULTER, C. J. (Ed.) **Developing models in science education**. Springer, Dordrecht, 2000. p. 19-40.

HACKING, I. **Representar e intervir**: tópicos introdutórios de filosofia da ciência natural. Tradução: Pedro Rocha de Oliveira. 1. ed. Rio de Janeiro: edUERJ, 2012, 400 p.

HESSE, M. Truth and the growth of scientific knowledge. **PSA: proceedings of the Biennial meeting of the philosophy of science association**. Philosophy of Science Association, v. 2, p. 261-280, jul. 1976.

IRZIK, G.; NOLA, R. A family resemblance approach to the nature of science for science education. **Science & Education**, v. 20, n. 7-8, p. 591-607, ago. 2011.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. Tradução: Beatriz Vianna Boeira; Nelson Boeira. 12. ed. São Paulo: Editora Perspectiva, 2013. 324 p.

LABURÚ, C. E.; SILVA, M. R. Do Relativismo no Ensino de Física ao Objetivismo na Física. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 5, n. 2, ago. 2000.

LADYMAN, J. What is Structural Realism? **Stanford Encyclopedia of Philosophy Archive**, jan. 2014. Disponível em: <<https://stanford.library.sydney.edu.au/archives/win2018/entries/structural-realism/>>. Acesso em: 18 jun. 2020.

LATOUR, B.; WOOLGAR S. The Social Construction of Scientific Facts. In: SCHICK, T. (Ed) **Readings in the Philosophy of Science**. Mountain View: Mayfield Publishing Company, 2000. p. 201-207.

LAUDAN, L. A confutation of convergent realism. **Philosophy of science**, v. 48, n. 1, p. 19-49, mar. 1981.

LAUDAN, L. **Beyond positivism and relativism: Theory, method, and evidence**. 1. ed. Colorado: Westview Press. 1996. 277 p.

LEDERMAN, N. G. Students' and teachers' conceptions of the nature of science: A review of the research. **Journal of research in science teaching**, v. 29, n. 4, p. 331-359, abr. 1992.

LEDERMAN, N. G. *et al.* Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. **Journal of research in science teaching**, v. 39, n. 6, p. 497-521, jul. 2002.

LEDERMAN, N. G. *et al.* Nature of science: Past, present, and future. In: ABELL, S. K.; LEDERMAN, N. G. (Org.) **Handbook of research on science education**. Londres: Routledge, 2007, v. 2, cap. 28, p. 831-879.

MARINELI, F. **A realidade das entidades científicas e a formação de professores de física: uma análise sociocultural**. 2016. 329f. Tese (Doutorado em Educação) - Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo.

MARTINS, A. F. P. Natureza da Ciência no ensino de ciências: uma proposta baseada em “temas” e “questões”. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 32, n. 3, p. 703-737, dez. 2015.

MATTHEWS, M. R. Changing the focus: From nature of science (NOS) to features of science (FOS). In: KHINE, M (Ed.) **Advances in nature of science research**. Dordrecht: Springer, 2012. cap 1, p. 3-26.

MATTHEWS, M. R. **Science teaching: The contribution of history and philosophy of science**, 20th Anniversary Revised and Expanded Edition. Londres: Routledge, ed. 2, 2014. 454 p.

MAXWELL, G. The Ontological Status of Theoretical Entities, In: Herbert Feigl and Grover Maxwell (Ed.) **Scientific explanation, space, and time: Minnesota Studies in the Philosophy of Science**. Minnesota: University of Minnesota Press, 1962. v. 3, p. 1-27.

MAXWELL, G. Structural realism and the meaning of theoretical terms. **Minnesota Studies in the Philosophy of Science**, v. 4, p. 181-192, 1970.

MCCOMAS, W. F. Ten myths of science: Reexamining what we think we know about the nature of science. **School Science and Mathematics**, v. 96, n. 1, p. 10-16, jan. 1996.

MCCOMAS, W. F. Seeking historical examples to illustrate key aspects of the nature of science. **Science & Education**, v. 17, n. 2-3, p. 249-263, fev. 2008.

MCCOMAS, W. F.; ALMAZROA, H.; CLOUGH, M. P. The nature of science in science education: An introduction. **Science & Education**, v. 7, n. 6, p. 511-532, nov.1998.

MOREIRA, A. B. N. **Dois argumentos pelo conhecimento sobre a ciência no ensino de ciências: por uma contraideologia do conflito e um metacohecimento poderoso**. 2018. 220f. Tese (Doutorado em Ensino de Física) - Ensino de Ciências (Física, Química e Biologia), Universidade de São Paulo, São Paulo.

MOULINES, C. U. **O desenvolvimento moderno da filosofia da ciência (1890-2000)**, Tradução: Cláudio Abreu. 1. ed. São Paulo: Associação Filosófica Scientiae Studia, 2020. 272 p.

MUSGRAVE, A. The ultimate argument for scientific realism. In: NOLA, R. (Ed.) **Relativism and realism in science**. Dordrecht: Springer, 1988. cap 10, p. 229-252.

NIINILUOTO, I. **Critical Scientific Realism**. 1. ed. Oxford: Oxford University Press, 1999. 340 p.

OGBORN, J. Constructivist metaphors of learning science. **Science & Education**, v. 6, n. 1-2, p. 121-133, jan. 1997.

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

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.

POINCARÉ, H. **A ciência e a hipótese**. 1. ed. Tradução: Maria Auxiliadora Kneipp. Brasília: Ed. Universidade de Brasília, 1984. 180 p.

POINCARÉ, H. **O Valor da Ciência**. Tradução: Maria Helena Franco Martins. 1. ed. Rio de Janeiro: Contraponto, 2005. 173 p.

POINCARÉ, H. Sobre a dinâmica dos elétrons. Tradução: Vera Ribeiro. In: (Ed.) VIDEIRA, A. P.; MOREIRA, I. C. **Ensaio Fundamentais**. Rio de Janeiro: Editora Contraponto: PUC, Rio, 2008. 270 p.

PUTNAM, H. Craig's theorem. **The Journal of Philosophy**, v. 62, n. 10, p. 251-260, mai. 1965.

PUTNAM, H. What Is "Realism"? **Proceedings of the Aristotelian Society**, v. 76, new series, 1975a. p. 177-194.

PUTNAM, H. The meaning of 'meaning'. **Mind, Language and Reality, Philosophical papers**. Cambridge: Cambridge University Press, 1975b. v. 2.

POST, H. R. Correspondence, invariance and heuristics: In praise of conservative induction. **Studies in History and Philosophy of Science Part A**, v. 2, n. 3, p. 213-255, nov. 1971.

PSILLOS, S. Is structural realism the best of both worlds? **Dialectica**, v. 49, n. 1, p. 15-46, mar. 1995.

PSILLOS, S. The Structure, the Whole Structure, and Nothing but the Structure? In: PSILLOS, S. **Knowing the structure of nature: Essays on realism and explanation**. 1. ed. Londres: Palgrave Macmillan, 2009. 230 p.

PSILLOS, S. The realist turn in the philosophy of science In: SAATSI, J. (Ed.). **The Routledge handbook of scientific realism**. Londres: Routledge, 2017. cap. 2, p. 20-34, 456p.

PSILLOS, S. Conventions and relations in Poincare's philosophy of Science. **Method-Analytic Perspectives**, v. 3, n. 4, p. 98-140, 2014.

REDHEAD, M. The intelligibility of the universe. **Royal Institute of Philosophy Supplements**, v. 48, p. 73-90, set. 2001.

ROMERO-MALTRANA, D. *et al.* The 'nature of science' and the perils of epistemic relativism. **Research in Science Education**, v. 49, n. 6, p. 1735-1757, dez. 2019.

SAATSI, J. Introduction: Scientific realism in 21st century In: SAATSI, J. (Ed.). **The Routledge handbook of scientific realism**. Londres: Routledge, 2017. p. 1-4.

SILVA, M. R. Realismo e anti-realismo na ciência: aspectos introdutórios de uma discussão sobre a natureza das teorias. **Ciência & Educação**, v. 5, n. 1, p. 7-13, 1998.

SILVA, M. R. Ensino de ciências: realismo, antirrealismo e a construção do conceito de oxigênio. **História, Ciências, Saúde-Manguinhos**, v. 20, n. 2, p. 481-498, jun. 2013.

SMART, J. J. C. Difficulties for Realism in the Philosophy of Science. In: **Studies in Logic and the Foundations of Mathematics**. Amsterdã: Elsevier, 1982. p. 363-375.

SOUZA, E. A. **Um estudo do argumento do milagre na defesa do realismo científico**. 2015. 217f. Tese (Doutorado em Filosofia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

WITTGENSTEIN, L. **Investigações filosóficas**. Tradução: José Carlos Bruni. São Paulo: Abril Cultural, 1975. 226 p. v. 46.

WORRALL, J. Structural realism: The best of both worlds? **Dialectica**, v. 43, n. 1-2, p. 99-124, jun. 1989.

VAN FRAASSEN, B. C. **A imagem científica**. Tradução: Luiz Henrique de Araújo Dutra. São Paulo: Editora UNESP, 2006. 374 p.

VOTSIS, I. **The epistemological status of scientific theories: An investigation of the structural realist account.** 238f. 2004. Tese (Doutorado) - London School of Economics and Political Science, United Kingdom.

VOTSIS, I. Structural realism: Continuity and its limits. In: **Scientific structuralism.** Dordrecht: Springer, 2010. cap. 6, p. 105-117.



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