



**CONTEXTUALIZANDO CONTEÚDOS CIENTÍFICOS FUNDAMENTAIS À COMPREENSÃO
DOCENTE E ESTUDANTIL DA RELAÇÃO TERRA-UNIVERSO SOB ALENTE EPISTEMOLÓGICA DA
SOLUÇÃO DE PROBLEMAS DE LARRY LAUDAN**

*Contextualizing Scientific Content Fundamental to the Teacher and Student Understanding of the
Earth-Universe Relationship under the Epistemological Lens of Larry Laudan's Problem Solving*

Carlos Alexandre dos Santos Batista [casbatistauesc@gmail.com]
*Programa de Pós-graduação em Educação Científica e Tecnológica
Universidade Federal de Santa Catarina
Trindade, s/n. Florianópolis, Santa Catarina, Brasil*

Luiz Orlando de Quadro Peduzzi [luizpeduzzi@gmail.com]
*Programa de Pós-graduação em Educação Científica e Tecnológica
Universidade Federal de Santa Catarina
Trindade, s/n. Florianópolis, Santa Catarina, Brasil*

Resumo

Este artigo apresenta uma contextualização histórico-filosófica sobre alguns conteúdos científicos fundamentais para a compreensão docente e estudantil da relação Terra-Universo. Suas justificativas encontram-se nos benefícios que a visão epistemológica de Larry Laudan tem proporcionado para o ensino de ciências/física, especialmente, na fundamentação das investigações acadêmico-científicas de questões relativas ao processo de ensino-aprendizagem, em todos os níveis de ensino. Fundamentando-se nesse referencial, particularmente, nos seus conceitos de problemas empíricos, problemas conceituais e de tradição de pesquisa, este trabalho propicia uma ressignificação histórico-filosófica de alguns conteúdos científicos da astronomia, da cosmologia e da física, considerados essenciais à compreensão docente e estudantil da relação Terra-Universo. Esses conteúdos são: a confecção de calendários, as distâncias orbitais dos planetas, as fases da Lua, as estações do ano, o fenômeno do dia e da noite, o movimento de rotação da Terra, os modelos cosmológicos, o movimento de translação dos planetas e a gravidade. Como resultado, essa contextualização histórico-filosófica pode contribuir para a superação dos problemas relativos: às concepções de senso comum; à correção dos erros conceituais encontrados nos livros didáticos da educação básica; bem como na construção do saber docente do conteúdo disciplinar da história conceitual da ciência, mediante uma viagem prazerosa pela história da ciência. Portanto, defende-se que somente um diálogo contínuo com os resultados de pesquisas, integrado com uma atenta vigilância epistemológica, educacional, didática e pedagógica, sobre o processo de ensino-aprendizagem; com a mediação da construção do conhecimento disciplinar, dentre outros; e uma apropriada transposição didática dos conteúdos científicos para os livros didáticos da educação básica; torna possível o trabalho efetivo em prol de uma substantiva melhoria da educação e do progresso do ensino de ciências.

Palavras-Chave: Ensino de Ciências; História e Filosofia da Ciência; História Conceitual da Ciência.

Abstract

This article presents a historical-philosophical contextualization of some fundamental scientific contents for the understanding of teachers and students of the Earth-Universe relationship. Its justifications are found in the benefits that Larry Laudan's epistemological view has provided for the teaching of science/physics, especially in the foundation of academic-scientific investigations of issues related to the teaching-learning process, at all levels of education. Based on this framework, particularly on its concepts of empirical problems, conceptual problems, and research tradition, this work provides a historical-philosophical reinterpretation of some scientific contents of astronomy, cosmology, and physics, considered essential to the understanding of teaching and student of the Earth-Universe relationship. These contents are the making of calendars, the

orbital distances of the planets, the phases of the Moon, the seasons, the phenomenon of day and night, the rotational movement of the Earth, cosmological models, the translational movement of the planets, and gravity. As result, this historical-philosophical contextualization can contribute to overcoming the problems related to common sense conceptions; correction of conceptual errors found in basic education textbooks; as well as in the construction of teaching knowledge of the disciplinary content of the conceptual history of science, through a pleasurable journey through the history of science. Therefore, it is defended that only a continuous dialogue with the research results, integrated with an attentive epistemological, educational, didactic, and pedagogical vigilance about the teaching-learning process; with the mediation of the construction of disciplinary knowledge, among others; and an appropriate didactic transposition of scientific contents to basic education textbooks; makes possible effective work towards a substantial improvement in education and the progress of science teaching.

Keywords: Science Education; History and Philosophy of Science; History Conceptual of Science.

INTRODUÇÃO

Este artigo apresenta uma contextualização histórico-filosófica sobre alguns conteúdos científicos fundamentais para a compreensão docente e estudantil da relação Terra-Universo. Suas justificativas encontram-se nos benefícios que a história e a filosofia da ciência, sem excluir a sociologia da ciência, têm proporcionado para a educação científica e tecnológica, em todos os níveis de ensino. Dentre os quais se destacam: a ressignificação dos conteúdos científicos — o foco deste trabalho —; a promoção do pensamento crítico sobre a natureza da ciência, no currículo escolar e na sala de aula; e a elaboração, implementação e avaliação de estratégias didáticas alternativas ao “*modus operandi*” do ensino tradicional. (Gil-Pérez, Montoro, Alís, Cachapuz, & Praia, 2001; Silva, 2006; Clough, 2008; Santos & Infante-Malachias, 2008; Teixeira, Freire Jr., & El-Hani, 2009; Forato, Pietrocola, & Martins, 2011; Junior, Cunha, & Laranjeiras, 2012; Moura, 2014; Martins, 2015; Jardim & Guerra, 2017; Matthews, 2018, Mendonça, 2020; Peduzzi & Raicik, 2020; Batista & Peduzzi, 2021).

Coadunando com a importância da ressignificação dos conteúdos científicos, a literatura e os documentos oficiais da educação brasileira apontam que a compreensão da relação Terra-Universo é um dos objetivos fundamentais da aprendizagem em ciências da natureza. Nesse sentido, pressupõe-se que o ensino de temas inerentes a essa relação pode contribuir com a construção de uma visão de mundo mais crítica e significativa. Visto que a ação cognitiva estudantil para conhecer, compreender, aplicar, analisar e avaliar a função das leis, modelos, princípios e teorias científicas, enquanto instrumentos intelectuais da ciência, elaborados para solucionar problemas de diferentes naturezas, também perpassam pelo desenvolvimento de competências, habilidades e de valores afetivos, sociais, éticos e afins (Anderson, Krathwohl, Airasian, Cruikshank, Mayer, Pintrich, Raths, & Wittrock, 2001; MEC, 2002, 2006, 2010, 2018; Langhi & Nardi, 2007, 2014; Laudan, 2011; Lameu & Langhi, 2018; Souza & Azevedo Filho, 2021).

Nessa direção, a contextualização histórica da ciência desempenha um papel imprescindível na superação da simples exemplificação desses constructos científicos, tradicionalmente, ensinados nas aulas de ciências; no preenchimento das lacunas associadas aos problemas conceituais, históricos e filosóficos, encontrados nas abordagens de tais conteúdos, especialmente, nos livros didáticos do ensino fundamental e ensino médio (Langhi & Nardi, 2007; Amaral & Oliveira, 2011; Souza & Azevedo Filho, 2021); no auxílio da superação de concepções de senso comum, sobre esses temas, compartilhadas por docentes e estudantes da educação básica (Langhi & Nardi, 2007; Iachel, Langhi, & Scalvi, 2008; Micha, 2018; Lago, Ortega, & Mattos, 2019); e na essencial construção do saber docente disciplinar relativo ao conteúdo da história conceitual da ciência, especialmente, da astronomia, da cosmologia e da física (Santos & Infante-Malachias, 2008; Prado & Nardi, 2020).

Em relação aos erros conceituais nos livros didáticos do ensino fundamental, Langhi e Nardi (2007, p. 91) destacam vários problemas ligados aos conteúdos sobre: “*as estações do ano; a Lua e suas fases; os movimentos e a inclinação da Terra; representação de constelações (...) e os aspectos de ordem histórica e filosófica relacionados com Astronomia*”. Nessa mesma esfera de ensino, Amaral e Oliveira (2011, p. 53), analisando livros aprovados pelo Plano Nacional do Livro Didático PNLD/2008, constataram, como problemas, que, “*informações imprecisas e/ou desatualizadas, além de inadequadas de caráter conceitual e pedagógico, podem prejudicar o processo de ensino-aprendizagem*”.

Para a instância do ensino médio, Souza e Azevedo Filho (2021) apontam a ausência da abordagem de muitos conteúdos de astronomia e de cosmologia nos livros de física aprovados pelo Plano Nacional do Livro Didático (PNLD), triênio 2018 – 2020. Esses autores assinalam que, em relação à quantidade de conteúdos, não existe consonância com as diretrizes dos próprios documentos oficiais. Por exemplo, em algumas obras, quando analisadas sob a perspectiva do eixo temático, “*O Universo e Sua Origem*”, “*cinco das doze coleções estudadas não trazem teorias que explicam o surgimento do universo e desenvolvimento do cosmos*” (Souza & Azevedo Filho, 2021, p. 76). Da mesma forma, destacam que, para o eixo “*Compreensão Humana do Universo*”, “*três exemplares não abordam as explicações sobre a origem do cosmos na perspectiva de diferentes povos e culturas*”. Denotando, com isso, um problema que “*compromete a aprendizagem de leis e teorias científicas específicas de Física e/ou o entendimento das causas e consequências de determinados fenômenos naturais*” (Souza & Azevedo Filho, 2021, p. 77).

No que concerne às concepções alternativas, isto é, de senso comum, compartilhadas por estudantes e docentes da educação básica, Langhi e Nardi (2007) apontam os seguintes problemas:

“(...) as diferenças entre as estações do ano são causadas devido à distância da Terra em relação ao Sol; interpretação das fases da Lua como eclipses lunares semanais; possuem uma visão geocêntrica do Universo; colocam estrelas entre os planetas do Sistema Solar; desconhecem o movimento aparente das estrelas no céu com o passar das horas, incluindo o movimento circular das mesmas no polo celeste; associam a presença da Lua exclusivamente ao céu noturno, admirando-se do seu aparecimento durante certos dias em plena luz do Sol; associam a existência da força de gravidade com a presença de ar, acreditando-se que só existe gravidade onde houver ar ou alguma atmosfera”. (Langhi & Nardi, 2007, p. 102)

Considerando que esses problemas são compartilhados também por estudantes do ensino médio, pode-se afirmar que eles constituem um grande obstáculo epistemológico para o processo de ensino-aprendizagem (Iachel, Langhi, & Scalvi, 2008; Micha, 2018). Por exemplo, ao estudar especificamente as concepções de estudantes sobre as fases da Lua, Lago, Ortega e Mattos (2019, p. 242) apontam como razões para a incompreensão desse fenômeno celeste, os seguintes obstáculos:

“aspectos dos próprios fenômenos”, ao exigir, “um modelo com elevada abstração”; “aspectos situados nos próprios sujeitos”, isto é, “falta de habilidades espaciais ou de raciocínio tridimensional”; “baixa maturidade cognitiva ou a existência de crenças pessoais que atrapalham a modelização”; “falta de conhecimentos prévios e confusão com outros conceitos”; “complexa elaboração linguística e semântica da explicação verbal do fenômeno”; e/ou, “inadequação de artefatos culturais como diagramas, livros didáticos ou a prática escolar (...) que congrega aspectos situados na mediação do ensino”. (Lago, Ortega, & Mattos, 2019, p. 242)

Sobre a construção do saber docente disciplinar relativo ao conteúdo da história conceitual da ciência, Prado e Nardi (2020), ao ministrarem um curso de extensão em Astronomia voltado para professores da educação básica (pedagogos e licenciados afins), constataram que os professores participantes mobilizaram diferentes saberes docentes, sendo o mais recorrente o saber disciplinar. Nesse sentido, parafraseando Carvalho e Gil-Pérez (2011), Prado e Nardi (2020) apontam para a importância da história da ciência e o seu papel essencial para a instrumentalização docente mediante a construção desse saber. Acerca disso,

“(...) o conhecimento do conteúdo a ser ensinado aos alunos deve se fundamentar em aspectos mais profundos, desde a história das Ciências, associando-os com os problemas que lhe deram origem e, conseqüentemente, relacioná-los às orientações metodológicas empregadas na construção de tais conhecimentos” (Prado & Nardi, 2020, p. 104).

Acerca do papel desempenhado pela história da ciência, Santos e Infante-Malachias (2008) afirmam que o conhecimento disciplinar impacta significativamente sobre a prática didática das futuras professoras e dos futuros professores do ensino de ciências.

Para o caso do ensino de astronomia, de cosmologia e de física, essas autoras destacam que a história da ciência, especialmente, convida as/os estudantes e as/os docentes para: “*uma verdadeira viagem no tempo, de modo a aprender, no contexto histórico, como surgem e são refutadas as teorias científicas*” (Santos & Infante-Malachias, 2008, p. 564). Mas também, nesta viagem, “*tanto passageiros quanto*

condutores” podem “tratar do nascimento da ciência moderna pela leitura de ‘O método de Descartes’”; da mesma forma, “estudar as leis do movimento desenvolvidas por Newton, bem como os fundamentos do cálculo” (Santos & Infante-Malachias, 2008, p. 565).

Por conseguinte, ao analisar os documentos oficiais da educação brasileira, Lameu e Langhi (2018) destacam que alguns assuntos e/ou temas são muito relevantes para o ensino-aprendizagem da relação Terra-Universo, a saber: o sistema solar, o planeta Terra, o movimento de rotação terrestre, os fenômenos do dia e a da noite, o movimento de translação dos planetas, as estações do ano, os modelos cosmológicos geocêntricos e heliocêntricos, os pontos cardeais, a construção de calendários, o relógio solar, as fases da Lua, a esfera celeste, as constelações, as distâncias entre os corpos celestes, a gravidade e as galáxias.

Portanto, considerando a relevância desses conteúdos científicos como saberes a ensinar, na instância da educação básica; os problemas das concepções de senso comum que interferem no processo de ensino-aprendizagem; e dos erros conceituais, didáticos e pedagógicos em suas abordagens nos livros didáticos; este trabalho procura contribuir com uma ressignificação histórico-filosófica desses conteúdos, fundamentando-se na visão epistemológica da ciência, como uma atividade de solução de problemas, de Larry Laudan (2011).

Nessa perspectiva, é importante, inicialmente, destacar que, mais amplamente, a visão epistemológica de Laudan está compreendida em diversas obras publicadas entre os anos de 1977 a 1997, traduzidas para diferentes idiomas (chinês, francês, italiano, japonês, russo, espanhol e português). Contudo, a sua primeira, “*Progress and its problems: towards a theory of scientific growth*” (1977) — O progresso e seus problemas: rumo a uma teoria do conhecimento científico — é considerada a mais importante (Dal Magro, 2013; Ostermann, Cavalcanti, Ricci, & Prado, 2008). Com outros filósofos e historiadores da ciência, Laudan integra o grupo denominado “*historicistas da racionalidade*” (Pesa & Ostermann, 2002; Nickles, 2017), cujas visões epistemológicas foram desenvolvidas a partir dos finais dos anos de 1950, em oposição, histórico-crítica, às visões filosóficas da ciência pertencentes ao grupo denominado “*tendência racionalista analítica*”, construídas no âmbito da corrente filosófica do “*positivismo lógico*” (Bombassaro, 1992).

Com efeito, as contribuições de Laudan para fundamentar as investigações acadêmico-científicas no campo do ensino de ciências, também, perpassam pela instância do “*eixo da conceitualização*”, que é considerado elemento básico do desenvolvimento cognitivo estudantil no processo de ensino-aprendizagem (Piaget, 2007; Moreira, 2011). Especificamente, a visão de ciência de Laudan permite a exploração de questões associadas, respectivamente: aos estudos sobre as concepções epistemológicas estudantis (Guridi, Salinas, & Villani, 2006); aos aprofundamentos do tema mudança conceitual mediante produção de analogias e metáforas (Villani, Barolli, Cabral, Fagundes, & Yamazaki, 1997); aos aperfeiçoamentos dos modelos de aprendizagem conceitual, inicialmente, fundamentados nas epistemologias de Kuhn, Bachelard, Toulmin (Villani, 1992; Mortimer, 2002); à construção de um modelo curricular, como guia da prática docente em nível superior (Ovando & Cudmani, 2004) e; à exploração de episódio histórico da ciência moderna, como evidência da racionalidade e objetividade da ciência (Cordeiro & Peduzzi, 2016).

Por fim, para melhor orientar sua leitura, este trabalho está organizado com as seguintes seções: (i) os fundamentos da visão epistemológica da ciência como uma atividade de solução de problemas; (ii) a contextualização histórico-filosófica de alguns assuntos e/ou temas citados, mediante operacionalização dos conceitos de problemas empíricos e de tradição de pesquisa laudanianos, no âmbito da história conceitual da astronomia e da cosmologia, no contexto investigativo da Grécia antiga; (iii) a mesma contextualização desses assuntos a partir dos conceitos laudanianos de problemas conceituais internos e problemas conceituais externos, destacando como eles são inerentes aos modelos (e/ou teorias) desenvolvidos para solucionar os problemas empíricos; e (iv) as considerações finais, onde procura-se apontar algumas implicações deste trabalho para o ensino-aprendizagem de ciências.

A VISÃO EPISTEMOLÓGICA DE CIÊNCIA DE LARRY LAUDAN A PARTIR DE SUA PRINCIPAL OBRA

Em “*O progresso e seus problemas...*”, Laudan (2011) analisa o progresso cognitivo da ciência usando episódios históricos para substantivar seus conceitos e pressupostos. Além disso, ele também tenta resgatar o componente da racionalidade da ciência afirmando que tal “*racionalidade consiste em escolhas teóricas progressivas*” (Laudan, 2011, p. 10). De acordo com sua perspectiva, se aceitarmos que o progresso da ciência não está associado às sucessivas escolhas de teorias racionais; bem como, que as escolhas de teorias progressivas se devem ao fato delas conseguirem resolver mais problemas da ciência do que as suas

rivais e antecessoras; torna-se possível vislumbrar “*uma perspectiva sobre a natureza da ciência que tende a nos escapar se preservamos a relação tradicional entre progresso e racionalidade*” (Laudan, 2011, p. 10) defendida pelo positivismo lógico.

Em conformidades e alguns contrastes com seus pares, por exemplo, Popper, Lakatos, Kuhn (Pesa & Ostermann, 2002), dentre outros (ver Laudan, 2011, pp. 2–9), Laudan compreende que o empreendimento racional da ciência é o principal responsável pela produção do conhecimento científico. Por essa razão, ele defende a necessidade de novos conceitos filosóficos substanciados pela história da ciência, em detrimento dos tradicionais — por exemplo, grau de confirmação, conteúdo explicativo, corroboração e afins —, para ser possível encontrar um modelo apropriado de racionalidade científica (Dal Magro, 2013; Moreira & Massoni, 2011).

Ao estabelecer um contraponto com a análise tradicional da ciência (positivista), Laudan considera diversos aspectos pertinentes, a saber: o progresso científico não se manifesta pelo acúmulo de conhecimento; as teorias científicas não são absolutamente verdadeiras ou falsas. Mas, como respostas às perguntas da ciência, as teorias não podem ser refutadas, simplesmente, por apresentarem “*anomalias*”; ou pelo contrário, as teorias não são aceitáveis simplesmente porque possuem confirmações empíricas; as grandes mudanças, especialmente, de visão de mundo e as controvérsias científicas são resolvidas, em grande parte, mais pelo componente conceitual do que pelo empírico; os elementos constituintes da racionalidade científica, precipuamente, se transformam com o tempo; e a coexistência de teorias rivais se constitui em regra e não em exceção, especialmente, no quadro geral da análise da ciência e da produção do conhecimento científico (Villani, 1992; Pesa & Ostermann, 2002; Moreira & Massoni, 2011).

A partir desses pressupostos, Laudan (2011, p. 18) afirma que “*a ciência é, acima de tudo, uma atividade de solução de problemas*”, isto é, das perguntas da ciência. Nessa atividade, sua tarefa cognitiva fundamental reside na elaboração intelectual de teorias com substantiva eficiência na solução de problemas. Não desmerecendo os demais objetivos associados à própria ciência e às motivações dos cientistas — “*a ciência visa explicar e controlar o mundo natural; os cientistas buscam (dentre outras coisas) a verdade, a influência, a utilidade social e o prestígio*” (Laudan, 2011, p. 18) —, Laudan considera que, embora esses elementos tenham sido utilizados para tentar explicar “[...] *o desenvolvimento e natureza da ciência. [...] a visão de um sistema de solução de problemas propicia a esperança de apreender o que é mais característico na ciência do que qualquer outro quadro*” (Laudan, 2011, pp. 18–19).

Nesse sentido, ele define os problemas científicos como sendo — fundamentalmente, porém com algumas restrições — “*semelhantes a outros tipos de problemas das demais áreas disciplinares*” (Laudan, 2011, p. 20). No domínio científico, “*os problemas são as perguntas da ciência*”, e as teorias são suas respostas. Os problemas científicos estão no foco do pensamento científico, para o qual “*as teorias são relevantes, cognitivamente importantes, à medida que oferecem soluções adequadas a problemas importantes*” (Laudan, 2011, p. 20). Contudo, nem os problemas científicos, nem as teorias decorrentes podem ser julgados fora de um contexto investigativo historicamente determinado. Em função disso, Laudan desenvolve uma taxonomia dos problemas científicos, a seguir, para elucidar ainda mais a sua visão epistemológica.

A taxonomia dos problemas científicos laudanianos

Laudan constrói uma taxonomia para classificar os problemas científicos de acordo com sua natureza. Segundo Pesa e Ostermann (2002), seu trabalho pode ser compreendido como uma sofisticação ampliada da taxonomia dos problemas empíricos, inicialmente, proposta por Lakatos (1989). Contudo, nessa sofisticação, Laudan acrescenta um componente conceitual que se mostra determinante para o crescimento interno e cognitivo da ciência. Crescimento esse, que, observado o eixo norteador da conceitualização para o desenvolvimento cognitivo estudantil no processo de ensino-aprendizagem, já destacado na introdução (Piaget, 2007; Moreira, 2011), mais uma vez denota a importância desse referencial à fundamentação das investigações no campo educacional do ensino de ciências.

Nessa perspectiva, Laudan classifica os problemas científicos em duas categorias gerais, os problemas empíricos e os problemas conceituais. Essas duas classes de problemas se originam em contextos históricos investigativos que lhes outorgam significados, mediante a adoção de compromissos metodológicos e ontológicos assumidos pela prática científica. Isso ocorre no contexto de uma tradição de pesquisa, cujo significado será apresentado mais à frente.

No que concerne aos problemas empíricos, estes constituem perguntas sobre o mundo natural, dentro de um quadro de investigação teórica. Por exemplo, ao se observar a queda dos corpos próximos à superfície da Terra, e indagar-se com a pergunta: com que rapidez os corpos caem próximos à superfície da Terra? “(...) estamos supondo haver objetos afins à nossa concepção de corpo e de Terra que se movem uns em relação aos outros de acordo com alguma regra estável” (Laudan, 2011, p. 23). Para Laudan, embora essa indagação esteja repleta de teoria, ainda assim, ela se refere ao mundo físico. Dessa forma, “os problemas empíricos são, portanto, problemas de primeira ordem: são questões substantivas acerca dos objetos que constituem o domínio de determinada ciência” (Laudan, 2011, p. 23).

Laudan subclassifica os problemas empíricos em três tipos: “os problemas empíricos não resolvidos” — isto é, aqueles que não foram resolvidos apropriadamente por nenhuma teoria, mas que indicam perspectivas de investigações futuras; “os problemas empíricos resolvidos ou potenciais” — problemas resolvidos adequadamente por uma ou outra teoria; e “os problemas empíricos anômalos” — aqueles não resolvidos por uma teoria, mas por suas concorrentes (Laudan, 2011). Laudan (2011, p. 26) afirma, também, que “uma das marcas do progresso científico” reside em transformar os problemas empíricos anômalos e não resolvidos em resolvidos e estimular o crescimento cognitivo da ciência. Na história da física, por exemplo, o episódio do problema empírico do movimento browniano — movimento desordenado e incessante de partículas (microscópicas de qualquer natureza) suspensas em uma solução líquida — corrobora essa afirmação laudaniana (Peduzzi, 2015a).

Esse fenômeno foi discutido amplamente pelo trabalho do biólogo e botânico escocês Robert Brown (1773 – 1858), em seu artigo intitulado — “*Um breve relato das observações microscópicas sobre as partículas contidas no pólen das plantas e sobre a existência geral de moléculas ativas em corpos orgânicos e inorgânicos*” (Brown, 1828), tradução livre — embora ele não tenha sido o primeiro estudioso a observar esse fenômeno, pois, antes dele, o próprio Brown destaca os estudos John T. Needham (1713 – 1781) e Wilhelm F. Gleichen (1717 – 1783) — (Peduzzi, 2015a). No entanto, Peduzzi (2015a, p. 77) observa que “Brown foi o primeiro a abordá-lo com afinco e profundidade, na perspectiva ‘hipótese teórica-experimento-resultado-nova hipótese’”. Contudo, “Ele não conseguiu explicar a origem dos movimentos, as suas causas, mas suas investigações representam um profícuo episódio na trajetória de estudos que vai levar a sua plena compreensão e a consolidação do atomismo” (Peduzzi, 2015a, p. 77).

Laudan também observa que, durante as décadas de 1830 e 1840, esse importante problema não encontrou solução em nenhuma teoria existente nos domínios das ciências da natureza (biologia, física e química), visto que foi concebido “ora como um problema biológico (sendo as partículas brownianas, talvez, pequenos ‘animálculos’); “[...] um problema da química [...], da óptica da polarização [...], da condutividade elétrica [...], da teoria do calor [...], ora como um efeito mecânico sem interesse” (Laudan, 2011, p. 29). Após 1840, o problema do movimento browniano tornou-se uma contundente anomalia para a termodinâmica clássica, onde foi solucionado mediante a teoria cinética molecular dos gases, por um dos trabalhos de Albert Einstein (1879 – 1955), publicado em 1905, fruto de sua tese de doutorado (Salinas, 2005). Em seguida, Jean-Baptiste Perrin (1870 – 1926) e colaboradores realizaram medidas experimentais para estimativa da constante de Avogadro, a partir da proposta de Einstein, obtendo o êxito científico que lhe concedeu, em 1913, o prêmio Nobel em física.

Em termos do progresso científico, por um lado, essa estimativa contribuiu para a “*aceitação geral do atomismo*” (Salinas, 2005, p. 265), por outro, a explicação de Einstein abriu caminho para diversas investigações futuras (Silva & Lima, 2007). Para Laudan, esse é um dos exemplos ilustrados pela história da ciência que fundamenta a ideia de que a transformação de problemas empíricos anômalos e não resolvidos em resolvidos, “é um dos modos pelos quais as teorias progressivas estabelecem suas credenciais científicas” (Laudan, 2011, p. 28).

Conferindo um maior peso na balança da avaliação cognitiva da ciência, Laudan classifica os problemas conceituais como sendo de natureza não empírica, característicos das teorias e não existentes fora delas. Isto é, são concebidos como “*questões de ordem superior acerca das fundamentações das estruturas conceituais*” das teorias (Laudan, 2011, p. 68). Por exemplo, na história da astronomia, da cosmologia e da física, é possível citar as críticas proferidas por Nicolau Copérnico (1473 – 1543) sobre a teoria astronômica de Ptolomeu, fundamentada nos conceitos matemáticos (epíclis, excêntricos e equantes), utilizada para explicar o problema empírico do movimento retrógrado dos planetas (Kuhn, 1990). Da mesma forma, outros problemas conceituais também são exemplificados nas críticas lançadas por Locke, Berkeley, Huygens e Leibniz sobre o *sistema de mundo newtoniano*, especialmente, sobre seu conceito de espaço absoluto (Jammer, 2010; Laudan, 2011). Jammer (2010, p. 145) afirma que, no que confere à crítica

sobre o conceito de espaço absoluto newtoniano, “para Berkeley, a ideia de um movimento absoluto em um espaço absoluto era mera ficção, carente de qualquer fundamento experimental”.

Em face da controvérsia entre Leibniz e Newton, envolvendo a primazia da invenção do cálculo diferencial e integral, Jammer (2010, p. 151) assinala que Leibniz proferiu uma crítica à ideia da concepção de Newton do espaço absoluto como um órgão de Deus. A saber, “*Diz Sir Isaac Newton que o espaço é um órgão do qual Deus se serve para perceber as coisas. Mas se Deus necessita de um órgão qualquer para perceber as coisas, decorre daí que elas não dependem inteiramente d’Ele nem foram produzidas por Ele*”. Nesse contexto, Jammer (2010, p. 153) observa que essa crítica deve ser entendida a partir da própria concepção de Leibniz de espaço, como “*um sistema de relações desprovido de existência metafísica ou ontológica*”, que Newton atribuíra ao seu sistema de mundo, para desenvolver as bases da mecânica clássica.

Em razão da envergadura dos problemas conceituais, Laudan classifica-os, primeiramente, em duas subcategorias: “os problemas conceituais internos” — dificuldades conceituais detectadas a partir da existência de incoerências lógicas na estrutura interna de uma teoria; e “os problemas conceituais externos” — conflitos entre as teorias e/ou sistemas de visão de mundo. Devido à complexidade e importância dessa segunda categoria de problema conceitual externo, Laudan aponta pelo menos três formas distintas de dificuldades que geram tais problemas: primeira, as “dificuldades intracientíficas”, que dizem respeito às tensões entre duas ou mais teorias de diferentes áreas do saber; segunda, as “dificuldades normativas ou metodológicas”, que denotam conflitos entre uma teoria e regras metodológicas da comunidade científica e; terceira, as “dificuldades inerentes à visão de mundo”, que geram conflitos entre as teorias que não se enquadram, por exemplo, no mesmo plano da visão de mundo predominante.

Especificamente, 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 aceitas” (Laudan, 2011, p. 80). Um dos exemplos claros na história da ciência reside na “controvérsia entre biólogos, geólogos e físicos, no final do século XIX, a respeito da cronologia da Terra”. No foco dessa controvérsia estava o conflito entre a teoria uniformista da geologia, acompanhada da teoria da evolução das espécies, em relação às suposições do renomado físico inglês William Thompson (1824 – 1907) ou Lorde Kelvin, fundamentadas nas leis da termodinâmica.

Nesse embate, os geólogos uniformistas e os biólogos evolucionistas defendiam a hipótese de que a Terra era, de fato, muito antiga e parcialmente líquida sob a superfície, mas suas condições físicas (geológicas) haviam permanecido inalteradas, em boa parte, por centenas de milhões de anos (Laudan, 2011). Do lado da física, Lorde Kelvin defendia ser impossível conciliar essas suposições, por exemplo, com a primeira e a “segunda lei da termodinâmica (que implica em um aumento da entropia) com a explicação evolucionista das espécies” (Laudan, 2011, p. 80), nem com “a hipótese dos geólogos de que as reservas de energia na Terra permaneceram constantes durante a maior parte do passado geológico” (Laudan, 2011, p. 80).

No ápice desse conflito, considerado uma das polêmicas mais fascinantes da ciência (ver Tort & Nogarol, 2013) — “Reverendo o debate sobre a idade da Terra” — Laudan (2011, p. 80) afirma que o dilema era tão sério, que algumas perguntas estavam no foco do pensamento científico, por exemplo: “deve-se abandonar a termodinâmica, rejeitar a geologia uniformista ou repudiar a teoria da evolução? Haveria outra opção?”. No entanto, esse contundente problema conceitual externo intracientífico só foi solucionado, mais tarde, com a descoberta da radioatividade, posto que este fenômeno “permitia contornar os problemas acerca da conservação da energia” (Laudan, 2011, p. 80).

Quanto às dificuldades normativas, Laudan (2011) cita “o desenvolvimento da teoria newtoniana no século XVIII”, observando que, na década de 1720, a metodologia dominante era a indutivista. Por isso, a comunidade científica estava convencida de que “as únicas teorias legítimas eram as que podiam ser inferidas indubitavelmente por simples generalização a partir de dados observáveis” (Laudan, 2011, p.84). Contudo, as teorias físicas, nas décadas de 1740 e 1750, não se enquadravam nessa metodologia indutivista explícita (Laudan, 2011). Por exemplo, “Na teoria da eletricidade, na do calor, na pneumática, na química e na fisiologia, estavam surgindo questões newtonianas que postulavam a existência de partículas e líquidos imperceptíveis” (Laudan, 2011, p.84), que não podiam ser inferidas diretamente dos dados observados. Nesse sentido, são essas incompatibilidades entre teorias e regra metodológica, explícita, da tradição newtoniana, que materializam essa classe de problema conceitual externo.

Nesse cenário, a solução do conflito existente “entre uma metodologia e uma teoria científica ou é obtida pela modificação da teoria científica, ou pela norma metodológica aceita” (Batista & Peduzzi, 2019, p.

42). Quando os adeptos da metodologia newtoniana buscavam uma solução para os conflitos, sugerindo o repúdio das teorias que violavam a metodologia, outros insistiam que “*as próprias normas deveriam ser modificadas, para adequá-las às melhores teorias físicas existentes*” (Laudan, 2011, p. 85). Esse último grupo acabou forjando a “*metodologia hipotético-dedutiva*”, que se tornou dominante até os dias atuais (Laudan, 2011). Dessa maneira, esse exemplo demonstra que os problemas conceituais externos normativos são muito poderosos, quando se observa a evolução da história conceitual da ciência.

Por fim, as dificuldades de visão de mundo são como as intracientíficas, embora com uma diferença singular, “*a incompatibilidade ou a falta de reforço mútuo não está no quadro da própria ciência, mas entre a ciência e as nossas crenças extras científicas*” (Laudan, 2011, p. 86) pertencentes às diversas áreas do conhecimento (metafísica, lógica, ética e a teologia). Novamente, um exemplo contundente encontra-se nas críticas de Leibniz e Huygens sobre a ontologia das forças no sistema de mundo newtoniano, especialmente sobre a ideia de interação à distância. Laudan (2011, p. 87) afirma que eles “*questionaram como os corpos podiam exercer forças sobre pontos tão distantes deles mesmos. Que substância transporta a força atrativa do Sol pelos 90 milhões de milhas de espaço vazio, para que a Terra seja puxada na direção deles?*” Em face de tais fenômenos desafiarem a própria lógica, em termos do significado ontológico de substância e de propriedades — como o poder de atração — a solução dessas questões tornou-se um dos principais objetivos filosóficos e científicos do movimento intelectual denominado “*Iluminismo*” (Laudan, 2011).

No que confere a interação à distância, Laudan assinala que “*os filósofos e cientistas de toda a Europa começaram a reavaliar a natureza da substância, as relações entre propriedades e substâncias e, em especial, a natureza de nosso conhecimento sobre substância*” (Laudan, 2011, p. 87). O resultado dessa reavaliação, por nomes como o filósofo Immanuel Kant (1724 – 1804), o químico Joseph Priestley (1733 – 1804) e o geólogo James Hutton (1726 – 1797) “*foi uma nova ontologia, que defendia a prioridade da força sobre a matéria e transformou os poderes da atividade (e não os poderes passivos, como a massa e a inércia) nos elementos constitutivos básicos do mundo físico*” (Laudan, 2011, p. 88). Tal ontologia eliminou o problema “*conceitual mais sério da ciência newtoniana, exibindo a 'inteligibilidade' da ação à distância, harmonizou novamente a ontologia da Filosofia e a Ontologia da Física e tornou possível o subsequente surgimento de teorias do campo físico*” (Laudan, 2011, p. 88).

Dentre outros problemas ligados à visão de mundo, Laudan considera, também, que “*mais recentemente, um dos mais persistentes conjuntos de problemas conceituais da Física do século XX é a dissonância entre a mecânica quântica e as nossas crenças 'filosóficas' acerca da causalidade, da mudança, da substância e da 'realidade'*” (Laudan, 2011, p. 89).

Em função desses exemplos ilustrados pela história da ciência, “*o teste cognitivo central de qualquer teoria envolve avaliar a sua adequação como solução de certos problemas empíricos e conceituais*” (Laudan, 2011, p. 99). Nesse sentido, é importante apresentar, a seguir, o conceito de *tradição de pesquisa*, para finalizar a explanação deste referencial epistemológico e operacionalizar seus conceitos na contextualização histórico-filosófica dos conteúdos científicos fundamentais à compreensão docente e estudantil da relação Terra-Universo.

O conceito laudiano de tradição de pesquisa

O conceito laudiano de tradição de pesquisa estabelece uma condição epistemológica para determinar quando uma solução teórica é aceitável ou não. Laudan (2011, p. 100) afirma que “*o crucial em toda avaliação cognitiva de uma teoria é como ela se sai com relação às concorrentes*”. Nesse sentido, o significado do termo “*teoria*”, para Laudan, consiste em “*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 naturais*” (Laudan, 2011, p. 100).

No que lhe concerne, esse significado tem o mesmo sentido para às teorias: do eletromagnetismo de Maxwell, da estrutura atômica de Bohr-Kramers-Slater, do efeito fotoelétrico de Einstein, do valor do trabalho de Marx, da deriva continental de Wegener e a freudiana do complexo de Édipo (Laudan, 2011). Ou ainda, em um conjunto de doutrinas ou suposições mais gerais, utilizam-se os termos teoria: “*atômica*”, “*da evolução*”, ou “*cinética dos gases*”. Por essa perspectiva, Laudan define a tradição de pesquisa “*como um conjunto de afirmações e negações ontológicas e metodológicas*” (Laudan, 2011, p. 113). Essas afirmações e negações proporcionam as diretrizes para a elaboração de teorias específicas, cujo objetivo é a solução dos problemas empíricos.

Em conformidade com as ideias de Kuhn e Lakatos, o conceito de tradição de pesquisa é muito semelhante ao conceito de paradigma — em período de ciência normal — e de programa de pesquisa (Pesa & Ostermann). Além disso, são essas diretrizes que instituem a ontologia que especifica, de modo geral, os tipos de entidades fundamentais que existem no domínio da tradição de pesquisa (Guridi, Salinas, & Villani, 2006).

Na história da ciência grega antiga, Pitágoras de Samos e Filolau de Crotona (século VI a.C.) lançaram as bases da pesquisa astronômica e cosmológica, mediante a ideia de um “*universo geometricamente esférico*”, “*ordenado pela lei da harmonia*”, cujo movimento de cada corpo celeste, os cinco planetas, até então conhecidos (Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno), a Lua e o Sol, era descrito pelo “*movimento circular uniforme*”. Assumindo essas diretrizes (ontológica — natureza esférica do universo; e metodológica — uso do movimento circular para descrever o movimento dos corpos celestes), Platão instituiu a corrente de investigação astronômica matemática instrumentalista, que ficou conhecida como a “*regra metodológica de salvar as aparências*” dos fenômenos celestes (Aiton, 1981), isto é, descrever cinematicamente os problemas relativos aos fenômenos, sem se preocupar com a realidade física dos mecanismos matemáticos pertencente às teorias astronômicas.

Dessa forma, o conceito de tradição de pesquisa também pode ser compreendido como uma unidade integral que estimula, define e delimita o que pode ser considerado como uma solução aceitável para os problemas científicos de seu domínio (Guridi, Salinas, & Villani, 2006). Acrescenta-se que, da mesma forma que Kuhn e Lakatos consideram a degenerescência e evolução, respectivamente, dos paradigmas e programas de pesquisa, Laudan admite que as tradições estejam submetidas a esses mesmos elementos. Pois “*existem dois tipos de atividades geradoras de teorias: as atividades de investigações progressivas e as atividades de investigações degenerativas*” (Batista & Peduzzi, 2019, p. 42).

No contexto da tradição de pesquisa grega antiga (TPGA), por exemplo, a corrente de investigação instrumentalista platônica encontrou seu apogeu no trabalho *Almagesto* de Ptolomeu, mas posteriormente se degenerou e deu lugar ao desenvolvimento da corrente de investigação realista, de origem aristotélica, cujas concepções das teorias astronômicas, cosmológicas e físicas tentam, até os dias atuais, explicar como a realidade do mundo se apresenta de fato para o pensamento científico.

Findada essa ampla exposição da visão epistemológica de Laudan, nas próximas seções, procura-se apresentar a narrativa histórica, mediante operacionalização de seus conceitos, que fundamentam esta contextualização histórico-filosófica dos conteúdos científicos inerentes à compreensão docente e estudantil da relação Terra-Universo.

A ORIGEM DOS CONTEÚDOS CIENTÍFICOS COMO PROBLEMAS EMPÍRICOS DA TRADIÇÃO DE PESQUISA GREGA ANTIGA (TPGA)

Na perspectiva laudanianiana, a origem dos problemas empíricos da ciência encontra-se em um determinado contexto histórico de investigação teórica. Um quadro que configura o conceito de tradição de pesquisa, que é marcado por compromissos metodológicos e ontológicos, bem como materializados por diretrizes conceituais, filosóficas, matemáticas, metafísicas, normativas e até religiosas. Essas diretrizes estabelecem o “*modus operandi*” da ciência, que, dentre muitos outros objetivos, coletivamente, tem como meta principal a solução de problemas (Laudan, 2011).

Para a história conceitual da astronomia, da cosmologia e da física, europeia de herança grega, a origem desses problemas encontra-se na fonte de dados astronômicos relativos aos fenômenos celestes reconhecidos e sistematicamente registrados pela civilização babilônica, por volta de 700 a 800 a.C. (Pedersen, 1993). Precisamente, esses registros foram preservados nos chamados Textos Astronômicos Cuneiformes Babilônios (Aaboe, 1958; Neugebauer & Sacha, 1968; Neugebauer, 1975; Koestler, 1989; Kuhn, 1990; Huffman, 1993; Linton, 2004; Laudan, 2011).

Nesse período, os astrônomos babilônios possuíam um conhecimento muito apurado sobre os seguintes fenômenos: o movimento de retrogradação dos planetas e suas posições no céu; as fases da Lua; os eclipses; incluindo, a confecção de calendário lunissolar — uma equivalência entre 19 anos e 235 meses sinódicos (Linton, 2004). Sabe-se, também, que os babilônios foram responsáveis pela criação e divisão do círculo em 360 partes (graus); a concepção do sistema numérico 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; e a criação do conceito de esfera celeste — um referencial imaginário, fixo na Terra, utilizado para estudar o céu (Neugebauer, 1975; Aiton, 1981; Linton, 2004).

Entretanto, Dreyer (1953) afirma que, apesar de todo esse conhecimento, não se observa, por parte dos astrônomos babilônios, qualquer tentativa de estabelecer alguma conexão entre seus registros celestes e a estrutura do universo. Para Pedersen (1993), tal inexistência pode estar ligada aos objetivos da prática astronômica babilônica, que atendiam às necessidades da atividade agrícola, administrativa, cotidiana, mística, política, social e religiosa.

Acerca disso, Aaboe (1958) aponta três constatações que sustentam essa falta de conexão:

“[...] ausência de qualquer prova, na verdade, de qualquer teorema geralmente formulado, na matemática babilônica; o caráter puramente aritmético da astronomia babilônica, ou em termos negativos, não há sinal de nenhum modelo geométrico como o que estamos acostumados desde as esferas homocêntricas de Eudoxo; e terceiro, o ponto mais importante, as teorias planetárias babilônicas e modernas diferem na própria formulação de seus problemas centrais”. (Aaboe, 1958, pp. 209–210 — tradução própria).

Koestler (1989) destaca que, por volta do século VI a.C., é possível observar na Grécia antiga como essa preocupação de compreender a real estrutura do universo tornou-se um problema fundamental para o pensamento filosófico grego. O primeiro fato científico — um genuíno problema empírico — que fomentou o desenvolvimento de modelos cosmológicos geométricos consistiu na “*distância orbital dos corpos celestes*” vistos, a partir da Terra, em relação às “*estrelas fixas*” — distâncias que não parecem variar entre si.

Nessa perspectiva, é possível observar a materialização de um compromisso ontológico, mediante uma visão de mundo geocêntrica que começa surgir no horizonte do pensamento científico grego. Por exemplo, Mary Orr (1914, p. 66) afirma que Pitágoras de Samos (570 – 495 a.C.) foi o primeiro filósofo a defender que “*a própria Terra, uma esfera perfeita, estava no centro de uma esfera infinitamente maior, o céu estrelado*”; “*e dentro deste, sete corpos celestes se moviam em círculos perfeitos, cada um à sua própria distância, sem precisar de apoio ou força para dirigi-los, pois a harmonia era a força motriz do cosmos*” (Orr, 1914, p. 67) — Figura 1., ilustração bidimensional do modelo cosmológico pitagórico.

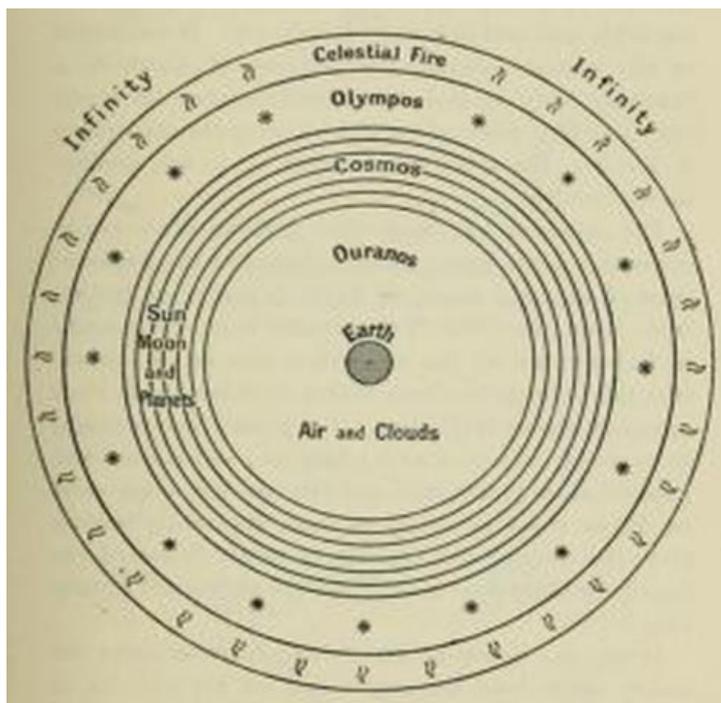


Figura 1 — Modelo cosmológico de Pitágoras (extraído de Orr, 1914, p. 71).

Para solucionar “o problema empírico da distância orbital dos corpos celestes”, Pitágoras desenvolveu um modelo esférico de universo (Figura 1), mediante a concepção de sua *teoria cosmológica da harmonia das esferas* (Koestler, 1989).

Nesse contexto, ele estabeleceu vários pressupostos conceituais, filosóficos, metafísicos e até místicos, que marcaram sua rígida¹ *doutrina filosófica*. Dentre os quais se destacam: uma crença mística da ligação profunda entre as áreas da astronomia, aritmética, arte, ciência, geometria, matemática, medicina e música; uma forte atribuição de poder a matemática como única área capaz de reduzir a realidade da natureza às séries e razões numéricas, encontradas somente pelos amigos da sabedoria – os *filósofos*; uma crença no ordenamento hierarquizado do universo, isto é, o significado do conceito de *cosmos*, cunhado por Pitágoras e; a adoção do movimento circular uniforme como único capaz de descrever o movimento dos corpos celestes (Koestler, 1989; Évora, 1993; Koyré, 2002; Batista, 2020). Destaca-se que, por muitos séculos, para várias civilizações (por exemplo, egípcia, babilônica, grega, romana, dentre outras), tais corpos (Lua, Sol, Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno) eram de natureza divina e seus nomes estavam associados aos deuses mitológicos.

Não obstante, a partir desses pressupostos, Pitágoras acreditava que a solução do problema da distância orbital dos corpos celestes, via teoria da harmonia das esferas, se dava, simplesmente, pela associação de suas órbitas circulares com os intervalos das sete notas de uma escala musical. Sob sua lente ontológica de visão de mundo geocêntrica, ele estabeleceu a seguinte ordenação: as distâncias Terra-Lua (um tom), Lua-Mercúrio (um semitom), Mercúrio-Vênus (um semitom), Vênus-Sol (uma terça menor), Sol-Marte (um tom), Marte-Júpiter (um semitom), Júpiter-Saturno (um semitom), e Saturno — estrelas fixas (uma terça menor).

Em sua cosmovisão, Pitágoras considerava que o movimento dos planetas no céu reproduzia o som de uma grande lira cósmica (Koestler, 1989). Uma ideia puramente metafísica, mas que inspirou o pensamento de ninguém menos que Johannes Kepler (1571 – 1630), durante suas investigações astronômicas e cosmológicas, no contexto do nascimento da ciência moderna. Kepler considerava que “Os movimentos dos corpos celestes nada mais eram do que uma canção contínua para várias vozes” — “percebidas pelo intelecto, não pelo ouvido” (Koestler, 1989, p. 392).

Após a morte de Pitágoras, Filolau procurou atacar esse mesmo problema de outro modo. Primeiro, considerando que a Terra não era o centro do universo, e sim mais um corpo celeste que orbitava o que ele chamou de fogo central — uma nova entidade metafísica responsável pelo princípio do cosmos (Borges, 1978). Segundo, que não eram sete, mas dez corpos celestes dispostos entre as “estrelas fixas” e o fogo central. Na configuração de seu modelo cosmológico, porém sob uma nova lente de visão de mundo não geocêntrica, tinham-se: fogo central, anti-Terra — mais uma entidade metafísica —, Terra, Lua, Sol, Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno, e a esfera das estrelas.

De acordo com Huffman (1993), como solução para esse mesmo problema, Filolau atribuiu para cada um desses corpos celestes um movimento circular com velocidades rotacionais proporcionais às suas distâncias ao centro do universo. E, embora não tenha conseguido calcular os valores dessas velocidades, nem provar a existência desse fogo central e da anti-Terra, ele apresentou uma correta ordenação, a partir dos respectivos tempos de revolução. Tomando como referência o ano terrestre, ele dispôs os corpos, a partir do mais externo ao mais interno, Saturno (29 anos), depois Júpiter (12 anos), Marte (2 anos), o Sol, Mercúrio e Vênus (1 ano) e, por fim, a Lua (1 mês). Frente aos valores atuais de Saturno (29, 6 anos), Júpiter (11,9 anos) e Marte (1,9 anos), esse foi um trabalho notável. O Modelo cosmológico de Filolau é ilustrado bidimensionalmente pela Figura 2.

¹A doutrina da escola pitagórica era tão rígida que somente após a morte de Pitágoras seus discípulos puderam divergir dele e tornar sua doutrina conhecida entre os demais pensadores gregos. Por exemplo, ao viajar pela famosa cidade de Siracusa, Platão teria comprado um livro sobre essa doutrina, que fora escrito pelo mais brilhante discípulo de Pitágoras, Filolau de Crotona (Laércio, 1792).

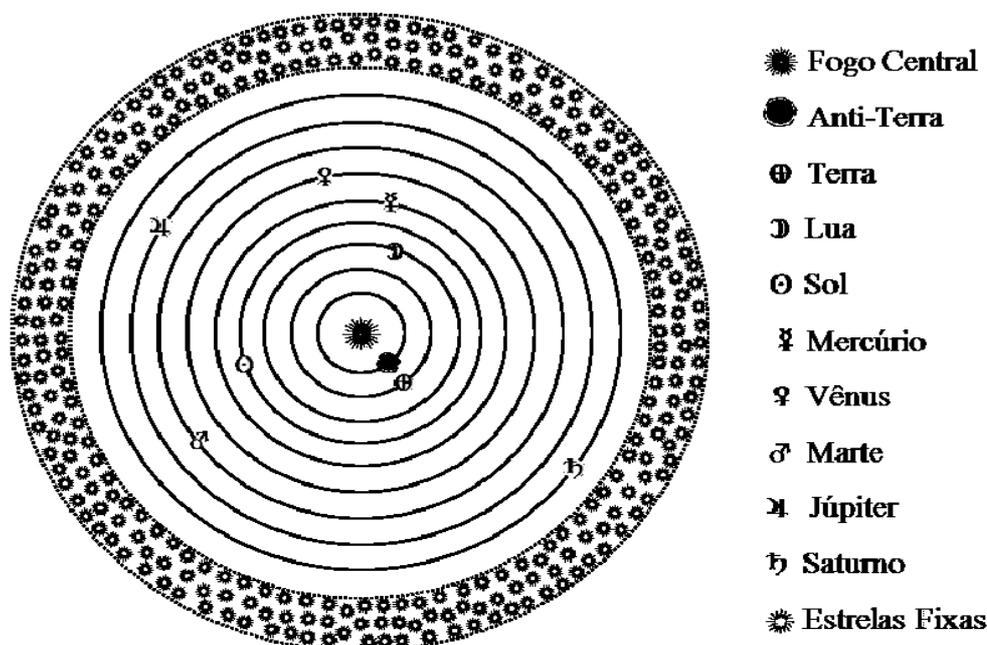


Figura 2 — Modelo cosmológico de Filolau (extraído de Bessada, 2014, p. 10).

Nesse contexto, mais quatro fatos científicos ocupavam o foco do pensamento de Filolau: os problemas empíricos dos fenômenos do dia e da noite, das estações do ano e dos movimentos de rotação e translação da Terra. Sendo o primeiro filósofo grego antigo a dotar a Terra desses dois movimentos, Filolau considerava que o movimento de rotação em torno do próprio eixo, realizado em 24 horas, explicava os fenômenos do dia e da noite; já o de translação, não em torno do Sol, mas do fogo central, explicava as estações do ano.

Novamente, é oportuno destacar que, principalmente, o movimento de rotação da Terra, no contexto do século XVI da nossa era, se tornou um dos problemas empíricos não resolvidos mais contundentes para aceitação do sistema astronômico copernicano. Por exemplo, exigindo soluções teóricas e experimentais para duas perguntas fundamentais da ciência: Por que os corpos não são ejetados para fora da Terra devido ao seu rápido movimento de rotação? Existe alguma experiência terrestre que mostre que a Terra se move? (Copérnico, 1990). Vale ressaltar que o primeiro problema ocupou grande parte de um dos importantes trabalhos de Galileu Galilei (1546 – 1642) — *Diálogos Sobre os Dois Principais Sistemas de Mundo* — publicado em 1632 (Martins, 1994; Galileu, 2011). E o segundo só foi apropriadamente solucionado com a observação da paralaxe, em 1834, por uma equipe de astrônomos liderada pelo francês Friedrich Bessel (1784 – 1846).

Além disso, antes de ser solucionado, esse problema ocupou o foco do pensamento de Giordano Bruno (1548 – 1600), cuja visão cosmológica, ideias sobre a infinitude do universo, a defesa do movimento da Terra e do sistema astronômico copernicano devem ser lembrados como aspectos fundamentais do processo de nascimento da ciência moderna nos séculos XVI e XVII. Considerado como mártir da liberdade de pensamento, Bruno foi brutalmente condenado à morte na fogueira, pelo Tribunal da Inquisição, por defender abertamente as implicações astronômicas, cosmológicas, físicas, filosóficas, metafísicas e até religiosas, promovidas pelo sistema astronômico copernicano. Sua obra *“La cena de le Ceneri”* — A ceia de cinzas —, constituiu o primeiro momento em que Bruno expõe a sua adesão ao modelo cosmológico heliocêntrico, com críticas contundentes ao modelo cosmológico geocêntrico defendido pela Igreja e os eruditos europeus da tradição escolástica (Lopes, 2014). Ressalta-se que as contribuições de Galileu, de Bruno e de outros personagens serão discutidas em outro trabalho.

Não obstante, a esses destaques, no contexto da tradição de pesquisa grega antiga (TPGA), mesmo não sendo um astrônomo, Platão (428 – 348 a.C.) assumiu muitos dos pressupostos de Pitágoras e de Filolau, de modo a construir um projeto de desenvolvimento para a astronomia de sua época. Por exemplo, ele assumiu a crença em um universo esférico hierarquicamente ordenado, limitado pelas estrelas fixas, em comunhão com uma visão de mundo geocêntrica; e prescreveu o uso do movimento circular uniforme como artifício para descrever os movimentos irregulares dos planetas no céu (Aiton, 1981; Kuhn, 1990; Évora, 1993;

Huffman, 1993). Sua real preocupação para esse desenvolvimento foi explicitada em sua obra “*A República*”. Através de diálogos entre seus personagens principais, Sócrates e Glauco, Platão assinalou o seguinte:

“Sócrates — *É com problemas, portanto, que nos dedicaremos à astronomia, tal como à geometria; e dispensaremos o que há no Céu, se quisermos realmente tratar da astronomia [...].* **Glauco** — *Realmente é um trabalho complicado, em relação ao que têm agora, esse que tu prescreves aos astrônomos.* **Sócrates** — *Penso que faremos prescrições para as outras ciências no mesmo estilo, se de algo servirmos como legisladores”.* (Platão, 1949, p. 242 — grifo nosso)

Seguindo esse objetivo, Platão formulou um problema empírico fundamental ao desenvolvimento da denominada astronomia matemática instrumentalista da TPGA, impulsionando o crescimento teórico do pensamento científico ocidental (Kuhn, 1990). Tal problema foi equacionado na seguinte pergunta: “*Quais são os movimentos circulares uniformes e ordenados que possam ser tomados como hipóteses para explicar os movimentos aparentes dos planetas?*” (Évora, 1993, p. 23).

Para muitos historiadores da ciência, essa pergunta ditou os rumos da prática astronômica instrumentalista, que tentava “*salvar as aparências*” dos fenômenos celestes a partir de um modelo e/ou uma teoria que concordava com tais fenômenos (Aiton, 1981). Para o problema empírico do movimento retrógrado dos planetas, os astrônomos conseguiam salvar as aparências quando podiam imaginar “*hipótese que resolvesse seus movimentos irregulares ao longo das órbitas circulares, pouco importando se a hipótese fosse verdadeira ou não, isto é, fisicamente possível ou não*” (Koestler, 1989, p. 43).

Tomando o planeta Marte como exemplo do problema do movimento de retrogradação, em sua trajetória sobre a eclíptica, embora seu movimento fosse para leste entre as estrelas fixas, havia um período de junho até o início de agosto em que esse planeta se deslocava para o sentido oeste. Com isso, seu retrocesso ocorria sempre em uma mesma data e zona celeste, que é ilustrada bidimensionalmente pela (Figura 3).

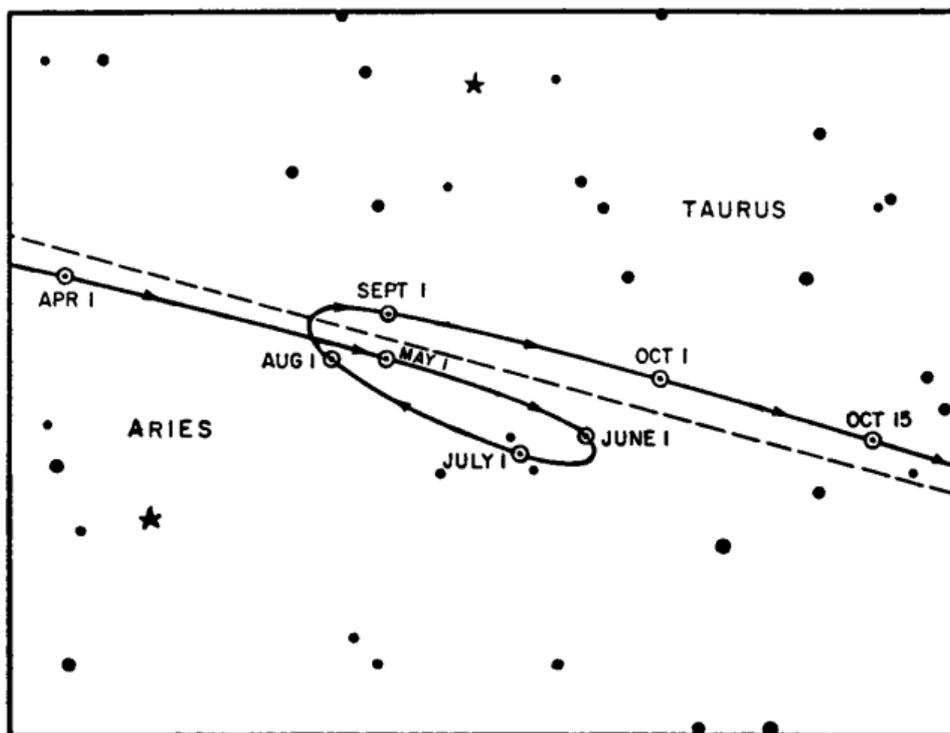


Figura 3 — Movimento de retrogradação do planeta Marte (extraído de Kuhn, 1990, p. 68).

Além desse problema, desde Pitágoras a Cláudio Ptolomeu (90 – 168 d.C.), os astrônomos, filósofos, geômetras e matemáticos gregos da TPGA reconheceram a necessidade de explicar: *a estrutura do universo; os fenômenos do dia e da noite; as estações do ano; a distância orbital dos planetas; as fases da Lua; os*

*eclipses lunares e solares; o movimento retrógrado dos planetas, o brilho aparente dos planetas internos (Mercúrio e Vênus) e externos (Marte, Júpiter e Saturno) e o movimento de rotação da Terra.*²

Dentre esses problemas empíricos, as fases da Lua tornaram-se fundamentais para o desenvolvimento da astronomia, justamente por estar ligado à confecção de calendários. Na configuração deste problema, a Lua completava uma volta através do zodíaco em um tempo médio de 27 dias, mas com uma diferença de 7 horas, em relação ao tempo médio estimado. Além disso, julgava-se importante compreender, também, como seu disco variava visivelmente ao longo do percurso entre os ciclos de Lua nova e de Lua cheia (quadros superiores de 1 a 8 da Figura 4).



Figura 4 — O problema empírico referente às fases da Lua (adaptado de Chastenay, 2016, p. 58).

Nesta figura 4, cada ciclo lunar levava em média um mês, mostrando-se regular tal como a viagem da Lua através do zodíaco. Porém, os dois ciclos lunares (cheia e nova) eram observados com uma diferença significativa. A Lua nova reaparecia, em média, a cada 29,5 dias, mas os ciclos individuais diferiam dessa média em quase 12 horas. Isso significava dois dias a mais do que o período de uma viagem média (27 dias) ao longo do zodíaco.

Kuhn (1990) afirma que, desde os babilônios, esses dados foram sintetizados em tabelas, para auxiliar na confecção de calendários. Mas à medida que as civilizações foram progredindo, os astrônomos tentaram rapidamente organizar estas unidades fundamentais do tempo, ligado às fases da Lua, para construir um calendário mais duradouro. “*Um que permitisse a compilação de registros históricos e a preparação de contratos para serem cumpridos em datas futuras específicas*” (Kuhn, 1990, p. 67). “*Por isso, somente uma teoria matemática complexa, exigindo gerações de observações sistemáticas e estudos, podia determinar a duração de um futuro mês específico*” (Kuhn, 1990, p. 67).

Em síntese, Kuhn (1990, p. 67) observa que, pelo fato de Luas novas e cheias ocorrerem em 29 ou 30 dias, acrescentando-se às variações climáticas anuais governadas pelo Sol, “*alguns métodos rigorosos deveriam ser criados para inserir, um mês ocasional de 30 dias, em um ano básico (354 dias) de 12 meses lunares*”. Por essa razão, esses foram os problemas técnicos mais difíceis encontrados pela prática da astronomia instrumentalista matemática, “*que, acima de tudo, foram responsáveis pelo surgimento de muitas observações e teorias planetárias*” (Kuhn, 1990, p. 67), no próprio contexto da TPGA. Essa necessidade se mostrou tão profunda que o próprio Copérnico, no século XV, alertou que ela somente seria sanada mediante uma imprescindível reforma interna da própria astronomia (Copérnico, 1984).

Não obstante, é importante analisar, como será visto na próxima seção, de que maneira o pensamento científico grego se movimentou na direção da solução de tais problemas. Bem como, por consequência desse processo, se originaram os *problemas conceituais internos e externos*, que se fazem presentes nas estruturas das teorias planetárias e nas implicações dos modelos cosmológicos da TPGA.

Os problemas conceituais internos, como críticas lançadas contra um modelo e/ou uma teoria, guardadas as proporções epistemológicas e históricas, podem ser compreendidos, neste momento, também, pela lente dos critérios e/ou valores cognitivos de “*abrangência, consistência, fecundidade, precisão e*

² Uma contextualização desses fatos como *problemas empíricos* encontra-se em um trabalho anterior (Batista & Peduzzi, 2020).

*simplicidade*³, estabelecidos por Thomas Kuhn (2011). Esses critérios permitem avaliar cognitivamente um modelo e/ou uma teoria científica mediante as seguintes premissas:

“Primeiro, uma teoria deve se conformar com a precisão à experiência: em seu domínio, às consequências dedutíveis da teoria devem estar em clara concordância com os resultados da experimentação e da observação existentes. Segundo, uma teoria deve ser consistente, não apenas internamente ou auto consistente, mas também com outras teorias concorrentes aplicáveis a aspectos da natureza que lhe são afins. Terceiro, ela deve ter uma extensa abrangência; em particular, as consequências da teoria devem ir muito além das observações, leis ou subteorias particulares cuja explicação motivou sua formulação. Quarto, e fortemente relacionado, ela deve ser simples, levando ordem a fenômenos que, em sua ausência, permaneceriam individualmente isolados e coletivamente confusos. Quinto — um item um pouco incomum, mas de importância crucial para as decisões científicas efetivas —, uma teoria deve ser fértil em novos achados de pesquisa, deve abrir portas para novos fenômenos ou às relações antes ignoradas entre fenômenos já conhecidos”. (Kuhn, 2011, p. 341)

Já os problemas conceituais externos de visões de mundo — críticas lançadas contra as implicações que um modelo e/ou uma teoria provocam, quando afetam ideias estabelecidas por uma doutrina amplamente aceita, em cada contexto histórico — serão exemplificados no âmbito da TPGA a partir da doutrina aristotélica, cuja malha conceitual, filosófica, lógica e metafísica, tornou-se a principal referência para o pensamento europeu ocidental, por mais de dois mil anos.

A ORIGEM DOS PROBLEMAS CONCEITUAIS INTERNOS E EXTERNOS NO CONTEXTO DA TPGA

Frente ao conjunto dos problemas empíricos observados na seção anterior, o pensamento científico da TPGA se voltou, especialmente, para o *movimento retrógrado dos planetas*. E o primeiro astrônomo, geômetra e matemático a enfrentá-lo, foi Eudoxo de Cnido (408 – 355 a.C.)⁴, com sua *teoria planetária das esferas concêntricas*. Um trabalho concreto que materializou as aspirações intelectuais da *astronomia matemática instrumentalista* idealizada por Platão (Neugebauer, 1983; Heath, 2004; Linton, 2004). Eudoxo também construiu um observatório e foi responsável por descobrir o *ano tropical de 365 dias e 6 horas* (Laércio, 1792; Linton, 2004). Além disso, esse pensador contou com os ensinamentos de seu mestre, Arquitas de Tarento (428 – 347 a.C.) — discípulo de Filolau — especialmente, sobre a *natureza esférica da Terra* e do uso do movimento circular uniforme associado ao movimento dos corpos celestes.

A partir dos relatos históricos sobre sua teoria (Aristóteles, 1875; Neugebauer, 1983; Yavetz, 1998, 2001; Linton, 2004; Velásquez-Toribio, & Oliveira, 2019), sabe-se que Eudoxo usou três esferas para modelar o *movimento do Sol*, três para o *movimento da Lua* e quatro para *cada um dos cinco planetas* (Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno). Incluindo a esfera das estrelas fixas, sua teoria planetária comportava um modelo de vinte e sete esferas concêntricas e sua premissa básica era a de que a Terra estava estática e localizada geometricamente no centro do universo.

Nessa perspectiva, a *solução do movimento retrógrado dos planetas* fornecida por sua teoria planetária das esferas concêntricas pode ser ilustrada bidimensionalmente pela Figura 5.

³Esses são critérios que funcionam e compõem um conjunto de parâmetros para a avaliação das teorias científicas, que, dentre outros existentes, são vistos como “valores constitutivos da ciência” (Lacey, 1998, p. 61–86).

⁴Outras importantes contribuições de Eudoxo foram destinadas ao desenvolvimento da matemática e da geometria. Por exemplo, a teoria matemática das proporções e o método da exaustão, base primitiva do cálculo integral. Para um maior aprofundamento sobre as contribuições científicas de Eudoxo, ver Neugebauer (1983), Heath (2004) e Linton (2004).

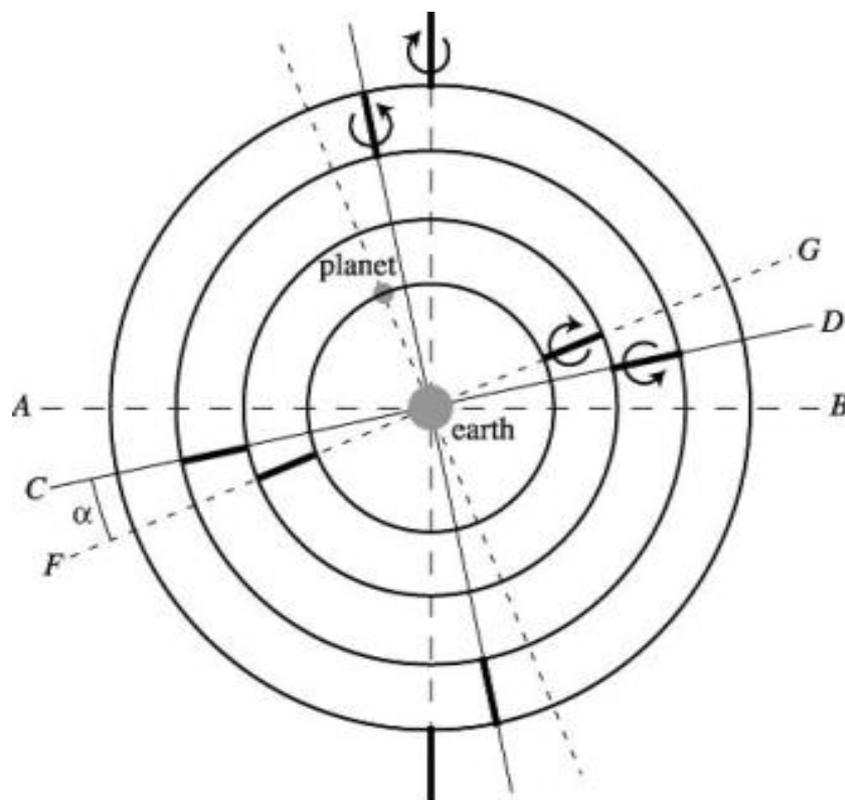


Figura 5 — Modelo de Eudoxo para o movimento retrógrado planetário (extraído de Linton, 2004, p. 29).

De acordo com a Figura 5, o eixo da quarta esfera encontra-se no plano do equador, inclinado por um ângulo alfa menor, em relação ao eixo da terceira esfera, enquanto a segunda esfera está no plano da eclíptica. Crucialmente, a terceira e quarta esferas giram em direções opostas, mas na mesma taxa de velocidade, isto é, uma revolução por período sinódico do planeta – período de revolução de um planeta em relação à Terra. Os movimentos dessas duas esferas se combinam para gerar uma curva do tipo oito, a qual Eudoxo denominou “hipópede”, em homenagem ao dispositivo usado para amarrar um cavalo pelos pés (Neugebauer, 1983). Quando sobreposto ao movimento regular induzido pelas duas esferas mais externas, o dispositivo geométrico (hipópede) tem o efeito de produzir, *como solução do problema*, os pequenos desvios na latitude e os ocasionais períodos de movimento retrógrado (já apresentados na Figura 3), conforme os ajustes se mostrassem necessários (Neugebauer, 1983). Além disso, para cada corpo celeste, a primeira esfera do seu modelo girava uma vez a cada 24 horas, como condição necessária para explicar a rotação aparente do céu, associada ao *fenômeno do dia e da noite*.

Linton (2004, p. 26) afirma que, “os movimentos do Sol, da Lua e dos cinco planetas, em relação às estrelas fixas, foram modelados com apenas dezenove movimentos circulares uniformes”. Uma solução que atendia satisfatoriamente uma segunda pergunta formulada por Platão: “Como se consegue reduzir o complexo e variável movimento planetário a uma simples ordem?” (Kuhn, 1990; Évora, 1993). No entanto, considerando a premissa fundamental de que o pensamento científico evolui com o tempo, as explicações da teoria de Eudoxo vão evidenciar muitos problemas conceituais internos, quando submetidas aos critérios epistêmicos de *abrangência, consistência, fecundidade, precisão e simplicidade* (Kuhn, 2011).

Nessa direção, o primeiro *problema conceitual interno de precisão* encontra-se implicado na crítica feita pelo famoso comentador das obras de Aristóteles, Simplício da Cilícia (527 – 565 d.C.), 900 anos depois. Simplício afirmava que a teoria das esferas não resolvia o *problema do brilho aparente dos planetas internos*, isto é, a variação de brilho devido às suas diferentes posições relativas entre a Terra e o Sol, pois Eudoxo utilizava os movimentos circulares uniformes sobre as esferas com distâncias fixas. Porém isso não correspondia com as observações celestes.

“[Simplício] O que quero dizer, é que, às vezes os planetas parecem ficar pertos, e outras parecem ficar longe. E no caso de alguns, isso é aparente a simples vista. Pois, as estrelas que chamamos Vênus e também a que chamamos Marte, parecem

muitas vezes maiores quando estão na metade de suas retrogradações, de forma que nas noites sem Lua, Vênus provoca que os corpos projetem sombras⁵. (Heath, 2004, p. 221, citado por Velásquez-Toribio, & Oliveira, 2019, p. 5).

Esse mesmo *problema* de precisão pode ser observado na explicação da teoria para o movimento do Sol, quando o mesmo é considerado constante. Uma implicação que incidia em um ano de 360 dias, com durações iguais de tempo para cada *estação do ano*⁶. Mas isso contrariava a própria descoberta do *ano tropical de 365 dias e 6 horas*. Portanto, convém observar que, a principal causa das estações do ano é a variação de energia térmica (calor) “*recebida pelos diferentes hemisférios da Terra em função das diferentes posições desses hemisférios em relação ao Sol ao longo de um ano completo*” (Langhi & Nardi, 2007, p. 91). Isso ocorre devido ao “*eixo de rotação da Terra se manter, durante milênios, praticamente paralelo a uma mesma direção fixa no espaço e está inclinado cerca de 66.5º graus em relação ao plano da órbita da Terra*” (Langhi & Nardi, 2007, p. 91).

De mesmo modo, para o diâmetro aparente da Lua, suas fases (apresentadas na Figura 4), enquanto a teoria postulava que as distâncias orbitais dos corpos celestes eram constantes, devido aos seus movimentos circulares uniformes, contrariavam-se as observações nas quais o diâmetro da Lua cheia era 14% maior do que na fase de Lua nova. Em outra crítica, um *problema conceitual de consistência*, Aristóteles (1875) analisou o acréscimo de mais esferas na teoria original, realizado pelo discípulo de Eudoxo, Calipo de Cyzicus (370 – 310 a.C.), como condição necessária para resolver os problemas empíricos relativos aos movimentos do Sol, da Lua e dos cinco planetas, escrevendo o seguinte:

“A posição das esferas, isto é, a ordem de suas distâncias respectivas, era no sistema de Calipo o mesmo que no sistema de Eudoxo. Quanto ao número de esferas, estes dois matemáticos concordavam em relação a Júpiter e Saturno; mas Calipo acreditava ser preciso adicionar outras duas esferas a do Sol e duas a da Lua, e uma a cada um dos outros planetas”. (Aristóteles, 1875, p. 356 — tradução própria)

Por conta desse acréscimo, a teoria das esferas concêntricas de Eudoxo mostrava-se inconsistente, justamente por seu modelo original de 27 esferas sofrer modificações, passando a conter trinta e seis. Nessa direção, quando se observa o critério de abrangência, a teoria de Eudoxo, mesmo com esse acréscimo de esferas, não dava conta de prever a posição dos planetas, nem outros fenômenos celestes — eclipses lunares e solares — quando comparada, nesse aspecto, com o sistema astronômico aritmético dos babilônios, que, mesmo assim, não tem esse estatuto de teoria científica.

Para o critério de simplicidade, os próprios acréscimos de esferas realizados por Calipo denotam o quão complexo era a teoria das esferas concêntricas. Junto a isso, encontra-se o esquema emblemático associado às direções e sentidos opostos do movimento de rotação dos eixos das esferas, no modelo original; e o dispositivo geométrico *hipópede* utilizado para explicar as retrogradações dos movimentos dos planetas. Por fim, as críticas relativas ao *critério de fecundidade* estão implicadas na incapacidade da teoria solucionar, de modo satisfatório, os principais problemas empíricos da TPGA.

Mesmo sabendo-se que tais critérios epistêmicos são aplicados, aqui, de modo epistemológico e historicamente relativizados, uma pergunta inevitável aponta na direção da importância da teoria de Eudoxo, a saber: *por que essa teoria foi tão fundamental para o desenvolvimento do pensamento científico astronômico e cosmológico ocidental, no contexto da TPGA?*

Linton (2004) afirma que uma possível resposta a essa pergunta, perpassa pelas contribuições fundamentais que essa teoria forneceu para o pensamento científico.

“[...] 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, e, porque (conforme modificado por Calipo) foi adotado pelo gigante da filosofia grega —

⁵Simplicio acreditava que os planetas tinham luz própria.

⁶As estações do ano se distribuem em quantidades de meses, da seguinte maneira: outono — 21 de março a 21 de junho; inverno — 21 de junho a 23 de setembro; primavera — 23 de setembro a 21 de dezembro; verão — 21 de dezembro a 21 de março. Disponível em: <<http://astro.if.ufrgs.br/tempo/mas.htm>>. Acesso: 4 de ago., 2021. Todavia, essas datas não são determinadamente fixas, devido às alterações dos padrões climáticos de cada uma delas temporalmente (Langhi & Nardi, 2007).

Aristóteles — cujos ensinamentos dominaram o pensamento intelectual para os próximos 2000 anos”. (Linton, 2004, p. 32 — tradução própria)

Ratificando esses argumentos, Neugebauer (1983) assinala que poucas teorias astronômicas tiveram uma influência tão contundente e duradoura para o pensamento científico ocidental quanto à teoria das esferas concêntricas de Eudoxo. Esta teoria demonstrou que o movimento dos corpos celestes poderia ser explicado, mesmo que qualitativamente, como uma combinação de rotações uniformes de esferas concêntricas sobre eixos inclinados.

Nessa direção, “*a esfericidade do universo, a importância fundamental do movimento circular, deve ter surgido, a partir de então, como fato estabelecido*” (Neugebauer, 1983, p. 305). Dado que, “*combinado com a ideia de Aristóteles⁷ do primeiro motor, o universo poderia ser entendido como um grande sistema, verdadeiramente, geocêntrico*” (Neugebauer, 1983, p. 305). Por isso, “*Não admira que esta teoria tenha fascinado, durante quase dois mil anos, as mentes dos filósofos e até dos astrônomos, apesar de as graves dificuldades terem aparecido quase desde o início*” (Neugebauer, 1983, p. 305). Ademais,

“As teorias desenvolvidas por astrônomos especializados, como Hiparco e Ptolomeu, tiveram em seu crédito um acordo muito superior com os dados observacionais. No entanto, a convicção humana profundamente enraizada de que a simplicidade e a beleza são critérios de verdade, manteve viva a esperança de que as esferas homocêntricas, embora com algumas modificações, pudessem representar corretamente o plano do criador”. (Neugebauer, 1983, p. 305 — tradução própria)

Nessa perspectiva, os *problemas conceituais externos da componente de visão de mundo* tornaram-se contundentes, a partir da constituição da *doutrina aristotélica*. Tais problemas foram marcados pelas principais características de sua cosmologia, seus pressupostos conceituais, filosóficos, físicos, metafísicos, método lógico-verbal e/ou teoria do silogismo⁸.

Contudo, por Aristóteles ter incorporado a teoria de Eudoxo e a sofisticação de Calipo em seu modelo cosmológico, ele acreditava que a solução de todos os problemas empíricos apresentados, até aqui, podia ser encontrada adicionando cinquenta e cinco esferas no interior da esfera das estrelas. Em comparação, a teoria de Eudoxo comportava vinte e seis esferas e a sofisticação de Calipo, trinta e seis. Porém, Aristóteles atribuiu individualmente oito esferas para Saturno, Júpiter, Marte, Sol, Vênus e Mercúrio e sete esferas para a Lua.

Acreditando na existência física de tais esferas, Aristóteles considerava que o roçar entre elas produzia uma engrenagem capaz de manter em rotação todo conjunto (Évora, 1993). Com isso, *o fenômeno do dia e da noite* podia ser explicado pelo movimento diurno da esfera das estrelas fixas; e os movimentos dos planetas possuíam a seguinte explicação: primeiramente, a mais externa das oito esferas do planeta Saturno era impulsionada pelo movimento diurno da esfera das estrelas fixas; a partir disso, ela transmitia esse mesmo movimento à oitava esfera dos demais planetas, Júpiter, Marte, Sol, Vênus, Mercúrio, encerrando-se na sétima esfera da Lua, como se as outras esferas não existissem. Quando o conjunto das sete esferas em cada um desses planetas, incluindo a Lua, recebia esse impulso inicial, suas rotações, com diferentes velocidades, em alguns casos, sentidos e eixos diversos — semelhantes às explicações da teoria de Eudoxo — reproduziam um movimento independente do diurno (Évora, 1993). Todavia, como as explicações de Aristóteles estavam alicerçadas na teoria de Eudoxo e na sofisticação de Calipo, internamente, elas apresentavam os mesmos problemas conceituais, quando submetidas aos critérios epistêmicos kuhianos de precisão, consistência, abrangência, simplicidade e fecundidade.

Retomando os aspectos da doutrina aristotélica, a cosmologia de Aristóteles comportava as ideias de um universo autocontido, autossuficiente, geometricamente esférico e extremamente extenso, porém finito,

⁷É oportuno dizer que Aristóteles incorporou a ideia das *esferas concêntricas* em modelo cosmológico, atribuindo-lhes uma realidade física que não estava presente na concepção do próprio Eudoxo. No que lhe concerne, essa incorporação é parte integrante dos fundamentos de sua astronomia física realista, que rivalizava com a astronomia matemática instrumentalista platônica no mesmo contexto da TPGA.

⁸Um termo filosófico com o qual Aristóteles designou a conclusão deduzida de premissas, a argumentação lógica perfeita. É um argumento dedutivo constituído de três proposições declarativas (duas premissas e uma conclusão) que se conectam de tal modo que, a partir das duas primeiras (as premissas), é possível deduzir uma conclusão. A teoria do silogismo encontra-se no conhecido texto de Aristóteles denominado Analíticos anteriores. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Silogismo>>. Acesso: 4 de ago., 2021.

com a Terra imóvel e ocupando o seu centro (Figura 6) — uma ilustração bidimensional do modelo cosmológico aristotélico. Este universo era dividido em duas regiões bem distintas, o *mundo sublunar*, delimitado abaixo da esfera da Lua; e o *mundo supralunar*, compreendido entre as esferas da Lua e das estrelas fixas. Ordenadamente, em relação à Terra, encontravam-se a Lua, Mercúrio, Vênus, Sol, Marte, Júpiter e Saturno.

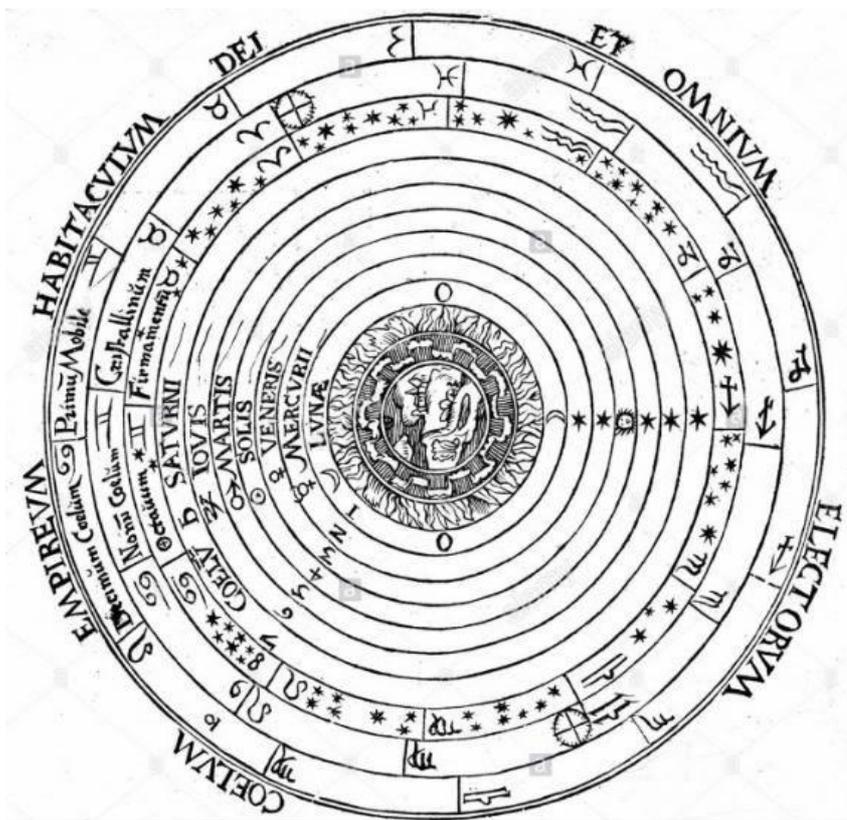


Figura 6 — Modelo cosmológico de Aristóteles⁹ (extraído de Crombie, 1953, p. 53).

Para Aristóteles, a divisão do universo em duas regiões distintas atendia a premissa básica da percepção sensível, isto é, dos sentidos biológicos humanos que dão lastro ao senso comum. Aristóteles (1875, p. 3) afirma que, “*todos os seres humanos têm, por natureza, o desejo de conhecer. O prazer que as percepções de nossos sentidos nos causam é uma prova dessa verdade*”.

Em conformidade, Hessen (2000, p. 60) considera que o peso da percepção sensível para as premissas aristotélicas encontravam-se no fato de que, Aristóteles “*deslocou o mundo platônico das ideias para a realidade empírica*”, defendendo que elas não constituem mais “*um mundo pairando no vazio (...). Elas representam o núcleo essencial e racional das coisas, que as propriedades empíricas envolvem como uma membrana*” (Hessen, 2000, p. 60).

Acerca disso, Crombie (1953, p. 52) afirma que, para Aristóteles, primeiro, “*o comportamento das coisas era devido às formas ou natureza qualitativamente determinadas*”; segundo, “*em sua totalidade, essas naturezas eram arranjadas para formar um todo, ou o universo hierarquicamente ordenado*”. Por isso, Aristóteles (1922) considera que as esferas concêntricas, em seu modelo cosmológico, encerravam um mecanismo físico, cuja realidade ultrapassava a representação meramente matemática da astronomia instrumentalista platônica. Pois, elas configuraram-se, naturalmente, em uma *grande máquina celeste* que mantinha os planetas em movimento no mundo supralunar.

Segundo Kuhn (1990), a *doutrina aristotélica*, na totalidade, foi construída de um modo muito coerente com sua cosmologia, tendo como instrumento seu método lógico-verbal. Na malha conceitual, filosófica, física e metafísica de sua doutrina, encontra-se: (1) o conceito de primeiro motor; (2) a ideia de universo finito e

⁹ Cosmografia De Petii Apiani, restituída por Gemma Phrysius, na Antuérpia, no ano de 1539.

pleno; (3) as leis de movimento natural circular e do movimento natural retilíneo (para cima e para baixo); (4) a esfericidade e centralidade da Terra no universo; (5) o mundo sublunar, lugar das constantes mudanças, devido à sua natureza corruptível e/ou imperfeita, bem como dos quatro elementos, terra, água, ar e fogo — e o mundo supralunar, região eterna e dos divinos corpos celestes, considerada perfeita/incorruptível, preenchida por uma quinta-essência, o éter. Em face disso, é justamente a partir das implicações desses elementos no pensamento científico (astronômico, cosmológico e físico), cultural, filosófico, metafísico e religioso ocidental europeu, que vão surgir os problemas conceituais externos mais agudos para o desenvolvimento cognitivo da ciência que concebemos hoje.

Dessa forma, o primeiro motor aristotélico consiste em uma tentativa de responder o problema suscitado por Parmênides de Eléia (530 – 460 a.C.), qual seja! A ideia de que “o conceito de movimento estava suposto como evidente por si mesmo, como um tema inerente ao estudo da filosofia” (Almeida, 2014, p. 1).

“Parmênides coloca em questão o pensamento grego que tomava o movimento como evidente, ao mostrar, de modo (“sic”) puramente lógico e mental, as contradições geradas pelos conceitos do devir (movimento, deslocamento, geração, corrupção, divisão, transformação, alteração, etc.) quando analisados a partir das exigências lógico-semânticas extraídas por Parmênides de sua concepção dos conceitos de ser e não-ser. O pensamento de Parmênides (e dos eleatas que lhe seguem os passos) representa um desafio para toda a concepção física (e mesmo matemática) da filosofia grega”. (Almeida, 2014, p. 1)

De acordo com Almeida (2014, p. 2), “para Aristóteles, não é possível construir a ciência física (e todas as ciências naturais de que esta se compõe) sem justificar o conceito de movimento ou transformação”. Haja vista que, em sua perspectiva, a doutrina pitagórica dos números e a doutrina platônica das ideias não conseguiam fornecer uma resposta conclusiva ao problema suscitado por Parmênides (Aristóteles, 1875) — conceito de movimento evidente por si mesmo e inerente ao estudo da filosofia. Portanto, ele acredita que o primeiro motor, como um dos princípios fundamentais, “é quem imprime o primeiro movimento, eterno e único movimento”, especialmente, nos corpos celestes (Aristóteles, 1875, p. 354).

Em suas obras *Física* e *Metafísica*, Aristóteles também atribuiu ao primeiro motor a ideia de uma entidade intelectiva, que movia conforme o desejável e o inteligível (Peduzzi, 2015b). Essa entidade, em conjunto com mais dois conceitos fundamentais da filosofia grega, Amor e Ódio, era responsável pela constituição do cosmos, especialmente, em termos dos quatro elementos (terra, água, ar e fogo) e dos princípios inteligíveis do movimento dos corpos celestes (Kuhnen, 1987).

Aristóteles afirmou que “os princípios propriamente ditos, pelos quais aqueles elementos são movidos, são o Amor e o Ódio. Pois, é preciso que os elementos permaneçam alternadamente em movimento, sendo ora misturados pelo Amor, ora pelo Ódio” (Kuhnen, 1987, p. 214). E “Empédocles parece dizer que o poder e a força motriz, possuindo alternadamente o Amor e Ódio, pertencem às mesmas coisas por necessidade, bem como o repouso no tempo intermediário” (Kuhnen, 1987, p. 215). Além disso, “Empédocles, comparado aos seus antecessores, foi o primeiro a introduzir a divisão na causa, sem fazer do princípio do movimento um princípio único, mas dois diferentes e contrários” (Kuhnen, 1987, p. 215).

Essa ideia de primeiro motor, em particular, foi incorporada pela teologia cristã europeia, muitos séculos depois, como referência da própria existência filosófica de Deus. Tal acontecimento se deve ao movimento erudito conhecido como doutrina escolástica, cujos pensadores, ligados fortemente à religião católica romana, cristianizaram, principalmente, as ideias de Aristóteles e de Platão.

Nesse período, o primeiro motor aristotélico foi representado pela famosa pintura¹⁰ de Rafael Sanzio (1483 – 1520), no renascimento italiano, a pedido do Vaticano (Figura 7). Inserida nesse contexto histórico e social, dentre outras funções, as pinturas eram “úteis, pois auxiliavam os devotos a recordar os ensinamentos recebidos e manter em evidência na memória os episódios sagrados do cristianismo” (Vieira Júnior, 2011, p. 46).

¹⁰“Desde os primórdios do cristianismo a pintura foi a expressão figurativa que conquistou o maior destaque na produção de suas práticas artísticas, característica que remonta a uma tradição da época paleocristã, onde as técnicas, composições, temáticas e simbologias eram ensaiadas na pintura de sepulcros e catacumbas (...)” (Vieira Júnior, 2011, p. 46).



Figura 7 — O Primeiro motor de Aristóteles (extraído do Museu do Vaticano).¹¹

De acordo com Vieira Júnior,

“As imagens medievais estão plenas de um sentido religioso cristão em seus temas iconográficos, onde as Escrituras Sagradas e as hagiografias de santos serviram de fonte para este tipo de prática pictórica. Contudo, isto não descaracteriza a necessidade da imagem ser uma obra com valor estético, ao realizar demanda imagética para os ambientes religiosos, a obra não estava restrita apenas à intenção de culto ou a educar os iletrados. A necessidade de a imagem ser reconhecida e apreciada era um pré-requisito para sua finalidade de religiosa (“sic”), ser digna de Deus. Apesar disto, nem todas as imagens medievais produzidas tinham a finalidade de serem observadas em ambientes religiosos públicos, também não podemos generalizar toda a produção imagética do medievo relacionando à finalidade sagrada. Ao longo da Idade Média, foram realizadas obras de tapeçaria e heráldica com inspiração em temas profanos (...)”. (Vieira Júnior, 2011, p. 51)

Voltando aos pressupostos aristotélicos, a existência de um *universo finito e pleno* consistia em mais um elemento implicado como um *problema conceitual externo de visão de mundo*. Para Aristóteles (1922, p. 279^b), “nunca poderia haver qualquer massa de nenhum corpo fora da circunferência, habitualmente chamada de todo ou totalidade, o Céu”. Posto que, “O mundo na totalidade, portanto, incluiu toda matéria disponível. Logo, (...) este nosso Céu é um, único e completo” (Aristóteles, 1922, p. 279^b).

Segundo Kuhn (1990), não havia condição para a ideia de *vazio* na cosmologia aristotélica — o vazio era concebido como aquilo que, na presença de um corpo, embora não fosse real, era possível. Haja vista que *matéria* e *espaço* eram indissociáveis, como dois lados de uma mesma moeda. Em outras palavras, sendo o espaço compreendido em função do volume de um corpo material — isto é, o lugar de objetos —, na ausência do mesmo, não existia nada com que a ideia de espaço vazio pudesse existir por si mesma (Kuhn, 1990).

¹¹ Domínio público. Recuperado de https://pt.wikipedia.org/wiki/Motor_im%C3%B3vel. Acessado em 04 ago., 2021.

A força desse argumento está em conformidade com a percepção sensível, dado que psicologicamente o conceito de lugar é bem mais simples do que o conceito de espaço. Einstein (2010, p. 17) afirma que, “*Quando o conceito de espaço é formado e delimitado dessa maneira, falar de espaço vazio não faz sentido*”. Justamente porque, “*Como a formação dos conceitos sempre foi regida por um empenho instintivo em buscar economia, somos levados, naturalmente, a rejeitar o conceito de espaço vazio*” (Einstein, 2010, p. 17). Por isso, a concepção de vazio era uma ideia absurda, mas como tal, corroborava para a defesa deste universo aristotélico finito e pleno.

As implicações cognitivas resultantes disso, como problemas conceituais externos de visão de mundo, estavam nas seguintes possibilidades: (a) se o espaço vazio existisse, o universo poderia ser infinito, sem um centro especial no cosmos; (b) não seria possível pensar na organização dos quatro elementos (terra, água, ar e fogo) em uma única região — mundo sublunar; (c) seria presumível a existência de outros mundos; e (d) a Terra deixaria de ocupar seu lugar especial nesse universo geocêntrico e geometricamente esférico (Lopes, 2001). Para (a e c), é importante observar que tais ideias eram defendidas por alguns pensadores gregos pré-socráticos, por exemplo, Demócrito de Abdera (460 – 370 a.C.), que pertenciam à escola de pensamento do materialismo e/ou atomista. Tanto na Antiguidade quanto na Idade Média (Grant, 1961), os adeptos dessa escola de pensamento acreditavam na possibilidade de o universo ser infinito e, aceitavam a realidade do vazio e da pluralidade dos mundos (Nietzsche, 1987; Kuhn, 1990).

As ideias aristotélicas permaneceram tão arraigadas no pensamento ocidental europeu que, até meados do século XVII, ninguém conseguiu produzir uma cosmologia capaz de competir com a doutrina aristotélica (Kuhn, 1990). Como elemento conceitual da física aristotélica, o movimento dos corpos celestes era regido pela lei do movimento natural e/ou movimento local, para o qual Aristóteles (1922, p. 268^b) defendia que “*todo movimento local era retilíneo ou circular (...), pois, apenas estas duas linhas, reta e circular, eram as únicas de magnitude simples*”. E em todos “*os corpos simples, isto é, aqueles que possuem um princípio de movimento em sua própria natureza, seus movimentos devem ser ou retilíneos, ou ao redor do centro*” (Aristóteles, 1922, p. 268^b), neste caso, o centro do universo.

A primeira implicação física disso, é que Aristóteles transforma o movimento circular uniforme, principal fundamento dos modelos cosmológicos anteriores e da teoria planetária de Eudoxo, em uma “*lei da natureza*” refletida no movimento dos corpos celestes. Já a segunda, envolvendo o problema empírico da queda dos corpos sobre a superfície da Terra, a explicação aristotélica dada pela *lei do movimento natural retilíneo* somente foi superada pelo desenvolvimento da teoria da gravitação newtoniana no século XVII. Nessa direção, os pressupostos da centralidade da Terra no universo e de sua mobilidade, seguiam às mesmas leis do movimento natural.

Para a primeira explicação, Aristóteles afirmou:

“O movimento natural da Terra em sua totalidade, assim como o das suas partes, é em direção ao centro do todo (Universo): essa é a razão por que ela agora está realmente situada no centro — mas pode ser questionado, já que ambos os centros são os mesmos, com que capacidade o movimento das coisas pesadas ou partes da Terra se dirigem para ele? Este é o objetivo deles porque é o centro da Terra ou é o centro do todo? O objetivo, certamente, deve ser o centro do todo, pois o fogo e outras coisas leves se movem para a extremidade da área que contém o centro. Mas a Terra e o todo têm o mesmo centro, assim o objetivo de seu movimento é indicado pelo fato de que os corpos pesados se movem em direção ao centro da Terra”. (Aristóteles, 1922, p. 269^a — tradução própria)

Essa defesa da centralidade da Terra no universo, posteriormente, tornou-se mais um contundente problema conceitual externo de visão de mundo. Assim como a ideia de primeiro motor, ela foi assumida pela teologia cristã europeia para firmar os fundamentos religiosos da existência física do inferno — localizado no centro da Terra — já a morada de Deus, o Céu, para além da esfera das estrelas fixas. Tal percepção foi integrada no imaginário da cultura renascentista pelo famoso poema de Dante Alighieri (1321 – 1265), A Divina Comédia, escrito no século XIV.

Para a imobilidade da Terra, Aristóteles considerava que defender seu movimento era uma clara violação das leis do movimento natural e de sua própria natureza constituinte (elemento pesado terra). Sobre isso, ele argumentou:

“Está claro, então, que a Terra deve estar no centro e imóvel, não apenas pelas razões já dadas, mas também porque os corpos pesados lançados à força para longe do centro, mesmo para distâncias muito grandes, retornam ao ponto de onde começaram. A partir dessas considerações, fica claro que a Terra não se move e não está em outro lugar além do centro [...] Todo movimento ou é natural, ou é não natural (forçado), e aquele movimento que é não natural para um corpo é para outro [...]. Segue-se necessariamente que o movimento circular, não natural para corpos como (a terra), é natural para algum outro [...]. Se, por outro lado, o movimento de rotação dos corpos em torno de um centro fosse não natural, seria extraordinário e, na verdade, inconcebível que fosse contínuo e eterno, contrário à natureza”. (Aristóteles, 1922, p. 269^b — tradução própria)

Nesse contexto, era muito mais fácil acreditar nesta imobilidade do que no movimento de rotação da Terra, uma vez que a experiência fundamentada na percepção dos sentidos era uma forte aliada de sua visão de mundo. Por esta percepção, quando um objeto é atirado verticalmente para cima, ele retorna ao mesmo lugar de onde foi lançado. Mas isso, para um aristotélico, não poderia ocorrer se a Terra não estivesse imóvel. Pois, enquanto o objeto estivesse no ar, o solo deveria se deslocar para leste e, com isso, o objeto cairia em algum ponto para oeste, em relação ao seu lugar de partida. Portanto, esse fato não podia ser questionado.

Considerado um dos mais importantes pensadores da Antiguidade grega, Aristóteles “*declarava que a Terra estava imóvel, e sua palavra foi levada muito a sério pelos seus sucessores, para muitos dos quais ele se tornou 'o Filósofo', a primeira autoridade em todas as questões da ciência e da cosmologia*” (Kuhn, 1990, p. 104). No entanto, essa temática e experiência foram objeto de uma profunda discussão intelectual no final do século XIII e início do século XIV, por diversos pensadores europeus, dentre eles, Jean Buridan (1300 – 1358) e Nicolas Oresme (1323 – 1382), cujas implicações astronômicas, físicas e cosmológicas sobre a possibilidade do movimento da Terra, pavimentaram os caminhos do advento da astronomia copernicana.

Por exemplo, enquanto Buridan tentou unificar os movimentos terrestres e celestes sob um mesmo conjunto de leis e de sua teoria do impetus — mesmo sendo um dos adeptos a ideia da imobilidade da Terra; Oresme supôs que o movimento da Terra podia conseguir fornecer a propulsão interna dos corpos que a abandonam, pois, estes fazem parte do sistema mecânico de sua rotação e seguem esse movimento (Clagett, 1961).

Não obstante, ainda no contexto da TPGA, o movimento da Terra, antes defendido pela cosmologia de Filolau de Crotona, encontra-se também presente no modelo cosmológico híbrido de Heráclides de Ponto (370 – 310 a.C.), que era contemporâneo de Aristóteles. Especificamente, seu modelo tentava fornecer uma solução ao problema empírico do brilho aparente dos planetas Mercúrio e Vênus (Dreyer, 1953). Em sua explicação, Heráclides acreditava que:

“[...] os fenômenos poderiam ser explicados supondo que o céu e as estrelas estivessem em repouso, e que a Terra estivesse em movimento sobre os polos do equador de oeste para leste, realizando aproximadamente uma rotação completa a cada dia. A palavra 'aproximadamente' é adicionada devido ao movimento do Sol no valor de um grau”. (Cohen & Drabkin, 1966, pp. 106-107— tradução própria)

Com isso, “*ao descrever o caminho de Vênus e do Sol e apontar um ponto médio para ambos, Heráclides mostrou como Vênus estava, algumas vezes, acima e, outras vezes, abaixo do Sol*” (Cohen & Drabkin, 1966, p. 107).

Conforme seu modelo, a Terra, embora no centro do universo, é dotada de um movimento de rotação axial de oeste para leste em 24 horas, tendo a Lua girando ao seu redor na primeira esfera concêntrica; na segunda esfera encontra-se o Sol e, em torno deste, Mercúrio e Vênus orbitam duas pequenas esferas como condição para a explicação de seus brilhos aparentes; mais externamente, porém orbitando a Terra, têm-se os planetas Marte, Júpiter, Saturno; por fim, encontra-se a esfera das estrelas fixas.

Ilustrativamente, o modelo cosmológico híbrido de Heráclides de Ponto encontra-se representado bidimensional pela Figura 8.

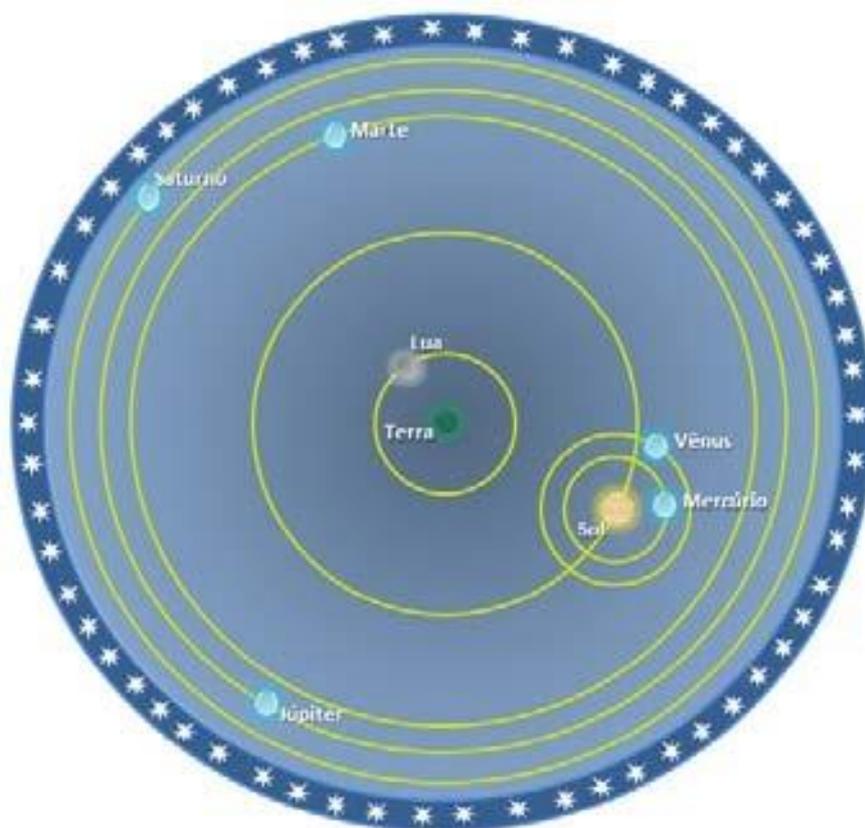


Figura 8 – Modelo cosmológico híbrido de Heráclides de Ponto (extraído de Peduzzi, 2015b, p. 21).

Para a história da astronomia, da cosmologia e da física, o *modelo cosmológico híbrido de Heráclides*, especialmente, a disposição dos planetas orbitando o Sol, abriu caminho para a concepção grega do “*movimento epiciclo, que desempenhou um papel importante no desenvolvimento final da astronomia matemática grega*”. Ao “*descrever órbitas circulares ao redor do Sol, enquanto o Sol descreve uma órbita circular em torno da Terra, Mercúrio e Vênus traçariam caminhos epicíclicos*” (Cohen & Drabkin, 1966, p. 106).

No que lhe concerne, é justamente essa ideia que foi adotada pela teoria planetária de Apolônio de Perga (262 – 194 a.C.), a fim de explicar o movimento retrógrado desses planetas; bem como adotada e aperfeiçoada por Cláudio Ptolomeu (90 – 168 d.C.), cujas teorias planetárias e soluções para todos os problemas empíricos da TPGA, na perspectiva da astronomia matemática instrumentalista, representou o apogeu do desenvolvimento cognitivo dessa tradição de pesquisa.

Ainda no contexto de Aristóteles, encontra-se, também, a cosmologia de Aristarco de Samos (310 – 230 a.C.), cuja *visão de mundo heliocêntrica* representa uma forte objeção à visão de mundo geocêntrica. A contribuição de suas ideias para o crescimento cognitivo da astronomia, da cosmologia e da física, encontram-se no seu tratado *On the Sizes and Distances of the Sun and Moon* (Heath, 2004) — *Sobre os tamanhos e distâncias do Sol e a Lua*. Este trabalho mostra como “*a ciência avança quando utilizamos hipóteses que contradizem teorias solidamente confirmadas*” (Feyerabend, 1985, p. 38).

Aristarco, além de adotar e defender o movimento de rotação axial da Terra, da mesma forma que Filolau e Heráclides, dotou a Terra de um movimento de translação em torno do Sol, que considerava estático no centro do universo. O impacto de seu trabalho entre seus contemporâneos foi de tão grande repercussão, que o historiador Plutarco afirmou que Aristarco foi acusado de *impiedade*, isto é, falta de respeito com a tradição astronômica e cosmológica grega antiga.

De acordo com Plutarco,

“[...] os gregos deviam fazer isso contra Aristarco de Samos, sob o pretexto de que ele movera o coração do mundo ao tentar salvar os fenômenos, supondo que o céu

permanece imóvel e que a Terra se move ao longo de uma órbita oblíqua, ao mesmo tempo, em que gira em redor do seu eixo”. (Plutarco, 2010, p. 36).

Não obstante, Aristarco desenvolveu em sua cosmologia heliocêntrica um método engenhoso e extenso, de modo a calcular, pela primeira vez, as distâncias relativas entre o Sol, a Lua e a Terra — a primeira solução quantitativa para o problema empírico das distâncias orbitais dos planetas. Ele conjecturou seis hipóteses, dentre as quais, a quarta estabelece que “a Lua recebe sua luz do Sol no momento da dicotomia claro-escuro” (Évora, 1993, p. 49). A partir disso, Aristarco admitiu que os centros do Sol, da Lua e da Terra formavam a figura de um triângulo retângulo (Figura 9), que permitia calcular as distâncias relativas desses três corpos.

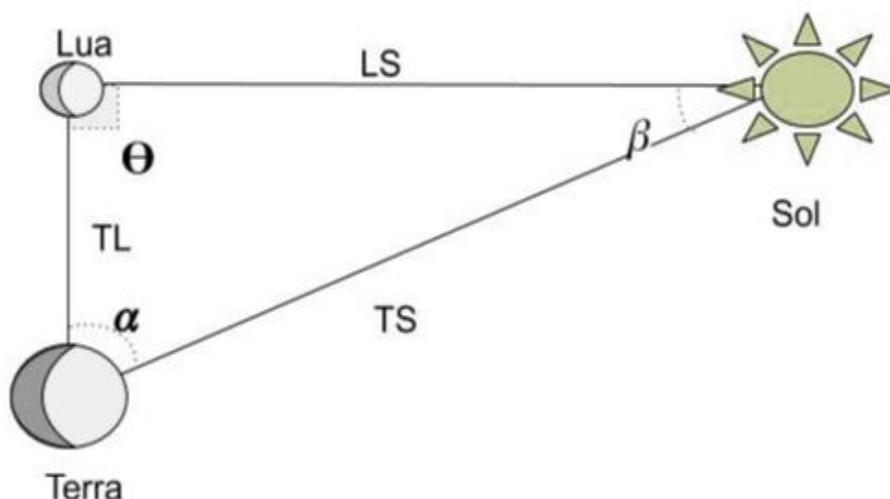


Figura 9 – Método de medidas das distâncias Terra-Sol-Lua (adaptado de Lopes, 2001, p. 112).

Na Figura 9, o ângulo teta (Θ) formado junto a Lua é o ângulo reto (90° graus). Medindo o ângulo alfa (α), Aristarco determinou a relação entre as distâncias Terra-Sol (TS) e Terra-Lua (TL), observando que a distância TS deveria ser maior que dezoito, e menor que vinte vezes a distância TL. Assumindo a relação [$\alpha + \beta + \Theta = (180^\circ)$ graus], com ($\Theta = 90^\circ$), Aristarco concluiu que o valor do ângulo beta (β) era de 30° graus. Com isso, ele aplicou a lei dos senos ($TS / \text{sen. } \theta = TL / \text{sen. } \beta$) ou ($TS / TL = 1 / \text{sen. } \beta$) e encontrou a relação da distância ($TS/TL \approx 19$). A distância TS é dezenove (19) vezes a distância TL, embora se saiba que, atualmente, essa distância é de 382 vezes e não 19.

Mesmo diante dessa imprecisão de cálculo, Aristarco deve ser lembrado como o primeiro astrônomo grego que, de fato, apresentou uma explicação quantitativa ao problema empírico das distâncias entre os corpos celestes, em detrimento, por exemplo, das explicações qualitativas de Pitágoras e de Filolau. Além disso, com a medida do diâmetro da Terra realizada por Eratóstenes de Cirene (276 – 194 a.C.), o trabalho de Aristarco foi fundamental para o desenvolvimento da astronomia, da cosmologia e da física. Isso porque, posteriormente, com medidas mais precisas sobre essas distâncias, Newton, muitos séculos depois, pode iniciar um importante passo intelectual na direção de sua teoria da gravitação universal.

Contudo, o modelo cosmológico de Aristarco foi duramente criticado pelos adeptos da visão de mundo geocêntrica, e suas ideias sobre a mobilidade da Terra encontraram fortes objeções de ordem física.

“Os astrônomos, contudo, de modo geral rejeitaram as hipóteses heliocêntricas sobre bases científicas. Se a Terra gira em uma órbita ao redor do Sol, a posição das estrelas fixas, tal como observada a partir de várias partes da órbita da Terra, deveria variar. Dado que tal variação não era observada na antiguidade [...] Aristarco foi compelido a supor que a esfera das estrelas fixas era incomparavelmente maior do que a esfera que continha a órbita da Terra”. (Cohen & Drabkin, 1966, p. 107 — tradução própria)

Essa objeção estava associada à observação do fenômeno da paralaxe, que, como já sinalizado, só foi observado em nossa era, no ano de 1834, a partir da utilização de telescópios e técnicas observacionais

bastante apuradas. No entanto, a saída de Aristarco, mediante sua premissa da *incomensurabilidade* da distância entre a Terra e as estrelas fixas, foi a mesma exigência adotada por Copérnico para defender a mobilidade da Terra. Em um contexto distante, Copérnico (1990, p. 104) postulou que, “*a razão entre a distância do Sol a Terra e à altura do firmamento era menor que a razão entre o raio da Terra e a sua distância ao Sol; e com muita razão, esta é insensível confrontada com a altura do firmamento*”.

Segundo Koyré (1973, p. 83), ao observar que toda hipótese não geocêntrica estava sujeita a “*invencibilidade das objeções de ordens físicas contra o movimento da Terra*”, existia, tanto no contexto de Aristarco quanto depois de Copérnico,

[...] uma ligação necessária entre o estado da física e o estado da astronomia. Ora, para a física antiga, o movimento circular (de rotação) da Terra no espaço se afigura — e deveria afigurar-se — como oposto a fatos incontestáveis e em contradição com a experiência cotidiana; em suma, como uma impossibilidade física. Ainda outra coisa constituía um obstáculo à aceitação da teoria de Aristarco, a saber, a grandeza desmesurada de seu Universo, pois, se os gregos admitiam que o Universo fosse bastante grande em relação à Terra — (...), ainda assim, as dimensões postuladas pela hipótese de Aristarco lhes pareciam excessivamente inconcebíveis”. (Koyré, 1973, pp. 83-84 — tradução própria)

Adjacente a isso,

“Suponho que assim o era, pois, em pleno século XVII ainda parecia impossível, a muita gente boa, admitir tais dimensões. Também se dizia — e isto é algo inteiramente razoável — que, se a Terra girasse em torno do Sol, isso se veria através da observação das estrelas fixas: que, se não se verificasse nenhuma paralaxe, é que a Terra não girava. Admitir que a abóbada celeste fosse tão grande que as paralaxes das fixas não fossem observáveis parecia contrário ao bom senso e ao espírito científico”. (Koyré, 1973, p. 84 — tradução própria)

Para finalizar, ainda no contexto da TPGA, além desses modelos cosmológicos, como observado, foi concebida a teoria planetária do epiciclo-deferente de Apolônio de Perga, cujo principal objetivo era encontrar uma solução para o problema do movimento retrógrado dos planetas. E o astrônomo Hiparco de Nicéia (190 – 120 a.C.) produziu abundantes observações celestes e forneceu uma base de dados mais apuradas do que a base de dados dos babilônicos, posteriormente, utilizada por Ptolomeu (Neugebauer, 1983).

Ao realizar o mapeamento de mais de mil estrelas (Sobel, 2015), Hiparco fez uma das descobertas astronômicas mais notáveis, qual seja! *A precessão dos equinócios*. Sobre este fenômeno celeste, ele constatou que “*a brilhante estrela Spica, na constelação de Virgem, estava a seis graus a oeste da posição do Sol no equinócio outonal, (...); enquanto seu predecessor Timocharis, na primeira noite de outono do século IV a.C. vira a constelação de Spica a oito graus a oeste*” (Sobel, 2015, pp. 76–77).

“A minúscula diferença entre as duas estrelas passou despercebida noite após noite, mas causou um efeito cumulativo ao longo de décadas, chegando a cerca de um grau por século. Levaria muitas eras — muitos milênios, de fato — para que o círculo se tornasse um círculo completo. A extrema lentidão e velocidade variável de deslocamento, que veio a ser chamada de precessão dos equinócios, garantiu emprego para os astrônomos em futuros distantes”. (Sobel, 2015, p. 77)

Segundo Neugebauer (1983), é de bom grado observar como o trabalho de Hiparco se tornou uma base importante para o trabalho *Almagesto* de Ptolomeu, visto que este último astrônomo grego utilizou esse material com uma habilidade suprema para solucionar todos os problemas empíricos da TPGA, a partir de uma incrível quantidade de cálculos numéricos contemplados em sua obra. Contudo, historicamente, a astronomia copernicana foi desenvolvida sobre as bases da obra, *Almagesto*, de Ptolomeu — assunto para outro trabalho — especialmente, em termos de seus dados e dos mecanismos matemáticos de suas teorias planetárias (epiciclos, deferentes, equante e excêntricos). Por fim, é possível finalizar a contextualização desses temas imprescindíveis para a compreensão da relação Terra-Universo, parando por aqui, posto que a principal crítica conceitual interna de Copérnico as teorias de Ptolomeu residiu no uso do mecanismo equante, que Copérnico afirmava violar a premissa platônica do movimento circular uniforme.

Com efeito, Kuhn (1990, p. 123) afirma que, “*entre os treze séculos que separam a morte de Ptolomeu do nascimento de Copérnico, não foi produzida nenhuma mudança fundamental no sistema ptolomaico*”. Nesse sentido, em um próximo trabalho, procurar-se-á, inicialmente, situar os principais aspectos do trabalho de Ptolomeu, de modo a discutir essa crítica conceitual feita por Copérnico. E, a partir de seu trabalho, mostrar como a solução dos problemas fomentados pelo seu sistema astronômico contribuiu para o nascimento da ciência moderna nos séculos XVI e XVII, à luz da epistemologia da solução de problemas de Larry Laudan.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando o objetivo deste trabalho; suas justificativas; os benefícios que a história, a filosofia e a sociologia da ciência têm proporcionado para a melhoria do processo de ensino-aprendizagem *de e em* ciências; bem como, os problemas apontados pela literatura inerentes às concepções de senso comum, que são compartilhadas por estudantes e docentes da educação básica; aos erros conceituais na abordagem dos conteúdos científicos nos livros didáticos do ensino fundamental e do ensino médio; e a importância didática e pedagógica da construção do saber docente relativo ao conhecimento disciplinar da história conceitual da ciência, como elemento fundamental para a superação desses problemas; a resignificação histórico-filosófica dos assuntos e/ou temas considerados relevantes para a compreensão estudantil e docente da relação Terra-Universo, fundamentada nos conceitos de problemas empíricos, problemas conceituais e de tradição de pesquisa laudanianos, é um convite especial para que as e os estudantes, professoras e professores da educação básica, possam viajar pela história conceitual da astronomia e da cosmologia, no longo contexto histórico investigativo da Grécia antiga (Santos & Infante-Malachias, 2008).

Nessa viagem prazerosa, este trabalho fornece uma oportunidade desses sujeitos poderem conhecer, compreender e analisar, historicamente, como os assuntos e/ou temas, respectivamente: as distâncias orbitais entre os corpos celestes; as fases da Lua; o fenômeno do dia e da noite; as estações do ano; o movimento de translação e de rotação da Terra; o movimento de retrogradação dos planetas, vistos da Terra; dentre outros, estavam no foco do pensamento dos gregos antigos, particularmente, em suas tentativas de estabelecer uma *conexão racional* entre esses conteúdos científicos e a verdadeira estrutura do universo. Conexão essa, que se materializou nas construções intelectuais dos diferentes modelos cosmológicos e teorias planetárias apresentadas nessa contextualização histórico-filosófica. E denota a importância substantiva do significado científico para a compreensão humana da relação Terra-Universo, também, preconizada pela literatura do ensino de ciências e os documentos oficiais da educação brasileira (MEC, 2002, 2006, 2010, 2018; Lameu & Langhi, 2018; Souza & Azevedo Filho, 2021).

Destaca-se que, especialmente, para as professoras e os professores, em processo de formação inicial e continuada (Santos & Infante-Malachias, 2008; Prado & Nardi, 2020), essa viagem pela história da ciência, pode contribuir, também, para com a construção intelectual do conhecimento disciplinar relativo ao conteúdo da história conceitual da astronomia e da cosmologia, por um ponto de vista epistemológico substantivo, que lhes permitem uma profunda compreensão do significado desses assuntos e/ou temas, como problemas científicos que fomentaram o crescimento, desenvolvimento e/ou progresso cognitivo da ciência, desde a Grécia antiga ao nascimento da ciência moderna, nos séculos XVI e XVII da nossa era.

Acredita-se, também, que, a partir dessa compreensão, as formadoras e os formadores de professoras e professores de ciências da educação básica, incluindo cursos de extensão voltados para docentes da pedagogia e licenciaturas afins (Prado & Nardi, 2020), podem utilizar este trabalho para proporcionar uma discussão profícua com esses futuros docentes. Por exemplo, procurando estabelecer relações entre os erros conceituais das concepções de senso comum, acerca do entendimento e explicação dos fenômenos celestes ligados a esses conteúdos, e os problemas conceituais internos e externos de visão de mundo da própria ciência, presentes nos modelos cosmológicos e teorias planetárias do contexto investigativo da Grécia antiga.

De modo específico, nesse processo de formação, é possível tentar mediar a construção de analogias e metáforas (Villani, Barolli, Cabral, Fagundes, & Yamazaki, 1997), por parte desses sujeitos, que os permitam perceber que, tanto na história conceitual da ciência quanto no processo de formação intelectual da pessoa humana, o crescimento, desenvolvimento e/ou progresso científico cognitivo depende fortemente da solução de problemas, especialmente, relativos ao eixo da *conceitualização* (Piaget, 2007; Laudan, 2011). Considerando esse progresso, esses futuros docentes podem auxiliar na mediação da superação das razões que permeiam as concepções de senso comum das e dos estudantes do ensino médio (Lago, Ortega, &

Mattos, 2019), proporcionando-lhes, também, um ensino-aprendizagem promotor de um desenvolvimento cognitivo estudantil.

No que confere aos problemas relativos aos erros conceituais, incluindo aspectos didáticos e pedagógicos encontrados nas abordagens desses conteúdos nos livros didáticos do ensino fundamental e do ensino médio (Langhi & Nardi, 2007; Amaral & Oliveira, 2011; Souza & Azevedo Filho, 2021), este trabalho pode contribuir com as autoras, os autores e avaliadores de livros didáticos, especialmente, no processo de correção de tais problemas. Por exemplo, mediante uma contextualização histórico-filosófica bem fundamentada que permita uma apropriada ressignificação desses conteúdos. Mas, para tanto, é preciso que esses sujeitos estejam seriamente comprometidos e atentos a resultados de pesquisas como os apresentados neste trabalho e nos demais citados ao longo deste artigo. Portanto, defende-se que somente um diálogo contínuo com os resultados de pesquisa, integrado com uma atenta vigilância epistemológica, educacional, didática e pedagógica, sobre o processo de ensino-aprendizagem; com a mediação da construção do conhecimento disciplinar, dentre outros; e uma apropriada transposição didática dos conteúdos científicos para os livros didáticos da educação básica; torna-se possível o trabalho efetivo em prol de uma substantiva melhoria da educação e do progresso do ensino de ciências.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro (Bolsa) para a realização de toda a pesquisa, que tem este presente trabalho, como mais um fruto importante do processo investigativo. Ao corpo editorial da revista IENCI e aos nossos pares revisores, pelas críticas e sugestões que tornaram possível essa publicação.

REFERÊNCIAS

- Aaboe, A. (1958). On babylonian planetary theories. *Centaurus*, 5(34), 209–277.
<https://doi.org/10.1111/j.1600-0498.1958.tb00499.x>
- Aiton, E. J. (1981). Celestial spheres and circles. *History of Science*, 19(2), 75–114.
<https://doi.org/10.1177/007327538101900201>
- Almeida, N. (2014). A posição entre Heráclito e Parmênides e sua “resolução” em Empédocles, Anaxágoras e Demócrito. *Departamento de Filosofia da Universidade Federal de Santa Catarina*. Recuperado de <https://moodle.ufsc.br/course/view.php?id=35580>
- Amaral, P., & Oliveira, C. E. Q. V. O. (2011). Astronomia nos livros didáticos de ciências - uma análise do PNLD 2008. *Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia*, (12), 31–55. Recuperado de <https://www.relea.ufscar.br/index.php/relea/article/view/162/208>
- Anderson, L. W., Krathwohl, D. R., Airasian, P. W., Cruikshank, K. A., Mayer, R. E., Pintrich, P. R., Raths, J., & Wittrock, M. C. (2001). “*A taxonomy for learning, teaching, and assessing: a revision of Bloom’s taxonomy of educational objectives*”. New York, United States of America: Longman.
- Aristóteles. (1875). *Metafísica*. (Trad. Patricio de Azcárate Corral.). Madrid, España: Editores Medina y Navarro.
- Aristóteles. (1922). *De caelo*. (Trad. Stocks, J. L.). New York, United States of America: Oxford University Press.
- 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). Programa de Pós-graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. Recuperado de <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/219562>
- 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.
<http://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2019v24n2p38>

- Batista, C. A. S., & Peduzzi, L. O. Q. (2020). A origem dos problemas empíricos astronômicos no longo contexto investigativo da tradição de pesquisa grega. In *Anais do XVIII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*. Florianópolis, Santa Catarina, SC. Recuperado de http://www1.fisica.org.br/~epef/xviii/images/Anais_XVIII-EPEF.pdf
- Batista, C. A. S., & Peduzzi, L. O. Q. (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. In Realize Eventos Científicos e Editora Ltda (Org.) *Anais do XIII Encontro de Pesquisa em Educação em Ciências*. Plataforma digital. Recuperado de <https://www.editorarealize.com.br/index.php/edicao/detalhes/anais-do-xiii-encontro-nacional-de-pesquisa-em-educacao-em-ciencias>
- Bessada, D. (2014). A gênese da harmonia das esferas no antigo pitagorismo. *Revista Música*, 14(1), 85–114. <https://doi.org/10.11606/rm.v14i1.115248>
- Bombassaro, L. C. (1992). *As fronteiras da epistemologia: uma introdução ao problema da racionalidade e da historicidade do conhecimento*. Petrópolis, RJ: Vozes.
- Borges, L. (1978). Sobre a natureza. In J. C. Souza (Org.). *Os pré-socráticos: fragmentos, doxografia e comentários* (pp. 250–252). São Paulo, SP: Abril Cultural.
- Brown, R. (1828). A brief account of microscopical observations made in the months of june, july and august, 1827, on the particles contained in the pollen of plants and on the general existence of active molecules in organic and inorganic bodies. *Edinburgh New Philosophical Journal*, (5), 358–371. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107775473.016>
- Carvalho, A. M. P., & Gil-Pérez, D. (2011). *Formação de professores de ciências: tendências e inovações*. (10a ed.). São Paulo, SP: Cortez.
- Clagett, M. (1961). *The science of mechanics in the middle ages*. Madison, United States of America: Oxford University Press.
- Chastenay, P. (2016). From geocentrism to allocentrism: teaching the phases of the moon in a digital all-dome planetarium. *Research in Science Education*, (46), 43–77. Recuperado de <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs11165-015-9460-3>
- 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. Recuperado de <http://pantaneito.co.uk/teaching-the-nature-of-science-to-secondary-and-post-secondary-students-questions-rather-than-tenets-michael-clough/>
- Cohen, M. R., & Drabkin, I. E. (1966). *A source book of greek science*. Cambridge, United States of America: Harvard University.
- Copérnico, N. (1990). *Commentariolus: pequeno comentário de Nicolau Copérnico sobre suas próprias hipóteses acerca dos movimentos celestes*. (Trad. introdução e notas de Roberto Andrade Martins.). São Paulo, SP: Nova Stella..
- 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>
- Crombie, A. C. (1953). *Augustine to Galileo: the history of science A.D 400-1650*. Cambridge, United States of America: Harvard University Press.
- Dal Magro, T. (2013). Critério de decisão entre hipóteses científicas rivais: Kuhn, Lakatos e Laudan. *Cognitio-Estudos*, 10(2), 174–190. Recuperado de <https://revistas.pucsp.br/cognitio/article/view/12701/13259>
- Dreyer, J. L. E. (1953). *A history of astronomy from Thales to Kepler*. New York, United States of America: Dove Publications.

- Einstein. (2010). Apresentação. In M. Jammer. *Conceitos de espaço: a história das teorias do espaço na física* (pp. 15–50). Rio de Janeiro, RJ: Contraponto.
- Évora, F. R. R. (1993). *A revolução copernicana-galileana: astronomia e cosmologia pré-galileana*. Campinas, SP: Unicamp.
- Forato, T. C. M., Pietrocola, M., & Martins, R. A. (2011). Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 28(1), 27–59. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2011v28n1p27>
- Galileu, G. (2011). *Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano*. (Trad., introdução e notas de Pablo Rubén Mariconda. São Paulo, SP: Editora 34.
- 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. Recuperado de <http://www.scielo.br/j/ciedu/a/DyqhTY3fY5wKhzFw6jD6HFJ/?lang=pt&format=pdf>
- Grant, E. (1969). Medieval and seventeenth century conceptions of infinite void space beyond the cosmos. *Isis*, 60(1), 39–60. Recuperado de <http://www.jstor.org/stable/229021>
- Gurid, 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. Recuperado de <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/506/305>
- Heath, T. (2004). *Aristarchus of Samos: the ancient*. New York, United States of America: Dover Publications.
- Hessen, J. (2000). *Teoria do conhecimento*. (Trad. João Vergílio Gallerani Cuter.). São Paulo, SP: Martins Fontes.
- Huffman, A. C. (1993). *Philolaus of Croton: pythagorean and pre-socratic*. New York, United States of America: Cambridge University Press.
- Iachel, G., Langhi, F., & Scalvi, R. M. F. (2008). Concepções alternativas de alunos do ensino médio sobre o fenômeno de formação das fases da Lua. *Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia*, (5), 25–37. <https://doi.org/10.37156/RELEA/2008.05.025>
- Jammer, M. (2010). *Conceitos de espaço: a história das teorias do espaço na física*. Rio de Janeiro, RJ: Contraponto.
- Jardim, W. T., & Guerra, A. (2017). Experimentos históricos e o ensino de física: agregando reflexões a partir da revisão bibliográfica da área e da história cultural da ciência. *Investigações em Ensino de Ciências*, 22(3), 244–263. <http://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2017v22n3p244>
- Júnior, L. A. R., Cunha, M. F., & Laranjeiras, C. C. (2012). Simulação de experimentos históricos no ensino de física: uma abordagem computacional das dimensões históricas e empíricas da ciência na sala de aula. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 34(4), 4602. <https://doi.org/10.1590/S180611172012000400023>
- Koestler, A. (1989). *O homem e o mundo: como a concepção do universo se modificou através dos tempos*. São Paulo, SP: Ibrasa.
- Koyré, A. (1973). *From the closed world to the infinite universe*. Baltimore, United States of America: Johns Hopkins.
- Koyré, A. (2002). O significado da síntese newtoniana. In B. Cohen, & R. S. Westfall (Orgs.). *Newton: textos, antecedentes, comentários* (pp. 84–100). (Trad. Vera Ribeiro. Rio de Janeiro, RJ: Contraponto.
- Kuhnen, R. F. (1978). Doxografia. In J. C. Souza (Org.). *Os pré-socráticos: fragmentos, doxografia e comentários* (pp. 139-140). São Paulo, SP: Abril Cultural.

- Kuhn, T. S. (1990). *A revolução copernicana: a astronomia planetária no desenvolvimento do pensamento ocidental*. Lisboa, Portugal: Edições 70.
- Kuhn, T. S. (2011). *A tensão essencial*. (Trad. Marcelo Amaral Penna-Forte.). São Paulo, SP: Editora da Unesp.
- Lacey, H. (1998). *Valores e atividade científica*. São Paulo, SP: Discurso Editorial.
- Laércio, D. (1792). *Sobre las vidas y opiniones de los filósofos mas ilustres*. (Trad. Josef Ortiz y Sanz.). Madrid, España: Imprensa Real.
- Lago, L., Ortega, J. L., & Mattos, C. (2019). A investigação científica-cultural como forma de superar o encapsulamento escolar: uma intervenção com base na teoria da atividade para o caso do ensino das fases da Lua. *Investigação em Ensino de Ciências*, 24(1), 239–260.
<http://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2019v24n1p239>
- Lakatos, I. (1989). *La metodología de los programas de investigación científica*. Madrid, España: Alianza.
- Lameu, L. P., & Langhi, R. (2018). O sistema solar no CD: um objeto de aprendizagem de astronomia. *Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia*, (25), 71–93.
<https://doi.org/10.37156/RELEA/2018.25.071>
- Langhi, F. S., & Nardi, R. (2007). Ensino de astronomia: erros conceituais mais comuns presentes em livros didáticos de ciências. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 24(1), 87–111, 2007.
<https://doi.org/10.5007/%25x>
- Langhi, R., & Nardi, R. (2014). Justificativas para o ensino de astronomia: o que dizem os pesquisadores brasileiros? *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 14(3), 041–059. Recuperado de <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4292/2857>
- Laudan, L. (2011). *O progresso e seus problemas: rumo a uma teoria do crescimento científico*. (Trad. de Roberto Leal Ferreira.). São Paulo, SP: Unesp.
- Linton, C. M. (2004). *From Eudoxus to Einstein: A history of mathematical astronomy*. London, England: Cambridge University Press.
- Lopes, M. H. O. (2001). *A retrogradação dos planetas e suas explicações: os orbes dos planetas e seus movimentos, da antiguidade a Copérnico*. (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós-Graduação em História da Ciência, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo. Recuperado de <https://www.ghc.usp.br/server/Teses/Maria-Helena-Oliveira-Lopes.PDF>
- Lopes, I. C. (2014). Giordano Bruno: entre o geocentrismo e o heliocentrismo. *Revista de Filosofia*, 9(1), 1–25. <https://doi.org/10.31977/grirfi.v9i1.603>
- 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. (1994). Galileu e a rotação da Terra. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 11(3), 196–211. Recuperado de <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/7147/6602>
- Matthews, M. R. (2018). The nature of science and science teaching. In M. R. Matthews (Org.). *Science teaching: the contribution of history and philosophy of science* (pp. 387-411). London, England: Routledge.
- MEC (2002). *PCN+ Ensino médio: orientações educacionais complementares aos parâmetros curriculares nacionais-ciências da natureza, matemática e suas tecnologias*. Secretaria de Educação Básica. Brasília, DF: MEC/SEB. Recuperado de <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>
- MEC (2006). *Orientações Curriculares para o Ensino Médio. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*. Secretaria de Educação Básica. Brasília, DF: MEC/SEB. Recuperado de http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/book_volume_02_internet.pdf

- MEC (2010). *Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio*. Secretaria de Educação Básica. Brasília, DF: MEC/SEB. Recuperado de <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>
- MEC (2018). *Base Nacional Comum Curricular*. Brasília, DF: MEC, CONSED, UNDIME. Recuperado de http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf
- Mendonça, P. C. C. (2020). De que conhecimento sobre a natureza da ciência estamos falando? *Ciência & Educação*, (26), e20003. <https://doi.org/10.1590/1516-731320200003>
- Micha, D. N. (2018). Fotos da Lua pelo mundo: um projeto observacional registrado em fotografia sobre como as fases da Lua se comparam quando observadas dos hemisférios norte e sul. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 40(3), 1–10. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2017-0383>
- Moreira, M. A., & Massoni, N. T. (2011). *Epistemologias do século XX*. São Paulo, SP: Pedagógica Universitária Ltda.
- Moreira, M. A. (2011). *Aprendizagem significativa: a teoria e textos complementares*. São Paulo, SP: Livraria da Física.
- Mortimer, E. F. (1996). Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos? *Investigações em Ensino de Ciências*, 1(1), 20–39. Recuperado de <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/645>
- Moura, B. A. (2014). O que é natureza da ciência e qual sua relação com a história e filosofia da ciência? *Revista Brasileira de História da Ciência*, 7(1), 32–46. Recuperado de http://www.sbh.org.br/arquivo/download?ID_ARQUIVO=1932
- Neugebauer, O., & Sachs, A. (1968). Some atypical astronomical cuneiform texts, II. *Journal of Cuneiform Studies*, 22(4), 92–113. <http://doi.org/10.2307/1359125>
- Neugebauer, O. (1975). *A history of ancient mathematical astronomy*. Berlin, Germany: Springer-Verlag.
- Neugebauer, O. (1983). *Astronomy and history selected essays*. New York, United States of America: Springer-Verlag.
- Nickles, T. (2017). Historicist theories of scientific rationality. The Stanford Encyclopedia of Philosophy. Recuperado de <https://plato.stanford.edu/entries/rationality-historicist/#HistConcRatiBattBigSyst>
- Nietzsche, F. (1987). *Crítica moderna. Demócrito*. (Trad. Rubens Rodrigues Torres Filho.). In J. C. Souza. *Os pré-socráticos: fragmentos, doxografia e comentários* (pp. 348–355). São Paulo, SP: Abril Cultura.
- Orr, M. (1914). *Dant and the early astronomers*. London, England: Gall and Inglis.
- 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 Eletrônica de Enseñanza de las Ciencias*, 7(2), 367–386. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10183/94531>
- 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. Recuperado de <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/527>
- Pedersen, O. (1993). *Early physics and astronomy: a historical introduction*. New York, United States of America: Cambridge University Press.
- Peduzzi, L. O. Q. (2015a). *Do átomo grego ao átomo de Bohr*. (Publicação interna). Florianópolis: Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Catarina. (revisado em julho de 2019). Recuperado de <http://www.evolucaodosconceitosdafisica.ufsc.br>
- Peduzzi, L. O. Q. (2015b). *Força e movimento: de Thales a Galileu*. (Publicação interna). Florianópolis: Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Catarina. (revisado em julho de 2019). Recuperado de <http://www.evolucaodosconceitosdafisica.ufsc.br>

- 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. <http://www.10.22600/1518-8795.ienci2020v25n2p19>
- Pereira, M. H. R. (1949). Introdução e notas. In Platão. *A república* (I–LX). (Trad. Maria Helena da Rocha Pereira.). Lisboa, Portugal: Fundação Calouste Gulbenkian.
- 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(n.esp.), 84–99. <https://doi.org/10.5007/%25x>
- Piaget, J. (2007). *Epistemologia genética*. São Paulo, SP: Martins Fontes.
- Platão. (1949). *A república*. (Trad. Maria Helena da Rocha Pereira.). Lisboa, Portugal: Fundação Calouste Gulbenkian.
- Plutarco. (2010). *Sobre a face visível da Lua*. (Trad. Bernardo Mota.). Coimbra, Portugal: Centro de Estudos Clássicos e Humanísticos.
- Prado, A. F., & Nardi, R. (2020). Formação de professores dos anos iniciais e saberes docentes mobilizados durante um curso de formação em astronomia. *Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia*, (29), 103–116. Recuperado de <https://www.relea.ufscar.br/index.php/relea/article/view/461/pdf>
- 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, 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>
- Silva, C. C. (Org.). (2006). *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino*. São Paulo, SP: 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>
- Sobel, D. (2015). *Um céu mais que perfeito: como Copérnico revolucionou o cosmos*. (Trad. Ana Claudia Ferrari.). São Paulo, SP: Companhia das Letras.
- Souza, G. F., & Azevedo Filho, J. S. (2021). Considerações sobre a disponibilidade dos tópicos de astronomia em livros didáticos de Física no PNLD 2018. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 38(1), 66–83. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2021.e73273>
- Teixeira, E. S., Freire Jr., O., & El-Hani, C. N. (2009). A influência de uma abordagem contextual sobre as concepções acerca da natureza da ciência de estudantes de física. *Ciência & Educação*, 15(3), 529–556. <https://doi.org/10.1590/S1516-73132009000300006>
- 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>
- Velásquez-Toribío, A. M., & Oliveira, M. V. (2019). Primeiro modelo matemático da cosmologia: as esferas concêntricas de Eudoxo. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 41(2), e20180096. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2018-0096>
- Vieira Júnior, R. P. (2011). Culto ou arte? Divergências historiográficas e o consenso da problemática no debate sobre o “sentido da imagem” na idade média. *Aedos*, 3(7), 43–54. Recuperado de <https://seer.ufrgs.br/aedos/article/view/15998>
- 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://doi.org/10.5007/%25x>

- Villani, A. (1992). Conceptual change in science and science education. *Science Education*, 76(2), 223–237. <https://doi.org/10.1007/BF0086995>
- Yates, F. A. (1964). *Giordano Bruno e a tradição hermética*. (Trad. Yolanda Steidel de Toledo.). São Paulo, SP: Cultrix.
- Yavetz, I. (1998). On the homocentric spheres of Eudoxus. *Archive for History of Exact Sciences*, 52(3), 221–278. Recuperado de <https://www.jstor.org/stable/41134047>
- Yavetz, I. (2001). A new role for the hippopede of Eudoxus. *Archive for History of Exact Sciences*, 56(1), 69–93. Recuperado de <https://www.jstor.org/stable/4113413>

Recebido em: 09.08.2021

Aceito em: 15.04.2022