



Vínculos Epistemológicos Entre Saberes da NdC e o Contexto Investigativo da Tradição de Pesquisa Grega Antiga sob a Lente da Solução de Problemas de Larry Laudan

Carlos Alexandre dos Santos Batista  • Luiz O. Q. Peduzzi 

Resumo

Frente à problemática sobre a visão consensual de aspectos, características e princípios que devem informar a educação científica, este artigo apresenta uma nova perspectiva denominada vínculos epistemológicos entre saberes da NdC e o conteúdo da história conceitual da ciência, mediados pela contextualização histórico-filosófica de perguntas da ciência responsáveis pelo seu desenvolvimento cognitivo. Este trabalho está fundamentado na epistemologia da solução de problemas de Laudan e em uma extensa investigação acadêmico-científica. Metodologicamente, essa perspectiva é forjada por uma ampla contextualização de perguntas da ciência que fomentaram o progresso da astronomia, cosmologia e física, da Grécia antiga ao nascimento da ciência moderna nos séculos XVI e XVII. Por essa razão, são apresentados apenas oito de vinte e um saberes da NdC, ficando os demais para mais dois trabalhos complementares. Somando-se às diferentes propostas existentes, a ideia de vínculos epistemológicos pode contribuir para: (i) superar o ensino de simples afirmações declarativas de saberes da NdC em sala de aula; (ii) proporcionar uma substantiva validade epistemológica aos saberes da NdC, mediante contextualização histórico-filosófica de perguntas da ciência; (iii) evitar as distorções desses saberes, por evidenciar sua natureza contextual; e (iv) demonstrar potenciais que a visão de ciência de Laudan tem fornecido para enfrentar problemáticas inerentes ao ensino de e sobre as ciências.

Palavras-chave NATUREZA DA CIÊNCIA • SOLUÇÃO DE PROBLEMAS • SABERES DA NDC • VÍNCULOS EPISTEMOLÓGICOS • HISTÓRIA CONCEITUAL DA CIÊNCIA

Epistemological Links Between NDC Knowledge and the Investigative Context of the Ancient Greek Research Tradition Using Larry Laudan's Problem Solving Approach

Abstract

Faced with the issue of a shared understanding of the aspects, characteristics, and principles that should guide science education, this article offers a novel viewpoint called epistemological links between NdC knowledge and the content of the conceptual history of science, through the historical-philosophical contextualization of science questions responsible for its cognitive development. This study is based on Laudan's problem-solving epistemology as well as considerable academic-scientific research. This approach is formed methodologically by a comprehensive contextualization of science questions that spurred the progress of astronomy, cosmology, and physics from ancient Greece to the emergence of modern science in the 16th and 17th centuries. For this reason, only eight of twenty-one bits of information from NdC are provided, with the remainder reserved for two more supplemental works. Adding to the various existing proposals, the concept of epistemological links can help: (i) overcome the teaching of simple declarative statements of NdC knowledge in the classroom; (ii) provide substantive epistemological validity to NdC knowledge through the historical-philosophical contextualization of science questions; (iii) avoid distortions of this knowledge, by highlighting its contextual nature; and (iv) demonstrate potentials that Laudan's view of science has provided to face problems inherent in the teaching of and about science.

Keywords NATURE OF SCIENCE • PROBLEM SOLVING • NDC KNOWLEDGE • EPISTEMOLOGICAL LINKS • CONCEPTUAL HISTORY OF SCIENCE

Introdução

Este trabalho é fruto de uma investigação acadêmico-científica que procurou responder, no âmbito de uma tese de doutorado, um problema de pesquisa, cuja forma e suposição permitiram explorar a história conceitual da astronomia, da cosmologia e da física, em função de possíveis contribuições da epistemologia da solução de problemas de Larry Laudan para o ensino de ciências/física e o pensamento crítico sobre a natureza da ciência.

Nessa perspectiva, a natureza da ciência (NdC), aqui, é compreendida como *um conjunto de saberes metacientíficos*. Tais saberes são originados por diferentes questionamentos educacionais, didático-pedagógicos, epistemológicos, filosóficos, históricos, psicológicos, sociológicos acerca da ciência como construção humana. Isto é, seu funcionamento interno e externo, *modus operandi* de produção de conhecimentos científicos, suas relações e implicações com o meio ambiente, a tecnologia e a sociedade (Bachelard, 1996; Bunge, 1980; Kimball, 1967; Kuhn, 2011; Lacey, 1998; Latour, 2000; 2020; Laudan, 2011; Martins, 2015; Moura, 2014; Vázquez-Alonso et al., 2008).

Adjacente a isso, entende-se o pensamento crítico a partir do significado de uma aprendizagem significativa crítica, *em e sobre a ciência*, instrumentalizadora. Uma aprendizagem para a vida e o exercício pleno da cidadania, resultante de uma consistente alfabetização científica e tecnológica — ACT (Cachapuz et al., 2005; Sasseron & Carvalho, 2011; Delizoicov et al., 2002; Moreira, 2011; Pietrocola, 2006; Santos & Auler, 2011).

Em outras palavras, uma ACT pautada na operacionalização racional, prática e reflexiva, de competências e habilidades científicas que fundamentam a tomada de decisões individuais e coletivas diante de situações-problemas da vida cotidiana. Como também, frente às situações-problemas complexas inerentes às relações ciência, tecnologia, sociedade e ambiente, tais como, crise energética, poluição ambiental, mudanças climáticas, aquecimento global, movimentos negacionistas (anticiência e antivacina) no contexto atual das crises sanitárias globais, dentre outras. Mas, que, acima de tudo, esta ACT também seja portadora de valores afetivos, éticos, morais, sociais, dentre outros, estando sempre a serviço do bem comum, espelhado no saber ser, saber fazer e saber conviver, no apreço à tolerância, solidariedade e justiça social (Bordoni et al., 2017; Costa et al., 2021; Güllich & Vieira, 2019; Gurgel, 2020; Moura, 2019; Tenreiro-Vieira & Vieira, 2013; Watanabe, 2022).

Nessa direção, as justificativas que amparam este trabalho encontram-se nos benefícios que a história e a filosofia da ciência, sem excluir as demais perspectivas, têm proporcionado para a educação científica, em todos os níveis de ensino. Em conjunto, essas duas áreas têm fundamentado investigações acadêmico-científicas, especialmente, na ressignificação de conteúdos científicos via contextualização histórico-filosófica; no desenvolvimento, implementação e avaliação de estratégias didático-pedagógicas; na proposição de objetivos educacionais atentos aos desafios da educação, neste século XXI; e na promoção do pensamento crítico *em e sobre as ciências* (Batista & Peduzzi, 2021; Peduzzi & Raicik, 2020; Raicik & Angotti, 2019; Raicik, 2020; Santos & Infante-Malachias, 2008; Silva, 2006).

Em termos do pensamento crítico, *em e sobre as ciências*, pode-se afirmar que “o objetivo de uma educação progressista, que inclui a compreensão da natureza da ciência, não é a de doutrinar a classe estudantil. Mas, antes de tudo, educá-la sobre questões relevantes, sua natureza contextual e as razões para diferentes perspectivas” (Matthews, 1997, p. 325). Não obstante, nas últimas décadas, uma complexa discussão sobre a razão de existir da temática NdC, no currículo escolar e na sala de aula de ciências, tem configurado uma substantiva problemática acerca da ideia de *visão consensual* sobre alguns aspectos, características e/ou princípios da NdC que devem informar a educação científica e tecnológica. Contudo, independentes disso, esses aspectos são considerados, aqui, como importantes *saberes metacientíficos* (Allchin, 2017; Clough, 2008; Garcia & Camillo, 2021; Hodson & Wong, 2017; Irzik & Nola, 2011; Martins, 2015; Matthews, 2012; Mendonça, 2020; Moura, 2014; Peduzzi & Raicik, 2020).

Nesse sentido, tais saberes metacientíficos — apresentados na próxima seção — vinculados à ideia de visão consensual, foram originados de diferentes fontes. Por exemplo, de análises de documentos oficiais e propostas curriculares de diferentes países, Estados Unidos (quatro documentos), Canadá (um documento), Austrália (um documento), Nova Zelândia (um documento) e Inglaterra/ País de Gales (um documento); cujo foco principal encontra-se nas ideias sobre a NdC transmitidas pelas concepções epistemológicas contemporâneas filosóficas, históricas, psicológicas e sociológicas da ciência, no contexto ocidental (Martins, 2015; McComas & Olson, 1998; McComas et al., 1998). Bem como, de entrevistas sistemáticas com cientistas, estudantes, professoras/es, profissionais de diferentes áreas do conhecimento e o público leigo em geral (Driver et al., 1996; Gil Pérez et al., 2001; Lederman et al., 2002).

Por sua vez, enquanto essas análises produziram um conjunto de saberes da NdC considerados “consensuais”, para informar a educação científica (McComas & Olson, 1998; Marín et al., 2013); as entrevistas revelam um conjunto de concepções de senso comum — vinculadas à corrente positivista lógica da ciência — que precisam ser urgentemente superadas pelo processo de ensino-aprendizagem *em e sobre a ciência* — essas concepções também serão apresentadas mais à frente (Gil Pérez et al., 2001; Moura, 2014).

Adiantando o cerne dessa problemática — aprofundada na próxima seção — Martins (2015) afirma que muitas questões sobre a temática NdC ainda estão em aberto, por exemplo: *Por que é relevante ensinar sobre a natureza da ciência? O que ensinar? Como ensinar?* Em conformidade, o título do trabalho de Mendonça (2020), sugestivamente assinala para o seguinte questionamento: “De que Conhecimento sobre a Natureza da Ciência Estamos Falando?”

Fazendo frente a este contexto problemático, este artigo apresenta uma nova perspectiva denominada *vínculos epistemológicos entre saberes da NdC e o conteúdo¹ da história conceitual da ciência*, mediados pela contextualização histórico-filosófica de

1 Esse conteúdo, de modo específico, é entendido, aqui, como um conjunto de conhecimentos implicados pelo desenvolvimento da astronomia, da cosmologia e da física, ao longo da atividade histórico-cultural humana. Especialmente, os conceitos, as leis físicas, os modelos científicos, os princípios físicos da natureza e as teorias científicas que estruturam a linguagem desses campos de conhecimento.

perguntas da ciência responsável pelo seu desenvolvimento cognitivo². Especialmente, no âmbito da astronomia, da cosmologia e da física, desde o contexto investigativo da tradição de pesquisa grega antiga, ao nascimento da tradição de pesquisa da ciência moderna, nos séculos XVI e XVII (Batista, 2020).

Dividido em três partes complementares, este primeiro artigo tem como foco oito de vinte e um saberes da NdC (Batista & Peduzzi, 2021) encontrados na literatura (Abd-El-Khalick, 2012; Abd-El-Khalick et al., 1998; Driver et al., 1996; Kimball, 1967; Lederman et al., 2002; Marín et al., 2013; Martins, 2015; Matthews, 2012; McComas et al., 1998; McComas & Olson, 1998; Moura, 2014; Peduzzi & Raicik, 2020) e amplamente contextualizados por (Batista, 2020). Os oito saberes da NdC são apresentados na seção relativa aos aspectos metodológicos da construção dos vínculos epistemológicos.

Sobre os vinte e um saberes da NdC, é importante destacar que eles constituem uma sistematização de um conjunto de aspectos, características e/ou princípios sobre a NdC, apresentados na próxima seção, que estão no foco dos debates entre adeptos e críticos da denominada “visão consensual”. Por sua vez, essa sistematização ocorreu no âmbito de uma investigação mais ampla, onde parte do foco de pesquisa concentrou-se em observar a pertinência e a consistência epistemológica de tais saberes da NdC, através de suas implicações no conteúdo da história conceitual da astronomia, da cosmologia e da física (Batista, 2020; Batista & Peduzzi, 2021). Na medida em que a investigação foi se desenvolvendo, essa observação foi se mostrando profícua, justamente, pela possibilidade de construir e apresentar a proposta de vínculos epistemológicos neste e nos próximos dois trabalhos. Vale pontuar que esses destaques serão aprofundados na seção de aspectos metodológicos.

Nesse sentido, é importante destacar a *visão epistemológica de ciência como uma atividade de solução de problemas* — apresentada na segunda seção —, observando que as contribuições de Larry Laudan para o ensino de ciências/física têm servido significativamente para: explorar questões associadas às concepções epistemológicas estudantis (Guridi et al., 2006); aprofundar o tema mudança conceitual mediante produção de analogias e metáforas (Villani et al., 1997); aperfeiçoar modelos de aprendizagem conceitual fundamentados nas epistemologias de Kuhn, Bachelard e Toulmin (Mortimer, 1996; Villani, 1992); construir modelo curricular como guia de prática docente, em nível superior (Ovando & Cudmani, 2004); investigar episódio histórico da ciência moderna, evidenciando a racionalidade e objetividade da ciência (Cordeiro & Peduzzi, 2016).

Por fim, em termos estruturais, este artigo encontra-se organizado da seguinte maneira: na primeira seção, são abordados os principais fatores da problemática em torno da razão de existir da temática NdC no currículo escolar e na sala de aula de ciências; na segunda, apresentam-se os principais pressupostos histórico-filosóficos e conceitos da visão de ciência de Laudan (2011); na terceira, destacam-se os aspectos

2 Em uma perspectiva epistemológica psicológica da ciência, laudiana, como um empreendimento humano coletivo, o desenvolvimento cognitivo é entendido como um crescimento ou evolução conceitual do pensamento científico. Especialmente alcançado pela atividade intelectual de solução de problemas.

metodológicos relativos à construção dos vínculos epistemológicos, os oito saberes da NdC, em questão, e as perguntas da ciência que proporcionam a contextualização histórico-filosófica do conteúdo conceitual da astronomia, da cosmologia e da física, no contexto investigativo da tradição de pesquisa grega antiga; na quarta, faz-se uma síntese de uma narrativa historiográfica mais ampla e; na quinta seção, são discutidas algumas considerações parciais em torno do objetivo deste trabalho, procurando dialogar com a literatura, frente à problemática apresentada, e apontar a continuidade do mesmo para os dois próximos contextos, a saber: início da era comum e o advento da astronomia copernicana; e o contexto da tradição de pesquisa da ciência moderna, nos séculos XVI e XVII; nos quais os demais (treze) saberes da NdC são devidamente articulados.

Aspectos principais da problemática envolvendo a temática NdC no currículo escolar e na sala de aula de ciência

Embora a longevidade histórica do objetivo explícito de auxiliar a classe estudantil na construção de saberes da NdC remonte à virada do século XIX para o XX, em pleno século XXI, a literatura aponta que o mesmo ainda não foi efetivamente alcançado (Bejarano et al., 2019; Clough, 2008; Garcia & Camillo, 2021; Hodson & Wong, 2017; Lederman et al., 2002; Matthews, 2012; Mendonça, 2020; Peduzzi & Raicik, 2020). Em face disso, nas últimas décadas, uma complexa discussão sobre a razão de existir da temática NdC, no currículo escolar e na sala de aula de ciências, tem sido fomentada por muitos trabalhos acadêmico-científicos (Alchin, 2011, 2017; Clough, 2008; Garcia & Camillo, 2021; Irzik & Nola, 2011; Marín et al., 2013; Martins, 2015; Matthews, 2012, 2018; Mendonça, 2020; Moura, 2014).

Por exemplo, Clough (2008, p. 31) assinala que “todos os educadores de ciências, interessados na natureza da ciência e sua relevância para a educação científica, reconhecem que questões relativas à natureza da ciência não estão resolvidas”. Situando algumas dessas questões, Martins (2015) elenca as três perguntas, em aberto, já sinalizadas na introdução, que dimensionam a complexidade desta problemática, a saber: Por que é relevante ensinar sobre a natureza da ciência? O que ensinar? Como ensinar? — Em seguida, esse autor afirma que, em matéria de conteúdo, a pergunta — O que ensinar? — é a que mais divide a opinião das pesquisas realizadas por críticos e adeptos da denominada “visão consensual” sobre a NdC.

O termo visão consensual é compreendido “como um produto de uma espécie de ‘sabedoria partilhada’ sobre a temática natureza da ciência” (Martins, 2015, p. 707). Ele envolve uma “lista de princípios” considerados “claros e objetivos do que está envolvido na construção do conhecimento científico” (Moura, 2014, p. 33). Estabelece um arcabouço de aspectos, de caráter geral, em que se presume haver amplo consenso do que se espera fazer parte do currículo escolar de ciências (Marín et al., 2013). Tenta apreender um consenso pragmático sobre determinados aspectos válidos, para ensinar a inserção da temática NdC nas escolas (Martins, 2015). E reconhece a necessidade de uma transposição didática sem distorções agudas de dessincretização, despersonalização

e descontextualização do saber sábio — neste caso, os saberes metacientíficos da NdC produzidos pela comunidade da educação em ciências — na sua chegada à sala de aula como saber a ensinar, isto é, aspectos, características e/ou princípios da NdC (Chevallard, 1991).

Não obstante, Martins (2015, p. 707) aponta a “existência de diversos caminhos/rotas para se construir um entendimento em relação à pergunta: O que ensinar?” Existindo, na mesma proporção, divergências em relação a “diferentes terminologias, pontos de partidas e conclusões” (Martins, 2015, p. 707). Especialmente, devido à diversidade de orientações educacionais e/ou didático-pedagógicas, epistemológicas, filosóficas, históricas, psicológicas, sociológicas, que indagam sobre a natureza da ciência e do conhecimento científico. No contexto da noosfera, isto é, o lugar de disputa pela construção do currículo escolar e do estabelecimento dos saberes a ensinar em sala de aula (Chevallard, 1991), essa diversidade demonstra a complexidade intrínseca das relações humanas, para a qual o desenvolvimento implicado na aprendizagem revela a riqueza dessas contradições, na perspectiva da teoria da atividade cultural-histórica (Garcia & Camillo, 2021).

Para os adeptos da visão consensual, enquanto alguns trabalhos procuram formalizar os saberes da NdC a partir de declarações afirmativas que também incluem a natureza do conhecimento científico (Abd-El-Khalick, 2012; Abd-El-Khalick et al., 1998; McComas et al., 1998; McComas & Olson, 1998); outros focam na identificação das concepções de docentes, estudantes e cientistas sobre a NdC (Driver et al., 1996; Gil Pérez et al., 2001; Lederman et al., 2002). Para este caso, o objetivo principal é contribuir com um entendimento “daquilo que não deve ser ensinado” (Martins, 2015, p. 705). Justamente, por tais concepções não refletirem o que realmente está, como conhecimento bem fundamentado, mais próximo da realidade cultural-histórica-social da ciência como construção humana. Por exemplo, Bombassaro (1992, p. 24) afirma que “o conhecimento de senso comum revela a forma mais elementar de (...) interpretar o mundo e surge da necessidade de resolver problemas imediatos, ligados à praticidade factual”. No entanto, para quem o compartilha, observa-se que: “por desconhecer as explicações causais dos fenômenos e permanecer preso à opinião, por não permitir correções, nem se deixar apanhar pela crítica, o conhecimento de senso comum apresenta uma visão fragmentada da realidade” (Bombassaro, 1992, p. 24).

Em relação às concepções de senso comum sobre a NdC, algumas refletem ideias fundamentadas na filosofia positivista lógica da ciência, especialmente, relativas às visões: empírico-indutivista; algorítmica, exata, infalível da metodologia científica; linear e cumulativa da produção do conhecimento científico, isto é, sem rupturas e controvérsias; descontextualizada e socialmente neutra da prática científica e; individualista, masculinizada e elitista (Gil Pérez et al., 2001). Bem como, as que refletem ideias imaginárias de que: o trabalho científico é isolado; o propósito da ciência é prover soluções apenas para problemas técnicos; e da falta de percepção crítica da função dos modelos e teorias matemáticas nas explicações científicas.

Por um lado oposto, isto é, epistêmico, as declarações afirmativas³ — saberes metacientíficos — refletem “um consenso sobre a natureza das questões que devem informar a educação científica, como expressão de uma visão consensual dos objetivos sobre a NdC” (McComas et al., 1998, p. 513), a saber: o caráter durável, porém provisório, do conhecimento científico; forte dependência, mas não exclusiva, da observação, evidência empírica, argumentos racionais e ceticismo; existência de pluralidade metodológica; a função das leis, modelos e teorias para prever e explicar os fenômenos da natureza; a ciência como parte das tradições culturais e sociais; a publicidade do conhecimento científico; rigorosidade na manutenção de registros precisos, revisão por pares e replicabilidade das experiências; a influência dos pressupostos teóricos sobre as observações científicas; o caráter evolucionário e revolucionário da ciência revelado por sua história; impactos mútuos entre ciência e tecnologia; influências mútuas entre as ideias científicas e o meio cultural-histórico-social (McComas et al., 1998). Adjacente a isso, encontram-se também os princípios acerca do conhecimento científico, que expressam seu caráter: experimental (sujeito a mudanças); baseado empiricamente (e/ou derivado da observação do mundo natural); subjetivo (carregado de teoria); em parte, produto da inferência humana, imaginação e criatividade (envolve a invenção da explicação); social e culturalmente incorporado (Abd-El-Khalick, 2012; Abd-El-Khalick et al., 1998).

Contudo, Clough (2008) afirma que o problema das declarações e/ou dos princípios sobre a NdC é que, como uma lista de ideias-chave, elas podem ser facilmente distorcidas pelos docentes, estudantes e pesquisadores, visto que tais princípios, ensinados como conhecimentos estabelecidos, tornam-se saberes a serem conhecidos, em detrimento de serem compreendidos mediante investigação em sala de aula. Considerando que a maioria, senão todas as declarações sobre a NdC são contextuais, esse autor acredita ser fundamental explorar os saberes da NdC como questões, para que docentes e estudantes compreendam a sua natureza contextual. Em matéria de conteúdo, isso significa transformar os princípios em perguntas que permitam o confronto explícito e direto das concepções de senso comum sobre a NdC, cujas soluções sejam encontradas com a investigação das questões científicas.

Nessa direção crítica, a ideia de vínculos epistemológicos apresenta-se como uma alternativa profícua, justamente por não comungar dessas possíveis distorções dos saberes da NdC ensinados em sala de aula, e proporcionar uma transposição didática que pode superar alguns problemas de despersonalização e descontextualização sofridos pelo saber a ensinar para chegar em sala de aula (Chevallard, 1991).

Seguindo com as críticas, Irzik e Nola (2011, p. 591) afirmam que, embora exista um consenso de que as e os “estudantes devem aprender não apenas o conteúdo da ciência e sua natureza, pouco também é o consenso sobre o que é essa natureza”. Fazendo alusão ao problema da demarcação, sobre o que é ou não é ciência, esses

3 A expressão “declarações afirmativas” representa, gramaticalmente, orações afirmativas sobre aspectos da natureza da ciência (NdC) e do conhecimento científico que foram formalizadas a partir de investigações realizadas pelos adeptos da denominada “visão consensual” sobre a NdC.

autores assinalam que todas as tentativas feitas por filósofos, historiadores, sociólogos da ciência e teóricos da educação científica, para definir a ciência, rigorosamente, falharam. Fracasso este, segundo esses autores, que reflete a desconcertante variedade de visões filosóficas divergentes sobre a NdC, associadas também às violentas disputas entre realistas, empiristas, construtivistas, feministas, multiculturalistas e pós-modernistas (Irzik & Nola, 2011). Portanto, em suas perspectivas, a visão consensual sobre a NdC “retrata um quadro muito monolítico da ciência, sendo cega para as diferenças entre as disciplinas científicas” (Irzik & Nola, 2011, p. 593). Com isso, esses autores acreditam ser fundamental apostar em alternativas e apresentam uma perspectiva denominada *family resemblance* — semelhança familiar — “para a qual não existe uma definição, mas um conjunto de noções relacionadas” (Irzik & Nola, 2011, p. 594).

No cerne desta proposta, encontra-se a ideia de que a NdC pode ser caracterizada e ensinada a partir de um conjunto de parâmetros, que eles acreditam pertencer às seguintes categorias: atividade científica, objetivo e valores, metodologias e regras metodológicas e produtos. Para conhecedores da visão epistemológica de Laudan, especialmente, a partir de sua obra *Ciência e valores*, publicada em 1984, a proposta de Irzik e Nola (2011) parece fundamentar-se no modelo reticular de desenvolvimento científico laudiano (Ovando & Cudmani, 2004). Metaforicamente, esse modelo é representado por um triângulo equilátero cujos vértices são ocupados pelos seguintes elementos: objetivos e valores, teorias, regras metodológicas.

Para melhor situar o leitor, a relação entre os saberes da NdC e essa perspectiva laudiana pode ser entendida da seguinte maneira: a ideia de semelhança familiar auxilia no entendimento de que muitos aspectos inerentes a NdC podem se assemelhar uns aos outros somente em alguns pontos de interseção. Por exemplo, na categoria atividades, a prática científica de observar e experimentar são tipicamente atividades da ciência. Porém, a prática de observar, mesmo sendo comum em quase todas as áreas do conhecimento, pode ser diferente em cada uma delas. Na história da astronomia, da cosmologia e da física, enquanto as observações astronômicas na antiguidade eram realizadas a olho nu, nos dias atuais, elas são feitas com telescópios espaciais. Da mesma forma, na categoria, objetivos e valores, entende-se que cada ciência (biologia, física, geologia, química, etc.), individualmente, pode ter um propósito distinto, em conformidade com as variadas interpretações filosóficas (realista, empirista, construtivista, feminista, multiculturalista, pós-moderna, etc.).

Por conseguinte, na categoria metodologias e regras metodológicas, indiscutivelmente, compreende-se que não é possível fazer ciência sem adotar métodos e regras. Isso significa que o conhecimento científico não é construído aleatoriamente, mas, pelo contrário, exige o emprego de parâmetros, muitas vezes, comuns a todas as áreas das ciências. Por fim, na categoria produto, a ciência alcança seus objetivos operacionalizando metodologias próprias, cujos resultados materializam-se em conceitos, leis, modelos, princípios, dados experimentais, teorias, dentre outros.

Nessa aproximação entre os saberes da NdC e o modelo reticular de progresso científico laudiano, Irzik e Nola (2011) argumentam que, diferente da visão consensual, cada uma dessas categorias é aberta. Em outras palavras, “as características da ciência (saberes da NdC) que se enquadram em cada categoria não são fixas, portanto, mais categorias podem ser adicionadas” (Irzik & Nola, 2011, p. 601). Além disso, embora seja possível pensar que “as categorias possam parecer bastante exaustivas, outras podem ser acrescentadas ou novas características podem surgir à medida que a ciência se desenvolve” (Irzik & Nola, 2011, p. 601).

Seguindo com as críticas, Martins (2015) considera que os princípios da NdC denotam um caráter muito normativo, isto é, daquilo que deve ser ensinado, em detrimento de serem investigados, a partir de uma proposta curricular baseada em “temas e questões”, dividida em dois eixos: 1 — sociológico e histórico; 2 — epistemológico (Martins, 2015, pp. 218–724). Esse autor acredita que ensinar os princípios da NdC nessa perspectiva, evitaria as críticas contra a visão consensual, pois: os temas e questões não usam princípios declarativos; são de caráter investigativos; contemplam assuntos negligenciados pela visão consensual; incorporam diálogos com outras áreas do conhecimento; e se coadunam com propostas existentes na literatura (Clough, 2008; Irzik & Nola, 2011).

Em uma perspectiva diferente, Matthews (2012) critica a visão consensual chamando alguns princípios da NdC de “Programa de Lederman”, isto é, uma lista de sete elementos propostos por Lederman et al. (2002), associados à natureza: empírica da ciência; das teorias e leis científicas; criativa e imaginativa do conhecimento científico; do conhecimento científico carregada de teoria; da inserção cultural do conhecimento científico; do mito do método científico e; provisória do conhecimento científico (Matthews, 2012). Esse autor assinala que, embora essa pequena lista coloque a NdC em sala de aula, fornecendo instrumentos para avaliar a aprendizagem sobre a temática NdC, muitas vezes, ela pode “funcionar como um mantra, um catecismo, mais uma coisa a ser aprendida” (Matthews, 2012, p. 11), quando o ideal é que docentes e estudantes possam ler, analisar e inferir por conta própria os aspectos da NdC. Matthews (2012) afirma que os princípios da NdC ensinados, dessa maneira, não prestam um bom serviço para a educação científica, justamente porque “é diretamente antiético aos próprios objetivos da reflexão e do pensamento crítico, que a maioria considera a razão de existir da NdC no currículo escolar de ciências” (Matthews, 2012, p. 12).

Como mais uma alternativa, Matthews (2018) sugere uma mudança de foco, isto é, de NdC para características da ciência, mediante uma perspectiva mais contextual e heterogênea que evita, por exemplo, as seguintes armadilhas: confusão de características epistemológicas, sociológicas, éticas, filosóficas em uma única lista de NdC; argumentos controversos sobre a metodologia e a NdC; o pressuposto de soluções particulares do problema de demarcação; e o pressuposto de que a aprendizagem da NdC pode ser avaliada pela capacidade dos estudantes de identificar afirmações declarativas sobre a NdC.

Nessa direção crítica, Allchin (2017) também afirma que é preciso ir além da proposta de mudança de foco, para problematizar os saberes da NdC a partir de eixos temáticos relativos ao aspecto experimental, conceitual e social da ciência, que integram sua proposta alternativa, denominada *Whole Science*. Segundo Garcia e Camillo (2021), no cerne dessa proposta está a ideia de transformar indagações, do tipo, O que é a NdC? Em, Por que NdC? Nessa perspectiva, os conhecimentos metacientíficos inerentes a NdC (O que ensinar sobre a NdC?) seriam trabalhados a partir dos motivos (Por que ensinar sobre a NdC?) de sua inserção no currículo escolar e na sala de aula de ciências.

Hodson e Wong (2017, p. 8) afirmam, por exemplo, que a lista de saberes da NdC, considerados por Abd-El-Khalick (2012) como “os aspectos atuais amplamente aceitos, de domínio geral, baseado em consenso”, “não consegue capturar as complexidades e diversas práticas de geração de conhecimento entre as subdisciplinas”. Isso porque, aprender uma lista de itens supostamente genéricos pode limitar a visão estudantil da amplitude da ciência e da prática científica refletida nas diferentes disciplinas, especialmente, as modernas e contemporâneas. Por exemplo, esses autores discordam fortemente da ideia de *status* do conhecimento científico, em termos de realismo e instrumentalismo, justamente por essas correntes estarem situadas em contextos investigativos antigos — como será demonstrado neste artigo.

Por conseguinte, Mendonça (2020, p. 12) observa e considera que, apesar de existir “uma convergência de pensamento em torno de abandonar o foco nos conhecimentos declarativos sobre a ciência e sua respectiva avaliação, em termos do que os alunos ou professores sabem de ciência [...]”, as pesquisas que classificam as visões sobre a NdC, a partir das concepções de docentes e estudantes, também não tiveram êxito em promover um ensino crítico acerca dessa temática. Portanto, essa autora afirma que é necessário uma abordagem sobre a NdC que vincula a prática científica a seus produtos (leis, modelos, princípios, teorias, dentre outros), também, a partir de uma mudança de foco, especialmente, no que ensinar. Com isso, ela acredita que “a avaliação da NdC se dará fundamentalmente em termos do entendimento das perguntas lançadas e investigadas pela ciência [...]” (Mendonça, 2020, p. 12).

Nessa direção, é importante destacar o trabalho de (Peduzzi & Raicik, 2020), como motivador deste empreendimento, que apresenta um conjunto de dezoito asserções sobre a NdC associadas a comentários específicos que visam favorecer a reflexão do tema. Segundo esses autores, como as proposições demandam reflexão, o uso de exemplos e contraexemplos históricos pode favorecer sua melhor compreensão pelo estudante. Em outras palavras, quando bem fundamentadas, as articulações tornam-se uma alternativa em potencial, frente ao simples e infrutífero ensino de enunciados ou declarações afirmativas, atemporais ou não, sobre a NdC, em sala de aula.

Por fim, Garcia e Camillo (2021) assinalam que, devido à existência de perguntas em voga — a saber: como a NdC pode ser melhor ensinada? Como o aprendizado da NdC pode ser melhor avaliado? — é preciso problematizar os saberes da NdC, em vista de uma profícua “prática educativa que busque a complexificação das cosmovisões dos

estudantes, de modo que possam desenvolver uma compreensão mais profunda acerca da ciência, ou seja, uma visão mais crítica da produção científica” (Garcia & Camillo, 2021, p. 228). Para tanto, esses autores propõem uma problematização dos saberes da NdC pertencentes a denominada visão consensual, a partir da teoria da atividade cultural-histórica, especialmente, focando nas contradições da ideia de aspectos consensuais sobre a NdC, justamente, devido à existência das muitas críticas apontadas pela própria literatura.

Desse modo, a pertinência e o direcionamento dessa complexa discussão sobre a temática NdC contribuem para a apresentação do quadro geral da visão de ciência de Laudan (2011), seguida dos aspectos metodológicos relativos à construção dos vínculos epistemológicos entre os saberes da NdC e o conteúdo da história conceitual da astronomia, da cosmologia e da física; enquanto isso, a proposta de contextualizar os princípios da NdC, a partir da história conceitual da ciência, constitui uma profícua iniciativa para instrumentalizar docentes e estudantes na compreensão crítica da natureza contextual de tais saberes.

Além disso, defende-se que, sem desconsiderar a pertinência de todas essas críticas, a pluralidade de perspectivas para enfrentar a problemática acerca da temática NdC não pode ser vista de outro modo, que não seja por um viés progressista e democrático. Especialmente, em termos do valor que cada contribuição possui para proporcionar a tão sonhada renovação do ensino de ciências (Cachapuz et al., 2005). Da mesma forma, motiva-se também pela oportunidade que este trabalho tem de apresentar uma proposta que permite discutir e contextualizar, histórico-filosoficamente, as perguntas da ciência que impulsionaram seu desenvolvimento científico cognitivo, na perspectiva da epistemologia da solução de problemas de Laudan.

A Ciência é, acima de tudo, uma atividade de solução de problemas

Larry Laudan é físico e filósofo da ciência, norte-americano, integrante do grupo denominado historicistas da racionalidade, que pertence às epistemologias contemporâneas originadas na metade do século XX (Nickles, 2017; Pesa & Ostermann, 2002). Dentre suas diversas obras filosóficas, “O progresso e seus problemas: rumo a uma teoria do conhecimento científico” é considerada a mais importante (Dal Magro, 2013; Ostermann et al., 2008).

Laudan analisa psicologicamente o progresso científico, resgatando a racionalidade da ciência, em uma perspectiva pragmática. Afirmando que “a racionalidade da ciência consiste em escolhas teóricas progressivas” (Laudan, 2011, p. 10) de teorias capazes de resolver mais problemas da ciência, em comparação às suas antecessoras e rivais; e considerando que é possível vislumbrar uma visão “sobre a natureza da ciência que tende a nos escapar se preservamos a relação tradicional entre progresso e racionalidade” (Laudan, 2011, p. 10).

Para esse filósofo, é o empreendimento racional da ciência que responde à produção do conhecimento científico. Por isso, ele defende que é preciso abandonar os conceitos e pressupostos filosóficos positivistas lógicos acerca do grau de confirmação

de uma teoria, conteúdo explicativo, corroboração empírica e afins, para visualizar um modelo apropriado de racionalidade científica. Modelo que é encontrado em suas diversas obras (Batista & Peduzzi, 2019; Dal Magro, 2013; Moreira & Massoni, 2011).

Crítico da análise filosófica positivista lógica da ciência, Laudan pressupõe que: (i) o progresso científico não se manifesta pelo acúmulo de conhecimento, pois a história da ciência evidencia muitos períodos históricos evolucionários e revolucionários da produção de conhecimento repletos de controvérsias científicas; (ii) as teorias científicas não são absolutamente verdadeiras ou falsas, visto que não podem ser refutadas, simplesmente, por apresentarem anomalias; ou ainda, (iii) as teorias não são aceitáveis porque possuem confirmação empírica; (iv) para as grandes mudanças científicas, especialmente, de visão de mundo e normativas, as controvérsias são resolvidas, em boa parte, pelo componente conceitual, em detrimento do empírico; (v) os elementos constituintes da racionalidade científica, precipuamente, se transformam com o tempo e; (vi) a coexistência de teorias rivais, correntes de pensamento, metodologias, programa, paradigma e/ou tradição de pesquisa, constitui a regra, e não a exceção na história da ciência.

Operacionalizando seus pressupostos na história conceitual das ciências da natureza (biologia, física, geologia, química) Laudan (2011, p. 18) desenvolve sua ideia central de que “a ciência é, acima de tudo, uma atividade de solução de problemas”. Isto é, “perguntas da ciência e foco do pensamento científico”, cujas “respostas são as teorias científicas”. As teorias “são relevantes, cognitivamente, à medida que oferecem soluções adequadas a problemas importantes” (Laudan, 2011, p. 20). Sua função perpassa por eliminar ambiguidades, minimizar irregularidades e reduzi-las a uniformidade, mostrando-se como um instrumento capaz de explicar e prever os fenômenos da natureza dentro de um domínio disciplinar.

Para demonstrar essa relação dialética entre problemas da ciência e suas soluções (teorias), Laudan constrói uma taxonomia com duas substantivas categorias. A saber: a categoria dos problemas empíricos e a dos problemas conceituais. Ontologicamente e metodologicamente pertencentes a determinados contextos históricos investigativos. Os problemas empíricos são definidos como “perguntas substantivas acerca dos objetos que constituem o domínio de determinada ciência” (Laudan, 2011, p. 23). Os problemas conceituais “são questões de ordem superior acerca das fundamentações das estruturas conceituais” (Laudan, 2011, p. 68). Em outras palavras, são perguntas que incidem sobre as fundamentações das teorias concebidas para resolver os problemas empíricos.

Laudan classifica os problemas empíricos em três subcategorias: não resolvidos — quando nenhuma teoria apresenta uma solução apropriada, porém eles continuam fomentando as investigações; resolvidos — problemas que têm uma solução apropriada por alguma teoria; e anômalos — problemas não resolvidos por uma teoria, mas por uma ou mais de uma de suas concorrentes. Frente a esses problemas, “uma das marcas do progresso científico” reside em transformar os problemas empíricos anômalos e não resolvidos em problemas resolvidos, para estimular o crescimento cognitivo da ciência (Laudan, 2011).

O episódio da história da física que exemplifica profundamente esse aspecto diz respeito à solução do problema empírico do movimento browniano⁴ — um movimento aleatório incessante de partículas microscópicas em suspensão em um líquido — apresentado por Albert Einstein em sua tese de doutorado e artigo, publicado em 1905, via teoria cinética molecular dos gases. A solução deste problema fundamentou a aceitação geral do atomismo, na controvérsia atomista contra energicista, abrindo caminho para diversas investigações futuras (Salinas, 2005; Silva & Lima, 2007).

Para os problemas conceituais, muitos exemplos são encontrados na história da astronomia, da cosmologia e da física, e refletidos nas críticas copernicanas às teorias planetárias de Ptolomeu, no uso do mecanismo matemático equante para explicar o movimento retrógrado dos planetas. Ou ainda, nas críticas de Locke, Berkeley, Huygens e Leibniz, sobre as fundamentações do sistema de mundo newtoniano, especialmente, o conceito de espaço absoluto (Jammer, 2010).

Nessa direção, Laudan classifica os problemas conceituais em três subcategorias: (1) as dificuldades intracientíficas, que são tensões entre duas ou mais teorias de diferentes áreas dos saberes; (2) as dificuldades normativas ou metodológicas, que caracterizam os conflitos entre uma teoria e as regras metodológicas aceitas pela comunidade científica; e (3) as dificuldades de visão de mundo, que são conflitos entre as teorias que não se enquadram no plano da visão de mundo predominante. As dificuldades intracientíficas ocorrem “quando uma nova teoria em alguma área científica faz suposições incompatíveis com as de outra teoria científica, que se têm boas razões para ser aceite” (Laudan, 2011, p. 80).

Na história da ciência, a controvérsia entre biólogos, geólogos e físicos, no final do século XIX, a respeito da cronologia da Terra, constitui um dos mais importantes exemplos (Tort & Nogarol, 2013). Para as dificuldades normativas, o desenvolvimento da metodologia hipotético-dedutiva reflete o conflito envolvendo a tradição de pesquisa newtoniana no século XVIII (Laudan, 2011, pp. 85–86). E as dificuldades de visão de mundo refletem os impactos culturais, filosóficos, científicos, físicos, matemáticos, metafísicos e até religiosos, resultantes do advento da astronomia copernicana, frente à visão de mundo geocêntrica herdada da tradição de pesquisa grega antiga, difundida pelo sistema de mundo aristotélico (Batista, 2020). Mais recentemente, “um dos mais persistentes conjuntos de problemas conceituais da física”, no século XX, corresponde à “dissonância entre a mecânica quântica e as nossas crenças filosóficas acerca da causalidade, da mudança, da substância e da realidade” (Laudan, 2011, p. 89).

Por fim, Laudan situa esses problemas em um contexto histórico investigativo denominado tradição de pesquisa, onde, epistemologicamente, uma solução teórica é aceitável ou não. Para ele, “o crucial em toda avaliação cognitiva de uma teoria é como ela se sai com relação às concorrentes” (Laudan, 2011, p. 100). E o significado do termo teoria constitui “um conjunto específico de doutrinas relacionadas (comumente chamadas “hipóteses”, “axiomas” ou “princípios”), que pode ser usado para fazer previsões experimentais específicas e dar explicações pormenorizadas dos fenômenos

4 Tema de trabalho em andamento.

naturais” (Laudan, 2011, p. 100). Por exemplo, têm-se as teorias: do eletromagnetismo de Maxwell, do efeito fotoelétrico de Einstein, do valor do trabalho de Marx, da deriva continental de Wegener e a do complexo de Édipo de Freud (Laudan, 2011). Em termos do conjunto de doutrinas ou de suposições gerais, utilizam-se os termos: teoria atômica, teoria da evolução, teoria cinética dos gases.

Nesse sentido, o conceito de tradição de pesquisa é definido como “um conjunto de afirmações e negações ontológicas e metodológicas” (Laudan, 2011, p. 113), que expressam os compromissos assumidos pela prática científica. Essas afirmações e negações estabelecem as diretrizes para a elaboração de teorias específicas, que solucionam os problemas empíricos. Nessa perspectiva, o conceito de tradição de pesquisa laudiano é semelhante ao de paradigma kuhniano (em período de ciência normal) e de programa de pesquisa lakatosiano.

Da mesma forma que Kuhn e Lakatos consideram a degenerescência e evolução, respectivamente, dos paradigmas e dos programas de pesquisa, Laudan admite que as tradições de pesquisas estejam submetidas a esses mesmos elementos, pois existem duas atividades geradoras de teorias: as atividades investigativas progressivas e as degenerativas. Na história da astronomia, da cosmologia e da física, os limites de validade da tradição de pesquisa grega antiga são evidenciados com o nascimento da ciência moderna nos séculos XVI e XVII. Do mesmo modo, os limites dessa tradição encontram-se marcados com o nascimento da ciência moderna e contemporânea, a partir da metade do século XX.

Realizada essa breve fundamentação teórica, na próxima seção, procura-se apresentar os aspectos metodológicos relativos à construção dos vínculos epistemológicos, especialmente, destacando os oito saberes da NdC, sua natureza contextual relativa ao contexto investigativo da tradição de pesquisa grega antiga, bem como as questões da ciência que mediarão esses vínculos, na perspectiva histórico-filosófica laudiana da solução de problemas.

Aspectos metodológicos relativos à construção dos vínculos epistemológicos

Inicialmente, é importante destacar que a proposta de *vínculos epistemológicos entre os saberes da NdC e o conteúdo da história conceitual da ciência* (astronomia, cosmologia e física) — compreendidos desde o contexto investigativo da Grécia antiga, ao nascimento da ciência moderna, nos séculos XVI e XVII — é o resultado de um extenso estudo da história conceitual dessas três áreas, na perspectiva histórico-filosófica da solução de problemas de Larry Laudan, que procurou operacionalizar os conceitos de problemas empíricos, problemas conceituais e de tradição de pesquisa, objetivando contribuir na perspectiva da pergunta de pesquisa apresentada no início da introdução deste artigo. Dessa forma, sua amplitude encontra-se ao longo de quatorze capítulos de uma tese, cujo conteúdo é materializado por uma narrativa historiográfica atenta aos aspectos metodológicos para a investigação da história da ciência, especialmente, no aspecto interno da evolução conceitual do pensamento científico (Barros, 2019; Cruz, 2006; Kuhn, 2011; Laudan, 2011; Martins, 2004).

Acerca disso, a historiografia pode ser entendida como “a produção dos historiadores, isto é, o discurso sobre a história” (Cruz, 2006, p. 163), neste caso, a história interna da ciência, que tem como principal fundador, o historiador russo Alexandre Koyré (1892–1964), responsável pela “constituição da história da ciência como disciplina acadêmica no século XX” (Cruz, 2006, p. 165), bem como pela fundação da moderna historiografia da ciência (Cruz, 2006). Nesse sentido, os propósitos da historiografia apontam nas seguintes direções: (i) auxiliar para que uma disciplina ou área do conhecimento não repita erros do passado⁵; (ii) ser importante na resolução de problemas metodológicos e conceituais enfrentados por uma disciplina; (iii) permitir, mediante análise da origem de determinadas perguntas da ciência, perceber como uma área do conhecimento científico percorreu certos caminhos; (iv) proporcionar o conhecimento das diferentes influências sociais, políticas, econômicas e pessoais, que um e/ou uma cientista, ou a própria ciência, sofre ao longo de sua história; dentre outras funções (Cruz, 2006).

Observando esses propósitos, os vínculos epistemológicos foram construídos, justamente, a partir da investigação baseada em (ii, iii e iv). Especificamente, para este artigo, o propósito (ii) se materializa na identificação de duas perguntas da ciência, a saber: *Qual é a verdadeira estrutura do universo?* (Koestler, 1989); *Quais são os movimentos circulares e ordenados que possam ser tomados como hipóteses para explicar os movimentos aparentes dos planetas?* (Évora, 1993; Kuhn, 1990), cuja contextualização, histórico-filosófica, no contexto investigativo da tradição de pesquisa grega antiga, demonstra a consistência interna e a validade epistemológica de tais vínculos.

Com efeito, é importante dizer, também, que esta proposta é apresentada, aqui, de maneira sintetizada, a partir da aproximação dos sentidos dos núcleos básicos dos seguintes oito saberes, isto é, conhecimentos metacientíficos inerentes aos aspectos, características e/ou princípios da NdC: (1) *a curiosidade humana sobre o universo*; (2) *a crença da ciência no ordenamento do universo físico*; (3) *o pressuposto de que a natureza pode ser matematizada*; (4) *a intuição racional refletida no senso de beleza matemática, harmonia dos números, das formas e elegância da geometria*; (5) *modelos e/ou teorias, como construções do intelecto humano, como instrumentos para descrever, explicar e prever fenômenos da natureza*; (6) *o papel da criatividade científica na proposição de tais modelos e teorias*; (7) *a formulação do saber teórico como exigência intelectual da própria ciência*; e (8) *a existência da pluralidade metodológica da ciência, como regra, e não exceção*.

De modo específico, procura-se mostrar como a natureza contextual desses saberes está vinculada ao conteúdo da história conceitual da astronomia, da cosmologia e da física, a partir da identificação da origem e da solução das perguntas da ciência que fomentaram o seu progresso científico cognitivo, no contexto histórico grego, do século VI antes da era comum (A.E.C.), ao século II da era comum (E.C.). Ao mesmo tempo,

⁵ Em termos históricos, esses “erros do passado” devem ser compreendidos como escolhas (teóricas, metodológicas, conceituais, dentre outras) assumidas por uma disciplina, que não se mostraram profícuas para o seu desenvolvimento (Cruz, 2006).

é preciso deixar claro que, frente ao risco de se transmitir uma ideia muito simplificada dessa proposta, é importante dizer que este trabalho consiste em um prelúdio de uma série de três artigos complementares.

Nesse sentido, o critério adotado para desenvolver a proposta nesse formato de trabalhos complementares justifica-se pelos seguintes fatores. Primeiro, devido à extensão do período histórico investigado ter sido uma exigência natural da pesquisa mais ampla, no sentido de evidenciar, fundamentar e sustentar a consistência histórico-filosófica das contribuições da epistemologia da solução de problemas de Larry Laudan para o ensino de ciências/física. Segundo, por uma questão de limitação metodológica para contextualizar vinte e um saberes da NdC em apenas um trabalho, e de evitar o risco de comprometer a coerência que existe entre cada conjunto de saberes e o conteúdo da história da ciência, iluminado pela concepção filosófica laudiana. Terceiro, por considerar a necessidade imprescindível de contextualizar cada conjunto de saberes da NdC, tentando garantir a consistência interna dos vínculos epistemológicos, em relação ao conteúdo explorado da história conceitual da ciência (astronomia, cosmologia e física).

Por sua vez, isso significa destacar a existência de um conjunto de saberes da NdC, objetos do próximo trabalho, cuja contextualização é mediada fundamentalmente por *fatores internos e externos à ciência* que marcaram, por exemplo, os treze séculos (II ao XV) que separam a morte de Cláudio Ptolomeu (100–168) e o nascimento de Nicolau Copérnico (1473–1573). Da mesma forma, o terceiro conjunto de saberes da NdC, objetos do último trabalho, pode ser contextualizado a partir de uma quantidade significativa de perguntas da ciência — situadas no final da próxima seção.

Vínculos epistemológicos entre saberes da NdC e o conteúdo da história conceitual da astronomia, da cosmologia e da física, no contexto investigativo da TPGA

Observados os aspectos metodológicos, a primeira pergunta da ciência, encontrada no contexto investigativo da tradição de pesquisa grega antiga (TPGA), que permite estabelecer os vínculos epistemológicos entre os saberes da NdC (1 e 2) — (1) a curiosidade humana sobre o universo; e (2) a crença da ciência no ordenamento do universo físico — e o conteúdo da história conceitual da astronomia, da cosmologia e da física, consistiu na seguinte indagação do pensamento científico grego: *Qual é a verdadeira estrutura do universo?* (Koestler, 1989).

Da extensa narrativa historiográfica, é possível afirmar que a forma e a suposição dessa pergunta sustentam a validade epistemológica desses dois primeiros saberes da NdC, justamente por ela ter fomentado o progresso científico cognitivo iniciado pelos pensadores gregos, representados por filósofos, matemáticos, geômetras, astrônomos e cosmólogos. Esses pensadores instituíram uma forma de pensar criticamente sobre o mundo, alicerçada pela razão, de um modo muito singular. Acerca disso, Nietzsche (2011, p. 4) afirma que, mesmo sendo tolo atribuir aos gregos uma cultura genuinamente

autóctone (originária), seus pensadores “sorveram toda a cultura viva de outros povos, e se foram tão longe, é precisamente porque sabiam retomar a lança onde outro povo a abandonou, para arremessá-la mais longe”. Em conformidade, Hegel (1978, p. 198) assinala que, na escola eleática grega, tendo Zenão de Eleia (490–430 A.E.C.) seu mestre, “seu pensamento puro torna-se o movimento do conceito, em si mesmo, a pura alma da ciência — é o indicador da dialética”. Ele continua, “Em Zenão (...), é a razão que realiza o começo — ela aponta tranquila, em si mesma, naquilo que é afirmado como sendo sua própria destruição” — isto é, não hesita superar os próprios limites cognitivos.

Instrumentalizados por essa razão, os pitagóricos no século VI A.E.C. estabeleceram os compromissos metodológicos e ontológicos da TPGA, para lidar com um conjunto de conhecimentos astronômicos sobre os fenômenos celestes, produzidos, registrados e sistematicamente organizados pelos antigos astrônomos babilônios, entre os anos de (700 a 800 A.E.C.) nos seus chamados “Textos Astronômicos Cuneiformes” (Linton, 2004; Neugebauer & Sacha, 1966; Pedersen, 1993).

Dentre esses conhecimentos, estavam o movimento de retrogradação dos corpos celestes chamados planetas (Lua, Sol, Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter, Saturno), suas posições e períodos de revolução aparente, vistos da Terra; as fases da Lua; os eclipses lunares e solares; a criação e divisão do círculo em 360° graus; a concepção do sistema sexagesimal, utilizado para medir o tempo em sessenta minutos; a invenção do conceito de zodíaco, dividindo a faixa da eclíptica em doze subdivisões de (30.º) graus; a criação do conceito de esfera celeste — um referencial imaginário para estudar o céu; incluindo a confecção de calendários lunissolar — equivalência entre 19 anos e 235 meses sinódicos — tempo que um astro leva para aparecer em um mesmo local em sucessivas conjunções com o Sol.

Todavia, Pedersen (1993) afirma que, apesar de todos esses conhecimentos, os babilônios não tinham preocupações em fazer alguma conexão entre esses fatos celestes com a estrutura física do universo, haja vista que seus interesses práticos estavam ligados à administração pública, confecção de calendários, agricultura e fins místicos e religiosos. Além disso, apesar da base matemática construída por essa civilização, não se observa na história de sua ciência “qualquer tentativa de provas lógicas gerais” (Pedersen, 1993, p. 7).

Acerca disso, Aaboe (1958, p. 210) assinala que o ponto mais importante que diferencia a astronomia babilônica da grega antiga é “a formulação de seus problemas centrais”. Na perspectiva epistemológica laudanianiana, esse conjunto de conhecimentos celestes somente se tornaram problemas empíricos da ciência no contexto investigativo grego. Pois, é neste que se estabeleceu a preocupação em associar tais conhecimentos a própria estrutura no universo, assumindo, por exemplo, dois compromissos (ontológico e metodológico) fundamentais que configuram a TPGA. A saber: *a visão de um universo esférico e hierarquicamente ordenado, governado pela lei da harmonia; e o uso do movimento circular uniforme como único aporte conceitual-metodológico capaz de explicar o complexo movimento dos corpos celestes.*

A partir desses compromissos, a validade epistemológica dos demais saberes da NdC torna-se uma consequência direta do empreendimento científico da TPGA. Por exemplo, para os saberes — (3) *o pressuposto de que a natureza pode ser matematizada*; e (4) *a intuição racional refletida no senso de beleza matemática, harmonia dos números, das formas e elegância da geometria* — Pitágoras de Samos (570–495 A.E.C.) criou o conceito de *cosmos e de harmonia* — significando “o equilíbrio e a ordem que constitui a lei do mundo” (Koestler, 1989, p. 10) —, para representar o ordenamento do universo a partir da perspectiva geométrica.

Adjacente a isso, Pitágoras e seus discípulos, na escola pitagórica, acreditavam que o número representava não somente as relações dos fenômenos entre si, mas era a substância das coisas, a causa de todos os fenômenos da natureza. Destaca-se que, os pitagóricos foram levados a essa suposição filosófica, engenhosamente, por conceber que “a natureza é governada por relações numéricas, como as forças celestes são executadas com regularidade, e como a harmonia dos sons musicais depende de intervalos regulares, cuja avaliação numérica, ele foi o primeiro a determinar” (Dreyer, 1953, p. 36).

Por conseguinte, os saberes da NdC — (5) *modelos e/ou teorias, como construções do intelecto humano, como instrumentos para descrever, explicar e prever fenômenos da natureza*; (6) *o papel da criatividade científica na proposição de tais modelos e teorias*; (7) *a formulação do saber teórico como exigência intelectual da própria ciência* — suas validades epistemológicas encontram-se nas construções dos diferentes modelos cosmológicos esféricos e/ou teoria cosmológica da harmonia das esferas da TPGA realizadas, primeiro, por Pitágoras, depois por Filolau de Crotona (470–385 A.E.C.), Platão (428–348 A.E.C.)⁶, Aristóteles (384–322 A.E.C.), Heráclides de Ponto (390 – 310 A.E.C.), Aristarco de Samos (310–230 A.E.C.), já contextualizados em outro trabalho (submetido), cujo objetivo reside na promoção da compressão docente estudantil da relação Terra-Universo.

Visto isso, é importante destacar, aqui, que tanto os modelos cosmológicos quanto as teorias planetárias, já sinalizadas, foram concebidos para solucionar o conjunto de problemas empíricos da TPGA, equacionados a partir dos conhecimentos celestes herdados da civilização babilônica. Dito isso, a segunda pergunta que também implica na validade epistemológica desses mesmos saberes, diz respeito à indagação de Platão: *Quais são os movimentos circulares e ordenados que possam ser tomados como hipóteses para explicar os movimentos aparentes dos planetas?* (Évora, 1993; Kuhn, 1990).

Nessa direção, além desta pergunta demonstrar a fidelidade dos astrônomos para com os dois compromissos metodológico e ontológico da TPGA, ela também foi responsável por ditar os rumos do desenvolvimento das teorias astronômicas planetárias concebidas por Eudoxo de Cnido (408–355 A.E.C.), *teoria das esferas concêntricas*; Apolônio de Perga (262–194 A.E.C.), *teoria do epiciclo-deferente*; e por Cláudio Ptolomeu (90–168 E.C.), *teorias do epiciclo-deferente, excêntrico e equante*, frente ao

6 Platão desenvolveu tanto um modelo cosmológico fundamentado nas ideias de Filolau e Pitágoras, como também elaborou uma forma de curso avançado, em sua *Academia*, para que seus discípulos pudessem estudar astronomia mediante a prescrição de problemas (Huffman, 1993).

mesmo conjunto de problemas empíricos, cuja contextualização está contemplada no mesmo trabalho (submetido). Em vista disso, o destaque para a validade epistemológica do saber (6) da NdC encontra-se na proposição de tais teorias.

Nesse sentido, “a teoria das esferas concêntricas de Eudoxo demonstrou o poder das técnicas geométricas, em que superposições de simples rotações uniformes poderiam ser usadas para modelar comportamentos extremamente complexos” (Linton, 2004, p. 32). Além disso, “porque (conforme modificada por Calipo) ela foi adotada pelo gigante da filosofia grega — Aristóteles — cujos ensinamentos dominaram o pensamento intelectual para os próximos 2000 anos” (Linton, 2004, p. 32).

Em conformidade, Neugebauer (1983) contribui com esse aspecto da engenhosidade de Eudoxo, afirmando que poucas teorias astronômicas exerceram uma influência tão profunda e duradoura sobre o pensamento humano. Eudoxo demonstrou que o complexo movimento dos planetas visto da Terra, poderia ser explicado, pelo menos qualitativamente, como uma combinação de rotações uniformes de esferas concêntricas sobre eixos inclinados. Por isso, conclui Neugebauer (1983, p. 305), “Não admira que esta teoria tenha fascinado durante quase dois mil anos as mentes dos filósofos e até dos astrônomos”.

Por fim, para o saber (8) da NdC — *a existência da pluralidade metodológica na ciência* — é possível destacar a coexistência das duas correntes de pensamento inerentes à prática da astronomia e da cosmologia, concebidas, respectivamente, por Platão e Aristóteles, no mesmo contexto investigativo da TPGA. A primeira, a corrente de pensamento instrumentalista, intimamente relacionada com a construção das teorias planetárias de Eudoxo a Ptolomeu, orientava a solução dos problemas empíricos dessa tradição, em uma perspectiva de “salvar as aparências” dos fenômenos celestes (Aiton, 1981, p. 78). “O astrônomo salvava os fenômenos, quando conseguia imaginar uma hipótese que resolvesse os movimentos irregulares dos planetas ao longo das órbitas circulares, **pouco importando se a hipótese fosse verdadeira ou não**” (Koestler, 1989, p. 43 — grifo do autor). Ou então, pouco importando com a realidade física dos seus modelos/teorias e artifícios matemáticos.

Nesse contexto, Kuhn (1990) afirma que, até o advento da astronomia copernicana, a astronomia grega tornou-se uma geometria-celeste abstrata e computacional, divorciada da realidade física. Acerca disso, o próprio Ptolomeu explicitou: “Cremos que o objetivo que o astrônomo deve tentar atingir é este: demonstrar que todos os fenômenos do firmamento são produzidos por movimentos uniformes e circulares [...]” (Koestler, 1989, p. 43). Haja vista que, “Tendo nos propostos tal tarefa de provar que as irregularidades aparentes dos cinco planetas, do Sol e da Lua, podem ser representados por movimentos circulares e uniformes [...]” (Koestler, 1989, p. 43), “podemos considerar a realização dessa tarefa como fim último da ciência matemática baseada na filosofia” (Koestler, 1989, p. 43).

Em uma perspectiva totalmente oposta, encontra-se a corrente de pensamento realista, cujos fundamentos orientavam a construção de cosmologias que descrevessem o mundo tal como ele é de verdade, ou deveria ser (Peduzzi, 2018). Na cosmologia de

Aristóteles, por exemplo, ele defendia a existência física das esferas celestes, como condição necessária para explicar o movimento dos planetas, inicialmente impulsionados pela sua ideia metafísica de primeiro motor. Para os realistas, as entidades postuladas pelas teorias não são meras ferramentas de cálculo, que permitem previsões aproximadamente precisas, como defendiam os instrumentalistas, pois tentam explicar como é o mundo, de fato, a partir dos seus atributos matemáticos.

Para finalizar, é importante destacar que, no decorrer da história da ciência, a corrente instrumentalista encontrou seu apogeu na obra *Almagesto* de Ptolomeu. E a corrente realista, à luz das mudanças ontológicas e metodológicas ocorridas na prática da astronomia, da cosmologia e da física, embora objeto de debates polêmicos, será resgatada no advento da astronomia copernicana (Porto, 2020). Por conseguinte, essa corrente impulsionou o desenvolvimento da disciplina astrofísica, com os trabalhos de Kepler, tornando-se, no contexto da tradição de pesquisa da ciência moderna (TPMC) e contemporânea, uma corrente de pensamento comungada por muitos cientistas.

Não obstante, no próximo artigo, a contextualização de mais seis saberes da NdC e o conteúdo da história conceitual da astronomia, da cosmologia e da física, aponta para os vínculos epistemológicos que estão implicados por *fatores internos e externos à ciência*, que marcaram os treze séculos que separam a morte de Ptolomeu e o nascimento de Copérnico — como já observado. Nesse contexto, serão discutidos os fatores internos e externos à ciência responsáveis, por exemplo, pelo advento da astronomia copernicana. Já no terceiro e último artigo, o conjunto de saberes da NdC (sete) será contextualizado historicamente, novamente, através das perguntas que fomentaram o nascimento da ciência moderna nos séculos XVI e XVII, o que inclui a construção intelectual da teoria da gravitação newtoniana.

Adiantando tais perguntas, no primeiro conjunto têm-se as seguintes indagações científicas: *Por que os corpos caem em direção ao centro da Terra? Por que não somos atirados fora da Terra por sua rotação? Existe alguma experiência terrestre que demonstre que a Terra gira em torno do próprio eixo? Qual a teoria física de movimento de Copérnico, se não aceita a física de Aristóteles?* (Martins, 1990). No segundo: *Como um corpo sólido transpassaria as esferas sólidas de cristal? O que faz com que os planetas se movam, quando não existem as sólidas esferas cristalinas de Aristóteles, responsáveis pela condução do (movimento) dos planetas no céu? Como os planetas se movem num espaço que não comporta um mecanismo sólido? Como os planetas se movem em um espaço supostamente vazio? Que explicação pode ser construída para um espaço vazio, onde as órbitas dos planetas se intersectam?* (Tossato, 2004). No terceiro: *Qual é a causa do movimento planetário? Que força proveniente do Sol vincula os planetas às órbitas elípticas e faz com que as suas velocidades orbitais decresçam segundo a ordem em que dele distam? Qual o mecanismo de ação dessa força e como ela varia com a distância Sol-planeta?* (Koestler, 1989; Peduzzi, 2018). Por fim, no quarto conjunto: *O que significa o peso de um planeta? Contra o que se comprime? Ou para onde tende a cair? Se o motivo pelo qual uma pedra cai em direção ao centro da Terra não é a posição desta, no centro do*

universo, então por que ela cai? Por que a órbita descrita pelo movimento de um planeta é elíptica e não circular? Qual seria o valor da aceleração da Lua em comparação com a da Terra? (Koestler, 1989).

Por fim, fugindo um pouco do caráter teórico deste trabalho, mas por uma boa causa, é importante destacar sua potencialidade didático-pedagógica para discutir a natureza da ciência, em sala de aula, nível superior e educação básica, a partir de atividades que colocam a notória temática “pergunta no ensino de ciências”, no centro de suas atenções (Batista, 2020; Freire & Fagundes, 1985; Ferreira & Queiroz, 2012; Huang et al., 2017; Koch & Eckstein, 1991; López et al., 2014; Machado & Sasseron, 2012; Paula & Castro, 2010). Nessa perspectiva, é possível planejar, implementar e avaliar propostas de ensino fundamentadas no modelo didático de elaboração de perguntas e respostas, especialmente, a partir da leitura e interpretação de textos informados pelo aporte da história e filosofia da ciência⁷ (Ferreira & Queiroz, 2012; Koch & Eckstein, 1991; López et al., 2014; Paula & Castro, 2010).

Pensando nos espaços disciplinares dos cursos de formação inicial de professores, em particular, de ciências, Evolução da Física, Didática da Física, História da Biologia, História da Química, História da Astronomia, dentre outros, a classe discente pode ser convidada para discutir os saberes da NdC, através da proposta de vínculos epistemológicos, vivendo a rica e profícua experiência de situações didáticas que estimulam o pensamento crítico e criativo, frente aos conteúdos de ensino, por meio de suas próprias perguntas. Um sonho antigo do saudoso educador Paulo Freire (1921–1997), expresso em seu livro — *Por uma Pedagogia da Pergunta* (Freire & Faundez, 1985). Por esse caminho, é possível criar um *hábito didático-pedagógico* de aprender e ensinar por meio de perguntas, que, futuramente, seja compartilhado com as e os estudantes da educação básica científica e tecnológica.

Considerações Parciais

Retornando ao objetivo deste trabalho — apresentar uma proposta denominada *vínculos epistemológicos entre saberes da NdC e o conteúdo da história conceitual da ciência* — e observando atentamente a problemática que cerca a temática da NdC, acredita-se que este trabalho pode contribuir de forma significativa com a comunidade da educação em ciências, justamente, por apresentar uma alternativa profícua ao ensino de simples declarações afirmativas relativas a aspectos, características e/ou princípios inerentes aos saberes da NdC, em sala de aula.

Parcialmente, nesta primeira parte de um trabalho mais amplo, procurou-se mostrar uma forma de enfrentar a problemática relativa à temática NdC, especialmente, as perguntas que se encontram em aberto à pesquisa — *Por que é relevante ensinar sobre a natureza da ciência? O que ensinar? Como ensinar?* — atentando-se para o verdadeiro valor substantivo que o conteúdo da história conceitual da ciência oferece, no sentido

⁷ Esta iniciativa estava sendo desenvolvida, no último ano da pesquisa, em uma disciplina de Evolução da Física ofertada na oitava e última fase dos cursos de física bacharelado e licenciatura de uma universidade federal do país, mas foi interrompida devido ao início da pandemia do COVID-19, em 2020.

de *validação epistemológica dos saberes da NdC* produzidos pela “sabedoria partilhada” da comunidade do ensino de ciências (Martins, 2015). Mais que isso, observando as sugestões apontadas por alguns trabalhos (Clough, 2008; Martins, 2015; Mendonça, 2020), especialmente, no que se referem à transformação das declarações em perguntas; “temas e questões”; ou ainda, na investigação e avaliação do entendimento sobre a NdC a partir das perguntas da ciência.

Diante das perspectivas existentes acerca da temática NdC: *aspectos consensuais* (McComas et al., 1998); *semelhança familiar* (Irzik & Nola, 2011); *temas e questões* (Martins, 2015); *whole science* (Allchin, 2011, 2017); *characteristics of science* (Matthews, 2012, 2018); *asserções comentadas* (Peduzzi & Raicik, 2020) e das críticas proferidas à visão consensual relativas aos saberes da NdC, este artigo contribui com *uma nova perspectiva, isto é, de vínculos epistemológicos entre saberes da NdC e o conteúdo da histórica conceitual da ciência*, mediante contextualização histórico-filosófica das perguntas da ciência que fomentaram o seu progresso científico cognitivo.

É importante sinalizar, também, que, frente às críticas sobre o infrutífero ou pouco produtivo ensino dos saberes da NdC como declarações afirmativas (Peduzzi & Raicik, 2020); os riscos inerentes ao problema de promover uma aprendizagem estudantil, cuja visão de ciência seja simplista ou generalista demais (Hodson & Wong, 2017); a ideia de que tais saberes são frutos de um consenso pautado em razões puramente pragmáticas, sem claro fundamento robusto capaz de justificar suas escolhas (Allchin, 2017; Garcia & Camillo, 2021); ou ainda, que tais saberes espelham uma ideia muito monolítica da ciência (Irzik & Nola, 2011); a proposta de vínculos epistemológicos permite que tais saberes sejam compreendidos a partir de uma *visão histórico-filosófica pragmática*, que espelha o mais profundo aspecto do espírito e da prática científica, quando iluminado pela *visão epistemológica da solução de problemas da ciência de Larry Laudan*.

Por exemplo, frente à crítica relativa à ideia de que o consenso sobre esses saberes “falha em refletir a prática científica contemporânea e a natureza excessivamente simplificada, algumas vezes confusas, frequentemente enganosa, muitas vezes inútil e filosoficamente ingênua” (Hodson & Wong, 2017, p. 7), de alguns saberes que compõem a lista dita consensual, destaca-se que cada um desses oito saberes da NdC, definidos como *conhecimentos metacientíficos*, é contemplado por uma *compreensão crítica do funcionamento interno da ciência*, especialmente, no que diz respeito aos aspectos metodológicos da historiografia moderna (Cruz, 2006; Martins, 2004). Além disso, pelo contrário da crítica relativa à sua função simplista/inútil para compreender a prática científica e/ou filosoficamente ingênua, esta proposta revela como o desenvolvimento cognitivo da ciência, marcado pela solução de problemas, encontra-se implicado pela validade epistemológica desses saberes. Por exemplo, como princípios metafísicos, especialmente, no contexto da tradição de pesquisa grega antiga, materializados pelos compromissos metodológicos e ontológicos que estabeleceram as diretrizes da prática da astronomia e da cosmologia, frente às perguntas da ciência que ditaram os rumos do desenvolvimento do pensamento científico ocidental.

Com efeito, no próximo artigo, procura-se fundamentar, ainda mais, esta nova perspectiva, ampliando essas considerações parciais, a partir de suas implicações para o ensino de ciências/física, na direção da pergunta: Por que ensinar sobre a natureza da ciência? Especialmente, discutindo a validade epistemológica de mais um conjunto de saberes da NdC (seis) que estão implicados por fatores internos e externos à ciência, que marcaram tanto o advento da astronomia copernicana quanto o nascimento da ciência moderna nos séculos XVI e XVII. Espera-se, também, no terceiro e último artigo desta série, permitir que as leitoras e os leitores continuem conhecendo a narrativa historiográfica desenvolvida na tese, mergulhando na história conceitual da astronomia, da cosmologia e da física, instrumentalizados pelas perguntas assinaladas no final da seção anterior.

Agradecimentos

A Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento da pesquisa. E aos avaliadores pelas pertinentes sugestões críticas que visam substanciar a publicação deste trabalho.

Referências

- Aaboe, A. (1958). On Babylonian Planetary Theories. *Centaurus*, 5(3–4), 209–277. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1600-0498.1958.tb00499.x>
- Abd-El-Khalick, F. (2012). Examining the sources for our understanding about science: Enduring conflation and critical issues in research on nature of science in science education. *International Journal of Science Education*, 34(3), 353–374. <https://doi.org/10.1080/09500693.2011.629013>
- Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., & Lederman, N. G. (1998). The Nature of Science and Instructional Practice: Making the Natural. *Science Education*, 82(4), 417–436. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(199807\)82:4<417::AID-SCE1>3.0.CO;2-E](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(199807)82:4<417::AID-SCE1>3.0.CO;2-E)
- Aiton, E. J. (1981). Celestial Spheres and circles. *History of Science*, 19(2), 75–114. <https://doi.org/10.1177/007327538101900201>
- Allchin, D. (2017). Beyond the consensus view: Whole Science. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 17(1), 18–26. <https://doi.org/10.1080/14926156.2016.1271921>
- Allchin, D. (2011). Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. *Science Education*, 95(3), 518–542. <https://doi.org/10.1002/sce.20432>
- Bachelard, G. (1996). *A formação do espírito científico: Contribuição para uma psicanálise do conhecimento*. Contraponto.
- Barros, J. A. (2019). *Fontes Históricas: Introdução aos seus usos historiográficos*. Vozes.

Batista, C. A. S. (2020). *Um mergulho na história conceitual da astronomia, da cosmologia e da física à luz da solução de problemas laudanianos: dos babilônios à gravitação universal newtoniana* (Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina). Repositório Institucional da UFSC. <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/219562>

Batista, C. A. S., & Peduzzi, L. O. Q. (09–13 de Novembro, 2020). *A origem dos problemas empíricos astronômicos no longo contexto investigativo da tradição de pesquisa grega*. XVIII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (EPEC), Florianópolis, Santa Catarina.

Batista, C. A. S., & Peduzzi, L. O. Q. (27 de Setembro–01 de Outubro, 2021). *Aspectos da NdC articulados com a história conceitual da astronomia, da cosmologia e da física: da Grécia antiga ao nascimento da ciência moderna no século XVII*. XIII Encontro de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC), On-line.

Batista, C. A. S., & Peduzzi, L. O. Q. (2019). Concepções epistemológicas de Larry Laudan: uma ampla revisão bibliográfica nos principais periódicos brasileiros do ensino de ciências e ensino de física. *Investigações em Ensino de Ciências*, 24(2), 38–55. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2019v24n2p38>

Bejarano, N. R. R., Aduriz-Bravo, A., & Bonfim, C. S. (2019). Natureza da Ciência (NOS): para além do consenso. *Ciência & Educação*, 25(4), 967–982. <https://doi.org/10.1590/1516-731320190040008>

Bordoni, A. J., Takahashi, D. A. G., Calixto, V. S., Silveira, M. P., & Kiouranis, N. M. M. (03–06 de Julho, 2017). *Reflexões acerca do uso do termo Pensamento Crítico em trabalho publicados nos anais do X ENPEC*. XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciência (ENPEC), Florianópolis, Santa Catarina.

Bunge, M. (1980). *Ciências e Desenvolvimento*. Editora da Universidade de São Paulo.

Cachapuz, A., Gil Pérez, D., Carvalho, A. M., & Vilches, A. (2005). *A Necessária Renovação do Ensino de Ciências*. Cortez.

Chevallard, Y. (1991). *La Transposición Didáctica: Del saber sabio al saber enseñado*. La Pensée Sauvage.

Clough, M. P. (2008). Teaching the Nature of Science to Secondary and Post-Secondary Students: Questions Rather Than Tenets. *California Journal of Science Education*, 8(2), 31–40. <http://pantaneto.co.uk/teaching-the-nature-of-science-to-secondary-and-post-secondary-students-questions-rather-than-tenets-michael-clough/>

Cordeiro, M. D., & Peduzzi, L. O. Q. (2016). Valores, métodos e evidências: objetividade e racionalidade na descoberta da fissão nuclear. *Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, 9(1), 235–262. <https://doi.org/10.5007/1982-5153.2016v9n1p235>

Costa, S. L. R., Bortoloci, N. B., Broietti, F. C., Vieira, R. M., & Tenreiro-Vieira, C. (2021). Pensamento Crítico no Ensino de Ciências e Educação Matemática: Uma revisão bibliográfica sistemática. *Investigações em Ensino de Ciências*, 26(1), 145–168. <http://dx.doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2021v26n1p145>

- Cruz, N. R. (2006). História e Historiografia da Ciência: considerações para pesquisa histórica em análise do comportamento. *Revista Brasileira de Terapia Comportamental e Cognitiva*, 8(2), 161–178. <http://pepsic.bvsalud.org/pdf/rbtcc/v8n2/v8n2a05.pdf>
- Dal Magro, T. (2013). Critério de decisão entre hipóteses científicas Rivais: Kuhn, Lakatos e Laudan. *Cognitio-Estudos*, 10(2), 174–190. <https://revistas.pucsp.br/index.php/cognitio/article/view/12701/13259>
- Delizoicov, D., Angotti, J. A., & Pernambuco, M. M. (2002). *Ensino de ciências: fundamentos e métodos*. Cortez.
- Dreyer, J. L. E. (1953). *A history of astronomy from Thales to Kepler*. Dove Publications.
- Driver, R. H., Leach, J., Millar, R., & Scott, P. (1996). *Young people's images of science*. Open University Press.
- Évora, F. R. R. (1993). *A Revolução Copernicana-Galileana: Astronomia e Cosmologia Pré-Galileana*. Editora da Universidade de Campinas.
- Ferreira, L. N. A., & Queiroz, S. L. (2012). Perguntas elaboradas por graduandos em química a partir da leitura de textos de divulgação científica. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 12(1), 139–160. <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4223>
- Freire, P., & Faundez, A. (1985). *Por uma pedagogia da pergunta*. Paz e Terra.
- Garcia, J. O., & Camillo, J. (2021). Contribuições para o Debate em torno dos Aspectos Consensuais em Natureza da Ciência a partir da Teoria da Atividade Cultural-Histórica. *Alexandria: Revista em Educação Científica e Tecnológica*, 14(2), 225–243. <https://doi.org/10.5007/1982-5153.2021.e75663>
- Gil Pérez, D., Montoro, I. F., Alís, J. C., Cachapuz, A., & Praia, J. (2001). Para uma imagem não deformada do trabalho científico. *Ciência & Educação*, 7(2), 125–153. <https://doi.org/10.1590/S1516-73132001000200001>
- Güllich, R. I. C., & Vieira, R. M. (2019). Formação de Professores de Ciências para a Promoção do Pensamento Crítico no Brasil: Estado da Arte. *Ensino de Ciências e Tecnologias em Revista*, 9(2), 17–26. <http://dx.doi.org/10.31512/encitec.v9i2.2243>
- Gurgel, I. (2020). Reflexões Político-Curriculares sobre a Importância da História das Ciências no Contexto da Crise da Modernidade. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 37(2), 333–350. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2020v37n2p333>
- Guridi, V., Salinas, J., & Villani, A. (2006). Contribuciones de la epistemología de Laudan para la comprensión de concepciones epistemológicas sustentadas por estudiantes secundarios de física. *Investigações em Ensino de Ciências*, 11(1), 97–117. <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/506/305>
- Hegel, G. W. F. (1978). Crítica Moderna. In J. C. Souza (Org.), *Os pré-socráticos: Fragmentos, doxografia e comentários* (pp. 198–207). Abril Cultural.

- Hodson, D., & Wong, S. L. (2017). Going Beyond the Consensus View: Broadening and Enriching the Scope of NOS-Oriented Curricula. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 17(1), 3–17. <http://dx.doi.org/10.1080/14926156.2016.1271919>
- Huang, X., Lederman, N. G., & Cai, C. (2017). Improving Chinese Junior High School Students' Ability to Ask Critical Questions. *Journal of Research in Science Teaching*, 54(8), 963–987. <https://doi.org/10.1002/tea.21390>
- Huffman, A. C. (1993). *Philolaus of Croton: Pythagorean and Presocratic*. New York, United States of America: Cambridge University Press.
- Irzik, G., & Nola, R. (2011). A family resemblance approach to the nature of Science for Science education. *Science & Education*, 20, 591–607. <https://doi.org/10.1007/s11191-010-9293-4>
- Jammer, M. (2010). *Conceitos de espaço: A história das teorias do espaço na física*. Contraponto.
- Kimball, M. E. (1967). Understanding the nature of science: A comparison of scientists and science teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 5(2), 110–120. <https://doi.org/10.1002/tea.3660050204>
- Koch, A., & Eckstein, S. G. (1991). Improvement of reading comprehension of physics texts by students' question formulation. *International Journal of Science Education*, 13(4), 473–485. <https://doi.org/10.1080/0950069910130410>
- Koestler, A. (1989). *O Homem e o Universo: Como a concepção do universo se modificou através dos tempos*. Ibrasa.
- Kuhn, T. S. (2011). *A tensão essencial*. Editora da Unesp.
- Kuhn, T. (1990). *A revolução copernicana: a astronomia planetária no desenvolvimento do pensamento ocidental*. Edições 70.
- Lacey, H. (1998). *Valores e atividade científica*. Discurso Editorial.
- Latour, B. (2020). *Onde aterrar?* Bazar do Tempo.
- Latour, B. (2000). *Ciência em ação: como seguir cientistas e engenheiros sociedade afora*. Editora da Unesp.
- Laudan, L. (2011). *O Progresso e seus Problemas: rumo a uma teoria do crescimento científico*. Editora da Unesp.
- Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., & Schwartz, R. S. (2002). Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 497–521. <https://doi.org/10.1002/tea.10034>
- Linton, C. M. (2004). *From Eudoxus to Einstein: A History of Mathematical Astronomy*. Cambridge University Press.

- López, S., Veit, E. A., & Araújo, I. S. (2014). La Formulación de Preguntas en el Aulas de Clase: una evidencia de aprendizaje significativo crítico. *Ciência & Educação*, 20(1), 117–132. <http://dx.doi.org/10.1590/1516-731320140010007>
- Machado, V. F., & Sasseron, L. H. (2012). As perguntas em aulas investigativas de Ciências: a construção teórica de categorias. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 12(2), 29–44. <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4229>
- Marín, N., Benarroch, A., & Niaz, M. (2013). Revisión de consensos sobre la naturaleza de la ciencia. *Revista de Educación*, 36, 117–140. <http://10.4438/1988-592X-RE-2011-361-137>
- Martins, A. F. P. (2015). Natureza da Ciência no ensino de ciências: uma proposta baseada em “temas” e “questões”. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 32(3), 703–737. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2015v32n3p703>
- Martins, R. A. (2004). Ciência versus historiografia: os diferentes níveis discursivos nas obras sobre história da ciência. In A. M. A. Goldfarb, & M. H. R. Beltran (Orgs.), *Escrevendo a história da ciência: tendências, propostas e discussões historiográficas* (pp. 115–147). EDUC/Livraria da Física/Fapesp.
- Martins, R. A. (1990). *Commentariolus: Pequeno comentário de Nicolau Copérnico sobre suas próprias hipóteses acerca dos movimentos celestes*. Nova Stella.
- Matthews, M. R. (2018). The Nature of Science and Science Teaching. In M. R. Matthews, (Ed.), *Science Teaching: The Contribution of History and Philosophy of Science* (pp. 387–411). Routledge.
- Matthews, M. R. (2012). Changing the focus: from nature of science to features of science. In M. S. Khine (Ed.), *Advances in nature of science research* (pp. 3–26). Springer.
- Matthews, M. R. (1997). Editorial. *Science & Education*, 6(4), 323–329. <https://doi.org/10.1023/A:1008627112693>
- McComas, W. F., Clough, M. P., & Almazroa, H. (1998). The Role and Character of the Nature of Science in Science Education. In W. F. McComas (Eds.), *The Nature of Science in Science Education* (pp. 3–39). Springer. https://doi.org/10.1007/0-306-47215-5_1
- McComas, W. F., & Olson, J. K. (1998). The Nature of Science in International Science Education Standards Documents. In W. F. McComas (Ed.), *The Nature of Science in Science Education: Rationales and Strategies* (pp. 41–52). The Netherlands.
- Mendonça, P. C. C. (2020). De que Conhecimento sobre a Natureza da Ciência Estamos Falando?. *Ciência & Educação*, 26, e20003, 1–16. <https://doi.org/10.1590/1516-731320200003>
- Moreira, M. A. (2021). Desafios no ensino de física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 43(suppl. 1), e20200451, 1–8. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0451>

- Moreira, M. A., & Massoni, N. T. (2011). *Epistemologias do século XX*. Pedagógica Universitária.
- Mortimer, E. F. (1996). Construtivismo, Mudança Conceitual e Ensino de Ciências: para onde vamos?. *Investigações em Ensino de Ciências*, 1(1), 20–39. <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/645>
- Moura, C. B. (2019). O Ensino de Ciências e a Justiça Social - questões para o debate. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 36(1), 1–7. <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2019v36n1p1>
- Moura, B. A. (2014). O que é a natureza da Ciência e qual sua relação com a história e a Filosofia da Ciência?. *Revista Brasileira de História da Ciência*, 7(1), 32–46. https://www.sbh.org.br/arquivo/download?ID_ARQUIVO=1932
- Neugebauer, O. (1983). *Astronomy and history selected essays*. Springer-Verlag.
- Neugebauer, O., & Sachs, A. (1968). Some Atypical Astronomical Cuneiform Texts, II. *Journal of Cuneiform Studies*, 22(4), 92–113. <https://doi.org/10.2307/1359125>
- Nickles, T. (2017). Historicist Theories of Scientific Rationality. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. <https://plato.stanford.edu/entries/rationality-historicist/#HistConcRatiBattBigSyst>
- Nietzsche, F. (2011). *A filosofia na época trágica dos gregos*. L&PM.
- Ostermann, F., Cavalcanti, C. J. H., Ricci, T. F., & Prado, S. D. (2008). Tradição de pesquisa quântica: uma interpretação na perspectiva da epistemologia de Larry Laudan. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 7(2), 336–386. <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/94531/000672710.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ovando, M. M., & Cudmani, L. C. (2004). Primeros resultados de una experiencia piloto sobre enseñanza de la física en carreras de ingeniería agronómica. *Investigações em Ensino de Ciências*, 9(3), 223–242. <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/527>
- Paula, H. F., & Castro, M. E. C. (2010). Formulação de questões e mediação da leitura. *Investigação em Ensino de Ciências*, 15(3), 429–461. <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/257>
- Pedersen, O. (1993). *Early Physics and Astronomy: A Historical Introduction*. Cambridge University Press.
- Peduzzi, L. O. Q. (2018). *Força e movimento: de Thales a Galileu*. <https://evolucaodosconceitos.wixsite.com/historia-da-ciencia/textos>
- Peduzzi, L. O. Q., & Raicik, A. (2020). Sobre a natureza da ciência: asserções comentadas para uma articulação com a história da ciência. *Investigações em Ensino de Ciências*, 25(2), 19–55. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2020v25n2p19>

- Pesa, M., & Ostermann, F. (2002). La ciencia como actividad de resolución de problemas: la epistemología de Larry Laudan y algunos aportes para las investigaciones educativas en ciencias. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 19(esp), 84–99. <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/10056/>
- Pietrocola, M. (Org.). (2006). *Ensino de física: conteúdo, metodologia e epistemologia em uma concepção integrada*. Editora da UFSC.
- Porto, A. M. (2020). A Revolução Copernicana: aspectos históricos e epistemológicos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 42, e20190190, 1–20. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2019-0190>
- Raicik, A. C. (2020). Galvani, Volta e os experimentos cruciais: a emblemática controvérsia da eletricidade animal. *Investigações em Ensino de Ciências*, 25(1), 358–383. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2020v25n1p358>
- Raicik, A. C., & Angotti, J. A. P. (2019). A escolha teórica em controvérsias científicas: valores e seus juízos à luz de concepções kuhnianas. *Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, 12(1), 331–349. <https://doi.org/10.5007/1982-5153.2019v12n1p331>
- Salinas, S. R. A. (2005). Einstein e a teoria do movimento browniano. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 27(2), 263–269. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172005000200013>
- Santos, W. L. P., & Auler, D. (2011). *CTS e educação científica: desafios, tendências e resultados de pesquisas*. Editora Universidade de Brasília.
- Santos, S., & Infante-Malachias, M. E. (2008). Interdisciplinaridade e Resolução de Problemas: algumas questões para quem forma futuros professores de ciências. *Educação & Sociedade*, 29(103), 557–579. <https://doi.org/10.1590/S0101-73302008000200013>
- Sasseron, L. H., & Carvalho, A. M. P. (2011). Alfabetização científica: uma revisão bibliográfica. *Investigação em Ensino de Ciências*, 16(1), 59–77. <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/246/172>
- Silva, C. C. (Org.). (2006). *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino*. Livraria da Física.
- Silva, J. M., & Lima, J. A. S. (2007). Quatro abordagens para o movimento browniano. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 29(1), 25–35. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172007000100007>
- Tenreiro-Vieira, C., & Vieira, R. M. (2013). Literacia e pensamento crítico: um referencial para a educação em ciências e em matemática. *Revista Brasileira de Educação*, 18(52), 163–242. <https://doi.org/10.1590/S1413-24782013000100010>
- Tort, A. C., & Nogarol, F. (2013). Revendo o debate sobre a idade da Terra. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 35(1), 1603–1609. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172013000100026>

- Tossato, C. R. (2004). Carta de Tycho a Johannes Kepler em Graz. *Scientiæ Studia*, 2(4), 567–574. <https://doi.org/10.1590/S1678-31662004000400006>
- Vázquez-Alonso, A., Manassero-Mas, M. A., Acevedo-Díaz, J. A., & Acevedo-Romero, P. (2008). Consensos sobre a Natureza da Ciência: A Ciência e a Tecnologia na Sociedade. *Química Nova na Escola*, (27), 34–50. <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc27/07-ibero-6.pdf>
- Villani, A., Barolli, E., Cabral, T. C. B., Fagundes, M. B., & Yamazaki, S. C. (1997). Filosofia da ciência, história da ciência e psicanálise: Analogias para o ensino de Física. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 14(1), 37–55. <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/7039>
- Villani, A. (1992). Conceptual change in science and science education. *Science Education*, 76(2), 223–237. <https://doi.org/10.1007/BF00869953>
- Watanabe, G. (2022). Estado, Escola e Democracia: desafios para o ensino de ciências. *Cadernos Brasileiro de Ensino de Física*, 39(1), 1–9. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2022.e86480>

 **Carlos Alexandre dos Santos Batista**

Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Vitória da Conquista, Bahia, Brasil
carlos.batista@uesb.edu.br

 **Luiz O. Q. Peduzzi**

Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis, Santa Catarina, Brasil
luizpeduzzi@gmail.com

Editora Responsável

Márcia Gorette Lima da Silva

Manifestação de Atenção às Boas Práticas Científicas e de Isenção de Interesse

Os autores declaram ter cuidado de aspectos éticos ao longo do desenvolvimento da pesquisa e não ter qualquer interesse concorrente ou relações pessoais que possam ter influenciado o trabalho relatado no texto.
