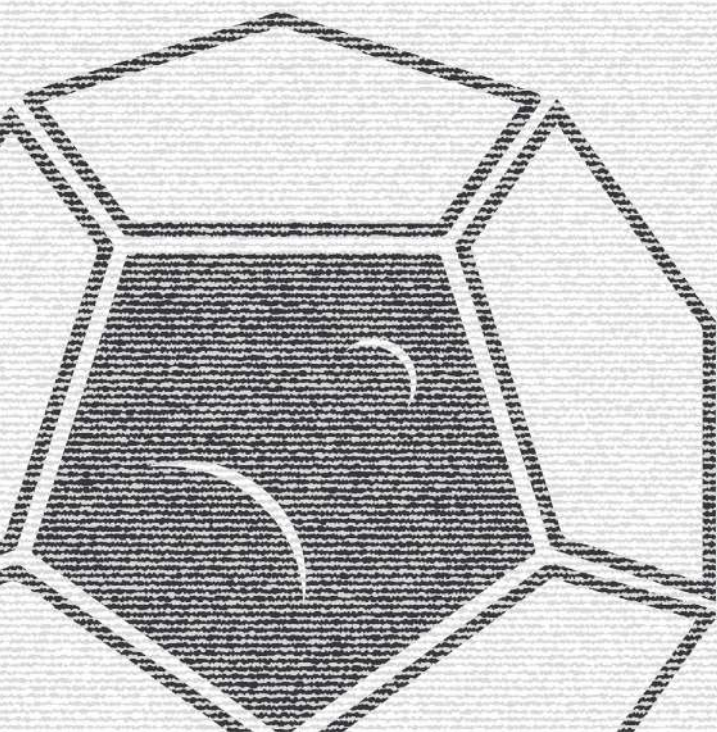


**Maximiliano Bozzoli**  
**Luis Salvatico**  
**David Merlo**  
**(Eds.)**

# **Epistemología e Historia de la Astronomía**

## **Volumen I**





# **Epistemología e Historia de la Astronomía**

## **Volumen I**

Maximiliano Bozzoli

Luis Salvatico

David Merlo

(Eds.)

**Colecciones  
del CIFYH**



Epistemología e historia de la Astronomía / Maximiliano Bozzoli ... [et al.]; compilación de Luis Salvatico; David C. Merlo. - 1a ed. - Córdoba : Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Filosofía y Humanidades, 2023.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-950-33-1721-1

1. Astronomía. 2. Historia. 3. Epistemología. I. Bozzoli, Maximiliano. II. Salvatico, Luis, comp. III. Merlo, David C., comp.  
CDD 520.3

Publicado por

Área de Publicaciones de la Facultad de Filosofía y Humanidades - UNC

Córdoba - Argentina

1º Edición



Diseño de portadas: Manuel Coll y María Bella

Diagramación: María Bella

Imagen portada: “JEHA (*Jornadas de Epistemología e Historia de la Astronomía*)” (2021), de Maximiliano Bozzoli

2023



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons  
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional.



## Kepler e o progresso científico

Anastasia Guidi Itokazu\*

### Resumo

Neste artigo reconstruo a visão do astrônomo seiscentista Johannes Kepler acerca do progresso científico. Dedicado estudioso da história da astronomia, Kepler nos legou interessantes reflexões acerca do progresso dessa ciência, as quais se tornam ainda mais relevantes quando consideramos que ele foi um dos protagonistas da Revolução Copernicana. Se por um lado Kepler se revela um homem de seu tempo, empolgado com as grandes navegações e todas as novas descobertas científicas de sua época, por outro ele se mostra profundamente original, pelo recurso à astronomia ptolomaica mesmo ao defender o sistema copernicano e também por sua concepção vitalista de natureza.

**Palavras chave:** *Kepler; Progresso; Revolução Científica; História da Astronomia.*

### Abstract

This article is a reconstruction of XVIIth Century astronomer Johannes Kepler's views on scientific progress. Dedicated researcher of the history of astronomy, Kepler left us some quite interesting reflections about the progress of this science, which turn out even more relevant when one considers he was a protagonist of the Copernican Revolution. If on the one hand Kepler appears as a man of his times, excited about the great navigations and newest scientific discoveries, on the other he is deeply original for his commitment to the legacy of Ptolemy, even as he defends the Copernican system, and for his vitalist conception of nature.

**Keywords:** *Kepler; Progress; Scientific Revolutions; History of Astronomy.*

\* Universidade Federal do ABC (UFABC), Brasil.

## Introdução

É possível argumentar que o progresso científico constitui o problema central da filosofia da ciência desde a publicação da *Estrutura das revoluções científicas* de Thomas Kuhn (Kuhn, 1989)<sup>1</sup>, que trouxe à luz a noção de incomensurabilidade dos paradigmas. Criticada tanto pelo pós modernismo quanto por epistemologias feministas e decoloniais - por sua arbitrariedade, consequência imediata e aparentemente inevitável da incomensurabilidade apontada por Kuhn, mas também por sua incapacidade de abranger uma pluralidade de visões de mundo ou a complexidade da vida, a noção de progresso, seja ele cognitivo ou social, ganha importância no contexto da mesma crise social, ecológica e epistêmica que a coloca em xeque. O mundo muda com o tempo? Ele muda para melhor? É possível encontrar referências teóricas que orientem essa mudança? O que significa ser progressista? Como incorporar os conhecimentos não europeus, africanos e ameríndios, no grande edifício da ciência? Como comparar visões de mundo distintas?

O astrônomo alemão Johannes Kepler viveu entre 1571 e 1630, época que coincide com a expansão colonial das potências europeias e com o auge da caça às bruxas na Europa (Federici, 2017, p. 315). Estudioso das astronomias de Ptolomeu e de Copérnico, Kepler mobiliza a história dessa antiquíssima ciência ao longo de toda a sua obra. Neste artigo, procurarei reconstruir a visão kepleriana de progresso científico. Com isso, espero contribuir para o debate mostrando que mesmo no período em que nascia a ciência moderna e a nova visão de mundo que sustentaria o Iluminismo, a questão de progresso (bem como o tema subjacente da comparação de

---

1 A edição original da *Estrutura das revoluções científicas*, *The structure of scientific revolutions*, em inglês, é de 1962. Em 1969 foi publicada uma segunda edição acrescida de um posfácio, onde são discutidas mais a fundo as noções de incomensurabilidade e progresso. O tema é muito complexo para ser explicado em uma nota e fazer isso exigiria um artigo à parte. Em linhas muito gerais, Kuhn defende que em uma revolução científica, como a passagem da visão geocêntrica de mundo para a heliocêntrica no início do Século XVII, os próprios critérios sobre o que é uma boa teoria científica são colocados em jogo. Em outras palavras, se o próprio conceito de cientificidade é questionado, fica difícil estabelecer a racionalidade do processo de mudança teórica (coisa que Kuhn, entretanto, não desiste jamais de fazer).

paradigmas, ou “hipóteses astronômicas”, como diria Kepler) já envolvia complexidades que o autor não se furta em explorar.

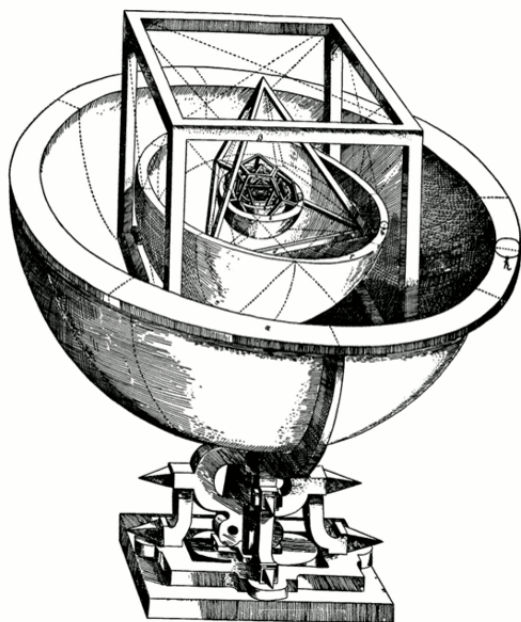
### Um copernicano convicto

Kepler foi, junto com Galileu, um dos principais defensores do copernicanismo quando a nova visão do cosmos suscitava problemas imensos que não era ainda capaz de responder. A começar pela gravidade, que não mais poderia ser entendida como movimento natural em direção ao centro do cosmos uma vez que este não mais coincidia com o centro da Terra (que segundo Copérnico se movia ao redor do Sol), passando pela inexistência dos efeitos notáveis desse movimento que eram previstos pela física aristotélica, como no voo dos pássaros, no comportamento das nuvens e no lançamento dos projéteis, até questões mais técnicas como a inexistência da variação no diâmetro aparente de Vênus, que seria de se esperar no sistema copernicano, não faltavam motivos propriamente científicos para que a nova cosmologia fosse considerada polêmica - isso para não entrarmos na questão de suas consequências metafísicas e religiosas.

Apesar dessas dificuldades, Kepler defendeu o sistema de Copérnico desde a sua juventude, quando teve contato com ele nas aulas de Michael Mästlin, na Universidade de Tübingen. Seu primeiro livro publicado, o *Mistério cosmográfico* (Kepler, 1992-a), de 1596, defendia o copernicanismo como a verdadeira estrutura do mundo criado por Deus. Ali, Kepler argumentou que esse sistema, onde o Sol ocupa o centro, possibilitaria compreender racionalmente o cosmos, que para ele continuava limitado pela esfera das estrelas fixas. Como diz o título estendido do *Mistério*, ali são fornecidas explicações para o número, os tamanhos e os movimentos dos orbes, todas baseadas no sistema de Copérnico.

Para explicar o número e os tamanhos dos orbes, Kepler propõe uma construção geométrica que teria servido de projeto na Criação. (Figura 1) No centro do sistema está o Sol, e em torno dele estão dispostos os seis planetas visíveis a olho nu e portanto conhecidos à época: Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter e Saturno. As distâncias entre os orbes são determinadas pelos cinco sólidos pitagóricos, intercalados entre as esferas na seguinte ordem (de fora para dentro): cubo, tetraedro, dodecaedro, icosaedro e octaedro. De acordo com o argumento do livro, essas figuras geométricas fornecem uma explicação apriorística para as distâncias entre

os planetas e também para a sua quantidade, pois como são cinco os sólidos regulares para determinar suas distâncias relativas, há portanto seis planetas: “se alguém me perguntasse por que há apenas seis esferas móveis, responderia que porque não são precisas mais de cinco proporções, que são o mesmo número dos corpos regulares nas matemáticas.” (Kepler, 1992-a, pp. 97-100) Kepler esclarece ainda que esses sólidos fornecem a estrutura racional do cosmos, passível de ser descoberta *a priori* pela mente racional do ser humano, mas não têm existência concreta no céu - seria, para ele, monstruoso e absurdo situá-los ali.



**Figura 1.** O sistema dos sólidos geométricos proposto no *Mistério cosmográfico* e posteriormente retomado na *Harmonia do mundo*. Nele, os cinco sólidos pitagóricos são intercalados entre os espaços atribuídos a cada planeta, determinando não apenas o seu número (seis, pois há cinco sólidos para se interpor entre eles) como também suas distâncias ao Sol. (Fonte: Kepler 1992-a, p. 98-99.)



Já a explicação dos *movimentos dos orbes* fornecida por Kepler no *Mistério* baseia-se no fato, já observado por Copérnico, de que os planetas mais distantes do Sol completam seus períodos mais lentamente do que aqueles mais próximos. Aqui, Kepler vai além da simples constatação de uma ordenação numérica e faz uma afirmação ousada que seria de suma importância para a física celeste que ele haveria de desenvolver nos anos subsequentes: os movimentos de todos os planetas ao redor do Sol são causados por uma única alma motriz, situada no Sol.

Pois assim como ocorre com a fonte de luz no Sol, e a origem do círculo está no lugar do Sol, isto é, no centro, assim também a vida, o movimento e a alma do mundo residem no mesmo Sol, para que assim resulte que o repouso cabe às [estrelas] fixas, aos planetas, os atos segundos dos movimentos e ao Sol o próprio ato primeiro, que é incomparavelmente mais nobre que os atos segundos em todas as coisas. Não é de maneira distinta que o mesmo Sol ultrapassa amplamente todos os demais pela beleza de seu aspecto, a eficácia de sua força e o esplendor de sua luz (Kepler, 1992-a, pp. 193-194).

Os movimentos dos planetas podem ser atribuídos a uma causa única no sistema copernicano, o Sol, e daí obtém-se uma explicação para o fato observável de que os movimentos planetários tornam-se mais lentos conforme se afastam do centro do sistema, sendo Mercúrio o mais veloz e Saturno o mais lento. A solução definitiva para essa questão só seria encontrada por Kepler muitos anos mais tarde, na *Harmonia do Mundo*, com aquela que ficaria conhecida como a sua terceira lei. Entretanto, o germe da solução já está presente aqui, nessa obra de juventude que Kepler voltaria a publicar em 1621, quando já era um astrônomo famoso, pela fertilidade das ideias nela contidas: “pois embora fosse ainda muito jovem e tenha sido este o meu primeiro trabalho na profissão astronômica, não obstante seu êxito foi amplamente comprovado em tempos posteriores...” (Kepler, 1992-a, p. 47).

Não resta dúvida de que já no *Mistério cosmográfico* o copernicanismo representa para Kepler a verdadeira estrutura do cosmos e um enorme progresso com relação à astronomia geocêntrica. Tratarei, nas seções a seguir, de explicar mais exatamente *como* ele entende esse progresso.

## Três sistemas de mundo

Ainda pouco estudada, a *Defesa de Tycho contra Ursus* (In: Jardine, 1984), obra póstuma e inacabada redigida por Kepler em 1601, constitui um dos documentos onde melhor se pode acompanhar o pensamento de um cientista durante um processo de mudança de paradigma. A obra foi encomendada a Kepler por Tycho Brahe, o maior observador dos céus desde Hiparco, de quem Kepler se tornara assistente. Tycho estava envolvido em uma amarga polêmica com seu assistente anterior, um astrônomo de origem humilde chamado Ursus<sup>2</sup>, acerca da prioridade do sistema misto de mundo.

Com a morte repentina de Tycho, Kepler abandonou a polêmica (e o texto inacabado), mas seu argumento é precioso para compreendermos como se dá a escolha teórica durante aquilo que hoje entendemos como uma revolução científica, a partir do relato de um astrônomo que trabalhou ativamente para tornar amplamente aceito o sistema de Copérnico.

Na *Defesa de Tycho*, Kepler precisa, logo de saída, explicar o sucesso preditivo da astronomia geocêntrica de Ptolomeu, que logra representar corretamente os movimentos dos planetas ainda que se baseie em uma hipótese falsa, a saber, a imobilidade da Terra no centro do cosmos. Ele então indaga: se tanto Copérnico quanto Ptolomeu conseguem explicar a rotação diária dos céus, isso significa então que "o que é verdade segue igualmente do que é verdadeiro e do que é falso? Longe disso! Pois as ocorrências listadas acima e mil outras mais, não acontecem por causa do movimento dos céus, ou por causa do movimento da Terra, na medida em que é um movimento do céu ou da Terra. Antes, acontecem na medida em que ocorre um grau de separação entre a Terra e o céu por um caminho regularmente curvado com respeito ao caminho do Sol, qualquer que seja dos dois corpos [céu ou Terra] que efetue essa separação." (Kepler, In: Jardine, 1984, p. 142) Ainda que não disponha de um vocabulário estabelecido para tratar desse tema, Kepler claramente refere-se aqui àquilo que nós chamamos de *movimento relativo* entre a Terra e o céu. Ptolomeu não derivou suas predições bem sucedidas da tese da centralidade da Terra,

---

2 Nicolaus Reimers Baer, nome latinizado como Ursus, viveu entre 1551 e 1600. Um excerto do seu *Tractatus* encontra-se traduzido, ao lado da Defesa, em JARDINE, 1984.

mas sim de um movimento relativo que também pode ser compreendido em termos copernicanos.

Resta uma questão: se as observações podem ser igualmente interpretadas em termos geo ou heliocêntricos, pois o que importa são os “graus de separação” ou movimentos relativos, então como saber que o sistema copernicano corresponde ao verdadeiro arranjo do cosmos? Este é um ponto central na astronomia física de Kepler, pois ele compreende que a verdade do sistema copernicano só pode ser demonstrada pelas explicações causais que este sistema proporciona. “Mesmo se as conclusões de duas hipóteses coincidem no âmbito da geometria, cada hipótese vai ter seus próprios corolários no âmbito da física”. (Kepler, *In: Jardine*, 1984, p. 141-142)<sup>3</sup> O uso da física celeste para demonstrar a verdade do sistema heliocêntrico vai ser o fio condutor da *Astronomia nova*, tema da próxima seção. Por hora, não é exagero dizer que na *Defesa de Tycho* Kepler adianta uma tese muito semelhante àquela que seria séculos mais tarde avançada por Quine, e que ficaria conhecida como a “subdeterminação empírica das teorias”.<sup>4</sup> As observações não são suficientes para determinar qual é o verdadeiro sistema de mundo, e é por esse motivo que “o astrônomo não deve ser excluído da comunidade dos filósofos que indagam sobre a natureza das coisas.” (Kepler, *in Jardine* 1984, p. 144)

Embora hoje muitos manuais de história das ciências apontem Kepler como o inventor da física celeste, o próprio astrônomo não se considerava tão inovador neste ponto. Refutando a afirmação de Ursus, segundo quem “as hipóteses são suposições fictícias” (Ursus, *In: Jardine*, 1984, p. 41), Kepler acreditava que as hipóteses sempre buscaram a verdade, por toda a história da astronomia. Afinal, como ele nos lembra, o problema

---

3 Quando Kepler fala em astronomia física na parte física da astronomia, ele tem em mente a explicação das *causas* dos movimentos e variações observados.

4 “Any statement can be held true come what may, if we make drastic enough adjustments elsewhere in the system. Even a statement very close to the periphery can be held true in the face of recalcitrant experience by pleading hallucination or by amending certain statements of the kind called logical laws. Conversely, by the same token, no statement is immune to revision. Revision even of the logical law of the excluded middle has been proposed as a means of simplifying quantum mechanics; and what difference is there in principle between such a shift and the shift whereby Kepler superseded Ptolemy, or Einstein Newton, or Darwin Aristotle?” Quine, 1951, p.37.

das posições relativas das esferas do Sol, de Vênus e de Mercúrio havia sido abordado pelo menos desde Pitágoras e por filósofos como Platão, Eudoxo e Aristóteles. Do ponto de vista observacional, os três astros caminham juntos no céu. A decisão aqui não pode ser obtida pela astronomia matemática baseada nas observações, mas somente “as plausibilidades das razões físicas levam os autores em diferentes direções.” (Kepler, *In. Jardine*, 1984, p. 179.)

Essas razões físicas são justamente aquelas cuja investigação irá levá-lo mais tarde, na *Astronomia nova*, a abordar novos problemas, como a natureza magnética ou quase magnética da força motriz solar, sua forma de propagação ou a maneira como ela interage com os enormes magnetos que são os planetas.

Mas ainda na *Defesa de Tycho*, o problema dos movimentos de Mercúrio e de Marte é retomado algumas páginas adiante, mais uma vez no contexto de refutação da história da astronomia proposta no *Tractatus*. Para o que nos interessa aqui, Kepler considera a tradição romana de descrever os movimentos de Mercúrio e Vênus como “epíclis” ao redor do Sol, que por sua vez gira em torno da Terra. Esse sistema aparece em autores como Macróbio, Plínio, Vitrúvio E Capella, (Kepler, *In. Jardine*, 1984, p. 198.), este último citado por Ursus como seu inventor. Vemos aqui um exemplo particularmente claro da maneira cumulativa como Kepler descreve a história da astronomia, mesmo estando ele próprio imerso nos turbilhões daquele período que nós enxergamos como o exemplo maior do que seria uma revolução científica. Depois de reconhecer a superioridade evidente dos sistemas que colocam Mercúrio e Vênus para girar em torno do Sol, a próxima parada só pode ser o sistema de Copérnico.

A partir da nossa perspectiva contemporânea, sabemos que Kepler publicaria em 1618 uma tabela muito mais precisa do que aquelas que até então existiam, aplicando os dados de Tycho Brahe à sua interpretação física do heliocentrismo. Mas, em 1601, os três sistemas de mundo eram equivalentes do ponto de vista do acordo com as observações. Kepler parte, então, para uma consideração dinâmica das causas dos movimentos planetários nos três sistemas, e é essa investigação, carregada de pressupostos metafísicos, que visa demonstrar a realidade do sistema copernicano. Este tema atravessa todo o argumento da *Astronomia nova*.

## ***Astronomia nova* ou física celeste**

As hipóteses matemáticas da astronomia de Hiparco e Ptolomeu haviam sido em grande medida aproveitadas por Copérnico no *De Revolutionibus*. Porém, elas já não mais serviam para Kepler, que dispunha dos dados extremamente precisos coletados por Tycho Brahe, os quais se mostraram incompatíveis com qualquer construção baseada nos excêntricos e epí-clos da astronomia alexandrina. O interessante aqui é que para reformar os métodos matemáticos da astronomia Kepler se volta inicialmente ao ponto equante ptolomaico, dispositivo matemático que produz uma velocidade variável no orbe do planeta e que justamente por este motivo havia sido abandonado por Copérnico.

Para compreendermos a opção de Kepler pelo ponto equante ptolomaico, precisamos entender que a *Astronomia nova* propõe uma física celeste, construída a partir da ação do Sol sobre os planetas, como seu longo título já indica: *Astronomia nova baseada em causas ou física celeste apresentada através de comentários sobre os movimentos da estrela Marte a partir das observações do ilustre Tycho Brahe*. Nesta, que é a sua obra mais importante, Kepler apresenta o tortuoso caminho que o levou à descoberta da forma elíptica das órbitas dos planetas (além do próprio conceito moderno de órbita planetária e daquela que hoje chamamos de lei das áreas).

A questão aqui não é apenas conduzir o leitor até um entendimento do assunto da maneira mais fácil, mas também, e principalmente, pelos argumentos, meandros e até ocorrências fortuitas através das quais o autor primeiro chegou a uma tal visão. Assim, quando contamos [os feitos de] Cristóvão Colombo, Magalhães, e os portugueses, não ignoramos simplesmente os erros através dos quais eles primeiro desbravaram a América, o mar da China e a costa da África; ao invés disso, nós não gostaríamos que fossem omitidos, o que acabaria por nos privar de um enorme prazer na leitura.<sup>5</sup>

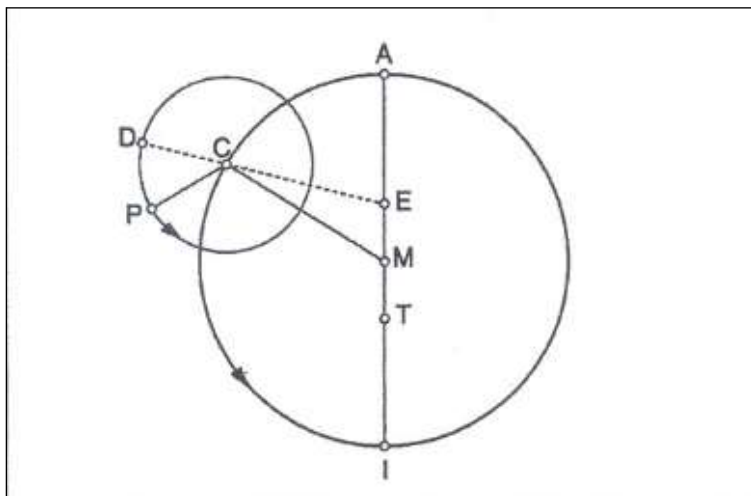
Embora só vá ser de fato explicada nos capítulos 33-35, a ideia de que o Sol move os planetas através de uma força motriz solar serve de guia em todo intrincado percurso que nos é proposto na *Astronomia nova*. O Sol não é apenas o centro do mundo do ponto de vista arquitetônico, mas também seu centro dinâmico: “a fonte da vida no mundo (visível no

<sup>5</sup> Kepler, 1992-b, p. 78.

movimento dos céus) é a mesma que a fonte da luz que adorna a máquina inteira, e que é também a fonte do calor através do qual tudo cresce (...)” (Kepler, 1992-b, p. 379) Do ponto de vista dos modelos ou hipóteses geométricas, a ideia de que o Sol move os planetas e de que essa ação enfraquece conforme aumenta a distância até ele significa que em uma órbita excêntrica cada ponto tem uma distância diferente até o Sol e portanto uma velocidade também diferente: “a rapidez no periélio e a lentidão no afélio são muito aproximadamente proporcionais às linhas traçadas desde o centro do mundo até o planeta.” (Kepler, 1992-b, p. 373)

A solução definitiva proposta por Kepler para o problema da descrição da variação contínua de velocidade conforme um planeta descreve sua órbita é a lei das áreas. Que ele tenha chegado a esse resultado a partir de um retorno ao ponto equante ptolomaico (que no final das contas corresponde ao foco vazio da órbita elíptica) nos mostra como sua visão continuísta da história da astronomia permitiu que ele tivesse um amplo arsenal diante de si para empreender sua vitoriosa *guerra contra Marte*. Ao contrário de um Galileu, que zomba dos aristotélicos no seu *Diálogo sobre os dois máximos sistemas de mundo*, Kepler conhece a fundo e sabe exatamente o que tomar emprestado da astronomia de posição do *Almagesto* de Ptolomeu.

Na astronomia ptolomaica, o ponto equante é o centro de um círculo imaginário denominado círculo equante, e é em relação a ele que a velocidade do planeta no círculo que efetivamente percorre é uniforme. Isso significa que o planeta não viaja uniformemente com relação ao centro (vazio) do círculo nem tampouco com relação à Terra, O ponto equante situa-se em uma posição simétrica àquela da Terra com relação ao centro do círculo excêntrico, sobre a linha das apsides (ver figura). Kepler observa que Ptolomeu não justifica no *Almagesto* esse posicionamento do ponto equante, Ele próprio, porém, vai investigá-lo, motivado pela ideia de que a velocidade do planeta de fato varia em seu percurso em volta do Sol.



**Figura 2.** O modelo ptolomaico para os movimentos dos planetas. No modelo ptolomaico, a velocidade do centro do epiciclo (C) que carrega o planeta não é constante em relação ao centro do círculo (M), nem tampouco em relação à Terra (T). A velocidade é uniforme com relação ao ponto E, o centro de um círculo imaginário (que não aparece na figura) denominado equante. (Fonte: Enciclopedia Treccani, In: Tolomèo, Claudio nell'Enciclopedia Treccani)

O caminho que leva da *lei de distâncias* até a lei das áreas constitui uma importante etapa no desenvolvimento do cálculo integral, mas é demasiado complexo para ser reproduzido aqui. Para nossos atuais propósitos, basta notar que o motivo pelo qual Copérnico havia abandonado o equante ptolomaico, a saber, porque ele resulta em um movimento não uniforme dos orbes planetários, o que parecia atentar contra a perfeição característica da região celeste, já não se aplica. Na *Astronomia nova*, a Terra é um planeta movendo-se no céu, não há orbes sólidos nem perfeição que distinga a região celeste do mundo à nossa volta, e a própria explicação física dos movimentos planetários implica em velocidades variáveis. O equante volta a parecer uma boa aposta.

Este exemplo mostra Kepler entende o progresso científico como contínuo em um sentido específico: a história da astronomia é encarada

por ele como uma imensa biblioteca ao alcance de suas mãos, onde ele pode encontrar os recursos necessários para seguir avançando.

Vale notar que Kepler não acredita ter resolvido todos os problemas da astronomia. Ele entende que suas explicações levam a novas questões, se já não no âmbito da astronomia de posição, naquele da física celeste. Para citar apenas um exemplo, na *Astronomia nova* ele não se furta de dizer ao seu leitor que não conseguiu explicar como a interação entre o magnetismo do planeta interage com a força solar de modo a produzir as aproximações e afastamentos que resultam na forma elíptica das órbitas:

Estou satisfeito que este exemplo magnético demonstre a possibilidade geral do mecanismo proposto. No que tange aos detalhes, entretanto, eu tenho dúvidas. Pois quando é a Terra que está em questão, é certo que seu eixo, cuja direção paralela e constante produz as estações do ano e os pontos cardeais, não está bem posicionado para gerar esta reciprocidade ou este afélio [que observamos]. O apogeu do sol, ou o afélio da terra, hoje coincidem aproximadamente com os pontos solsticiais, e não com os equinociais, o que se encaixaria em nossa teoria (...) (Kepler, 1992-b, p. 559)

Assim como Hiparco influenciou Ptolomeu e Ptolomeu forneceu os modelos matemáticos usados por Copérnico, Kepler também espera ensinar os astrônomos do futuro, o que inclui apontar as questões deixadas em aberto. A *Astronomia nova* não foi escrita para leigos ou diletantes, mas para astrônomos profissionais que Kepler espera que sejam capazes de levar adiante o progresso dessa ciência.

No dia 7 de agosto de 1620 a mãe de Kepler, Katarina, tinha 73 anos e foi levada à prisão, acusada de bruxaria. (Rublack, 2015.) Kepler já era um astrônomo famoso e abandonou todos os seus afazeres para se dedicar exclusivamente, por mais de um ano, à defesa da mãe. Devido ao seu envolvimento no processo, grande parte dos documentos foi preservada, constituindo uma fonte histórica inestimável da caça às bruxas que vitimou centenas de milhares de mulheres na Europa da Revolução Científica (Federici, 2017, p. 292).

Sabemos que Katarina levou Kepler para ver o grande cometa de 1577 a partir de uma colina nas imediações de Weil der Stadt, quando ele tinha apenas seis anos, episódio que segundo ele próprio teria despertado o seu interesse em astronomia. Sabemos também que foi ela quem lutou



para que seu filho brilhante fosse inserido no sistema educacional recém criado pela Reforma de Lutero e Melanchton, em uma escola paroquial que o preparou para ingressar mais tarde na Universidade de Tübingen. No mais, sua atuação como “bruxa” corresponde estreitamente ao perfil delineado por Silvia Federici em seu estudo histórico sobre a perseguição às bruxas: uma mulher viúva, que embora trabalhasse duramente recorria aos vizinhos para pedir alguma ajuda em momentos mais difíceis, e que era também uma mulher ativa, falante e de opiniões fortes. (Federici, 2017, p. 114-115) Ou seja, Katarina certamente não era uma bruxa no sentido apontado por aqueles que a acusaram, mas insere-se no contexto social da perseguição às mulheres no período que coincide com a Revolução Científica<sup>6</sup>. É difícil responder em que medida exatamente o pensamento de Katarina a respeito da natureza influenciou aquele do astrônomo, pois faltam menções diretas nas fontes. Em todo caso, a dedicação de Kepler à defesa de sua mãe, ímpar no período da caça às bruxas<sup>7</sup>, mostra o quanto ela era importante para ele e, mais ainda, mostra-nos um pensador da modernidade que não foi conivente com essa brutal perseguição às mulheres, ao contrário de Thomas Hobbes ou Jean Bodin, advogado e teórico político francês, autor do primeiro tratado sobre inflação (Federici, 2017, p. 299-301). Kepler chegou a consultar longamente seu amigo Christoph Besold, professor de direito em Tübingen, leu todas as acusações do processo e redigiu pessoalmente a defesa que permitiu que Katarina fosse finalmente libertada. (Rublack, 2015, pp. 233-245) Do ponto de vista da questão que nos interessa aqui, o progresso científico, é relevante observar essa tomada de posição que hoje consideraríamos progressista em um sentido social.

---

6 “Na Europa da Era da Razão, eram colocadas focinheiras nas mulheres acusadas de serem desbocadas, como se fossem cães, e elas eram exibidas pelas ruas; as prostitutas eram açoitadas ou enjauladas e submetidas a simulações de afogamentos, ao passo que se instaurava a pena de morte para as mulheres condenadas por adultério.” (Federici, 2017, p. 203)

7 “A intervenção dos pescadores bascos contra a perseguição de suas parentes foi um acontecimento único. Nenhum outro grupo ou organização se levantou em defesa das bruxas. Sabemos, por outro lado, que alguns homens fizeram negócios voltados à denúncia de mulheres, designando-se a si mesmos como ‘caçadores de bruxas’, viajando de vilarejo em vilarejo ameaçando delatar as mulheres, a menos que elas pagassem.” (Federici, 2017, p. 340)

Para Kepler, o progresso científico com o qual ele próprio contribuiu faz parte de um processo mais amplo, que envolve todo o cosmos e todas as esferas da vida. Sua reinterpretação física (ou dinâmica) do copernicanismo foi fundamental para que o heliocentrismo se tornasse uma doutrina filosófica coerente. Tanto o caráter matemático de fenômenos terrestres (como os flocos de neve) quanto o caráter físico dos movimentos celestes, causados pela força solar na sua nova astronomia, permitiram a superação da dicotomia entre céu e terra que perdurara desde a Antiguidade clássica. Além deste feito monumental, Kepler também fez outras contribuições importantes na astronomia, na matemática e na óptica, e toda a sua obra é atravessada por um otimismo que relaciona as novas descobertas à descoberta de novos territórios: em 1604, suas descobertas ópticas são comparadas a “um novo mar”<sup>8</sup> a ser navegado pela humanidade.

#### O Templo de Urânia

A colaboração entre Kepler e Tycho Brahe, é das mais frutíferas na história da ciência. Não fossem os dados extremamente precisos coletados por Tycho, especialmente aqueles relativos ao planeta Marte, Kepler nunca teria chegado às suas leis.<sup>9</sup>

Foi apenas com a publicação das *Tábuas Rudolfinas* por Kepler, em 1627, que o sistema copernicano se tornou superior ao ptolomaico no quesito precisão. Uma vez que Kepler reinterpretou os dados observacionais coletados por Tycho Brahe a partir da nova perspectiva heliocêntrica proporcionada pela reinterpretação do Sol como centro dinâmico do cosmos, em torno do qual os planetas descrevem órbitas elípticas, ele pôde construir uma tabela astronômica cinquenta vezes mais precisa do que as anteriores<sup>10</sup>.

O frontispício das *Tábuas Rudolfinas* traz uma figura detalhada encomendada por Kepler a seu amigo em Tübingen Wilhelm Schickard<sup>11</sup>. O templo de Urânia sintetiza a visão de Kepler acerca do progresso da astronomia: o tradicional “edifício da ciência”, construído cumulativamen-

---

8 Kepler, *Schriften zur Optik*, na dedicatória a Rudolfo II, *Apud*. Rublack, 2015, p. 11.

9 Tossato, 2004.

10 Gingerich, 2009, p. 1223.

11 *Ibid.*, p. 1231.

te através das eras. Sustentado por doze colunas (doze são os signos do zodíaco, e o dodecaedro ocupa a posição central no sistema de sólidos proposto por Kepler no *Mysterium cosmographicum* e retomado na *Harmonia do mundo*), das quais pode-se ver dez, o templo dedicado à musa da astronomia é construído sobre um piso onde se vê o céu estrelado, revelando que as observações do céu constituem o fundamento de todo o progresso dessa ciência - o que está de acordo com os argumentos tanto da *Astronomia nova* quanto da *Defesa de Tycho*.

Os astrônomos representados ao lado dos instrumentos de cada época e das colunas do templo, cada vez mais sofisticadas, transmitem a noção de uma ciência coletivamente desenvolvida através dos séculos e que avança em direção a sua perfeição. Este é o aspecto do templo de Urânia mais comumente explorado pela crítica, mas eu gostaria de ressaltar aqui o fato de que essa visão continuísta foi professada pelo protagonista daquela que é considerada a mais emblemática das revoluções científicas.



**Figura 3.** O Templo de Urânia.

(Fonte: Kepler, *Gesammelte Werke*, X, p. 1.)

O templo é coroado pela águia que representa o Sacro Império Romano e pela musa da astronomia, Urânia, cercada por seis figuras que não correspondem às musas da Antiguidade Clássica, nem tampouco às artes liberais que organizavam os currículos universitários da época. Da direita para a esquerda, são retratadas as novas musas *Magnetica*, *Stathmica*, *Doc-*

*trina triangulorum, Logarithmica, Optica e Physica lucis et umbrarum.* (Ragstetdt, 2013, pp. 637-638.) O painel no centro da base do templo mostra a ilha de Hven, onde ficava o observatório de Tycho Brahe, Uraniborg, também nomeado em homenagem à musa da astronomia.

O interior do templo é ocupado por um grupo de astrônomos que Kepler escolheu destacar. Logo de saída, chama a atenção a presença no fundo de um anônimo astrônomo babilônio. Dentre as colunas relacionadas a astrônomos que são nomeados, aquela mais simples, feita de madeira, é dedicada a Metão, contemporâneo de Sócrates e descobridor dos ciclos de 19 anos que relacionam os movimentos do Sol e da Lua e servem de base para a elaboração de calendários lunissolares. A coluna seguinte é dedicada a Arato de Solos (c. 310 - 240 a. C.), autor dos *Phaenomena*, que trazem uma versão em verso dos trabalhos perdidos de astronomia do grande matemático contemporâneo de Platão, Eudoxo de Cnido. As colunas mais à frente, em grau crescente de sofisticação, são atribuídas a Hiparco, Ptolomeu, Copérnico e Tycho Brahe. Em cada coluna também aparecem objetos e instrumentos astronômicos associados a cada astrônomo. O próprio Kepler é retratado na base, do lado esquerdo da ilha de Hven, exercendo seu trabalho teórico diante de uma mesa onde se vê pousado o domo do templo, sentado sob os títulos de suas principais obras: *Mysterium cosmographicum*, *Astronomiae pars optica*, *Commentarius Martis* (*Astronomia nova*) e *Tabulae Rudolphinae*. Do lado direito, vemos os herdeiros de Tycho Brahe. Tendo as colunas sido construídas pelos astrônomos que o precederam, o papel que o próprio Kepler se atribui é o de completar este templo ao construir seu teto circular, completando a construção iniciada milênios antes.

A concepção kepleriana de progresso, expressa de maneira sintética nessa figura, com as novas musas que representam novos campos de investigação científica como a óptica ou o magnetismo, onde não faltam problemas em aberto, aproxima-se, gostaria de defender ao final deste artigo, daquela dos últimos escritos de Thomas Kuhn. A realidade do sistema copernicano não pôde ser demonstrada sem o recurso a forças que agem à distância, a novas ferramentas matemáticas capazes de descrever variações contínuas e a uma nova concepção sobre a natureza do cosmos. Cada problema resolvido abre novos campos de investigação que antes não podiam sequer ser imaginados.

No *Mistério cosmográfico* (Kepler, 1992), sua primeira defesa do copernicanismo, publicada em 1597, Kepler escrevera que “(...) podemos dizer não sem fundamento que por isso há tanta variedade nas coisas e tantos tesouros escondidos na fábrica dos céus, para que jamais falte à mente humana alimento fresco, para que não desdenhe o [alimento] velho, nem descanse, mas disponha neste mundo de uma escola eterna para exercitar-se.” (Kepler, 1992, pp. 56-57.) A esta época, Kepler já havia percebido que o copernicanismo deixa em aberto uma série de novas questões quanto à física que rege o sistema, como o próprio conceito de movimento, a explicação da gravidade ou a causa dos percursos planetários serem aqueles que são observados, e não outros. Qualquer tentativa de resolver essas novas questões traz à tona novas dificuldades e abre novos campos de investigação, novos territórios a explorar.

## Bibliografia

Kepler *Gesammelte Werke*, 1939-. Todos os pdfs das obras completas de Kepler, inclusive das cartas, efemérides e manuscritos, estão disponíveis em <https://kepler.badw.de/kepler-digital.html>.

“Defense of Tycho against Ursus”, texto latino, intr. e trad. N. Jardine, In: Jardine, N. *The birth of history and philosophy of science: Kepler’s “a defense of Tycho against Ursus”*, Cambridge University Press, 1984.

*El secreto del universo*, trad. Eloy Rada García, Madri: Alianza editorial, 1992. (1992-a)

*New astronomy*, trad. William H. Donahue, Cambridge: University Press, 1992. (1992-b)

Federici, S. *Calibã e a bruxa*, São Paulo: Ed. Elefante, 2017.

Gingerich, O. “Johannes Kepler and the Rudolphine Tables”, *Resonance*, 14, p. 1223-1234, 2009.



Quine, W. V. O, “Two dogmas of empiricism”, *The Philosophical Review*, 60, p. 20-43, 1951.

Ragstedt, M. “About the cover: Kepler and the Rudolphine tables”, *Bulletin of The American Mathematical Society*, Volume 50, Number 4, October 2013, Pages 629–639.

Rublack, U. *The astronomer and the witch*, Oxford: Oxford University Press, 2015.

Stephenson, B. *Kepler's physical astronomy*, Nova York: Springer, 1987.

Tossato, C. “Discussão cosmológica e renovação metodológica na carta de 9 de dezembro de 1599 de Brahe a Kepler”, *Scientiae Studia*, 2 (4), 2004, p. 537-565.

