

O APAGAMENTO DAS INFLUÊNCIAS PITAGÓRICO-PLATÔNICAS NAS ABORDAGENS DE LIVROS DIDÁTICOS SOBRE AS ELABORAÇÕES ASTRONÔMICAS DE JOHANNES KEPLER

Maria Amélia Monteiro¹

¹UFGD-Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS, br
(mariamonteiro@ufgd.edu.br)

Resumo: Analisamos as abordagens sobre as proposições de Kepler na astronomia em seis livros de física já utilizados no ensino médio, em um Estado brasileiro. Elaboramos uma historiografia usando fontes e referências secundárias. Na construção dos dados, mobilizamos a Análise Textual Discursiva e elaboramos cinco metatextos. Constatamos que os livros omitem as influências pitagórico-platônicas nos pressupostos de Kepler, contribuindo para uma interpretação instrumentalista dessa astronomia.

Palavras-chave: Influências pitagórico-platônicas; Astronomia kepleriana; Livros didáticos de física.

INTRODUÇÃO

A literatura tem evidenciado pesquisas sobre abordagens de temas da astronomia em livros didáticos da educação básica brasileira. Via de regra, apontam fragilidades que comprometem o entendimento dos estudantes sobre conceitos e se confrontam com recomendações de pesquisadores e professores para favorecerem uma perspectiva ampla da educação em astronomia. Langhi e Nardi (2007), por exemplo, investigaram pesquisas que apontavam problemas conceituais e aspectos histórico-filosóficos sobre astronomia, em livros didáticos de ciências. Em 2004, Selles e Ferreira haviam apontado inconsistências nas imagens referentes às estações do ano, em livros de ciências das séries iniciais. Constataram imagens incompatíveis com observações realizadas no Hemisfério Sul.

Amaral e Oliveira (2011) identificaram informações imprecisas e desatualizadas sobre conceitos da astronomia, em 52 livros de ciências dos 3º e 4º ciclos do Ensino Fundamental. Contudo, avaliaram ter ocorrido uma melhoria das imagens dos livros. Mais recentemente, Almeida e Menezes (2020) analisaram as abordagens sobre conceitos da astronomia em 12 coleções didáticas do Ensino Fundamental e constataram uma redução dos erros conceituais, indicando uma avaliação mais rigorosa dos textos. Todavia, apontam deficiências em aspectos históricos, focados na transição do geocentrismo para o heliocentrismo, mas sem contextualização satisfatória. Um aspecto positivo foram as abordagens dos feitos astronômicos dos egípcios, sumérios, assírios e indígenas. Ou seja, pluralizam as tradições culturais abordadas.

O intento da presente pesquisa foi analisar se livros didáticos de física já utilizados no nível médio da educação brasileira explicitam as influências

pitagórico-platônicas sobre o trabalho de Kepler no campo da astronomia. Esperamos que a investigação amplie o panorama das pesquisas sobre abordagens da astronomia nos livros didáticos brasileiros e se prestar para reflexões acerca da contribuição desses livros para a educação em astronomia.

AS PROPOSIÇÕES DE KEPLER NO CAMPO DA ASTRONOMIA

A presente abordagem é desenvolvida em cinco tópicos distintos, mas articulados entre si. Nesses, contemplamos aspectos da astronomia na segunda metade do século XVI, realçando contraposições entre o geocentrismo estabelecido e a proposição copernicana, ainda em construção e interpretação.

Prosseguindo, evidenciamos aspectos fundantes para a elaboração das pressuposições keplerianas, como as influências pitagórico-platônicas e suas relações com a adoção ao heliocentrismo evidenciadas, sobretudo, no primeiro modelo astronômico, configurado por sólidos regulares e esferas. Adicionalmente, contemplamos a ruptura com o preceito platônico de movimento circular planetário e a adoção de uma dinâmica celeste, consubstanciados nas proposições nomeadas Primeira e Segunda Leis para os movimentos planetários. Finalizando, abordamos outra retomada pitagórica, notadamente, a concepção de universo harmônico e suas influências na construção da chamada Terceira Lei dos movimentos planetários e a elaboração das Tabelas Rudolfinas. Realçamos que Kepler desenvolveu sua impregnada de conceitos antigos, travando com esses uma batalha, mas retomou outros, valendo-se de elementos metafísicos. Promovendo rupturas e reencontros com preceitos antigos, Kepler corroborou para a aceitação do copernicanismo e para a gênese da cosmologia moderna.



PERFIL DA ASTRONOMIA NO SÉCULO XVI

No início do século XVI, os sinais de exaustão da astribinua ptolomaica eram evidentes. O Calendário Juliano, em vigor desde o ano 46 a. C., a partir de recomendação de Júlio César, imperador romano, apresentava problemas no tocante à previsibilidade dos fenômenos (Forbes; Dijksterhuis, 1963)

A partir do V Concílio de Latrão (1512-1517), a reforma do Calendário Juliano tornou-se um projeto oficial da Igreja, porque já alcançava um atraso de onze dias, implicando descompasso entre a Páscoa e o início da Primavera, no hemisfério Norte. Copérnico (1473-1543) havia sido incentivado pelo papado a elaborar um novo calendário. Porém, declinou, alegando necessitar doutra astronomia e, em torno de 1510, lançou as bases de um modelo heliocêntrico, indicando as demonstrações matemáticas em obra posterior (Copérnico, 1990). Esta seria o *De Revolutionibus*, publicada em 1543, onde expôs os preceitos do seu modelo heliocêntrico. A astronomia de Copérnico, além de muitos aspectos não esclarecidos, contrariava preceitos sedimentados pela tradição geocêntrica. Mas, durante a segunda metade do século XVI, o modelo matemático copernicano prestou-se para a elaboração de algumas tabelas astronômicas, colaborando para a difusão da proposta. Em 1551, por exemplo, Erasmus Reinhold (1511-1553), professor de matemática e astronomia na Universidade Protestante de Witemberg, baseou-se no sistema matemático de Copérnico e elaborou as Tabelas Plutênicas, sem declarar o compartilhamento das ideias de descentralização e movimentos da Terra. Essas Tabelas, em alguns aspectos, eram mais precisas que as anteriores e tornar-se-iam referência na elaboração do Calendário Gregoriano, promulgado pelo papa Gregório XIII e vigorando a partir de 1582, nos países católicos (Kuhn, 1990). Até então, vigoravam as Tabelas Alfonsinas elaboradas em meados do século XIII, baseadas no modelo ptolomaico e elaboradas por recomendação do Rei Alfonso X de Castela a astrônomos árabes.

Ampliando a difusão do copernicanismo, Caspar Peucer (1525-1602), que havia estudado astronomia com Heinhold, também usou como referência o sistema matemático copernicano na obra *Hypotesis Astronomicae*. Em 1576, o sistema copernicano fortaleceu-se com a defesa popular do movimento da Terra pelo astrônomo inglês Thomas Digges (c.1546-1595). Em uma perspectiva semelhante, Giuseppe Magini (1555-1617), professor de matemática na Universidade de Bolonha, também adotou as teses copernicanas em relação ao universo (Kuhn, 1990). Mesmo vários astrônomos adotando o modelo copernicano, nas últimas décadas do século XVI, os preceitos cosmológicos geocêntricos estavam longe de sucumbirem, mas, revigoravam-se a partir de dadas defesas, apesar de algumas falácias terem sido evidenciadas. O astrônomo dinamarquês Tycho Brahe (1546-1601) continuava convicto do

geocentrismo e assentou seus feitos nesse fundamento. Em 1588, Brahe apresentou um modelo híbrido, cujos planetas transladavam em órbitas circulares em torno do Sol e este, em torno da Terra em repouso no centro do universe (Kuhn, 1990). Assim, preservava o geocentrismo, ao mesmo tempo que refutava o sistema ptolomaico.

Vários autores opinam que a postura de Brahe deveu-se a confiança em seus dados, precisos para época. Sua perícia como observador e os instrumentos de grandes dimensões conferiam-lhe o feito. Mas, algumas das suas previsões para o planeta Marte eram incompatíveis com suas observações, o qual desafiava os astrônomos desde a Antiguidade grega (Kuhn, 1990).

Outro feito de Brahe ocorreu em 1563, quando Saturno e Júpiter encontravam-se próximos. Consultou as Tabelas Alfonsinas e percebeu que incorriam em um erro de um mês. Outras constatações singulares foram detectadas por Brahe, como o aparecimento de uma estrela na constelação de Cassiopéia, em 1572 e um cometa em 1577, com evidências que se deslocava na região supralunar. Cometa transpondo os limites das esferas cristalinas colocava a existência destas em suspeição. (Kuhn, 1990).

A constatação do surgimento da estrela contribuiu para disseminar a fama de Brahe, que também era astrólogo e veio a prever acontecimentos a partir do fenômeno. Confrontando com o preceito aristotélico de que toda mudança ocorreria na região sublunar, as constatações de Brahe suscitaram amplos debates entre os astrônomos. No entanto, apesar da sua reputação quanto à obtenção de dados, não conseguiu constatar a paralaxe estelar prevista pelo modelo de Copérnico, consequente da translação da Terra.

Acrescente-se que, nas últimas décadas do século XVI, fortaleciam-se instabilidades em relação ao geocentrismo mesmo entre seus defensores. No entanto, o heliocentrismo copernicano ainda demandava um longo percurso para se estabelecer.

UM MODELO ASTRONÔMICO ESTRUTURADO EM SÓLIDOS E ESFERAS CONCÊNTRICOS

Na última década do século XVI, enquanto se avultavam acirramentos aos preceitos heliocêntricos, Johannes Kepler (1571-1630) adentrava no campo da astronomia. Investigava as razões de existirem seis planetas no universo; as relações entre as distâncias dos planetas ao Sol e os respectivos períodos de rotação; a variação das velocidades translacionais dos planetas ao longo das respectivas órbitas. Essas intenções foram assinaladas pelo próprio Kepler, no prefácio do *Mysterium Cosmographicum* (doravante Mistério), editado em 1597. Admitiu ter dispensado um grande investimento nessas especulações e visava identificar uma proporção numérica na configuração geométrica do universo. Kepler (1994) considerava o modelo copernicano como o ideal de universo.

Expressando os intentos iniciais da investigação, Kepler assinala:

“É minha intenção, leitor, demonstrar neste pequeno livro que o Ideal Máximo do Criador, ao criar esse universo móvel e na disposição dos céus se ateu aos cinco sólidos regulares, os quais têm sido tão famosos desde os tempos de Pitágoras e Platão até os nossos ...” (1994, p. 65).

Nesse tratado, Kepler defendeu que a existência de seis planetas se devia a razão de existirem cinco sólidos regulares, assim como as dimensões orbitais e os respectivos ordenamentos. Ou seja, os sólidos regulares e suas dimensões estariam ajustados a uma ordem divina, respondendo algumas questões priorizadas pelo seu autor.

No Mistério, Kepler também discorreu que a parte visível do universo de três dimensões conformava-se à Santíssima Trindade. O Sol representava o Pai; a esfera das estrelas, o filho e as forças invisíveis emanadas pelo Pai, o Espírito Santo. Ou seja, semelhantemente aos pitagóricos, a força que movia o universo emanava do fogo, sendo que, no modelo kepleriano, o fogo foi representado pelo Sol. Adotou que a configuração do universo se submetia a uma ordem divina, de caráter matemático, manifesta na relação entre os fenômenos. Conforme realça Caspar (1993), Kepler elaborou um modelo descritivo do universo, expressando sua convicção em traços dos preceitos pitagórico-platônicos.

Kepler conheceu os preceitos pitagóricos e copernianos na juventude. No período de 1586 a 1588 esteve no Seminário de Maulbronn e estudou o quadrivium, idiomas clássicos, gramática e retórica (Garcia, 1994). Em 1589, ingressou na Universidade Protestante de Tübinga, permanecendo até 1594. Nesta, estudou com o astrônomo Michael Maestlin (1550-1631), com o qual se corresponderia por vários anos. Em 1582, Maestlin havia escrito uma obra difundida em instituições europeias. Nessa, adotou o sistema ptolomaico, certamente, pela aceitação dos teólogos. Contudo, em privado, Maestlin ressaltava a coerência do sistema copernicano, além de considerar-se um pitagórico (Caspar, 1953).

Em sua estada em Tübinga, Kepler conheceu ainda as obras de Euclides, Aristóteles, Platão e alguns neoplatônicos, bem como o pensamento pitagórico e o seu misticismo geométrico que havia influenciado Nicolau de Cusa (1401-1464). Caspar (1993) advoga que foi dessa perspectiva pitagórica, originada no séc VI a. C., que Kepler mais se aproximou, conforme evidenciado posteriormente em várias passagens da sua obra (Dreyer, 1953).

Kepler (1994) defendeu que, através da centralização do Sol, o modelo físico de Copérnico propiciava explicações mais simples para as retrogressões dos planetas e para os movimentos progressivos do Sol e da Lua, sem os artifícios matemáticos do modelo ptolomaico. Este, segundo Kepler, não dava conta de vários fenômenos e apresentava soluções pontuais,

desprezando as interações entre os corpos. A partir dessa perspectiva, evidencia-se que Kepler empreendeu defesa ao copernicanismo, antes mesmo de evidências consolidadas. Acreditava na abrangência e na harmonia do modelo, onde a configuração física atribuída ao universo explicava muitos aspectos observacionais, além de propiciar previsões para futuros movimentos dos planetas.

Apesar dessas posturas, Kepler era um crítico de aspectos do modelo copernicano, notadamente, a condição do Sol não comportar o centro das órbitas planetárias, centradas na Terra. Daí apontou a necessidade de calcular as excentricidades planetárias em relação ao Sol e investiu na correção matemática do sistema. Outro desacordo deu-se em relação à adoção de possibilidade do universo alargado, aventado por Copérnico (1984).

As convicções de Kepler no heliocentrismo e nos preceitos pitagórico-platônicos foram inicialmente corporificadas nos constituintes e disposição geométrica de um modelo de universo. Neste, centralizou o Sol e em volta dispôs os planetas transportados em esferas, cujos espaços de intercalação foram preenchidos pelos cinco sólidos regulares, respectivamente inscritos e circunscritos nessas esferas, cujos raios eram iguais aos do sistema copernicano. Esse conjunto compôs um esqueleto invisível, explicando a ordem e a distância entre os planetas, conforme a Figura 1.

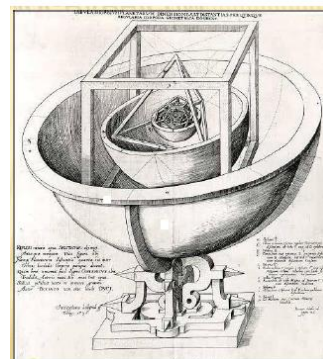


Figura 1: Modelo de Esferas e Poliedros (KEPLER, 1994, p. 99)

Explanando sobre a ordenação das esferas e das respectivas disposições nos sólidos, Kepler (1994, p. 70) assinala:

“A Terra está no círculo que é a medida para tudo. Circunscreve um dodecaedro. O círculo que o circunscreve será Marte. Circunscreve a Marte com um tetraedro, o círculo que compreende a este será Júpiter. Circunscreve a Júpiter com um cubo. El círculo que compreende a este será Saturno. Agora inscreve a Terra um icosaedro. O círculo inscrito neste será Vênus. Inscrito em Vênus um octaedro. O círculo inscrito nele será Mercúrio. Tem a razão do número de planetas”.

Essa ordem na disposição dos poliedros foi esboçada a partir das hierarquias atribuídas pelas respectivas

propriedades, evidenciadas pelas métricas (cap III-VIII). Prosseguindo, Kepler (1994) calculou os raios das esferas planetárias, respectivamente inscritas e circunscritas nos poliedros, cujas faces eram tocadas pelas respectivas esferas inscritas, que determinavam as distâncias mínimas dos planetas ao Sol (cap XIII do Mistério). Constatou que os resultados eram pouco discrepantes em relação as previsões e concordantes com os valores propostos por Copérnico (cap XIV ao XX).

Tanto pelos elementos constituintes, quanto pelos propósitos da disposição geométrica, o modelo configurado em sólidos regulares denota uma postura metafísica de Kepler em relação ao universo e, em vários aspectos, incompatibilizava-se com as observações. Contudo, Kepler continuou a fazer ajustes no modelo, porém, problemas perduravam. Tossato (1999) opina que, através de um modelo realista, Kepler tencionava obter uma estrutura harmônica de universo a priori dos dados empíricos. Através desse modelo, Kepler constatou que atribuindo aos raios das esferas às dimensões aproximadas da distância entre os planetas e o Sol, como no sistema copernicano, propiciava aproximação com a realidade. Porém, como as órbitas planetárias não se mostravam concêntricas, adotou espessuras variáveis para as esferas. No modelo copernicano, o centro da esfera terrestre estava deslocado do Sol. Assim, as influências pitagóricas vão se evidenciando, nas nuances do modelo de Kepler. Conforme Dreyer (1953), os pitagóricos concebiam que os fenômenos naturais se relacionavam entre si, expressos através de uma ordem matemática.

Quando Kepler finalizou o Mistério, atuava como professor de matemática e geometria no Seminário Protestante em Graz. Anteriormente, tentou construir o modelo sem considerar a natureza espacial do arranjo planetário. Intercalou as órbitas por figuras planas, como o triângulo, o quadrado e outras. Sem êxito. Propôs um planeta invisível entre Mercúrio e Vênus e outro, entre Marte e Júpiter para obter uma ordem numérica nesse arranjo planetário. Concluiu que poderia colocar vários polígonos nesse plano, incompatível com a quantidade limitada de planetas. Após essa tentativa, adotou os sólidos de Platão intercalando as órbitas planetárias, determinando as distâncias dessas ao Sol (Kepler, 1994).

Com intensa convicção na centralidade do Sol, Kepler propôs que não existiam contradições entre o copernicanismo e as Escrituras. Porém, o decano da faculdade de Tubinga, o qual autorizaria a publicação da obra, recomendou-lhe tratar o copernicanismo como artifício matemático (CASPAR, 1993).

Após a edição do Mistério, Kepler enviou exemplares a alguns dos seus contemporâneos, dentre eles Galileu, Brahe e Maestlin. Brahe considerou a proposição inadequada no tocante à representação dos fenômenos celestes a priori dos dados

observacionais. Escreveu a Maestlin tecendo críticas ao modelo, que as enviou a Kepler (Caspar, 1993).

A PROPOSIÇÃO DE UMA DINÂMICA CELESTE

O modelo planetário estruturado em esferas e sólidos regulares não correspondeu às expectativas de Kepler, principalmente, em relação as variações de velocidades e posições planetárias. Porém, ao final do século XVI, um acontecimento fecundaria elementos decisivos para Kepler empreender ruptura com pressuposições do programa inicial, preservando outras. Em junho de 1599, o imperador austro-húngaro Rudolf II (1552-1612) nomeou Brahe como matemático imperial, indo esse para as proximidades de Praga. Em dezembro de 1599, Brahe convidou Kepler para ordenar os seus dados observacionais ao seu modelo geocêntrico. Brahe era crítico do heliocentrismo, mas ciente das potencialidades de Kepler como matemático (Caspar, 1963).

Kepler aceitou o convite de Brahe e foi à Praga. De imediato, Brahe dispôs a Kepler a tarefa de trabalhar com a órbita de Marte, com imprevisibilidades desde a Antiguidade. Longomontanus, um assistente de Brahe que trabalhava com a órbita de Marte foi incumbido em investigar o movimento da Lua (Caspar, 1993; Koestler, 1981).

Nos dezoito meses entre a chegada de Kepler à Praga e o falecimento de Brahe, em novembro de 1601, Kepler realizou várias viagens e as interações entre eles não foram harmoniosas. Contrariando Brahe, Kepler tencionava ajustar os dados observacionais daquele a um sistema heliocêntrico (Dreyer, 1953; Koestler, 1981). Após o falecimento de Brahe, Kepler tornou-se o matemático da corte de Rudolf II, permanecendo no cargo até o falecimento do imperador, em 1612. Kepler acessou os dados astronômicos mais precisos e abrangentes da época, testando a compatibilidade de alguns com o sistema astronômico configurado em esferas e sólidos regulares. Mas, não obteve o êxito pretendido.

Dispondo dos dados de Brahe, Kepler se dedicou ao movimento de Marte, focando no raio da órbita circular centralizada no Sol, na orientação em relação as estrelas e nas posições em que se mostrava mais próximo e afastado do Sol, respectivamente. A velocidade angular do planeta se mostrava variável - mais rápida e mais lenta em duas regiões da órbita, posicionadas diametralmente opostas entre si. Ou seja, Marte parecia se mostrar sujeito a distintas intensidades de interações ao longo da órbita, interações que já haviam sido conjecturadas no Mistério para todos os planetas. Mas, os resultados incompatibilizavam-se com as observações. Prosseguindo, Kepler (1992), valeu-se do artifício do equante, descentralizado, em relação ao qual a velocidade angular de Marte seria constante. O equante havia sido adotado por Ptolomeu e refutado por Copérnico.

Na proposição de Ptolomeu, o Sol e o ponto equante estavam equidistantes, em relação ao centro da órbita do planeta e sobre um segmento passando pelo centro e por isso, o aparente aumento e diminuição da velocidade do planeta Marte, quando estivesse respectivamente mais próximo e distante do Sol. As tentativas de Kepler (1992) em determinar as posições desses pontos foram exaustivas.

A adoção do artifício do equante não compatibilizou o movimento de Marte com os dados de Brahe, discrepantes em oito minutos. Kepler desprezou o equante, mas, ainda preso ao preceito platônico de movimento circular e uniforme dos planetas em relação ao Sol. Assim, Kepler permanecia adepto dos preceitos da antiga astronomia.

Como prever a velocidade e a posição da Terra na órbita em ponto específico no futuro? Kepler (1992) permanecia convicto de que o Sol era o agente causal da variação das velocidades planetárias na órbita. Este intento estava assinalado Mistério e ao não identificar uma proporcionalidade matemática entre as distâncias e as respectivas velocidades planetárias, Kepler (1994) apontou uma perspectiva causal para esse fenômeno. Dotou os planetas de almas motrizes que os conduziam nas órbitas, sendo essas mais atenuadas quanto mais distantes estivessem do Sol ou essa alma motriz estaria no Sol, incidindo com maior intensidade sobre os planetas mais próximos.

Antes de atribuir uma causa física aos movimentos planetários, Kepler propôs que os planos de todos os excêntricos se interceptavam no Sol, regente dos movimentos, se opondo a proposta copernicana cuja interseção se dava no centro da órbita da Terra. Assim, impôs nuances realista para a descrição das causas físicas dos movimentos planetários.

Para resolver a problemática da órbita de Marte, Kepler (1992) inferiu que o tempo para percorrer uma dada fração dessa, relacionava-se com a sua distância ao Sol. Adotando o método da exaustão dos polígonos, usado por Arquimedes na Antiguidade, dividiu a órbita do planeta em 360 segmentos de arco, estimando as distâncias individuais dessas porções em relação ao Sol. Inferiu que o conjunto de segmentos entre o planeta e o Sol entre dois pontos específicos na órbita planetária corresponderiam à área compreendida entre esses e o Sol, sendo essa uma medida do tempo para o planeta percorrer o segmento entre os dois pontos citados – configurando uma área. Admitiu trata-se de um procedimento dispendioso, tendo requerido bastante tempo.

A partir desses pressupostos, Kepler (1992) expandiu para dois segmentos do percurso do planeta. Em sendo as respectivas áreas iguais, os tempos para percorrê-las também. Assim previu a variação de velocidade do planeta Marte em toda a órbita, apesar de considerar apenas dois instantes específicos. Posteriormente, essa seria chamada a Lei das Áreas, contemplando a variação das velocidades planetárias.

Koestler (1981) opina que a ação motora proposta por Kepler foi uma elaboração revolucionária, porque desde a Antiguidade não existia uma perspectiva dinâmica para os movimentos planetários. Acrescenta que Kepler aventou considerar as forças entre os planetas, preparando o caminho para Newton postular os princípios da gravitação e da inércia. Tossato (2004) discute que a convicção de Kepler nos planetas movidos por uma emanção solar o fez partir de uma cinemática instrumentalista para uma dinâmica realista, unificando a astronomia e a física. Em Praga, Kepler conheceu os trabalhos de Gilbert sobre o magnetismo e posteriormente conjecturou incorporá-lo à dinâmica do movimento solar, atentando-se às proposições do seu tempo. Assim, dotou o Sol de movimento axial, emanando substância imaterial e de origem magnética que se propagava em vórtices pelo espaço e arrastava os planetas em órbitas circulares concêntricas (Kepler, 1992). Essa emanção seria a responsável pelas velocidades translacionais planetárias.

RUPTURA COM A ÓRBITA CIRCULAR

Anteriormente, Kepler determinou a variação da velocidade de Marte ao longo da órbita, a qual permanecia circular, em relação às estrelas fixas. Mas, a forma circular da órbita de Marte não se compatibilizava com os dados observacionais disponíveis. A partir daí, evidenciam-se as tratativas que levaram Kepler a romper com a proposição de órbita planetária circular.

Durante o trabalho com a órbita de Marte, Kepler buscou adequá-la a um sistema de círculos compostos e a outras formas geométricas. Mas, os resultados incompatibilizavam-se com os dados de Brahe. Porém, a compatibilidade foi bastante otimizada a partir da adoção de uma órbita mais aguda no periélio, que ia se alargando em direção ao afélio, onde adquiria maior abertura (Kepler, 1992). Conforme realça Dreyer (1953), a forma da órbita de Marte aproximava-se de uma elipse, evidenciando que pormenores matemáticos do sistema copernicano pouco se diferenciavam do ptolomaico.

Para otimizar a compatibilidade entre os cálculos e os dados relativos à excentricidade de Marte, Kepler (1992) também considerou o movimento da Terra, de onde as observações foram realizadas. Posteriormente, adotou a órbita da Terra e dos outros planetas, como elipsoidais. Esses feitos propiciaram progresso significativo compatibilidade entre as previsões e os dados observacionais disponíveis.

Na opinião de Kunh (1990), a adoção pela órbita elipsoidal por Kepler não se deu apenas a partir da disponibilidade de dados, mas, também pelas convicções relativas ao Sol. Ou seja, apesar de romper com a essência do preceito platônico para os movimentos planetários, se manteve imerso no pitagorismo. Logo, parece evidente que o intento de



Kepler não era romper com o preceito platônico, mas, resolver o problema da excentricidade de Marte. Em seu trabalho com as órbitas planetárias, Kepler (1992) constatou que, para essas trajetórias serem circulares, porém excêntricas ao Sol, necessitava da combinação de um epiciclo e um deferente para cada, isto é, de um círculo menor cujo centro descrevesse outro círculo, como no modelo de Copérnico. Mas, Kepler percebia incoerência em um corpo atraído pelo Sol girar em torno do centro do epiciclo, um ponto imaterial. Adicionalmente, constatou que os dados de Brahe se adequavam aos movimentos dos demais planetas, caso as suas órbitas fossem elipsoidais e as velocidades variáveis. O Sol estaria próximo a um dos focos da órbita elíptica.

Posteriormente, essa proposição de Kepler seria nomeada como a Lei das Órbitas. Acerca dessa construção, erigida a partir do intento de corrigir o sistema físico copernicano, Kuhn (1990) assinala: “Pela primeira vez, uma única curva geométrica simples e uma única lei da velocidade são suficientes para predizer a posição planetária, e pela primeira vez as predições são tão exactas como as observações” (p. 246).

Romper com as velocidades planetárias constantes e as órbitas circulares, certamente desafiaram Kepler. Tratavam-se de preceitos bem estabelecido, inclusive por tradições astronômicas antagônicas. Assim, Kepler despede-se da antiga astronomia.

Tossato (1999) advoga que a ruptura com uma interpretação instrumentalista para a realista sobre a astronomia que possibilitaram Kepler construir as duas primeiras leis. Acrescenta que no Mistério teria incorporado as bases para a elaboração de um modelo regido por preceitos dinâmicos, com ação causal atribuída ao Sol.

As proposições nomeadas Lei das Órbitas e Lei das Áreas foram apresentadas na obra *Astronomia Nova*, editada em Praga, no ano de 1609 e dedicada a Rudolfo II. Nos capítulos de 1 a 6 dessa obra, Kepler segue a tradição platônica com a órbita planetária circular, além de adotar o Sol central e com conotação física. Prosseguindo, no Capítulo 40 apresenta a Lei das Áreas. A partir do Capítulo 44, vai desenvolvendo argumentos que culminaria com a proposição de órbitas planetárias elípticas, no Capítulo 59. Por isso, vários historiadores defendem que Kepler desenvolveu a chamada a Lei Áreas antes da Lei das Órbitas e apenas para Marte. Posteriormente, expandidas aos demais planetas.

Contrariando o entendimento de vários astrônomos da época, Tossato (1999) alerta que a obra de 1609 não foi o trabalho de um sonhador. Mas, o resultado de um trabalho elaborado com afinco, anos a fio, para explicar o cosmos através de uma harmonia matemática, evidenciando o quanto Kepler perseguia os preceitos pitagóricos. Tossato e Mariconda (2010) interpretam que Kepler promoveu a superação da astronomia matemática descritiva, até então

praticadas por Ptolomeu, Copérnico e Brahe, iniciando uma astronomia física, porém mobilizando a matemática como explicação.

CONSOLIDANDO AS HARMONIAS

O apego à harmonia do Cosmos, com o comportamento das partes vinculadas ao todo, evidenciadas pelas regularidades matemáticas, não denota ter sido um pressuposto passageiro de Kepler. Permaneceu nas proposições mais tardias, evidenciadas no *Harmonias do Mundo*, editada em 1619. Koestler (1981) opina que a convicção de Kepler nas harmonias não foi consequência de um pensamento jovem, mas uma convicção amadurecida. Para uma explicação dinâmica dos movimentos planetários, Kepler já havia proposto a ação do Sol nos planetas e as órbitas elipsoidais. Uma relação numérica entre os períodos dos planetas e as respectivas distâncias variáveis ao Sol, expressando a perfeição do Criador, permaneciam insatisfatórias. Alcançou esse intento propondo que o período dos planetas estariam submetido a uma relação de expoente fracionário $2/3$, no tocante às distâncias médias de cada um desses planetas ao Sol. Posteriormente, foi nomeada de Terceira Lei de Kepler.

Atualmente, a proposição anterior é configurada como a razão entre os quadrados dos tempos de revolução de qualquer planeta pelo cubo da respectiva distância média ao Sol são equivalentes. Kepler amplia a pressuposição de que os movimentos individuais dos planetas se relacionavam com as respectivas órbitas. Ao adotar a distância planetária média, supera uma problemática presente na estrutura física poliédrica, a qual não se mostrava compatível com a plasticidade da dinâmica do universo.

Para as frequências angulares dos planetas ao longo da órbitas, Kepler atribuiu a emissão de uma nota musical não captada pelo ouvido humano, porém harmônicas. Os movimentos do conjunto de planetas compunham uma música celeste. Nessa feita, comparou os valores máximos e mínimos das frequências dos movimentos planetários, constatando que a razão entre elas correspondia a um número inteiro. Inferiu ainda que essas frequências, relacionadas com as excentricidades planetárias, eram entoadas em quatro tipos de vozes, a saber: soprano, contralto, tenor e baixo (Kepler, 1995).

Destacamos que, com essa proposição, Kepler reedita teses pitagóricas, cujos movimentos celestes emitiam notas musicais. Antes de apresentar *A Harmonia do Mundo*, Kepler já organizava a apresentação de outra obra – *Epitome da Astronomia Copernicana*, finalizada em 1621. Nesta, encontra-se uma exposição sintética dos trabalhos por ele realizados no campo da astronomia.

Outra feita de Kepler foi à elaboração das Tabelas Rudolfinas, apresentadas em 1627, as quais evidenciaram a precisão do sistema copernicano em relação ao ptolomaico, corroborando para a aceitação

do copernicanismo (Kuhn, 1990). Conforme Koestler (1981), essas Tabelas foram bastante aguardadas por astrônomos, navegadores e autores de calendários e horóscopos. Pela precisão conferida à posição dos planetas e das estrelas, prestaram-se como referência por mais de cem anos. Acrescenta que a grande precisão dessas Tabelas deveu-se a mobilização dos dados de Brahe, o qual catalogou em torno de oitocentas estrelas. Kepler ampliou esse quantitativo para pouco mais de mil estrelas. Pelos feitos de Kepler, Gingerich (2008) atribuiu-lhe o desenvolvimento do sistema copernicano.

O PANORAMA DA INVESTIGAÇÃO

Para aclarar o objetivo e construir o objeto da investigação, sua análise e interpretação, construímos um referencial historiográfico. Pautamos-nos, principalmente, em historiadores da ciência que tem respeitabilidade em relação à temática, como Thomas Kuhn, Owen Gingerich, Max Caspar e outros, além de algumas obras de Kepler, Copérnico e Galileu.

A construção e a organização do objeto

O objeto da investigação foi construído com as abordagens de seis livros didáticos de física do nível médio sobre o trabalho de Kepler no campo da astronomia. Cada um dos livros foi codificado como LD, subscrito de um índice numérico relacionado à ordem da análise. A partir desta, a amostra foi identificada como segue: LD₁, LD₂, LD₃, LD₄, LD₅ e LD₆, respectivamente. No Quadro 1, encontram-se as referências dos LDs.

Quadro 1: Referências dos livros didáticos

MARTINI, G., SPINELLI, W., REIS, H. C., SANT'ANNA, B. Conexões Com a Física, 3 ed., v. 1, São Paulo, SP: Moderna, 2016. [Cap 12 Leis de Kepler, p. (147-153)]. LD ₁
BONJORNO, J R. e Outros. Física. 3 ed., v. 1, São Paulo, SP: FTD, 2016. [Cap 12 Gravitação Universal, p. (201-213)]. LD ₂
TORRES, Carlos Magno, A. e outros. Física. Ciência e Tecnologia. 4 ed., v. 1, São Paulo, SP: Moderna, 2016. [Cap 8 Gravitação Universal, p. (220-254)]. LD ₃
GONÇALVES FILHO, A. e TOSCANO, C. Física. Interação e Tecnologia. 2 ed., v. 1, São Paulo, SP: Leya, 2016. [Cap 4 Gravitação, p. (89-112)]. LD ₄
YAMAMOTO, K. e FUKU, L. F. Física Para o Ensino Médio. 3 ed., v. 1, São Paulo, SP: Editora Saraiva, 2015. [Cap 17 Gravitação, p. (261-277)]. LD ₅
NANI, A. P. S. e outros. Ser Protagonista – Física. v. 1, 3 ed. São Paulo, SP: Edições SM LTDA, 2016. [Cap 9 Gravitação, p. (191-201)]. LD ₆

Fonte: A autora (2024)

Em uma amostra mais ampla de livros, selecionamos aqueles de edições mais recentes e que estiveram por

mais de dois anos entre os utilizados em um Estado brasileiro. Com isso, esperamos ter selecionado LDs que influenciaram o contexto educacional, sobretudo, adotados como referência por estudantes do nível de ensino correspondente.

O REFERENCIAL METODOLÓGICO-ANALÍTICO

Para a construção e a organização dos dados nos apoiamos na historiografia relacionada ao tema e na Análise Textual Discursiva (ATD), proposta por Moraes e Galiazzi (2013). Os autores advogam que a ATD se presta para analisar dados construídos qualitativamente, sejam textos ou imagens, que necessitam de atribuições de sentidos e significados. Logo, compatível com o objetivo da investigação.

Segundo os proponentes, o trabalho com a ATD deverá se desenvolver em três etapas, individualmente nomeadas como Momento, as quais constituem um ciclo de análise, a saber:

i. Inicia-se com a desintegração dos textos do corpus, formado unidades de análise menores, visando-se encontrar os sentidos desses – desconstrução e unitarização. Com o corpus da pesquisa delimitado, inicia-se o processo de desconstrução e unitarização dos textos ou imagens. Foca-se nas partes que compõem os textos e que o pesquisador identifica como significante para as suas indagações. As extensões dessas são decididas pelo pesquisador.

As partes do texto ou o conjunto de imagens selecionados são denominados Unidades de Significado ou de Análise (UA), as quais requerem um processo gradativo para a sua construção. Para essas, são criadas codificações para identifica-las em relação ao contexto e a sequência da qual emergem.

Após a identificação das UAs, os autores propõem que sejam individualmente reescritas, no sentido do pesquisador lhes atribuir significados. Porém, é imprescindível que sejam percebidas em relação ao seu contexto originário. Para tanto, o pesquisador deverá ter um envolvimento intenso com o corpus, que realize leituras profundas, explorando assim a diversidade de significações.

ii. No segundo Momento, buscam-se relações entre as UAs com significações próximas, as quais serão categorizadas através de descrições e interpretações – estabelecendo relações. Nesta, parte-se das UAs construídas anteriormente, comparadas entre si, identificando elementos com significações próximas e estabelecendo um processo de categorização. Moraes e Galiazzi (op. cit.) recomendam o recorrente retorno as UAs no sentido aperfeiçoar e delimitar as categorias com maior precisão, as quais poderão ser descritivas ou interpretativas, além de terem sido submetidas a processos indutivos ou dedutivos.

Adicionalmente, os autores alertam que as categorias não são encontradas no corpus da pesquisa, mas, construídas pelo pesquisador, haja vista a multiplicidade de sentidos que poderão emergir de um mesmo objeto de análise. As categorias poderão

ser abrangentes ou restritas, a depender dos referenciais mobilizados. Alertam ainda que, algumas UAs podem pertencer a mais de uma categoria. Por serem dependentes do contexto, recomendam que sejam identificadas pelo pesquisador.

iii.No terceiro Momento, buscaram-se relações entre as categorias visando à construção de metatextos analíticos, os quais expressam os sentidos dos textos – captando o novo emergente. A partir das categorias construídas pela análise interpretativa do corpus, ocorre à elaboração de metatextos, os quais não são uma generalização das categorias. Trata-se de uma construção que possibilita ao pesquisador comunicar novas compreensões ou teses que expressem os sentidos atribuídos aos textos. Assim, o pesquisador coloca sobre esses um olhar que transcende as delimitações inerentes às categorias criadas.

Na perspectiva anterior, o pesquisador não irá identificar significados nas categorias, mas construí-los a partir da mobilização dos referenciais adotados e na articulação entre os elementos constituintes. As categorias trazem significantes, requerendo que tanto o leitor quanto o autor confirmem significados a esses a partir das referenciais mobilizadas.

Os autores da proposição advogam que, nesta etapa, o pesquisador assume-se como autor das interpretações construídas a partir dos textos que analisa. Assim, com a construção do metatexto, a ATD atinge o seu principal propósito.

A ORGANIZAÇÃO

Seguindo preceitos da ATD, destacamos partes dos textos dos LDs, as UAs. Para a identificação destas, a cada UA acrescentamos o índice numérico do LD correspondente. Em seguida, acrescentamos um índice alfabético, indicando a sequência no LD. No LD₁, por exemplo, identificamos oito UAs. Logo, encontram-se respectivamente codificadas como segue: UA_{1a}, UA_{1b}, UA_{1c}, /.../ e UA_{1h}.

Após a identificação de todas as UAs dos LDs, as organizamos por aproximações e resultaram em cinco categorias, a saber: 1) O modelo astronômico estruturado com sólidos regulares e esferas. 2) As proposições astronômicas de Kepler emergiram dos dados de Tycho Brahe. 3) Abordagens sobre a proposição das órbitas elípticas. 4) Um panorama sobre as abordagens das Três Leis de Kepler. 5) A consolidação da construção de um universo harmônico.

As UAs não foram analisadas isoladamente, mas, a partir do contexto que se encontram nos LDs. Para cada categoria emergente, constituída pelo agrupamento de distintas UAs, elaboramos um metatexto relacionado. Logo, foram construídos um total de cinco metatextos, cada um com a mesma nomeação da categoria relacionada.

APRESENTAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS CONSTRUÍDOS

Indicamos os dados construídos a partir das UAs e, em seguida, as interpretações desses, através dos cinco metatextos elaborados. Para isso, apresentamos esses em duas etapas, a saber: etapa descritiva e etapa interpretativa.

ETAPA DESCRITIVA

Apresentamos aqui os dados construídos a partir da análise das UAs identificadas nas abordagens dos livros didáticos, cujas aproximações entre essas, resultaram em cinco categorias emergentes.

Nas seções dos seis LDs que mencionam o trabalho de Kepler no campo da astronomia, selecionamos trinta UAs, das quais emergiram as cinco categorias, cuja composição encontra-se no Quadro 2.

Quadro 2: Categorias e unidades de análises

1. O modelo astronômico estruturado entre sólidos regulares e esferas. (UA _{3c} ; UA _{3e} ; UA _{3j} ; UA _{3g})
2.As proposições astronômicas de Kepler emergiram dos dados de Tycho Brahe. (UA _{1a} ; UA _{1b} ; UA _{1h} ; UA _{2a} ; UA _{2c} ; UA _{2j} ; UA _{3a} ; UA _{3b} ; UA _{3g} ; UA _{3h} ; UA _{3m} ; UA _{5a} ; UA _{6a} ; UA _{6c})
3. Abordagem sobre a proposição das órbitas elípticas. (UA _{1c} ; UA _{1e} ; UA _{2b} ; UA _{2e} ; UA _{2g} ; UA _{3d} ; UA _{3e} ; UA _{3h} ; UA _{4a} ; UA _{4b})
4. Um panorama sobre as abordagens das Três Leis de Kepler. (UA _{2h} ; UA _{2i} ; UA _{2j} ; UA _{3i} ; UA _{3j} ; UA _{3h} ; UA _{3j} ; UA _{4b} ; UA _{4c} ; UA _{5c} ; UA _{6c})
5. A consolidação da construção de um universo harmônico. (UA _{1g} ; UA _{1i} ; UA _{1j} ; UA _{2d} ; UA _{2g} ; UA _{3q} ; UA _{5b})

Fonte: A autora (2024)

A categorização das UAs evidencia que apenas o livro LD₃ aborda o modelo astronômico estruturado nos sólidos platônicos e em esferas, apesar de não evidenciar as intenções do autor, assim como as influências teóricas corporificadas no modelo.

Através da categorização anterior, percebemos que apenas no livro LD₄ não confere às construções mais amadurecidas de Kepler no campo da astronomia como consequência direta dos dados observacionais de Brahe.

Os dados do Quadro 2 também evidenciam que a nomeação As Três Leis de Kepler encontram-se nas abordagens de todos os LDs. Logo, podemos interpretar que, para os autores, essas construções são consideradas significativas no trabalho de Kepler.

ETAPA INTERPRETATIVA

Nesta seção, dispomos de cinco metatextos, construídos a partir das interpretações das UAs constituintes das categorias emergentes. Cada metatexto possui a nomeação da categoria correspondente.

O MODELO ASTRONÔMICO ESTRUTURADO COM SÓLIDOS REGULARES E ESFERAS

O primeiro modelo astronômico proposto por Kepler é bastante emblemático, haja vista tratar-se de uma construção que evidenciou o apego daquele aos preceitos pitagórico-platônicos, inclusive alguns tomados de forma arquetípica, fornecendo respostas provisórias para as questões iniciais, como a quantidade de planetas relacionados à quantidade de sólidos perfeitos e a distância entre os planetas, por exemplo. Além disso, esse modelo possibilitou a emergência de dadas problemáticas para as questões norteadoras iniciais, levando-o a novas reconstruções. Para empreender este modelo, Kepler foi guiado pela convicção de que o universo havia sido estruturado a partir de uma harmonia, então consubstanciada nas dimensões, no ordenamento e nas relações orgânica dos seus constituintes, conforme realçado anteriormente.

Apesar das contribuições do modelo astronômico em foco para as elaborações posteriores de Kepler, está reportado apenas pelo livro LD₃. Em relação ao contexto da abordagem, os autores mencionam algumas ocorrências do percurso de Kepler, dentre elas a publicação do *Mistério* e outra obra, acrescentando breves descrições sobre temáticas tratadas nessas. Prosseguindo com abordagem em relação ao modelo, assinalam:

“Já conhecido por seus estudos sobre as órbitas dos planetas, Kepler procurou relacioná-las com os principais sólidos geométricos, os poliedros regulares de Platão, tentando verificar se eles poderiam ser inscritos nas esferas planetárias do modelo de Copérnico”. (p. 229) [UA_{3e}]

Apesar da menção aos sólidos de Platão incorporados ao modelo, não apontam o significado desses em uma tradição mais ampla, tampouco, no contexto específico. Além disso, não situam o uso desses sólidos como consequência da tentativa de conferir a distância entre os planetas uma proporcionalidade vinculada a uma dimensão metafísica atribuída ao universo – a construção divina expressa através da linguagem matemática.

Após a citação anterior, no LD₃ esboçam as imagens individuais dos cinco sólidos regulares e que teriam sido mencionados em obra posterior de Kepler. Na abordagem considerada, o modelo de universo estruturado em esferas e sólidos não está relacionado como a primeira proposição de Kepler no tocante a um modelo astronômico, mas, a uma obra apresentada mais de vinte anos após, quando algumas problemáticas relacionadas a incongruências relacionadas à proposição já haviam sido desenvolvidas. Logo, a contribuição do modelo inicial para aclarar várias questões apresentadas por Kepler, como o quantitativo de planetas, as distâncias médias desses ao Sol e suas respectivas velocidades consequentes de uma emanção, não são mencionados.

Prosseguindo na explanação, em dois breves parágrafos há a inserção de um metatexto [UA_{3g}],

com explanação sobre os sólidos platônicos. Estes se encontram associados aos planetas correspondentes, sendo organizados em dois grupos, separados respectivamente pelo sólido associado à Terra. Ou seja, descrevem o ordenamento geométrico do modelo astronômico em análise, porém, sem se referir os aspectos metafísicos incorporados.

Ainda em relação à abordagem do LD₃, mesmo apresentando figuras individualmente e relacionadas às esferas planetárias, não as vincularam com as pressuposições cosmológicas de Kepler, notadamente, a disposição de perfeição conferida a essas figuras geométricas e sobretudo o Sol como poder divino que regia o universo, aproximando-se do ideal pitagórico. Nesta perspectiva, a abordagem encontra-se deslocada do contexto das intencionalidades e pressuposições que fundamentaram as idealizações e proposições keplerianas.

Sobre a presente abordagem do LD₃, realçamos ainda a ausência de qualquer referência aos processos da proposição do modelo de sólidos e esferas, como as tentativas iniciais de Kepler em usar figuras geométricas planas na esquematização do universo em uma proporção numérica.

Situando em relação ao final do século XVI, se em um segmento da astronomia encontrava-se a “inevitável” derrocada do geocentrismo, por questões bem mais amplas que os aspectos físicos consequentes das suas previsões, em outra dimensão, o heliocentrismo copernicano com várias limitações, porém, em sintonia com doutrinas anteriores, emerge a partir de ressignificações, como por exemplo, através do hermetismo de Giordano Bruno e do próprio trabalho de Kepler no campo da astronomia. Considerar as influências pitagórico-platônicas sobre o pensamento de Kepler, evidenciadas na construção do modelo de universo organizado a partir de figuras geométricas, poderia evidenciar aspectos bastante valiosos relacionados a natureza da ciência. Notadamente, a construção coletiva das ideias, independentemente destas interações serem diretas ou indiretas. Conforme percorrido anteriormente, Maestlin apresentava aproximação com o pitagorismo, embora de maneira um tanto quanto reservada. Copérnico (1984) também havia evidenciado a adoção da influência pitagórica na proposição da sua doutrina. No *De Revolutionibus* existem várias menções que corroboram com tal entendimento.

Nessa obra, Copérnico considerou o local onde se encontra o Sol como um templo, ou seja, local sagrado, que ilumina o universo, tal qual Filolau de Crótona, na Antiguidade grega, elaborou um modelo astronômico e colocou neste local o Fogo Central, o qual, inclusive iluminava o Sol e todo o universo.

AS PROPOSIÇÕES ASTRONÔMICAS DE
KEPLER EMERGIRAM DOS DADOS DE TYCHO
BRAHE

A mobilização dos dados observacionais de Tycho Brahe por Kepler foi propiciada a partir das demandas que emergiram com a depuração de um programa de investigação já em desenvolvimento, cujos pressupostos basilares assentavam-se na tradição pitagórico-platônicas, materializados no modelo estruturado em sólidos perfeitos e esferas. Muitas das previsões decorrentes desse modelo incompatibilizava-se com a realidade e em sendo a precisão matemática uma pressuposição básica de Kepler, este investiu em aprimoramentos e construções outras, além do modelo inicial.

Dos cinco livros didáticos que vinculam o desenvolvimento do trabalho de Kepler com a mobilização dos dados de Brahe, dois desses (LD₂ e LD₅) não remetem as motivações de Kepler para o uso desses dados, tampouco as especificidades dos dados em si que teriam ensejado o seu uso. Os autores do LD₅, por exemplo, assinalam:

“O astrônomo alemão Johannes Kepler foi contemporâneo de Galileu Galilei e Tycho Brahe, tendo inclusive sido assistente deste último. Trabalhando com uma grande quantidade de dados obtidos por Brahe, Kepler elucidou completamente a natureza do movimento planetário, enunciando-o em três leis, que mais tarde viriam a ser denominadas como as três leis de Kepler”. [UA_{5a}]

Da menção anterior depreendem-se duas problemáticas. A primeira delas, subliminarmente induz a ideia que Brahe e Kepler trabalhavam na mesma perspectiva teórica. Mas, já evidenciado, Brahe era um geocentrista e Kepler um heliocentrista e nas construções iniciais apresentou o seu apreço aos preceitos pitagórico-platônicos.

Seguindo a perspectiva anterior, os autores do livro LD₂ apenas mencionam decorrências da mobilização dos dados de Brahe, sem articular com as intenções de Kepler. Assinalam: “A adoção do novo modelo implicaria uma mudança radical de visão de mundo, que começou a ser mais bem esboçada quando as observações do astrônomo dinamarquês Tycho Brahe (1546-1601), sobre o movimento do planeta Marte, levaram o alemão Johannes Kepler (1571-1630) a pesquisar a validade do heliocentrismo”. [UA_{2a}]

Nos outros três constituintes da categoria (LD₁, LD₃, LD₆), os autores atribuem à precisão dos dados de Brahe como tendo sido a motivação para a mobilização por Kepler. Tal precisão encontra-se evidenciada em distintas nuances. No LD₁, creditam precisão aos dados de Brahe em virtude da modernidade do laboratório para a época. Assinalam: “Enquanto Galileu era condenado à prisão domiciliar pela Igreja, Johannes Kepler (1571-1630) trabalhava com o astrônomo dinamarquês Tycho Brahe, que possuía um grande laboratório astronômico, o maior e mais completo de que se tem notícia naquele período”. [UA_{1a}]. “Estudando os dados obtidos por Tycho, extremamente precisos para a época, Kepler verificou que nenhuma combinação de

círculos poderia resultar nas trajetórias aparentes observadas. [...]”. [UA_{1b}]

Interpretamos que se depreende dessas a concepção que teria sido a precisão dos dados de Brahe o fator essencial das proposições de Kepler, à medida que foi adotada como parâmetro para balizar interpretações. Opinamos que se trata de uma perspectiva coerente, mas, dados mobilizados a partir de intentos e pressuposições distintas, resultam em percursos e conclusões distintas.

Os autores do LD₃ creditam o registro sistemático das posições dos planetas como causa da precisão dos dados de Brahe. Assinalam:

“O grande mérito de Tycho Brahe foi a elaboração de um registro sistemático e preciso das posições planetárias, sobretudo de Marte. Depois de difíceis negociações com a família, suas anotações foram transferidas para o astrônomo alemão Johannes Kepler, seu discípulo e assistente. Kepler foi contemporâneo de Galileu, com quem chegou a trocar correspondência”. [UA_{3a}]

Em outra UA, os autores do LD₃ ampliam a ideia anterior e creditam aos dados de Brahe à construção das leis dos movimentos planetários, empreendida por Kepler.

“Matemático e astrônomo alemão, sua principal contribuição para a Astronomia e a Astrofísica foram três leis do movimento planetário, que hoje levam seu nome. O trabalho de Kepler apoiou-se nos acurados registros de seu mestre Tycho Brahe sobre os movimentos do planeta Marte e que também deram suporte à teoria heliocêntrica de Copérnico”. [UA_{3b}]

Atribuindo a Brahe o epíteto de mestre de Kepler, subestimam as influências das pressuposições teóricas em relação nas elaborações em relação ao mundo. Kepler trabalhou com os dados de Brahe, porém, buscando construir ou aprimorar e responder questões que haviam sido formuladas em intentos anteriores e bem distintos daqueles elegidos por Brahe.

No LD₆, os autores também apontam a precisão dos dados de Brahe para a adoção desses por Kepler. Porém, ao contrário das duas abordagens anteriores, não mencionam o que conferia essa precisão. Assinalam: “A quantidade de dados deixados por Brahe, associada à própria habilidade matemática e à determinação de pesquisador, levou Kepler às três leis do movimento planetário – apresentadas as duas primeiras em *Astronomia nova* (1609) e a terceira em *Harmonias dos Mundos* (1619)”. [UA_{6c}]

Interpretamos que a abordagens dos cinco livros didáticos sobre a mobilização dos dados observacionais de Brahe por Kepler incorporam uma perspectiva empírico-indutivista em relação à construção das ideias. Que as pressuposições de Kepler não teriam influências sobre as constatações obtidas a partir dos dados, mas teria emergido desses em si.

Do ponto de vista educacional seria elucidativo, por exemplo, os autores situarem Brahe Brahe como um geocentrismo, cujo trabalho, indiretamente favoreceu a aceitação do copernicanismo, haja vista alguns das suas constatações contrariarem preceitos fundantes do aristotelismo. O surgimento de estrelas, bem o movimento dos cometas na região celeste, região da perfeição colaboraram com a derrocada do aristotelismo – a imperfeição da região celeste, agregando-se, no início do século XVI, as proposições de Galileu (2010) acerca das supostas imperfeições da Lua.

Outra decorrência da perspectiva que vinculam o trabalho de Kepler ao de Brahe contempla a construção das ideias em si. Ou seja, induzem o leitor a construir ou fortalecer a concepção de que a construção das ideias são, sobretudo, decorrentes dos dados empíricos mobilizados em uma perspectiva estritamente indutivista.

ABORDAGENS SOBRE A PROPOSIÇÃO DAS ÓRBITAS ELÍPTICAS

Órbitas circulares e a uniformidade das velocidades planetárias em relação a um ponto foram padrões adotados durante vários séculos, tanto nas tradições astronômicas geocêntrica e heliocêntrica, evidenciando a influência platônica da astronomia. Consequentemente, as proposições de Kepler rompendo com esses preceitos estabeleceram um novo marco nesse campo. E Kepler denota está ciente dessa ruptura, haja vista a titulação da obra com a proposição – Astronomia Nova.

Aqui, interpretamos as abordagens dos livros sobre a proposição das órbitas planetárias elípticas, porém, em um contexto distinto das enunciações da Primeira Lei de Kepler. Dos seis livros da amostra, quatro mencionam essa proposição, a saber: LD₁, LD₂, LD₃ e LD₄.

O livro LD₁, por exemplo, contempla a adoção de Kepler pelas órbitas elípticas em uma perspectiva permeada de indutivismo, à medida que confere a primazia aos dados registrados pelos sentidos a partir da interação com o objeto, propiciando a origem e validação do conhecimento, além dos seus limites e abrangência. Embora o empirismo tenha assumido diversos contornos ao longo do seu desenvolvimento, a necessidade de registrar os dados diretamente obtidos pelos sentidos com o objeto do conhecimento, parece prevalecente. Essa perspectiva é evidenciada quando os autores se referem a Kepler e assinalam:

“No decorrer dos seus estudos, abandonou a órbita circular e adotou a trajetória elíptica. Geômetra dedicado, ele também acreditava que os movimentos cósmicos se baseavam na órbita circular, a mais perfeita, e percebeu que o problema do traçado das órbitas só poderia ser resolvido se confrontado com as observações do céu.” [UA1c]

Depreende-se da menção anterior que o abandono da órbita circular e a adoção da elíptica teriam ocorrido a partir da adequação direta aos dados obtidos pelas observações. Ou seja, a proposição da órbita elíptica teria sido consequência de uma adequação da proposição no sentido de conformá-la com o registro observacional acerca do fenômeno. Com isso, evidenciam-se traços da concepção de que a mente humana se encontra limpa e pronta para ser impregnada pelas sensações, desprezando as implicações em se abandonar pressuposições estabelecidas.

Reportando-se a proposição da órbita elíptica por Kepler, interpretamos que as abordagens dos livros didáticos LD₂ e LD₃ encontram-se permeadas pela concepção de que tal proposição decorreu de ajustes e adequações de dados ao fenômeno em análise. Para os autores do LD₂, esses ajustes teriam sido eminentemente matemáticos. Assinalam: “Após muitos cálculos, o matemático alemão conseguiu descrever a órbita do planeta por meio de uma elipse matematicamente correta e generalizou sua descoberta ao afirmar que todos os planetas descreviam trajetórias elípticas ao redor do Sol e este, por sua vez, estaria localizado em um dos focos da elipse”. [UA_{2g}]

Seguindo a perspectiva do livro anterior, a adoção da órbita elíptica não está situada como uma nova conformação à astronomia, mas, como uma mera manipulação e ajustes de dados matemáticos

No LD₃, os autores reportam-se a ruptura propiciada com a tradição a partir da adoção da órbita elíptica por Kepler. No entanto, o teor dessa tradição que foi abandonada não se encontra evidenciado, tampouco as implicações dessa condição na proposição em foco. Assinalam:

“A afirmação de que a Terra se movia, o uso das simples elipses em vez dos complicados epiciclos e a prova de que as velocidades dos planetas variam ao longo da órbita reformularam radicalmente o modelo copernicano e revolucionaram a Astronomia, a Física e a Ciência em Geral.” [UA_{3e}]

Na UA anterior, em virtude dos autores não situarem o movimento circular como fundante de uma tradição, logo, não evidencia em que medida a adoção da órbita elíptica teria sido uma ruptura como a astronomia e a física. A adoção das órbitas elípticas corroborou com a aceitação dos preceitos copernicanos à medida que possibilitou previsões mais coerentes, sendo esta em uma perspectiva heliocêntrica. Consequentemente, evidenciava as falácias da física aristotélica, elaborada para uma Terra em repouso.

As abordagens dos livros LD₂ e LD₃ acerca da proposição de órbitas elípticas aproximam-se de uma perspectiva operacionalista, à medida que denotam ter sido consequentes de operações de ajustamento ao fenômeno visando previsibilidade a priori. O operacionalismo configura-se como uma das

perspectivas empiricista mais recente, forjada a partir do final do século XIX e início do século XX, notadamente pelos físicos estadunidenses Percy W. Bridgman (1882-1961) e Herbert Dingle e desenvolvido posteriores.

Os autores do livro LD₄ por sua vez se reportam à adoção de órbitas elípticas em oposição a circular adotada por outros. Porém, não discorre sobre as motivações, as consequência em relação a uma dada perspectiva teórica, tampouco as intenções de Kepler para tal proposição. Assinalam: “Porém, mesmo entre eles havia divergências: Galileu e Copérnico admitiam o movimento circular para os planetas, mas Kepler e Newton afirmavam que as órbitas dos planetas não descreviam propriamente um círculo, mas uma elipse”. [UA_{4a}]

Posteriormente, os autores do livro LD₄ mencionam às órbitas elípticas propostas por Kepler para substituírem as circulares. Mas, não tratam como ruptura.

Apesar das particularidades nas abordagens sobre a proposição da órbita elíptica por Kepler, opinamos que de modo geral, as abordagens desprezam que esta teria sido uma ruptura com uma tradição que perdurava por quase 2000 anos, inclusive adotada por geocentristas e heliocentristas. Ou seja, usando uma terminologia kuhniana, as abordagens suplantaram a quebra de paradigma (Kuhn, 1998). Assim, as abordagens dos livros enquanto objeto com finalidades pedagógicas denotam fomentar no estudante a visão da ciência normal, a ciência pacificada, seguida pelos manuais científicos básicos.

UM PANORAMA SOBRE AS ABORDAGENS DAS TRÊS LEIS DE KEPLER

Parte do percurso empreendido por Kepler no campo da Astronomia resultou no desenvolvimento de singularidades, as quais romperam com preceitos sedimentados por distintas tradições, retomou outras, elaborando proposições inéditas que corroboraram para o desenvolvimento e a aceitação do heliocentrismo copernicano. Pertinente assinalar a proposição das órbitas planetárias não circulares, a ação causal para a variação das velocidades ao longo dessas e a identificação de uma métrica entre os períodos e os respectivos raios médios das órbitas planetárias. Nas historiografias, essas elaborações são nomeadas como as Três Leis de Kepler, abordadas nominalmente pelos livros da amostra, logo, consideradas por estes como um marco significativo do trabalho de Kepler.

Em cinco livros, as Leis de Kepler são explanadas em seções específicas no Capítulo Gravitação. O livro LD₁, possui capítulo tratando da obra de Kepler e essas Leis em uma seção. Nas seções, cada Lei é esplanada isoladamente, sendo antecedida por um título indicativo. Além disso, cada uma delas possui uma enunciação postulativa destacada no texto por

colorações e caixas de texto. Nessas abordagens, que aspectos os livros reportam para enunciarem cada um das Leis de Kepler? Remetem as pressuposições e objetivos e as ocorrências do percurso dessas elaborações?

Antecedendo a enunciação da I Lei de Kepler, os autores do LD₁ mencionam o intento de Kepler em compatibilizar as previsões com as observações, levando-o a abandonar a órbita circular e adotando a órbita elíptica, não sem antes tentar compatibilidade com a órbita circular e o Sol descentralizado. Acrescentam uma imagem desta configuração. Apesar de situarem uma problemática, não vinculam as implicações da ruptura com o preceito platônico.

Após o título indicando a I Lei de Kepler, no livro LD₂ explanam brevemente sobre aspectos do observatório de Brahe e dos instrumentos. Acrescentam que a órbita do planeta Marte era o maior desafio de Brahe e Kepler teria trabalhado no ajuste dessa órbita, a partir dos dados daquele. Finalizando, a abordagem assinalando:

“/.../ conseguiu descrever a órbita do planeta por meio de uma elipse matematicamente correta e generalizou sua descoberta ao afirma que todos os planetas descreviam trajetórias elípticas ao redor do Sol e, por sua vez estaria localizado em um dos focos da elipse. Conhecemos esse enunciado como 1ª Lei de Kepler”. [UA_{2j}]

Após a enunciação anterior, há a imagem de uma elipse contendo um Sol em um dos focos e o planeta na órbita, além da indicação do afélio e o periélio na imagem.

Iniciando a seção Leis de Kepler do movimento planetário, os autores do livro LD₃ mencionam os planetas conhecidos no início do século XVII e as identificações posteriores. Acrescentam um quadro da União Astronômica Internacional com a classificação planetária atual e afirmam que as Leis de Kepler possuem validade Universal. Após o título indicando a I Lei de Kepler, com brevidade, citam a obra e o ano da publicação. Acrescentam que Kepler adotou as velocidades planetárias variáveis e as órbitas não circulares. Anunciam essa Lei em localização destacada no texto.

Nos livros LD₄, LD₅ e LD₆, a I Lei de Kepler é enunciada após o título correspondente. Assim, desprezam os pressupostos, os objetivos e aspectos do contexto que teriam levado Kepler a construção da mencionada Lei. Essa perspectiva é mais radicalizada no livro LD₄, no qual as Três Leis de Kepler são explanadas em uma única caixa de texto, ocupando aproximadamente metade da página do livro. Antes dessas, apenas mencionam que Kepler elaborou três leis e adotou órbita planetária não circular. Notemos que a I Primeira Lei de Kepler traz uma apresentação de caráter postulativo.

O que os livros didáticos contemplam como implicação para a Astronomia a partir I Lei de Kepler? Apenas no livro LD₂ a abordagem é

finalizada com a enunciação da mencionada Lei. Os demais livros dispõem de uma imagem ilustrando um planeta em órbita elipsoidal e o Sol em um dos focos. Além dessas, apresentam outras imagens contemplando as propriedades geométricas das elipses e as relações algébricas entre essas (uma, quatro e uma imagem nos livros LD₁, LD₃ e o LD₅ respectivamente).

Situando a enunciação da II Lei de Kepler, os autores do livro LD₁ mencionam que na época de Kepler não existia explicação para o movimento retrógrado de Marte, impedindo previsões antecipadas das posições dos planetas. Entendemos que, a configuração geometria do modelo copernicano já havia respondido a retrogradação planetária. Acrescentam que Kepler interpretou a questão supondo que os movimentos planetários não são uniformes, cujas velocidades aumentam e diminuem à medida que se aproximam e se afastam do Sol, respectivamente. No entanto, os autores não situam o Sol como tendo sido o agente causal dessa variação da velocidade planetária, proposição inédita na Astronomia.

Os autores do LD₂ mencionam que Kepler buscava um universo harmônico, bem como as relações entre os movimentos planetários e as formas das órbitas. Essa condição, segundo os autores, levou Kepler a anunciar a Segunda Lei, enunciada em seguida. No livro LD₃ mencionam a obra em que a Segunda Lei de Kepler foi publicada e acrescentam que teria mobilizado dados de Brahe, os quais lhe possibilitou constatar a variação de velocidades planetárias e demonstrado propriedades das áreas da elipse e o tempo do percurso planetário. Nesta, os pressupostos e objetivos de Kepler não foram apontados.

Seguindo a perspectiva de abordagem da Primeira Lei, as enunciações da Segyda Lei nos livros LD₄, LD₅ e LD₆ iniciam-se após a indicação pelo título. Logo, não se reportam em relação ao contexto da Astronomia, os propósitos e as pressuposições de Kepler.

Após enunciarem a Segunda Lei de Kepler, todos os livros apresentam uma imagem ilustrativa relacionada - uma órbita planetária elíptica, o Sol posicionado em um dos focos e o planeta em quatro ou mais posições na órbita, sendo que em quatro dessas posições encontram-se em torno do eixo maior da elipse. Após as imagens, procedem com discussões explicando que os intervalos de tempo para os planetas percorrerem entre duas posições assinaladas são iguais e igualmente as áreas formadas entre este e o Sol.

O livro LD₃ traz ainda quatro diagramas explicativos sobre as relações das velocidades planetárias, as áreas e outros. Mas, igualmente aos demais, não mencionam implicações para a Astronomia a partir dessa proposição.

As explanações sobre a Terceira Lei de Kepler pelos livros LD₄, LD₅ e LD₆ seguem as configurações das demais - são iniciadas após a indicação pelo título.

Logo, não situam essa Lei no tocante ao contexto, as pressuposições e objetivos do proponente, conferindo-lhe um caráter postulativo.

Antecedendo a enunciação da Terceira Lei de Kepler, os autores do LD₁ mencionam brevemente que Kepler teria descoberto conexão entre os raios médios das órbitas planetárias e seus períodos de revolução a partir das observações de Brahe. No livro LD₂, mencionam que Kepler estabeleceu relações entre as velocidades dos planetas e a geometria das órbitas. Acrescentam as influências de Gilbert e admitido à regência do Sol nas velocidades planetárias, perspectiva invalidada posteriormente por Newton. Mencionam ainda que Kepler teria obtido uma constante k , válida para uma dada relação envolvendo o período e semieixo maior órbita de todo e qualquer planeta. Assinalam:

Os autores do livro LD₃ mencionam o ano e o nome da obra em que Kepler apresentou a Terceira Lei e que visava demonstrar que leis harmônicas regiam o universo, apesar de não discorrer o que seriam leis harmônicas. No breve parágrafo seguinte, mencionam uma relação entre os períodos planetários e os respectivos raios médios que fundamentou a Lei, anunciada em seguida.

Pelo exposto, as abordagens que antecedem a Terceira Lei de Kepler nos livros LD₁, LD₂, LD₃ apenas o LD₃ menciona brevemente as motivações de Kepler. Ou seja, as abordagens dos livros LD₁ e LD₂ sobre essa Lei aproxima-se de uma perspectiva instrumentalista.

Após a enunciação sobre a Terceira Lei, em todos os livros há uma equação relacionando a razão dos quadrados dos períodos de rotação com os cubos dos raios a uma constante. No livro LD₁, após essa equação comentam sobre as variáveis envolvidas e acrescentam uma tabela contendo as dimensões das órbitas, período de rotação e excentricidade dos planetas. Finalizam, afirmando que as Leis de Kepler são válidas universalmente para todos os corpos que orbitam em torno de uma massa central.

Após a equação do livro LD₂ encontra-se uma tabela com o período, excentricidade e distância média do planeta, bem como a relação entre o quadrado desses períodos pelo cubo do raio. Após a equação, no livro LD₃ acrescentam que as relações entre os raios e os períodos independem da massa planetária e, através de um gráfico, alertam para a linearidade da reta que relaciona as grandezas da equação. No livro LD₃ encontram-se ainda duas tabelas. Na primeira, os períodos e distâncias dos planetas do sistema solar e na segunda, os dados de vários corpos do sistema solar. No livro LD₄, após a equação, não há nenhuma explanação sobre as variáveis envolvidas ou qualquer outra abordagem dessa.

Após a equação relacionada a Terceira Lei de Kepler pelo livro LD₅ acrescentam que resultou do esforço de Kepler em relacionar o período do planeta com sua distância ao Sol. Finaliza relacionando as

variáveis da equação com imagens relacionadas a dois planetas em órbita elíptica. Igualmente ao livro LD₅, após a explanação da equação e comentários sobre as variáveis, no livro LD₆ há uma imagem relacionando as variáveis da equação com três planetas em órbita. No livro LD₆ há uma tabela contendo o período de rotação dos planetas, as distâncias médias ao Sol e as razões entre os quadrados dos períodos e o cubo das distâncias médias ao Sol, acrescidos de breves comentários a essas relações. Acrescentam um quadro com imagens dos planetas, os respectivos períodos, às distâncias médias ao Sol e a relação numérica entre o quadrado dos períodos e o cubo dos raios.

Apesar da relevância conferida às Leis de Kepler pelos livros aqui contemplados, em nosso entender essas abordagens mostram-se insatisfatórias em relação às ideias abordadas, as conexões entre essas e o contexto, bem como em relação aos propósitos de Kepler. Pelo nível de ensino que o texto se destina, não estamos aqui defendendo que abordagens dessa natureza se atenham a polêmicas históricas, seja de ordem ontológica ou epistemológica. Mas, mesmo com as devidas adequações e tratamento superficial, propicia o apagamento dos pressupostos do autor e, sobretudo as implicações para a astronomia da época. Certamente, essa seria uma valiosa contribuição para a educação científica básica, a medida que evidenciaria problemáticas e disputas na construção de um dado legado, bem como as implicações desses. Pelo exposto, as abordagens da Terceira Lei de Kepler, assim como a equação que a sintetiza, encontram-se relacionadas a extensão dos aspectos físicos relacionados correspondentes.

A CONSOLIDAÇÃO DA CONSTRUÇÃO DE UM UNIVERSO HARMÔNICO

Desde o início da sua atuação no campo da astronomia, Kepler trabalhou no desenvolvimento de uma teoria harmônica para o universo e, mesmo perpassando por distintas fases em relação a essa busca, não se tratava de uma convicção passageira. Tal intento evidencia-se no modelo astronômico apresentado no *Mistério*, em 1596, bem como nas relações das grandezas planetárias, apresentadas na obra *Harmonia do Mundo*, em 1619. A empreitada em torno da harmonia não foi desprezível. Sobre esta, Kuhn (1990) assinala: “A aplicação de Kepler da fé nas harmonias pode parecer ingênua, mas a fé em si não é essencialmente diferente desses nada que motivam a melhor pesquisa contemporânea” (p. 251).

Caspar (1993) destaca que Kepler teria se movido por três campos do conhecimento no sentido de elaborar a sua obra, a saber: a geometria, a música e a astronomia. Em nosso entender, esses três campos que Kepler mobilizou para empreender a sua construção teórica, evidenciam-se respectivamente na proposição de um sistema astronômico de sólidos e

esferas e na busca de relacionar o raio das órbitas e os períodos de revolução planetárias com as escalas musicais. Opinamos que a investida no campo da música parece ter sido a que mais o aproximou do seu intento inicial, onde o todo estaria em sintonia orgânica com as partes. Ou seja, apesar das incursões em campos distintos, o propósito de assentar a astronomia em torno de relações harmônicas foram duradouro.

No tocante as abordagens dos livros acerca do intento de Kepler em construir uma astronomia assentada na harmonia, no livro LD₂ assinalam: “O alemão era fascinado pela ideia de um Universo harmônico, e suas pesquisas o levaram a descobrir evidências nos movimentos planetários que justificaria a escolha do heliocentrismo e resolveriam muitos problemas que o próprio Copérnico não foi capaz de solucionar”. [UA_{2d}]

Notemos na UA anterior, os autores não aclaram o que Kepler concebia como sendo harmonia, tampouco o que esse propósito teria contribuído para com o intento. Posteriormente, mencionam uma constatação decorrente do mencionado intento. Assinalam: “Na busca por um Universo harmônico, Kepler continuou procurando, por meio de cálculos exaustivos, novas relações entre o movimento dos planetas e a forma das órbitas e acabou enunciando uma nova lei (2ª lei de Kepler): o raio vetor (segmento imaginário que une o Sol ao planeta) “varre” áreas iguais em tempos iguais”. [LD_{2g}]

Semelhantemente à abordagem anterior, no livro LD₃ os autores também não situam o que concebem como sendo a harmonia nas proposições de Kepler. Assinalam: “Em 1618, no Livro V da *Harmonia dos mundos*, Kepler enunciou a terceira lei do movimento planetário, visando demonstrar que as leis harmônicas regem todas as ações no cosmo: na Geometria, na Astronomia na astrologia, na música e até na política”. [UA_{3i}]

Prosseguindo com a abordagem, os autores do livro LD₃ apresentam uma relação entre o quadrado do período com o cubo das distâncias média do planeta ao Sol igual a uma dada constante. Acrescentam que essa constante é a mesma para relação dos períodos e distância média ao Sol de todo e qualquer planeta.

Na abordagem do livro LD₁, os autores não utilizam a terminologia harmonia e sim, conexão, remetendo a proposição que relaciona as órbitas com os períodos planetários ou a chamada Terceira Lei de Kepler. Afirmam: “A busca de Kepler para descobrir uma conexão entre o tamanho das órbitas dos planetas e seus períodos de revolução ao redor do Sol teve êxito somente dez anos após a formulação das leis das áreas” [UA_{1g}]. Logo após, os autores apresentam uma relação algébrica que relaciona o período e a distância de cada planeta ao Sol [UA_{1i}] e finaliza com uma generalização desta relação entre distância e períodos dos planetas. [UA_{1j}]



No livro LD₅, os autores também não assinalam a terminologia harmonia. No entanto, apontam a busca de Kepler em relacionar as órbitas dos planetas com os respectivos períodos. Reportando-se a relação entre o quadrado do período de um planeta com o cubo do valor da respectiva órbita, os autores do LD₅, procedem com a seguinte afirmativa: “Essa lei resulta do esforço de Kepler em encontrar uma relação entre as órbitas (trajetórias) dos planetas com os tempos dispendidos em uma translação completa”. [UA_{5b}]

Interpretamos que as abordagens dos LDs que mencionam o intento de Kepler em elaborar uma proposição para universo em uma perspectiva harmônica, não ancoram tal intento na visão de mundo pitagórica, a qual o teria influenciado durante todo o seu percurso. Além disso, as abordagens que contemplam essa proposição, a situam apenas em relação a etapa final do trabalho de Kepler, mas, o fazem de maneira conclusiva, sem sequer mencionarem as investidas em aproximar os movimentos planetários com as escalas musicais pitagóricas.

CONSIDERAÇÕES

Autores dos LD situam os modelos cosmológicos desvinculados de uma tradição mais ampla. Particularizando esta perspectiva, não situam as proposições pitagórico-platônicas como influenciando o pensar e o fazer de Kepler.

A partir da perspectiva anterior, interpretamos que as menções dos LDs analisados em relação ao trabalho de Kepler, conferem a esses uma perspectiva instrumentalista. Com isso, distanciam-se da perspectiva de contribuírem com uma educação em astronomia ampla.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Adelves de Souza; DE MENEZES, Maria Cilene Freire. A História da Astronomia nos Livros de Ciências Naturais dos Anos Finais do Ensino Fundamental do PNLD 2017-2018. **Alexandria. Revista de Educação em Ciências e Tecnologia**, v. 13, n. 2, p. 75-98, 2020.

AMARAL, Patrícia; OLIVEIRA, Carlos Eduardo Quitanilha Vaz. Astronomia dos Livros Didáticos de Ciências – Uma Análise do PNLD 2008, **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia**, n. 12, p. 31-55, 2011.

CASPAR, Max. **Kepler**. Dover Publications, New York, 1993.

COPÉRNICO, Nicolau. **As Revoluções dos Orbes Celestes**. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1984.

_____. **Commentariolus**. Nova Estela, São Paulo, 1990.

DREYER, John Louis E. **A History of Astronomy From Thales To Kepler**. 2a ed. Dover Publications, New York, 1953.

FORBES, Robert. J.; DIJKSTERHUIS, Eduard. J. **História da Ciência e da Técnica**. v.2, Ulisseias, Lisboa, 1963.

GALILEI, Galileu. **O Mensageiro das Estrelas**. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 2010.

GARCIA, Eloy R. In: Introdução a El Secreto del Universo. Ediciones Altaya, Barcelona, p. 13-40, 1994.

KEPLER, Johannes. **New Astronomy**. Cambridge University Press, Cambridge, 1992.

_____. **El Secreto del Universo**. Ediciones Altaya, Barcelona, 1994.

_____. **The Harmonies of the World**. Prometheus Books, New York, 1995.

KOESTLER, Arthur. **Los Sonambulos**. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México, 1981.

KUHN, Thomas S. **A Revolução Copernicana**. Edições 70, Lisboa, 1990.

_____. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. 5 ed., Editora Perspectiva, São Paulo, 1998.

LANGHI, Rodolfo; NARDI, Roberto. Ensino de Astronomia: Erros conceituais mais comuns presentes em livros didáticos de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 24, n. 1, p. 87-111, 2007.

MORAES, Roque; GALIAZZI, Maria C. Análise Textual Discursiva. Editora da UNIJUÍ, Ijuí, 2013.

SELLES, Sandra Escovedo; FERREIRA, Marcia Serra. Influências Histórico-Culturais nas Representações Sobre as Estações do Ano em Livros Didáticos de Ciências. **Ciência e Educação**, v. 10, n. 1, p. 101-110, 2004.

TOSSATO, Claudemir R. **Mysterium Cosmographicum: Os Antecedentes das Duas Primeiras Leis de Keplerianas dos Movimentos Planetários**, **Cadernos Espinosanos V**, p. 35-63, 1999.

_____. Discussão cosmológica e renovação metodológica na carta de 9 de dezembro de 1999 de Brahe a Kepler, **Scientiae Studia**, v. 2, n. 4, p. 537-595, 2004.

TOSSATO, Claudemir R; MARICONDA, Pablo R. O método da astronomia, segundo Kepler, **Scientiae Studia**, v.8, n.3, p. 339-366, 2010.