

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE SÃO PAULO
PUC – SP

RENATO CASEMIRO

CONSONÂNCIAS PLANETÁRIAS:
APRESENTAÇÃO E FUNDAMENTAÇÃO DA “TERCEIRA LEI” DO
MOVIMENTO PLANETÁRIO NO LIVRO V DO *HARMONICES MUNDI* (1619)
DE JOHANNES KEPLER (1571 – 1630)

MESTRADO EM HISTÓRIA DA CIÊNCIA

São Paulo
2007

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE SÃO PAULO
PUC – SP

RENATO CASEMIRO

CONSONÂNCIAS PLANETÁRIAS:
APRESENTAÇÃO E FUNDAMENTAÇÃO DA “TERCEIRA LEI” DO
MOVIMENTO PLANETÁRIO NO LIVRO V DO *HARMONICES MUNDI* (1619)
DE JOHANNES KEPLER (1571 – 1630)

MESTRADO EM HISTÓRIA DA CIÊNCIA

Dissertação apresentada à Banda Examinadora da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, como exigência parcial para a obtenção do título de Mestre em História da Ciência, sob a orientação do Professor Doutor José Luiz Goldfarb.

São Paulo
2007

BANCA EXAMINADORA

Autorizo, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação por processos de fotocopiadoras ou eletrônicos.

_____. Local: _____ data: _____

RESUMO

Palavras-chaves: astronomia, terceira lei de Kepler, harmonia musical

Um dos significados da palavra consonância é harmonia. Harmonia, no contexto matemático, remete-se a proporção, ordem e simetria. No contexto musical, harmonia indica uma sucessão lógica dos sons. No contexto espiritual, denota aproximação com o divino, paz.

A obra de Johannes Kepler (1571 – 1630), *Harmonices mundi* (1619), é uma composição harmoniosa destes três contextos aplicados ao cenário astronômico do século XVII. É neste livro que Kepler apresenta a relação matemática existente entre os períodos de revolução dos planetas e suas respectivas distâncias em relação ao Sol – ou como conhecemos nos dias atuais, terceira lei do movimento planetário, lei harmônica ou terceira lei de Kepler.

Baseando-se em suas conclusões anteriores, principalmente as que foram publicadas no *Mysterium Cosmographicum* (1596), e na hipótese de uma ligação entre as frequências das notas musicais e as velocidades assumidas pelos planetas ao longo de suas trajetórias, Kepler utilizou-se de um arcabouço teórico característicos de sua época: a mística pitagórica, a filosofia platônica, a geometria euclidiana, a teoria musical de Ptolomeu e o heliocentrismo de Copérnico.

O objetivo desta dissertação é examinar a fundamentação teórica e epistemológica empregada por Kepler na elaboração da “lei harmônica”, bem como discutir sua relevância na cosmologia kepleriana e para a astronomia da época.

ABSTRACT

Key-words: astronomy, Kepler's third law, musical harmony

One of the meanings of the word 'consonant' is harmony. Harmony, in a mathematical context, refers to proportion, order and symmetry. In a musical context, harmony indicates a logical succession of the sounds. In a spiritual context, it denotes an approach to the divine, peace.

Johannes Kepler's work *Harmonices mundi* (1619) presents a harmonious composition of these three contexts set in the astronomical scene of the seventeenth century. In this book Kepler shows the existing mathematical relation between the planets' periods of revolution and their respective distances from the Sun – or as we know at the present time, the third law of the planetary motion, harmonic law, or Kepler's third law.

Based on his own previous conclusions, essentially the ones published in *Mysterium Cosmographicum* (1596), and on the hypothesis of a relationship between the musical note frequency and the velocities of the planets in its orbits, Kepler made use of a theoretical structure typical of his period, which includes the Pythagoras mystics, the Platonic philosophy, the Euclidian geometry, the Ptolemaic music theory, and the Copernican heliocentrism.

The aim of this dissertation is to examine the theoretical and epistemological basis used by Kepler on the development of the "harmonic law", and to discuss its significance in the keplerian cosmology and for the astronomy of the period.

AGRADECIMENTOS

A todos do Programa de Pós-Graduação em História da Ciência da PUC-SP, em especial às professoras Ana Maria Haddad Baptista, Lilian Al-Chueyr Pereira Martins e Maria Helena Beltran Roxo pela dedicação e apoio nesse período de estudos.

Ao Fundo de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo pela bolsa de estudos oferecida no ano de 2005.

Ao Prof. Dr. Roberto de Andrade Martins pela orientação inicial, sugestões e críticas que me ajudaram a amadurecer de forma intelectual e pessoal, bem como à Profa. Dra. Juliana Ferreira pela leitura crítica e conselhos preciosos na qualificação.

Ao Prof. Dr. José Luiz Goldfarb por ter me aceitado como orientando na fase final da minha pesquisa e ter depositado em mim sua confiança. Seu parecer teve grande importância neste trabalho, assim como seu estímulo e entusiasmo constantes.

Aos professores Walmir T. Cardoso, Cristiane R. Tavolaro, Marisa Cavalcante e Ricardo Terini, por me servirem de exemplo de dedicação à Física.

Aos bibliotecários da Biblioteca Marquês de Paranaguá, em particular a Dona Balbina e Paulo, e da Biblioteca Abaporu, Bit e Cláudia, pela ajuda de grande valia. Aos amigos do Colégio Rainha da Paz por relevar minhas eventuais ausências.

Em especial, à minha esposa Ludimila Hashimoto B. Casemiro pelas conversas de apoio e incentivo, além da revisão e correção dos capítulos.

DEDICATÓRIA

Dedico essa dissertação a três pessoas muito queridas:

- minhas duas companheiras de pesquisa nas madrugadas em claro: Ludimila e Iolanda. Apesar de tudo meninas, valeu a pena!
- meu compreensivo Vô Zeca (em memória): se você ainda estivesse por aqui, as coisas teriam sido bem mais simples.

SUMÁRIO

Introdução p. I

Capítulo I – A astronomia na Revolução Científica

1.1 Introdução p. 06

1.2 Revolução Científica p. 06

1.3 A Física e Cosmologia aristotélica p. 09

1.4 O sistema ptolomaico p. 13

1.4.1 Excêntricos, epiciclos, deferentes e orbes p. 14

1.4.2 A cosmologia ptolomaica p. 16

1.5 Astronomia e Física na Idade Média p. 18

1.5.1 Astronomia e Astrologia p. 23

1.6 O cenário da revolução p. 27

1.7 O modelo copernicano p. 32

1.7.1 A hipótese de Copérnico p. 33

1.7.2 Copérnico, Pitágoras, Platão e os neoplatônicos p. 39

1.7.3 Prós e contras do modelo copernicano p. 41

1.8 Desdobramentos p. 44

1.9 Conclusão do Capítulo I p. 47

Capítulo II – Johannes Kepler – Vida e Obra

2.1 Introdução p. 52

2.2 Informações pessoais p. 52

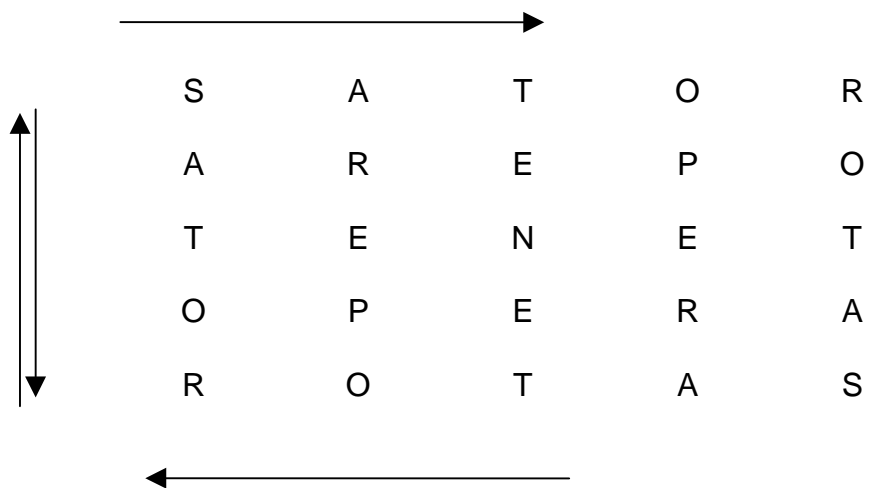
2.3 Contexto regional e histórico p. 53

2.4 Leonberg, período de 1578 a 1583	p. 56
2.5 Adelberg-Maulbronn, período de 1584 a 1587	p. 57
2.6 A Universidade de Tübingen	p. 58
2.6.1 Michael Mästlin	p. 61
2.7 Mudança de rumos: o cargo de <i>mathematicus</i> em Graz	p. 63
2.8 <i>Mysterium cosmographicum</i>	p. 65
2.9 Tycho Brahe	p. 72
2.10 Mudança de rumos II: vida em Praga	p. 78
2.11 <i>Astronomia Nova</i>	p. 80
2.12 Do <i>Astronomia Nova</i> ao <i>Harmonices Mundi</i> : entreato	p. 86
2. 13 Conclusão do Capítulo II	p. 91

Capítulo III – Reflexões sobre a harmonia do mundo

3.1 Introdução	p. 97
3.2 A idéia inicial do <i>Harmonices mundi</i> e sua produção	p. 98
3.3 Sobre os primeiros quatro livros do <i>Harmonice mundi</i> : início da fundamentação teórica	p. 101
3.3.1 Sobre o <i>Harmonica</i> de Ptolomeu	p. 109
3.4. Análise do livro V do <i>Harmonices mundi</i>	p. 110
3.5 Resumo da teoria astronômica necessária para o estudo das harmonias celestes	p. 125
3.5.1 Introdução do “Resumo”	p. 126
3.5.2 As “condições” para a compreensão da harmonia celestial	p. 127

3.6 Com quais aspectos relacionados aos movimentos dos planetas as harmonias simples foram expressas, e que todas aquelas que pertencem à melodia são encontradas nos céus	p. 138
3.7 Conclusão do Capítulo III	p. 149
Considerações finais	p. 153
Referência bibliografia	p. 157



“O criador mantém o mundo em sua órbita”

Introdução

O período compreendido entre os séculos XVI e XVIII é bastante revisitado pelos historiadores da ciência. Isso não é sem razão. O momento histórico conhecido como Revolução Científica teve fundamental importância para a civilização ocidental pois promoveu mudanças significativas em diversas áreas do conhecimento humano. E “apesar de todos reconhecermos de imediato a importância da Revolução Científica, quanto mais estudamos suas origens, menos estamos seguros de compreender as suas causas”¹. A complexidade dessa fase inicial é, em grande parte, decorrente da postura intelectual e filosófica dos pensadores frente às transformações estabelecidas por um contexto político, econômico, religioso e social muito peculiar. A expansão territorial ultramarina dos grandes impérios, o desenvolvimento obtido à custa das novidades e riquezas trazidas das terras descobertas, a reforma religiosa luterana e a contra-reforma católica, e o fortalecimento da classe social burguesa são alguns exemplos.

Acrescenta-se à complexidade deste cenário

“o declínio do mundo mágico e da tradição hermética; as estreitas conexões entre o nascimento da nova ciência e os problemas da teologia; as discussões de física e de cosmologia que acompanharam e determinaram o fim da visão aristotélico-ptolomaica do Universo; a disputa sobre a infinitude e a habitabilidade dos mundos e sobre a posição do homem no cosmos”²

¹ A. G. Debus, *El Hombre y la Naturaleza en el Renacimiento*, p. 16;

² P. Rossi, *A Ciência e a Filosofia dos Modernos*, p. 9;

Engana-se quem acredita que esta transformação foi repentina, ou que foi gradativamente compreendida e estabelecida. Os cenários descritos anteriormente coexistiram praticamente durante toda essa época.

É nesse contexto controverso que a principal obra de Nicolau Copérnico (1473 – 1543), *De Revolutionibus Orbium Coelestium* (1543), é publicada e considerada, posteriormente, um dos marcos da Revolução Científica. Neste livro Copérnico defende, basicamente através de argumentos matemáticos, o movimento da Terra ao redor do Sol. O que torna especial o modelo copernicano de Universo (heliostático) frente ao modelo geocêntrico de Ptolomeu, vigente por praticamente quinze séculos, ou de outros modelos heliocêntricos que foram propostos anteriormente³, é que existe nesta obra a tentativa – ainda que bastante superficial – de se descrever uma nova realidade física para os corpos celestes⁴, numa época em que a astronomia era feita por astrônomos-matemáticos cujo interesse era dar conta de explicar os fenômenos observáveis da melhor forma possível⁵.

Segundo Kuhn,

“embora o seu *De Revolutionibus* consista principalmente em fórmulas matemáticas, tabelas e diagramas, só poderia ser assimilado por homens capazes de criar uma nova concepção de espaço, e uma nova idéia sobre a relação do homem com Deus”⁶.

Entre estes homens está Johannes Kepler (1571 – 1630):
ao conhecer sua biografia e estudar o conjunto de sua obra, torna-se fácil colocá-lo entre aqueles que fizeram com

³ Como os modelos de Pitágoras, Heráclides do Ponto e Aristarco de Samos na Antiguidade;

⁴ Sobre esta questão, ver o capítulo 1 desta dissertação;

⁵ R. Martins in N. Copérnico, *Commentariolus*, p. 80;

⁶ T. Kuhn, *A Revolução Copernicana*, p. 10;

que o modelo copernicano se tornasse o símbolo da mudança de um paradigma. O astrônomo e matemático austro-germânico

“encontrou uma astronomia com mecanismos planetários geocêntricos ou heliostáticos desajeitados e que apresentavam erros de vários graus, e deixou-a com um sistema heliocêntrico unificado e fisicamente fundamentado, aproximadamente cem vezes mais preciso.”⁷

Esta dissertação de Mestrado em História da Ciência estuda o livro V do *Harmonices Mundi* (1619), mais precisamente o que diz respeito à fundamentação teórica utilizada pelo autor na apresentação do seu conjunto de idéias sobre o movimento planetário, tendo em destaque aquela que viria a ser conhecida como a “terceira lei de Kepler” ou “lei harmônica”⁸.

Comparando a quantidade de estudos em livros e artigos a respeito das “leis” de Kepler, a “lei harmônica” é descrita de forma superficial pela maioria dos historiadores que se dedicaram à História da Física e da Astronomia desse período, muitas vezes sendo referida apenas como a lei que “dará a Newton o melhor indício da lei da Gravitação Universal”⁹. É mais comum encontrar estudos pormenorizados sobre o primeiro livro de Kepler – *Mysterium Cosmographicum* (1596) – no qual o matemático descreve pela primeira vez sua idéia dos sólidos regulares como representação matemática das órbitas dos planetas, e sobre o segundo livro – *Astronomia Novae* (1609) – no qual são

⁷ O. Gingerich, “Kepler”, in American Council of Learned Society, *Dictionary of Scientific Biography*, vol. 7, p.289;

⁸ As outras “leis” de Kepler são conhecidas como primeira lei ou Lei das Órbitas: as órbitas descritas pelos planetas ao redor do Sol têm forma elíptica; segunda lei ou Lei das Áreas: o raio vetor que une o Sol aos planetas varre áreas iguais em tempos iguais; terceira lei de Kepler ou Lei Harmônica: a razão entre o quadrado do período de revolução de um planeta e o cubo de sua distância média em relação ao Sol é constante;

⁹ J-P. Verdet, *Uma história da Astronomia*, p. 131;

apresentadas suas novas conclusões a respeito das órbitas dos planetas ou, como são conhecidas, “lei das órbitas” e “lei das áreas”.

O objetivo geral desta dissertação é analisar a fundamentação teórica e epistemológica que Kepler empregou para concluir sua “terceira lei” por meio do exame de aspectos relevantes ao astrônomo, como, por exemplo, sua concepção de Universo, a influência do neoplatonismo renascentista, os ensinamentos astronômicos e religiosos recebidos nos seminários em Tübingen, a orientação de Mästlin, a importância do contato com Tycho Brahe e seus dados empíricos, a releitura do livro de Ptolomeu, *Harmonica*, entre outros.

A dissertação é composta por três capítulos, sendo o primeiro reservado à história da Astronomia no cenário europeu dos séculos XVI e XVII, com a observação das principais críticas e defesas aos sistemas geocêntrico de Ptolomeu e heliocêntrico de Copérnico, da importância dos dados empíricos de Tycho Brahe e o seu modelo alternativo para o Universo e das idéias de Kepler em defesa do modelo copernicano. No segundo capítulo é apresentada uma pequena biografia de Kepler, com a análise de fatores relevantes de sua vida pessoal e intelectual, permeados pelo contexto histórico, social, político e religioso. No terceiro e último capítulo, é discutido o conteúdo do livro V do *Harmonices mundi*, a apresentação da “lei harmônica” e a sua validabilidade segundo Kepler.

O *Harmonices Mundi* de Johannes Kepler é uma obra composta por cinco livros que descrevem a fundamentação geométrica e aritmética das figuras sólidas, a harmonia musical e a origem dos aspectos astrológicos e do

movimento periódico dos planetas, e um apêndice, que compara o *Harmonices mundi* com o *Harmonia* de Ptolomeu e com as especulações harmônicas do micro e macrocosmos propostas por Robert Fludd (1574 – 1637). Originalmente planejada como “uma série de tratados cosmográficos que lidaria mais minuciosamente com os assuntos do *De Caelo* e *De Generatione* de Aristóteles”¹⁰, em 1598, foi apenas em 1618 que essa obra foi concluída e, no ano seguinte, publicada. Durante esse período de vinte anos, Kepler pôde aperfeiçoar os seus estudos e desenvolver aquilo em que acreditava mais: ser o mundo “uma expressão de Deus, simbolizando a trindade e materializando em sua estrutura uma ordem e harmonia matemática”¹¹.

¹⁰ E. J. Aiton & A. M. Duncan & J. V. Field, “Introdução e Notas” in J. Kepler, *Harmony of the World*, p. XVI;

¹¹ A. Koyré, *Do Mundo fechado ao Universo infinito*, p. 63.

Capítulo I – A astronomia na Revolução Científica

1.1 – Introdução

Como historiadores da ciência, não podemos nos furtar da responsabilidade de visitar certos períodos históricos, reinterpretar a formação de certos conceitos e questionar o porquê da preeminência de algumas idéias em relação a outras. Não há exceção de caso, uma vez que a própria História da Ciência se ocupou de objetivos e metodologias diferentes ao longo de sua própria história.

“Esquecer o que sabemos”¹ é a forma encontrada por Paolo Rossi para descrever o tipo de cuidado que se deve ter ao pesquisar um tema em História da Ciência, por mais que haja inúmeras obras e estudos sobre o mesmo.

Para esta dissertação de Mestrado será preciso, portanto, visitar o período histórico cunhado como Revolução Científica para compreender a trajetória epistemológica seguida por Johannes Kepler (1571 – 1630) em astronomia até a enunciação do que conhecemos hoje como “terceira lei de Kepler”.

1.2 – Revolução Científica

Logo na apresentação desta pesquisa chamamos atenção ao fato de que, apesar desse período ter contribuído definitivamente na formação do conhecimento científico ocidental, é um período de transição. Isso torna a tarefa do historiador da ciência ainda mais árdua, pois dois universos cognitivos

¹ P. Rossi, *O nascimento da ciência moderna na Europa*, p. 29;

– o antigo e o moderno – coabitam a mente daqueles que investigam e tentam explicar a razão dos desdobramentos nas diversas áreas do conhecimento. Nesse “labirinto que os historiadores da ciência, dedicados aos estudos das origens da Ciência Moderna, têm de enfrentar”², nosso olhar se dirige quase que exclusivamente para aqueles que contribuíram nas questões da astronomia (em primeiro plano) e da física (em segundo plano), mas não ignora que as transformações desse período se deram em maior escala.

As novidades trazidas pelas grandes navegações e pela releitura dos textos clássicos gregos em latim tiveram, de certa, forma tanta importância que estimularam alguns pensadores a estabelecer um novo caminho dentro das diversas áreas de conhecimento. É justamente a escolha desses caminhos que separara os “antigos” dos “modernos”. Para os primeiros, “a ciência deveria nascer dos conhecimentos clássicos”³ e para os outros, “as novidades de um mundo com o qual os antigos não haviam nem sonhado deveriam ser conhecidas de uma forma também inteiramente nova”⁴. Acontece que, como todo e qualquer labirinto, nem sempre o caminho escolhido leva diretamente à saída. Há muitas passagens fechadas, pontos de encontro e volta às origens.

Para não ocorrermos em erro, não especificaremos nem o início nem o término da Revolução Científica, uma vez que “a história não opera através de saltos bruscos; e as divisões nítidas em períodos e épocas só existem em manuais escolares”⁵. Entretanto, decidindo estudar o intervalo entre os séculos XV e XVII, abrangemos uma série de fatos, idéias e teorias que seguramente

² A. M. Alfonso-Goldfarb, *O que é história da ciência*, p. 16;

³ *Ibid.*, p. 18;

⁴ *Ibid.*, p. 18;

⁵ A. Koyré, *Estudos de História do Pensamento Científico*, p. 15;

ajudam a caracterizá-la. “As mudanças imperceptíveis em curto espaço de tempo engendram, a longo prazo, uma diversidade muito nítida; (...) Correntes de pensamento atravessam séculos inteiros, se superpõem e se entrecruzam.”⁶

Assim, cabe aos historiadores da Ciência mais caracterizá-la do que defini-la:

Debus, pensando no desenrolar histórico, a retrata como o

“efeito que teve o humanismo nas ciências, a busca de um novo método científico, e o diálogo constante entre os defensores de uma concepção mística e oculta do mundo e aqueles que buscavam um novo enfoque para estudar a natureza baseada na matemática e na observação.”⁷

Thomas Kuhn generaliza e explica que

“a ciência normal desorienta-se seguidamente. E quando isso ocorre – isto é, quando os membros da profissão não podem mais esquivar-se das anomalias que subvertem a tradição existente da prática científica – então começam as investigações extraordinárias que finalmente conduzem a profissão a um novo conjunto de compromissos, a uma nova base para a prática da ciência.”⁸

Caso voltássemos nossa atenção à área da anatomia humana em Medicina, teríamos como referência a obra de Andreas Vesalius (1514 – 1564), *De fabrica Corporis Humani* (1543). Ao nos concentrarmos na astronomia e na física desse período, no entanto, a Revolução Científica funde-se – ou confunde-se – com a Revolução Copernicana, uma vez que a obra de Nicolau Copérnico (1473 – 1543), *De Revolutionibus Orbium Coelestium* (1543) é considerada marco de tal revolução.

Utilizando os parâmetros de Kuhn, a hipótese copernicana foi – mas não sozinha – a base da investigação extraordinária que conduziria a um novo

⁶ *Ibid.*, p. 16;

⁷ A. G. Debus, *El Hombre y la Naturaleza en el Renacimiento*, p. 10;

⁸ T. S. Kuhn, *A estrutura das revoluções científicas*, p. 24;

conjunto de compromissos frente às anomalias trazidas de duas concepções antigas: a ptolomaica em astronomia e a aristotélica na física. É justamente argumentar sobre como esses aspectos se relacionam com os trabalhos de Kepler, em particular o *Hamonices Mundi*, o objetivo primeiro desse capítulo.

1.3 – A Física e a Cosmologia aristotélica

Como não nos propomos aqui a pormenorizar a obra aristotélica, procuraremos mostrar seus pontos de maior importância; aqueles que fizeram de Aristóteles (384 – 322 a.C.) uma autoridade, mas que, ao mesmo tempo, necessitava ser transposta:

“Dele [Aristóteles] provém o primeiro esforço de explicação sistemática do desenvolvimento das idéias filosóficas. Não apenas informações esparsas – como já haviam aparecido em escritos de outros filósofos, particularmente em Platão –, mas uma tentativa de encadeamento das diversas doutrinas anteriores, com base numa explicação dos próprios motivos que teriam levado os homens, desde fases pré-filosóficas, a elaborar sucessivas e cada vez mais aprofundadas concepções. Mostrando a chave desse processo, Aristóteles, por isso mesmo, apresenta-se como seu ponto terminal: em sua obra, as tentativas do passado teriam atingido plena e satisfatória formulação. Em nome dessa verdade alcançada – a sua verdade, a verdade de seu sistema filosófico –, Aristóteles pretende então julgar as filosofias de seus predecessores, mostrando-lhes as falhas e os equívocos.”⁹

Estudar Aristóteles não é tarefa das mais simples: sua contribuição para a formação do conhecimento é muito grande, seja pela abrangência das suas obras ou pela profundidade dos seus ensinamentos. Além de ter estudado com Platão (426c. – 348c. a. C.), foi fundador da sua própria escola em Atenas, o Liceu. É nesse período que Aristóteles rompe com as idéias de seu mestre

⁹ Coleção Os Pensadores, *Aristóteles*, p. 13;

Platão. “Ao contrário da Academia [de Platão], voltada fundamentalmente para investigações matemáticas, o Liceu transformou-se num centro de estudos dedicados principalmente às ciências naturais”¹⁰. Além de divergir sobre o pensamento político, Aristóteles difere sobre a construção dos conceitos universais: “essa diferença pode estar relacionada com os modelos que cada um utilizou para a construção do conhecimento: Platão enfatizou a matemática, Aristóteles, a explicação dos seres vivos.”¹¹ A diferença entre o pensamento platônico e aristotélico é tão importante que foi imortalizado num afresco pintado em 1509 pelo pintor italiano Rafael, na Sala da Assinatura no Vaticano. No centro da pintura “Escola de Atenas” encontram-se Platão e Aristóteles: Platão aponta para cima – simbolizando o mundo das idéias – e, Aristóteles, para baixo – simbolizando o mundo das causas.

Sabe-se que a obra de Aristóteles se divide em duas amplas categorias: as que tinham por finalidade atingir o grande público – obras conhecidas como exotéricas¹² – e as dirigidas aos seus discípulos, conhecidas como acroamáticas¹³. O *Corpus aristotelicum* tem a seguinte distribuição sistemática: *Organon*, conjunto de tratados de lógica; *de Anima* – mais conhecido como *Parva naturalia* –, conjunto de tratados sobre o mundo vivo; *Metafísica*, conjunto de tratados sobre a filosofia teórica; obras sobre filosofia prática como *Ética* e *Política*; e finalmente, *Física*, conjunto de tratados sobre o estudo da Natureza, entre eles *De Caelo*, *De Generatione et Corruptione*, *Metereologiae*.

¹⁰ *Ibid.*, p. 8;

¹¹ M. A. Andery... *et alii*, *Para compreender a ciência – uma perspectiva histórica*, p. 79;

¹² Basicamente diálogos, como fazia Platão: *Eudemo*, *Protético* e *Sobre a Filosofia*;

¹³ Recebe esse nome pois era comum entre as escolas da época que seus alunos realizassem seus debates [ensino oral] enquanto passeavam. Daí o termo peripatéticos, “aqueles que passeiam”;

“O biologismo era mais que uma perspectiva da escola [Liceu]: tornou-se marca central da própria visão científica e filosófica de Aristóteles, que transpôs para toda a Natureza categorias explicativas pertencentes originariamente ao domínio da vida. Em particular, a noção de espécies fixas – sugerida pela observação do mundo vegetal e animal – exercerá decisiva influência sobre a física e a metafísica aristotélicas, na medida em que se reflete na doutrina do movimento, elaborada por Aristóteles.”¹⁴

A questão relativa ao movimento dos corpos está presente na filosofia grega desde os pré-socráticos. Aristóteles a interpreta como a “passagem da potência ao ato (...) circunscrito à substância”¹⁵, ou seja, o movimento se dá a medida que a substância em si apresenta potencial [potência] para a transformação e cessa no momento em que atinge seu lugar comum, natural. Essa idéia se torna mais clara quando se compreende a noção de “elemento” para Aristóteles:

“o conjunto do universo físico estaria dividido em duas regiões distintas: a sublunar, constituída pelos quatro elementos herdados da cosmologia de Empédocles – a água, o ar, a terra e o fogo – e caracterizada por movimentos retilíneos e descontínuos; e a supralunar, constituída por uma “quinta essência”, o éter, e caracterizada por movimentos circulares e contínuos”¹⁶.

Portanto se elevarmos uma pedra [substância terra] a uma determinada altura, ela deve voltar para o seu lugar comum, o solo, descrevendo um movimento retilíneo para baixo, pois é da natureza [potência] da pedra procurar voltar [passagem] ao seu lugar comum. A chama de uma vela, por sua vez, apontará para cima independentemente da posição da vela, mesmo se a colocarmos de cabeça para baixo, pois é na vertical e para cima o movimento retilíneo do fogo. O mundo sublunar é constituído de elementos corruptíveis,

¹⁴ Coleção Os Pensadores, *Aristóteles*, pp. 8-9;

¹⁵ *Ibid.*, p. 23;

por isso os seus movimentos são também passíveis de alterações. Já o mundo supralunar – o mundo da Lua, do Sol, dos planetas e das estrelas – por sua essência incorruptível, não altera seus movimentos: são circulares – começam e terminam no mesmo ponto –, e conseqüentemente, eternos, porém finitos, uma vez que descrevem sempre as mesmas trajetórias.

Na cosmologia aristotélica, os planetas e outros astros giram ao redor da Terra por meio de 56 esferas concêntricas. Seu universo é único e finito, sendo a última esfera a que contém as estrelas. Diferentemente de Eudoxus, Aristóteles acreditava serem reais e constituídas por éter as esferas que continham os astros. A Terra, desprovida de qualquer movimento, ocupa o centro dessas esferas concêntricas (geocentrismo estático). A Terra está parada porque, se girasse, um objeto abandonado de uma certa altura não atingiria o ponto verticalmente abaixo de sua origem, uma vez que, durante a queda do corpo, a Terra se movimentaria no sentido oeste-leste. Como isso não ocorre na experiência, Aristóteles conclui que a Terra é estática. “A Terra está no centro porque, por força de sua natureza, ou seja, porque ela é pesada, deve achar-se no centro. (...) eles [os corpos pesados] se dirigem ao centro porque é sua natureza que para lá os impele.”¹⁷ Como nos explica Roberto Martins,

“[Aristóteles] mostrava que a própria configuração esférica do universo poderia produzir três tipos de movimentos naturais, simples: em direção ao centro do universo; para longe do centro do universo (radialmente, para fora); ou em torno do centro. Ora, observamos na natureza alguns corpos que tendem a se aproximar de um centro (os corpos pesados, que caem para o centro da Terra); outros que tendem a se afastar de um centro (os corpos quentes, como o ar e o fogo, que tendem a subir

¹⁶ *Ibid.*, p. 25;

¹⁷ A. Koyré, *Estudos de História do Pensamento Científico*, p. 50;

verticalmente); e outros que giram em torno de um centro (os astros). Associando as observações à teoria, Aristóteles conclui que a Terra está no centro do universo.”¹⁸

Como sabemos, os ensinamentos de Aristóteles influenciaram enormemente o mundo grego. Suas diversas releituras – principalmente aquelas oriundas das traduções dos árabes – perduraram nas universidades durante toda a Idade Média e Renascimento. Segundo Koyré, é justamente a concepção inversa ao pensamento de Aristóteles que permitiu os sistemas astronômicos substituírem gradualmente o ponto de vista cosmológico pelo ponto de vista físico. Uma transformação que muitos associam erroneamente a Copérnico, como veremos no decorrer do texto.

1.4– O sistema ptolomaico

Da mesma forma que Aristóteles é a autoridade a ser transposta a favor de uma nova concepção física da natureza, Ptolomeu (100c. – 170c. d.C.) é a autoridade a ser transposta em astronomia a favor de um novo modelo de universo. “O que Euclides foi para a geometria, Ptolomeu foi para a astronomia.”¹⁹

O trabalho de Ptolomeu é considerado o ponto mais alto de toda a astronomia clássica. Sua obra (*Megiste*) *Sintaxis Mathematica* (127c.- 151c.) , mais conhecida por seu nome árabe *Almagesto* contém um grande tratado matemático sobre a astronomia do período: com um grande número de diagramas, fórmulas e tabelas, foi traduzido para o árabe por volta do ano 800 e para o latim no final do século XIII.

¹⁸ R. A. Martins in N. Copérnico, *Comentariolus*, p. 34;

“Quem nunca sequer folheou o *Almagesto* de Ptolomeu dificilmente poderá imaginar o esforço titânico que encerra. Enorme número de dados cuidadosamente selecionados; um rigoroso tratamento matemático (com o uso de trigonometria esférica); uma genial intuição para vislumbrar arranjos geométricos simples capazes de descrever os fenômenos; o uso desses arranjos para fazer previsões astronômicas. (...) A proposta de Ptolomeu é ciência, do mais alto nível.”²⁰

Nesta dissertação, interessa-nos particularmente outra de suas obras: *Harmonia*, um tratado matemático sobre a música e as composições. Outra referência às obras de Ptolomeu é o *Tetrabiblos*, um estudo específico sobre a astrologia.

O sistema de mundo ptolomaico é geostático, ou seja, assim como Aristóteles, Ptolomeu parte do princípio de que a Terra está parada. Difere, entretanto, sobre ela ser o centro dos movimentos, uma vez que o astrônomo se vale de vários recursos matemáticos para descrever os movimentos dos astros em relação a esse referencial. Tais recursos matemáticos – excêntricos, epiciclos, deferentes e orbes – serão descritos e caracterizados a seguir, por se tratarem de conceitos astronômicos largamente utilizados até o século XVII e que foram abandonados ou substituídos ao longo da história mais recente da astronomia.

1.4.1 – Excêntricos, epiciclos, deferentes e orbes

O excêntrico foi uma solução matemática largamente utilizada pelos astrônomos gregos por volta do ano 150 d.C. para contornar o problema da obrigatoriedade do movimento circular uniforme dos astros no firmamento. De

¹⁹ M. J. Crowe, *Theories of the World – from Antiquity to the Copernican Revolution*, p. 42;

²⁰ R. A. Martins in N. Copérnico, *Comentariolus*, p. 65;

acordo com Platão e Aristóteles, todos os astros deveriam percorrer suas trajetórias no céu com velocidade constante, o que contrariava as observações. Para conciliar teoria e prática, os astrônomos deslocam o lugar geométrico da Terra: ela não ocupa mais o centro das trajetórias dos astros, mas um lugar próximo dele. A menor distância entre a Terra e a trajetória descrita pelo astro recebe o nome de perigeu, e a maior distância, apogeu. Dessa forma, aparentemente – pois os arcos descritos em relação à Terra têm tamanhos diferentes – o astro aumenta a sua velocidade à medida que se afasta do apogeu e se aproxima do perigeu, e diminui à medida que se afasta do perigeu e se aproxima do apogeu.

Outro método de grande valia é o sistema epiciclo-deferente: a trajetória retrógrada descrita pelos planetas também diferia das previsões teóricas das “leis físicas” do mundo supralunar aristotélico. A laçada planetária – como era conhecido o movimento retrógrado dos planetas – é o deslocamento de leste para oeste que se pode notar quando se observam sistematicamente as posições assumidas por um planeta ao longo dos dias. Para descrever esse movimento nos termos da física aristotélica do movimento circular e uniforme, era necessário, então, adotar círculos auxiliares. Segundo esse modelo, cada planeta gira em movimento circular uniforme em torno de um ponto – essa trajetória recebe o nome de epiciclo – que, por sua vez, gira em movimento circular em torno da Terra – essa trajetória chama-se deferente.

“Com o passar do tempo, as observações tornavam-se cada vez mais precisas, de modo que a previsão necessitava também ser melhorada: um único epiciclo não conseguia explicar as diferenças observacionais; foi necessária a incorporação de vários epiciclos e deferentes para um mesmo planeta. Com exceção do último epiciclo, os outros eram também deferentes do epiciclo

seguinte. Assim a posição final do planeta era a soma das posições dadas pelos diversos epiciclos e deferentes.”²¹

Por sua vez, orbe, do latim “orbis”, é o termo empregado pelos astrônomos para representar a casca esférica oca, de pequena espessura – mas não desprezível – nas quais estariam “encaixados” os planetas, a Lua, o Sol e as estrelas fixas. Os orbes serviram tanto a Ptolomeu como Copérnico nas suas representações de sistema de mundo.

1.4.2 – A cosmologia ptolomaica

Em mais um livro essencial, *As hipóteses dos planetas*, Ptolomeu descreve, entre outras coisas, o sistema do mecanismo de movimento das esferas celestes.

“Muitas vezes se dá exclusiva atenção à contribuição matemático-astronômica de Ptolomeu, deixando-se de lado suas idéias sobre os mecanismos celestes. Não há dúvidas que o *Almagesto* é mais conhecido do que *As hipóteses dos planetas*. No entanto, durante a Idade Média, ambas as obras foram estudadas e traduzidas pelos árabes, que viram como uma unidade indissolúvel esses dois aspectos do trabalho de Ptolomeu.”²²

De forma bastante complexa, Ptolomeu caracteriza seu modelo de universo por meio dos orbes celestes, perfeitamente encaixados uns nos outros de modo a não restar espaços vazios entre eles e preenchidos por éter – substância descrita por Aristóteles como a matéria do mundo supralunar.

“Ptolomeu desenvolveu uma compreensão física do seu modelo matemático por meio de um sistema de cascas esferas sólidas, que continham um planeta e corpos esféricos adicionais representando seus deferentes e epiciclos. Uma vez que as superfícies internas e externas dessas cascas esféricas eram concêntricas com a Terra, Ptolomeu pôde aninhar os astros Lua,

²¹ R. Boczko, *Conceitos de Astronomia*, p. 261;

²² R. A. Martins in Copérnico, *Commentariolus*, p. 69;

Mercúrio, Vênus, Sol, Marte, Júpiter e Saturno para chegar a um cosmo de esferas concêntricas das quais o ponto mais afastado era 19.865 vezes o raio da Terra.”²³

Como citado nos parágrafos acima, o modelo ptolomaico é complexo por não se tratar apenas de um único sistema de movimento, mas de um conjunto de sistemas – praticamente um para cada astro. É importante salientar que os epiciclos, deferentes e excêntricos sempre foram para Ptolomeu uma representação matemática do movimento dos planetas (tal como eram vistos tendo a Terra como referencial) e nunca uma realidade física. Se fôssemos levados a pensar o contrário, o sistema proposto para o movimento da Lua seria a ruína de seu modelo, pois durante sua trajetória o tamanho aparente desse astro variaria em até duas vezes devido à aproximação ou afastamento da Terra. O próprio Ptolomeu afirma, no prefácio do *Almagesto*, que a matemática é superior às outras divisões da filosofia teórica (física e teologia), pois estas se ocupam das coisas invisíveis e fora do alcance (teologia) e instáveis e incertas (física) – ou seja, conjecturas, e não conhecimento.

“Acredito eu que os verdadeiros filósofos e Syrus estavam certos em distinguir, na filosofia, a parte teórica da prática. (...) Aristóteles também divide a filosofia teórica, muito convenientemente, em três categorias primárias: física, matemática e teologia; pois tudo que existe é composto por matéria, forma e movimento; nenhum desses pode ser observado separado dos outros: eles só podem ser imaginados. Assim sendo, a causa primeira do primeiro movimento do universo, se alguém o cogita tolamente, pode ser pensado como uma deidade invisível e sem movimento; a divisão [da filosofia teórica] interessada em investigar isso [pode ser chamada] ‘teologia’, uma vez que este tipo de atividade, em algum lugar nos mais altos limites do universo, pode apenas ser imaginado e está completamente separado da realidade perceptível. A divisão que investiga a natureza material e do movimento, e que se ocupa com ‘branco’, ‘quente’, ‘doce’, ‘leve’ e outras qualidades pode ser

²³ S. C. McCluskey, *Astronomies and Cultures in Early Medieval Europe*, p. 22;

chamada de 'física'; tal classe da natureza está situada (a maior parte) entre os corpos corruptíveis e abaixo da esfera lunar. A divisão que determina a natureza envolvida em formas e movimentos de um lugar para outro, e serve para investigar forma, número, tamanho, posição, tempo e coisas do gênero, pode ser definida como 'matemática'. O estudo da matemática se encaixa no meio das duas outras, uma vez que, primeiro, pode ser concebido a partir delas com ou sem o auxílio dos sentidos, e, segundo, é um atributo de tudo que existe sem exceção, mortal ou imortal: pois a matemática se modifica tal qual as coisas que estão em perpétua transformação, enquanto se mantém inalterada para as coisas que são eternas."²⁴

Em suma, o modelo cosmológico de Ptolomeu tem a Terra redonda²⁵ e parada e no centro do mundo, mas que não coincide com o centro único dos movimentos circulares²⁶ dos corpos celestes. A descrição dos movimentos do Sol e da Lua é a mesma que a atribuída a Hiparco – inclusive com os mesmos erros. Quanto à descrição do movimento dos planetas, Ptolomeu a faz de acordo com sua teoria dos epiciclos, e o faz muito bem: eles davam conta de explicar variações de brilho dos planetas, as retrogradações planetárias, e ainda apresentavam o movimento circular uniforme, o qual os astrônomos gregos faziam tanta questão de manter.

1.5– Astronomia e Física na Idade Média

A divisão do Império Romano em duas partes – a parte ocidental, centrada em Roma, sob a administração de Dioclesiano e a parte oriental,

²⁴ Ptolomeu, *The Almagest* in R. M. Hutchins, *Great Books of the Western World*, pp. 5-6;

²⁵ “Pois, se fosse côncava, as estrelas que nascem apareceriam primeiro para aqueles que estão na direção ocidente; se fosse plana, as estrelas nasceriam e se poriam para todas as pessoas da mesma forma e ao mesmo tempo (...), mas nada disso parece acontecer.” Ptolomeu, *The Almagest* in R. M. Hutchins, *Great Books of the Western World*, p. 9;

²⁶ “Se qualquer outra forma que não a esférica fosse assumida para o movimento dos céus, deveriam aparecer distâncias lineares desiguais entre a Terra e as partes dos céus, de forma que as magnitudes e as distâncias angulares das estrelas em relação umas às outras

centrada inicialmente em Bizâncio e, em seguida, em Constantinopla, sob a administração de Constantino – visando à manutenção da hegemonia romana –, não logrou êxito e, no ano 476 da nossa era, o Império do Ocidente foi dissolvido pela ação dos Godos. O Império Oriental ou Império Bizantino perduraria por quase mil anos, até a sua conquista pelos Otomanos (1453). A partir de então, uma nova ordem passou a ser estabelecida na Europa:

“nesse período (séculos V a XV), coexistiram civilizações com organizações econômico-político-sociais diferentes: as civilizações ocidentais, oriundas do antigo Império Romano do Ocidente; as orientais, oriundas do antigo Império Romano do Oriente, como é o caso da civilização bizantina; e as civilizações orientais que não faziam parte do antigo Império Romano, como é o caso da civilização muçulmana e das civilizações da Ásia oriental.”²⁷

Essa nova ordem também origina implicações na prática científica: enquanto as partes ocidental e bizantina estavam subordinadas à Igreja – e esta subordinada ao Estado – o saber estava ligado aos mosteiros, às escolas catedrais e, por fim, às universidades, e, naturalmente, encontrou maiores obstáculos para o seu adiantamento. “Uma grande parte do saber científico antigo, que nunca tinha sido traduzido para o latim porque os letrados romanos liam corretamente o grego, caiu rapidamente no esquecimento”²⁸. Do outro lado, o contato com outras civilizações permitiu que o conhecimento ligado à técnica continuasse a se desenvolver, como no caso da navegação (bússola chinesa), astronomia (astrolábio) e matemática (álgebra).

apareceriam desiguais para as mesmas pessoas a cada revolução. Mas isso não se observa.” Ptolomeu, *The Almagest* in R. M. Hutchins, *Great Books of the Western World*, p. 8;

²⁷ M. A. Andery... *et alii*, *op. cit.*, p. 133;

²⁸ Y. Gingras, P. Keating e C. Limoges, *Do Escriba ao Sábio: os Detentores do Saber da Antiguidade à Revolução Industrial*, p. 98;

Dessa forma, é impossível desvincular a Idade Média do seu espaço, enquanto local, e do seu tempo. Se por muito tempo a Idade Média foi considerada um “período de trevas”, no qual o conhecimento científico conheceu seu retrocesso, a História da Ciência – esse bom e velho labirinto que insistimos em percorrer – oferece-nos atualmente uma nova versão, menos sombria.

“Nos textos da Renascença e do século XVI, as universidades medievais são descritas como lugares de conflito em torno de falsos problemas, com escolásticos paralisados pelas referências às “autoridades” e incapazes de elaborar um pensamento original. Isso foi revisto no fim do século passado [século XX]: grandes textos medievais foram descobertos por Pierre Duhem, para quem escolásticos como Jean Buridan e Nicolau de Oresme foram precursores de Copérnico (pela rotação da Terra), de Galileu (pela queda dos corpos) e de Descartes (pela geometria analítica)”²⁹

Uma possível hipótese para o mito do retrocesso científico na Idade Média – inferido principalmente pela manutenção do ensinamento dos textos clássicos grego e romano – estaria ligada aos objetivos profissionais das universidades. Se, por um aspecto, podemos aceitar tal retrocesso como verdadeiro, devido ao fato de as disciplinas técnicas terem sido banidas do currículo universitário, por outro, devemos lembrar a qualidade dos trabalhos teóricos dos clássicos.

“Formou-se um sólido sistema de pensamento que foi conservado e aperfeiçoado pelos filósofos, matemáticos e médicos islâmicos durante a Idade Média. Não foi por simples preguiça ou comodismo que as pessoas aceitaram durante séculos essa tradição antiga – ela era uma realização notável que parecia destinada a durar para sempre.”³⁰

²⁹ D. Boquin e J. Celeyrette *in* “A lógica na Idade Média”, Revista Scientific American Especial, A ciência na Idade Média, p. 25;

³⁰ R. A. Martins *in* “A Torre de Babel Científica”, Revista Scientific American Especial, Grandes Erros da Ciência, p. 9;

Vejam os casos da astronomia e da física, que é o que mais nos interessa. As universidades, voltadas à formação de uma elite intelectual leiga, tornaram-se centros de conhecimento voltados para a formação das únicas profissões da época: teologia, medicina e direito. Mas, para atingir esse nível, os alunos deveriam completar a Faculdade de Artes, cujo currículo se dividia em *Trivium* (lógica, gramática e retórica) – artes da palavra – e *Quadrivium* (música, aritmética, geometria e astronomia) – artes dos números. Ou seja, tanto os conteúdos ministrados nas aulas – clássicos como Platão, Aristóteles e Ptolomeu – quanto a metodologia de ensino – escolástica³¹ - da universidade medieval estavam direcionados à formação de teólogos, médicos e advogados, e não de astrônomos e físicos. Essas funções eram ocupadas por professores que obtinham esse certificado ao concluírem o curso de dois ou três anos de Licenciatura, após a Faculdade de Artes. Vale a pena lembrar que, socialmente, o cargo de professor era inferior aos cargos de médico, advogado e teólogo. Assim, a física e a astronomia nas universidades eram tidas como formação cultural e não objeto de estudo.

“Ao nível do bacharelato, o ensino das disciplinas matemáticas (o quadrivium) estava reduzido a oito ou dez semanas num curso de duração de quatro anos. Pelo contrário, o programa valorizava mais a astronomia, dada a sua importância para a astrologia, para a medicina e para o estabelecimento de calendários religiosos.”³²

Se, por um lado, a astronomia tem um pequeno destaque por ter vínculos com os conhecimentos de mais prestígio, a física, por sua vez, recebe severas críticas dada a incompatibilidade entre certos conhecimentos

³¹ Caracteriza-se sobretudo pela leitura e interpretação de textos, seguidas de debate sobre seus conteúdos;

aristotélicos e a doutrina cristã, a ponto de, em 1215, as obras *Metafísica* e *Filosofia Natural* de Aristóteles serem proibidas na Universidade de Paris³³. Os temas movimento, tempo, espaço e infinito estão entre os mais questionados³⁴. Para minimizar as disputas entre dialéticos e teólogos, iniciou-se a cristianização da filosofia aristotélica, “que só veio a se tornar possível graças ao espírito analítico, à capacidade de ordenação metódica e à habilidade dialética de Tomás de Aquino, que ele aliava a um profundo sentimento de fé cristã”³⁵.

Segundo Luca Bianchi, a influência da fé cristã nos estudos da Física foi benéfica, pois obrigou os filósofos a repensarem Aristóteles. Os pensadores medievais contribuíram principalmente com as reformulações das idéias das causas e composições dos movimentos. Entre eles se destacam Jean Philopon (490-570), Franciscus de Marquía (1320 – 1330) e Jean Buridan (1295 – 1385), que, em resumo, questionaram os movimentos violentos³⁶. Buridan e Nicolau Oresme (1320 – 1382) questionaram também a ausência de movimento da

³² Y. Gingras, P. Keating e C. Limoges, *op. cit.*, p. 112;

³³ O estudo do conjunto das obras conhecidas de Aristóteles foi retomado em 1255;

³⁴ Principalmente nas universidades de Oxford e Paris, durante o século XIV. Como explica Luca Bianchi, “William Heytesbury, John Dumbleton e Richard Swineshead formularam entre 1330 e 1340 a regra da velocidade média, que Oresme demonstraria em seguida pelo método geométrico. Esse teorema tem origem numa discussão sobre o aumento e a diminuição das qualidades. Como a quantidade e a qualidade representavam para Aristóteles duas categorias distintas, vários pensadores do século XIII supunham que a alteração de uma qualidade deveria se fazer acompanhar da perda de um atributo – por exemplo, uma quantidade dada de calor – e da aquisição de um novo atributo – uma outra quantidade de calor. Logo surgiu uma teoria que atribuía tal alteração a uma adição ou a uma subtração de graduações, quer dizer, de partes de uma única qualidade.” L. Bianchi, “A física do movimento” in *Revista Scientific American Especial, A ciência na Idade Média*, p. 43;

³⁵ Coleção Os Pensadores, *Tomás de Aquino*, p. 8;

³⁶ Para Aristóteles, os movimentos se dividiam em naturais e violentos. Já discutimos os movimentos naturais na página 11 desta dissertação. Os movimentos violentos ou não-naturais dependem de uma força-motora que tirem os corpos do seu estado de repouso. Porém, para Aristóteles, a continuação do movimento depende da presença da força-motora, ou seja, o corpo em movimento precisa estar sempre em contato direto com aquilo que o faz mover. Não existe força de ação à distância em Aristóteles, muito menos o princípio de inércia como

Terra: “as passagens nas quais Buridan ou Oresme se interrogam sobre a rotação da Terra constituem o apogeu da “nova física” do século XIV, (...), segundo alguns, eles teriam sido fonte inspiradora de Nicolau Copérnico”³⁷.

Apesar da grande relevância desse assunto, trataremos de outras questões relativas à Idade Média (como as argumentações neoplatônicas de Santo Agostinho e São Tomás de Aquino) em outro momento. Para os estudos de Kepler, o vínculo da astronomia com a astrologia tem um valor especial, portanto é mais relevante compreendermos aqui esta co-dependência.

1.5.1 – Astronomia e Astrologia

Não trataremos aqui da distinção entre astrologia e astronomia porque em nenhum período histórico anterior ao final da Idade Moderna essas duas ciências³⁸ traçaram caminhos separados. Tanto a astrologia como a astronomia são feitas por meio da observação do céu, ou seja, da interpretação da posição dos astros (direta ou indiretamente, por meio das tábuas de dados) e da periodicidade de seus movimentos. A interpretação das previsões obtidas por meio desses dados é que pode receber tratamento diferenciado. Verdet, discutindo a astronomia babilônica, explica:

“Os dados astronômicos são acompanhados de presságios que relacionam os acontecimentos políticos importantes com os fenômenos celestes observados. Os homens da Mesopotâmia acreditavam que todo acontecimento natural é não somente a consequência de causas específicas, mesmo desconhecidas, mas igualmente o sinal de que uma força superior se dirige a nós para manifestar suas intenções”³⁹.

conhecemos hoje. Assim, o ar deslocado pelo objeto em movimento seria responsável pela continuação da aplicação da força;

³⁷ L. Bianchi, *op. cit.*, p. 42;

³⁸ A palavra “ciência” é usada aqui no sentido de “conhecimento”.

³⁹ J-P Verdet, *Uma história da Astronomia*, p. 15;

Para concluir, usamos as seguintes palavras de Rossi:

“os nomes dos planetas não são meros ‘signos’; as ‘figuras’ não são símbolos convencionalmente aceitos: têm poder evocativo, seduzem e aprisionam a mente, ‘representam’ o objeto no sentido pleno da palavra, isto é, tornam real sua presença. Revelam as qualidades essenciais dos seres que se identificam com as estrelas e nelas se incorporam”⁴⁰.

A observação astronômica, além de ser objeto de especulação filosófica, pode ter fins práticos como a formulação de calendários (lunar, solar ou lunissolar), a determinação precisa do início das estações do ano e datas religiosas comemorativas, eclipses lunares e solares, entre outros. A interpretação astrológica sempre foi vista como um caminho de união entre o homem e os céus: os maus presságios e as bem-aventuranças poderiam ser revelados a partir de uma leitura particular da posição dos astros.

Pode-se afirmar que as críticas à astrologia partiram sempre de grupos minoritários, uma vez que a prática era amplamente disseminada em quase todas as culturas:

“A astrologia tinha vindo do Médio Oriente (...) seu surgimento em Roma data do século III antes da nossa era, e o sucesso das doutrinas astrológicas, que pretendiam prever o futuro – uma prática perigosa do ponto político em determinadas situações – tinha levado à promulgação de um édito de expulsão de todos os astrólogos em 139 a.C., uma medida cujo efeito acabou por ser efêmero”⁴¹.

Como citado anteriormente no item destinado ao astrônomo Ptolomeu, seu trabalho *Tetrabiblos* é uma obra de referência em astrologia – mais um

⁴⁰ P. Rossi, *A ciência e a filosofia dos modernos*, p. 36;

indício da não-divisão entre essas duas ciências. Logo no prefácio do primeiro livro, Ptolomeu caracteriza as funções do Sol, da Lua e das estrelas:

“o Sol, sempre agindo em conexão com o ambiente, contribui com a regulação de todas as coisas terrestres: não é somente pela alternância das estações que ele traz com perfeição os filhotes dos animais, os insetos das plantas, o nascer das águas e a alteração dos corpos, mas no seu progresso diário ele também opera outras mudanças na luz, no calor, na umidade, na aridez e no frio; dependendo da sua situação em relação ao zênite. A Lua, sendo de todos os corpos celestes o que está mais perto da Terra, também exerce muita influência; e coisas animadas e inanimadas simpatizam e discordam com ela. Pela mudança na sua iluminação, rios se enchem e se reduzem; as marés do mar são reguladas pelos seus nasceres e poentes, e plantas e animais são aumentados ou diminuídos, se não totalmente, pelo menos em algumas partes, quando ela cresce ou minguia. As estrelas igualmente, (tanto as estrelas fixas como os planetas), ao realizar sua revolução, produzem muitas marcas no ambiente. Elas causam calores, ventos e tempestades às influências que cada coisa terrestre está concordantemente sujeitada.”⁴²

Se durante o período romano a astrologia teve sua importância no âmbito intelectual e político, na Idade Média não haveria de ser diferente, principalmente no tocante à prática médica: “o homem era concebido como um pequeno mundo (microcosmo) que, como criatura de Deus, espelhava em si toda a Criação, o macrocosmo. A astrologia, embora condenada pela Igreja, era um instrumento para desvendar esse jogo”⁴³. Como explica Riha: “para o cristão devoto, a saúde e a salvação estavam alegoricamente ligadas: a medicina cuidava do corpo que perecia, e a religião, da alma imortal”⁴⁴.

O estudante de medicina, recém formado na faculdade de artes, tinha contato com os ensinamentos deixados por Hipócrates (c. 460 – 377 a.C.),

⁴¹ Y. Gingras, P. Keating e C. Limoges, *op. cit.*, p. 78;

⁴² Ptolomeu, *Tetrabiblos*, pp. 84;

⁴³ Coleção Os Pensadores, *História da Filosofia*, pp. 135-6;

Galeno (129 – 199) e Avicena (980 – 1037), estes dois últimos influenciados pela filosofia aristotélica. Devido à metodologia escolástica das universidades, os estudos médicos tinham caráter filosófico: relacionava-se a natureza da doença ao desequilíbrio dos quatro humores corporais⁴⁵ (sangue, muco, bÍlis amarela e bÍlis negra) e este às seis coisas não-naturais: qualidade do ar, alimento e bebida, quietude e movimento, sono e vigÍlia, preenchimento e esvaziamento do corpo e aos movimentos da alma. “Para uma medicina na qual é o doente e não a doença que está no centro do exame, as perguntas “Por que estou doente?” e “O que vai acontecer?” eram pontos de referência fundamentais”⁴⁶.

É justamente nesse aspecto que se dá o vínculo entre astrologia e medicina. Como os astros podem influenciar a vida dos homens tanto no âmbito individual como no coletivo, as doenças e epidemias poderiam ser acentuadas ou amenizadas graças à sua configuração. Cabia ao médico, portanto, conhecer tais configurações e saber interpretá-las. Isso ajudava a explicar, por exemplo, por que uma mesma prática médica era mais ou menos eficaz em diferentes pacientes ou em determinadas épocas do ano. “A escolha dos medicamentos nunca era uma escolha meramente empÍrica, mas tinha em atenção textos antigos e instruções sobre os dias bons e maus para a sua preparação e administração”⁴⁷.

⁴⁴ O. Riha *in* Medicina dos Humores e Símbolos, Revista Scientific American Especial, A ciência na Idade Média, p. 52;

⁴⁵ Os humores são intimamente ligados aos quatro elementos aristotélicos (água, terra, ar e fogo) e às suas qualidades (quente, frio, seco e úmido);

⁴⁶ Y. Gingras, P. Keating e C. Limoges, *op. cit.*, p. 122;

⁴⁷ *Ibid.*, p. 123;

Sendo assim, a astrologia estava intimamente ligada a outros saberes, e era objeto de estudo sério de qualquer um que tivesse acesso ao conhecimento acadêmico. Como veremos nesta dissertação, a astrologia exercerá um papel significativo na vida e na obra de Johannes Kepler – não em medicina, uma vez que Kepler só freqüentou as faculdades das artes e tinha como objetivo seguir a formação teológica – mas no campo da astronomia e confecção de calendários enquanto *mathematicus* em Graz.

“A opinião pessoal de Kepler sobre a astrologia estava dividida. Rejeitava a maior parte das regras geralmente aceitas, e referia-se repetidamente à astrologia como a pequena filha tola da respeitável astronomia. (...) Apesar disso, seu profundo sentimento de uma harmonia do Universo incluía a crença em uma poderosa consonância entre o cosmo e o indivíduo. Estas visões encontraram o seu desenvolvimento mais completo no livro *Harmonice mundi*. Além disso, seus palpites astrológicos lhe proporcionavam continuamente uma bem-vinda renda adicional e, mais tarde, tornaram-se uma importante justificativa para seu emprego de matemático imperial.”⁴⁸

1.6 – O cenário da revolução

Encerramos a discussão sobre astronomia, física e astrologia na Idade Média mostrando a forma pela qual os assuntos relativos a essas disciplinas eram aprendidos e discutindo algumas das possíveis relações entre esses conhecimentos. Posto isso, cabe-nos uma pergunta antes de introduzir o modelo copernicano: como surgiu a necessidade de se repensar o modelo cosmológico, se até então o vigente [ptolomaico] dava conta de responder a um grande número de questões astronômicas, satisfazia a Igreja por se aproximar das idéias presentes nas Sagradas Escrituras e era amplamente aceito tanto pela cultura ocidental como pela oriental?

A resposta não nos parece tão óbvia – pois, como está colocado acima, ainda havia questões a serem resolvidas. Além disso, o *Almagesto* seria uma obra difícil demais para ser compreendida na íntegra na Idade Média – inclusive nos tempos atuais – pois exigiria dos seus críticos um rigor matemático muito difícil de se conseguir por meio das Faculdades de Artes. Cabe aqui ressaltar que o *Almagesto* não era largamente estudado nas aulas de astronomia como se presume: o “livro-texto” referência na estrutura do *Quadrivium* foi o *Tractatus de Sphaera* (1230) de Johannes de Sacrobosco (1195 – 1236). “Ele foi usado desde o início do século XIII até o final do século XVII como livro introdutório básico ao estudo da Astronomia”⁴⁹. Em outra observação feita por Carlos Ziller Camenietzk na apresentação da tradução contemporânea do Tratado da Esfera:

“do ponto de vista pedagógico, é particularmente importante atentar para a seleção de conteúdos da obra, para os exemplos e justificativas que, na maior parte dos casos, se prendem ao visível imediato, prescindindo do concurso de instrumentos ou cálculos muito complexos. As demonstrações geométricas inexistem. Uma exceção é o cálculo do diâmetro da Terra que é detalhadamente seguido pelo autor; as demais explicações e demonstrações primam pela simplicidade: um barco próximo à costa, uma moeda imersa na água, a Lua nos eclipses, etc.”⁵⁰

Mais uma vez, como é particular nas pesquisas em História da Ciência, as respostas que podemos sugerir estão agregadas a diversas áreas do conhecimento, permeadas por contextos históricos particulares. As críticas e as novas interpretações dadas à física até então aristotélica, a retomada da leitura dos textos originais gregos e, conseqüentemente, o ressurgimento de textos

⁴⁸ O. Gingerich, “KEPLER”, in American Council of Learned Society, *Dictionary of Scientific Biography*, T. VII, p. 289b;

⁴⁹ C. Z. Camenietzk in J. Sacrobosco, *Tratado da Esfera*, p. 12;

como os de Platão e Arquimedes, as novidades trazidas pelas grandes navegações, um novo método de se buscar a “verdade” através da abstração matemática, da observação e da experimentação e, como defende muito bem Allen G. Debus na sua obra *El hombre y la naturaleza en el Renacimiento*, “o renovado interesse renascentista por uma concepção mística da natureza”⁵¹ – tudo isso em conjunto poderia nos ajudar a entender a relevância do questionamento do modelo ptolomaico e a proposta de substituição desse modelo pelo de Copérnico.

“Nesse fim de Idade Média, a situação parecia paralisada. A herança aristotélico-ptolomaica exerceu tal dominação sobre a astronomia que parecia impossível sair dela. A insuficiência das tabelas astronômicas, tornada patente pela incapacidade de prever corretamente os fenômenos celestes maiores, alimentou em certos autores o sentimento de que uma reforma profunda na astronomia e em seu status lado a lado com a física era necessária.”⁵²

Com a retomada da leitura dos textos originais gregos, Platão e Arquimedes ressurgem como uma nova possibilidade de interpretação do mundo: “se a escolástica incorporou o aristotelismo ao cristianismo, no Renascimento a contraposição a esses “tempos obscuros” fez-se a partir dessa “reabilitação” de Platão”.⁵³ Arquimedes, por sua vez, é visto como “o autor grego cujo método mais se aproximava ao da nova ciência”.⁵⁴ Ambos os autores têm uma relação muito íntima com a matemática, e esta, por sua vez, uma função fundamental nesse período histórico.

⁵⁰ *Ibid.*, *Tratado da Esfera*, p. 13;

⁵¹ A. G. Debus, *op. cit.*, p. 34;

⁵² D. Savoie, Os estudos no Ocidente *in* Revista Scientific American Especial, A ciência na Idade Média, p. 9;

⁵³ Coleção Os Pensadores, *História da Filosofia*, p. 137;

⁵⁴ A. G. Debus, *op. cit.*, p. 31;

Arquimedes de Siracusa (287c. a.C – 212 a.C.) é reconhecido como matemático, geômetra, engenheiro e tecnólogo. Entre suas obras, aquelas que são consideradas mais “práticas” (*A medida do círculo, Sobre a esfera e o cilindro*) foram as que mais se destacaram no universo da cultura humanista. “As crescentes necessidades práticas geradas pela ascensão da burguesia, aliadas à crença na capacidade do conhecimento para transformar a realidade, foram responsáveis pelo interesse no desenvolvimento técnico”.⁵⁵ Compulsoriamente deixadas em segundo plano durante a Idade Média, as ocupações ditas técnicas têm seu reconhecimento no Renascimento, como no caso dos artesãos, dos engenheiros, dos inventores e principalmente dos navegadores. Por intermédio destes profissionais, viu-se também o desenvolvimento da prática algébrica – cálculo de custos, juros, pesos e volumes e medidas de distâncias.

Platão já era conhecido pelos filósofos da Idade Média, mas estes, por sua vez, só conheciam Platão através de comentários e de seguidores de sua filosofia (neoplatonismo)⁵⁶, como é o caso de Plotino (205 – 270) e Santo Agostinho⁵⁷ (354 – 430). Iniciada a tradução de suas obras, muitos tornaram-se seguidores de sua filosofia e influenciaram o pensamento da época.

⁵⁵ M. A. Andery... *et alii*, *op. cit.*, p. 175;

⁵⁶ “Ao contrário do que possa sugerir o termo neoplatonismo, Plotino não representa apenas uma retomada do platonismo. Ele, na verdade, evita o dualismo de Platão, que, ao separar tão radicalmente o mundo inteligível do mundo sensível, foi obrigado a admitir a existência do Outro das idéias. (...) É por isso que nele se reconhecem temas de Parmênides e de Platão, de Aristóteles e dos estóicos, mas ordenados num pensamento inovador. É como se Plotino fizesse um resumo dessa tradição e a ultrapassasse para além dos limites a que ela havia chegado.” Coleção Os Pensadores, *História da Filosofia*, p. 89;

⁵⁷ “Para explicar como é possível ao homem receber de Deus o conhecimento das verdades eternas, Agostinho elabora a doutrina da iluminação divina. Trata-se de uma metáfora recebida de Platão, que na célebre alegoria da caverna mostra ser o conhecimento, em última instância, o resultado do bem, considerado como um sol que ilumina o mundo inteligível.” *Idem*, *Santo Agostinho*, p. 16;

De forma bastante simplista, podemos afirmar que nos diálogos de Platão há uma distinção clara entre o mundo material, sensível, corpóreo e o mundo das idéias, do divino e do perfeito. Para Platão, o homem é oriundo do mundo das idéias e momentaneamente habita o mundo dos sentidos. Desta forma, o homem poderia restabelecer o contato com as suas origens por meio de sua conduta moral, política e filosófica. “Conhecer seria então lembrar, reconhecer”.⁵⁸ Esse pensamento platônico é bem-vindo no contexto renascentista:

“É à dignidade humana que se voltam principalmente os platônicos renascentistas (...) – como Marsílio Ficino (1433-1499) e Pico della Mirandola (1463-1494) (...). Para eles, Platão mostra a capacidade de o ser humano elevar-se ao mundo inteligível e, assim, unir-se a Deus. (...) Essas idéias, que enaltecem a potência humana, associam-se à magia, à tradição mística judaica (a Cabala) e à tradição supostamente egípcia (o hermetismo), das quais Ficino e Mirandola são adeptos. Para eles, tais práticas constituem meios de o homem invocar as forças da natureza em seu proveito. Para Ficino, que era padre, essa assimilação de elementos alheios ao cristianismo não é de modo algum estranha. Tradutor de obras de Platão, de Plotino e de textos místicos do hermetismo (atribuídos ao suposto Hermes Trismegisto, do Egito antigo), ele considera que nesses escritos encontra-se a *prisca theologica* (teologia antiga ou primitiva) que, no fundamental, não diverge da doutrina cristã.”⁵⁹

E ainda,

“o gosto pela observação é também a busca de segredos ocultos que aproximem todas as coisas. Por acreditar que tudo se relaciona com o todo e suas partes, o macrocosmo com o microcosmo, os renascentistas procuram o que há de semelhante entre aquilo que existe. (...) O que a ‘ciência’ renascentista investiga não é a causa que relaciona as coisas entre si, mas o significado comum que nelas se oculta. O mundo é essa relação de significados secretos, uma espécie de texto a ser decifrado – o código são as próprias coisas, tomadas como signos.”⁶⁰

⁵⁸ *Idem, Platão*, p. 20;

⁵⁹ *Idem, História da Filosofia*, pp. 139-140;

É nesse cenário de transformações, e, pelo que entendemos, somente nele, que um novo modelo de universo pôde ser apresentado e discutido. Como mostramos anteriormente, o modelo geostático de Ptolomeu dava conta de explicar um grande número de fenômenos celestes através de representações geométricas. Devido à sua importância, esse modelo foi estudado e reinterpretado – em alguns casos, corrigido – por toda a Idade Média, por povos do ocidente e do oriente. Após quase mil e quinhentos anos, as discrepâncias entre o modelo teórico e a realidade observada tornavam-se cada vez mais evidentes: a indeterminação do posicionamento dos planetas, a incerteza das tabelas astronômicas e a discrepância entre as datas do calendário e o início das estações do ano eram, como vimos, preocupações reais de astrônomos, matemáticos, astrólogos, médicos e clérigos.

“Depois de treze séculos de pesquisas infrutíferas, um astrônomo perceptivo podia bem interrogar-se, como Ptolomeu não o fez, se mais tentativas dentro da mesma tradição poderiam ter um sucesso concebível. Além disso, os séculos que decorreram entre Ptolomeu e Copérnico haviam ampliado os erros da abordagem tradicional, fornecendo assim uma fonte adicional de descontentamento. Os movimentos de um sistema de epiciclos e deferentes não são parecidos com os dos ponteiros de um relógio, e o erro aparente do relógio aumenta com a passagem do tempo. Se um relógio se atrasa, digamos, um segundo por década, o seu atraso pode não ser perceptível no final de um ano, ou no final de dez. Mas o erro dificilmente pode ser ignorado depois de um milênio, quando tiver aumentado quase para dois minutos.”⁶¹

1.7 – O modelo copernicano

Nicolau Copérnico freqüentou a Universidade de Cracóvia, capital do reino da Polônia, por volta do ano 1491. Como qualquer estudante, recebeu a

⁶⁰ *Ibid.*, pp. 147-8;

⁶¹ T. S. Kuhn, *A Revolução Copernicana*, p. 166;

formação clássica do *Trivium* e do *Quadrivium*. Segundo Verdet, a Universidade de Cracóvia possuía uma escola de astronomia e matemática, fundada por Albert de Brudzewo (1445 – 1497), mas é impossível se afirmar, segundo o autor, que Copérnico tenha se beneficiado desse curso particular.

Motivado pelo ideal de ser astrônomo, antes mesmo de concluir a Faculdade de Artes, Copérnico transferiu-se para a Universidade de Bolonha. Em 9 de março de 1497 observou a ocultação da estrela Aldebarã pela Lua. Em seguida, dirigiu-se a Roma – onde pôde presenciar o eclipse lunar parcial de 6 de novembro de 1500; e depois para Pádua, a fim de concluir sua formação superior – em medicina!. Acabou, no entanto, por se formar em direito canônico na Universidade de Ferrara. Na sua volta para a Polônia, dedicou-se um pouco à medicina e a escrever a obra que o tornaria célebre na história da humanidade.

O modelo copernicano de universo pode ser abordado de muitas formas, dada a complexidade do período histórico e os desdobramentos posteriores. Dividiremos os comentários em três partes para a praticidade de leitura (subitens 1.7.1 a 1.7.3).

1.7.1 A hipótese de Copérnico

Copérnico havia estudado o modelo geocêntrico de Ptolomeu por meio das obras *Tractatus de Sphaera* de Johannes de Sacrobosco, *Epytomia in Almagestum Ptolemai* de Johannes Regiomontano (1436-1476) e também da primeira edição impressa do *Almagesto* (1515). Sabia, portanto, que o modelo apresentava falhas e que precisava ser reinterpretado:

“No concílio de Latrão, em 1514, esse problema [reforma do calendário juliano] tinha sido levantado, mas sem que chegasse a uma solução. Depois de consultado, Copérnico sugerira que nada fosse feito antes de a teoria astronômica ser reformulada.”⁶²

Na introdução dedicada ao Papa Paulo III, na sua obra *De Revolutionibus Orbium Coelestium*, Copérnico apresenta abertamente essa questão:

“Não pretendo esconder de Vossa Santidade que nada, exceto o fato de saber que os matemáticos não concordavam uns com os outros em suas pesquisas, moveu-me a conceber um esquema diferente para descrever os movimentos das esferas do mundo”⁶³

Antes da publicação do *De Revolutionibus*, Copérnico produziu um pequeno livro de nome *Commentariolus* (1510c.), com o seguinte subtítulo: pequeno comentário de Nicolau Copérnico sobre suas próprias hipóteses acerca dos movimentos celestes. Logo no início dessa obra, Copérnico critica a larga utilização dos recursos matemáticos pelos astrônomos antigos para explicar o movimento aparente dos planetas. O grande número de orbes, as esferas concêntricas, os excêntricos e epíclis, os círculos equantes – em suma, tudo aquilo que foi pensado ao longo da história da astronomia com o objetivo de “salvar os fenômenos” celestes – é citado. Segue, então, sua motivação inicial:

“pensei se era possível encontrar um sistema mais racional de círculos dos quais dependesse toda irregularidade aparente, movimentando-se todos eles uniformemente em torno de si [dos seus centros], como exige a regra do movimento absoluto.”⁶⁴

⁶² Y. Gingras, P. Keating e C. Limoges, *op. cit.*, p. 195;

⁶³ N. Copérnico, *Das revoluções das Esferas Celestes* (livro um) in S. W. Hawking, *Os gênios da ciência: Sobre o ombro de Gigantes*, p. 11;

⁶⁴ N. Copérnico, *Commentariolus*, p. 113;

Para tal, era preciso aceitar sete exigências⁶⁵, a saber:

1. Não existe um centro único de todos os orbes ou esferas celestes.

Copérnico não traz nada de novo, apenas confirma o consenso da maioria dos pensadores – o próprio Ptolomeu já considerava em seu modelo que a Terra não era o centro do movimento.

2. O centro da Terra não é o centro do mundo, mas apenas o da gravidade e do orbe lunar.

Inicia-se aqui o primeiro ataque à física e à cosmologia aristotélica, uma vez que, para Aristóteles, os corpos “pesados” se dirigem para o centro da Terra e esta ocupa o centro do Universo [mundo]. Ora, se a Terra não ocupa mais o centro – e pela primeira exigência, não há um centro específico – para onde devem ir os corpos “pesados”? Copérnico concede à Terra duas propriedades: a de ser o centro da gravidade – para onde se dirigem os corpos “pesados” – e de ser o centro da trajetória da Lua.

3. Todos os orbes giram em torno do Sol, como se ele estivesse no meio de todos; portanto, o centro do mundo está perto do Sol;

Talvez essa exigência seja a de maior relevância, a que realmente iniciará a grande mudança do paradigma da astronomia. As interpretações dadas a esta idéia são muitas, impossíveis de serem desassociadas do contexto histórico. Discutiremos essa exigência no subitem 1.7.2.

⁶⁵ *Ibid.*, pp. 114-7;

4. A razão entre a distância do Sol à Terra e a altura do firmamento é menor do que a razão entre o raio da Terra e a sua distância do Sol; e com muito mais razão esta é insensível confrontada com a altura do firmamento;

Martins explica que essa exigência não foi bem recebida pelos astrônomos da época. Para que o modelo de Copérnico fosse compatível com as observações astronômicas, “se a Terra se movesse em torno do Sol a uma distância comparável à do “firmamento”, nunca se veria, à noite, metade da esfera celeste, e sim uma parcela menor do que a metade.”⁶⁶

5. Qualquer movimento aparente no firmamento não pertence a ele, mas à Terra, que com elementos adjacentes, gira em torno dos seus pólos invariáveis em um movimento diário, ficando permanentemente imóveis o firmamento e o último céu;

6. Qualquer movimento aparente do Sol não é causado por ele, mas pela Terra e pelo nosso orbe, com o qual giramos em torno do Sol como qualquer outro planeta. Assim, a Terra é transportada por vários movimentos;

7. Os movimentos aparentes de retrogressão e progressão dos errantes não pertencem a eles, mas à Terra. Apenas o movimento desta é suficiente para explicar muitas irregularidades aparentes no céu.

Nessas últimas três exigências, Copérnico concede ao planeta Terra dois movimentos (serão três no *De Revolutionibus*): o de rotação e o de

revolução. Esse seria o último ataque presente nas exigências à física aristotélica – ao afirmar que os elementos adjacentes (as coisas que estão na Terra) giram junto com ela – e ao modelo ptolomaico – pois afirma que as irregularidades do seu modelo provêm da posição ocupada pela Terra e da ausência movimento dela.

Ainda nas exigências, Copérnico faz uma última consideração a respeito da falta ou da pouca quantidade de demonstrações matemáticas no livro, pois, ao que veremos a seguir, já pensava em escrever o *De Revolutionibus*:

“Assim, portanto, com essas premissas, tentarei mostrar brevemente como pode ser conservada a uniformidade dos movimentos, de um modo sistemático. Porém, para ser breve, julguei que as demonstrações matemáticas devem ser omitidas aqui, tendo-as destinado para um volume maior. No entanto, serão colocadas aqui, na explicação dos círculos, as medidas dos semidiâmetros dos orbes, através das quais aquele que não ignorar a ciência matemática facilmente perceberá o quanto tal composição dos círculos se ajusta aos dados numéricos e às observações.”⁶⁷

Em 1543, ano da morte de Copérnico, foi publicado o *De Revolutionibus Orbium Coelestium* em seis livros, sob os cuidados de seu único discípulo, Georg Joachim Rheticus (1514 – 1574), e de Andreas Osiander (1498 – 1552) que, sem a permissão de Copérnico, escreveu uma introdução – até então anônima – alertando que a obra deveria ser compreendida como uma nova hipótese matemática sobre os movimentos celestes. Segundo Verdet, “em 1539, o essencial do *De Revolutionibus* já estava com certeza redigido”⁶⁸, mas

⁶⁶ R. A. Martins in N. Copérnico, *Commentariolus*, p. 116;

⁶⁷ N. Copérnico, *Commentariolus*, pp. 117-8;

⁶⁸ J-P Verdet, *op. cit.*, p. 65;

na publicação posterior foi necessário trabalhar mais as conclusões dos livros V e VI⁶⁹.

De início, Copérnico apresenta, no livro I, as características de seu sistema: um mundo esférico e muito superior à magnitude da Terra, sendo esta esférica e dotada de movimento diurno de oeste para leste, com os orbes dispostos na seguinte ordem (do mais afastado para o mais próximo do Sol): estrelas fixas, Saturno, Júpiter, Marte, Terra, Vênus e Mercúrio. Critica e dá respostas aos modelos antigos e ao fato de a física aristotélica sobre a Terra ser desprovida de movimento e ser o centro do mundo:

“por conseguinte, uma vez que são tantos e tão importantes os testemunhos dos planetas a favor da mobilidade da Terra, faremos agora um resumo desse movimento, na medida em que os fenômenos podem ser revelados por seu movimento, aceito como hipótese. Devemos admitir um movimento triplo. O primeiro (...) é o circuito próprio do dia e da noite, que vai de oeste para leste em torno do eixo da Terra (...) – e descreve o equador ou círculo equinocial. O segundo é o movimento anual do centro, que descreve o círculo dos signos (do zodíaco) em torno do Sol igualmente de oeste para leste, isto é, em direção aos signos que seguem (de Áries para Touro), e se move, como dissemos, entre Vênus e Marte, junto com os corpos que o acompanham. (...) É preciso entender que o equador e o eixo da Terra têm uma inclinação variável em relação ao círculo e ao plano da eclíptica. Pois, se eles permanecessem fixos e simplesmente seguissem o movimento do centro, nenhuma desigualdade entre os dias e as noites seria aparente, mas sempre haveria o solstício de verão ou o solstício de inverno, ou alguma outra estação do ano que permaneceria sempre a mesma. Segue-se daí, então, o terceiro movimento, que é a declinação: é também uma revolução anual, mas em direção aos signos que precedem (de Áries para Peixes), ou em direção a oeste, isto é, em sentido contrário ao movimento do centro; e como consequência desses dois movimentos que são quase iguais um ao outro, mas em direções opostas, segue-se que o eixo da Terra e o maior dos círculos paralelos, o equador, sempre olham aproximadamente em direção à mesma parte do

⁶⁹ Alguns autores como Arthur Koestler (*Os sonâmbulos*) e Charles Glenn Wallis (na tradução e notas da versão *On the Revolutions of the Heavenly Spheres* do ‘Great Books of the Western World’ da ‘Encyclopaedia Britannica’) afirmam que a demora da publicação também se deu por motivos religiosos, uma vez esse trabalho poderia questionar a autoridade da Igreja Católica.

mundo, como se permanecessem imóveis. Enquanto isso, vê-se o Sol mover-se ao longo da eclíptica oblíqua com aquele movimento com que se move o centro da Terra, como se o centro da Terra fosse o centro do mundo – desde que nos lembremos que a distância entre o Sol e a Terra, em comparação à esfera das estrelas fixas, é imperceptível para nós.”⁷⁰

A se julgar pelas discussões do primeiro livro de Copérnico, muitos questionamentos seriam feitos e novas respostas seriam necessárias. Como veremos no subitem 1.7.3, Copérnico não conseguiu dar todas as respostas necessárias e seu modelo não se tornou, num primeiro momento, a solução da interpretação do mundo.

1.7.2 Copérnico, Pitágoras, Platão e os neoplatônicos

Como frisamos anteriormente⁷¹, a revolução copernicana tem inúmeras interpretações. Uma delas é a conjectura envolvendo Copérnico, Pitágoras, Platão, a filosofia neoplatônica e o contexto do Renascimento.

“Devido à sua pluralidade, a Revolução Copernicana oferece uma oportunidade ideal para descobrir como, e com que efeito, os conceitos de campos muito diferentes se entrelaçam numa única linha de pensamento. O próprio Copérnico era um especialista, um astrônomo matemático preocupado em corrigir as técnicas esotéricas das tabelas de cálculos das posições planetárias. Mas a orientação de sua pesquisa foi muitas vezes determinada por desenvolvimentos bastante estranhos à astronomia. Entre eles estavam as mudanças medievais das análises a meteoritos caídos, a renovação renascentista de uma antiga filosofia mística que considerava o sol como a imagem de Deus, e as viagens atlânticas que alargavam os horizontes terrestres do homem renascentista.”⁷²

⁷⁰ N. Copérnico, *Das revoluções das Esferas Celestes* (livro um) in S. W. Hawking, *Os gênios da ciência: Sobre o ombro de Gigantes*, pp. 37-8;

⁷¹ Páginas 32 e 34 dessa dissertação;

⁷² T. S. Kuhn, *A Revolução Copernicana*, p. 9;

Se o Renascimento foi um período propício para o ressurgimento de concepções mais amplas sobre questões envolvendo a interpretação da natureza, era de se supor que muitos autores escolhessem o modelo copernicano como representante digno, uma vez que é possível encontrar em sua concepção referências pouco convencionais, como as citadas acima.

Veremos que não foi bem assim.

A idéia de que a Terra possui movimento não é inédito na história da Astronomia – outros filósofos anteriores a Copérnico, como Pitágoras de Samos (571c. a.C – 497c. a.C) e Heráclides do Ponto (387 a.C. – 312 a.C.), já haviam discutido essa possibilidade; nem o heliocentrismo é algo novo – Aristarco de Samos (310c. a.C – 230c. a.C.) já havia proposto um modelo em que a Terra gira ao redor do Sol; mas é justamente por essa aproximação com esses filósofos específicos que se identifica Copérnico ao platonismo e ao neoplatonismo. A visão de mundo de Pitágoras é bem conhecida e compartilhada por Platão: o mundo das almas, a necessidade de se alcançar a pureza (algo só atingido pelos “iniciados”), a harmonia na música e, portanto, na matemática e no cosmo, além da crença em um demiurgo bom, sábio e racional. É possível interpretar no texto de Copérnico esses mesmos elementos⁷³, além de encontrar menções explícitas a esses filósofos⁷⁴.

⁷³ Como, por exemplo, a questão dos iniciados: “pois sabe-se muito bem que Lactantius, escritor sob outros aspectos eminente, mas dificilmente um matemático, fala de maneira inteiramente pueril sobre a forma da Terra, quando ri daqueles que haviam afirmado que a Terra tinha a forma de um globo. E, assim, os estudiosos não devem surpreender-se se pessoas como essas rirem de nós. A matemática é escrita para matemáticos; e entre eles, se não estou enganado, será reconhecida a contribuição de meus trabalhos para a comunidade eclesiástica...” (N. Copérnico, *Das revoluções das Esferas Celestes* (livro um) in S. W. Hawking, *Os gênios da ciência: Sobre o ombro de Gigantes*, p. 14) e a questão do demiurgo racional: “assim, quando meditei sobre essa falta de certeza da matemática tradicional no que concerne à composição dos movimentos das esferas do mundo, comecei a me aborrecer com o fato de os filósofos, que a outros respeitos haviam empreendido um exame muito cuidadoso

Entendendo a impossibilidade de se desassociar o que é “física” do que é “metafísica” no trabalho de Copérnico (e muito provavelmente em muitas obras escritas ao longo do Renascimento), devemos aceitar sem maiores preocupações a associação de Copérnico com a filosofia platônica e neoplatônica, pois mesmo que seu trabalho seja interpretado como uma nova astronomia (sistema de mundo heliostático), baseado em uma nova hipótese física (a dos movimentos da Terra) e demonstrado através de complicados cálculos matemáticos e algumas observações, trata-se também de uma obra que explicita os valores da filosofia clássica e do pensamento cristão, uma vez que, tanto para Platão como para a Igreja, o Sol representa o Bem⁷⁵.

“No centro de tudo, repousa o Sol. Pois quem poria essa luminária de um belíssimo templo em outro lugar ou em lugar melhor do que esse de onde ela pode tudo iluminar ao mesmo tempo? Na verdade, não é com impropriedade que alguns o chamam de a lanterna; outros, de o espírito e outros ainda, de piloto do mundo. Trismegisto o chama de um “deus visível”; a Eletra, de Sófocles, de “aquele que lança seu olhar sobre todas as coisas”. E assim o

dos mínimos detalhes do mundo, não haverem descoberto nenhum esquema seguro dos movimentos da máquina do mundo que foi construída para nós por aquele que, de todos, é o Melhor e Mais Metódico Artífice.” (N. Copérnico, *Das revoluções das Esferas Celestes* (livro um) in S. W. Hawking, *Os gênios da ciência: Sobre o ombro de Gigantes*, p. 12);

⁷⁴ Exemplo: “Há opiniões diferentes quanto a Vênus e Mercúrio, à medida que eles não têm toda a gama de elongações angulares em relação ao Sol que têm os outros. Daí alguns os situarem acima do Sol, como o faz Timeu, em Platão; alguns, abaixo do Sol, como Ptolomeu e boa parte dos modernos. Alpetragius faz Vênus mais alto do que o Sol e Mercúrio mais baixo. Desse modo, como os seguidores de Platão supõem que todos os planetas – que no mais são corpos escuros – brilham com a luz recebida do Sol, eles acham que se os planetas estivessem abaixo do Sol, devido à sua pequena distância do Sol, seriam vistos como apenas metade – ou pelo menos apenas parcialmente – esféricos.” (N. Copérnico, *Das revoluções das Esferas Celestes* (livro um) in S. W. Hawking, *Os gênios da ciência: Sobre o ombro de Gigantes*, p. 29);

⁷⁵ De acordo com o livro do Gênesis – Antigo Testamento, Deus disse: “Façam-se luzeiros no firmamento do céu para separar o dia da noite. Que sirvam de sinal para marcar as festas, os dias e os anos. E, como luzeiros no firmamento do céu, sirvam para iluminar a terra”. E assim se fez. Deus fez os dois grandes luzeiros: o luzeiro maior para governar o dia e o luzeiro menor para governar a noite, e as estrelas. Deus os colocou no firmamento do céu para alumiar a terra, governar o dia e a noite e separar a luz das trevas. E Deus viu que era bom. Fez-se tarde e veio a manhã: o quarto dia.

Sol, como se repousasse no trono de um rei, governa a família de estrelas que gira ao seu redor.”⁷⁶

1.7.3 Prós e contras do modelo copernicano

Copérnico em suas duas obras tinha a intenção de explicar corretamente o movimento dos corpos celestes. O grande número de artifícios matemáticos, a imprecisão dos dados tabulados disponíveis e a falta da regularidade dos movimentos não agradavam o astrônomo polonês. Copérnico acreditava que o seu modelo heliostático, além de ser mais simples que o modelo geostático ptolomaico, poderia resolver esses problemas.

O método empregado por Copérnico para a reformulação do sistema de mundo é a reinterpretação dos dados de Ptolomeu, tendo como referência os movimentos da Terra. Dessa forma, esse estudo é fundamentado puramente em cálculos matemáticos: as vinte e sete observações diretas relatadas por Copérnico no *De Revolutionibus* não são essenciais para formalizar o modelo heliostático.

A favor do modelo copernicano destacam-se a afirmação dos movimentos da Terra e a tentativa de se criar um modelo mais simplificado e preciso do ponto de vista teórico: movimentos circulares e uniformes, um menor número de círculos⁷⁷ e o mesmo tratamento teórico para os movimentos dos planetas.

“Outro ponto importante a favor de Copérnico é que seu sistema permite, pela primeira vez, comparar as diferenças planetárias entre si. (...), as observações astronômicas antigas nada diziam sobre as distâncias dos planetas à Terra – nem mesmo era

⁷⁶ N. Copérnico, *Das revoluções das Esferas Celestes* (livro um) in S. W. Hawking, *Os gênios da ciência: Sobre o ombro de Gigantes*, pp. 34-5;

⁷⁷ No *Commentariolus*, Copérnico afirma que 34 círculos são suficientes, contra 43 de Ptolomeu;

possível afirmar se Vênus estava mais próximo de nós do que o Sol, ou o contrário. As teorias procuravam dar conta apenas de deslocamentos angulares.”⁷⁸

Para o movimento da Lua, o calcanhar-de-aquiles do modelo ptolomaico, Copérnico tem a seguinte solução: “um deferente concêntrico à Terra e dois pequenos epiciclos (...), as variações de distância entre a Lua e a Terra são, portanto, sempre pequenas”⁷⁹

Nota-se que Copérnico utiliza dos mesmos artifícios geométricos dos antigos para defender seu ponto de vista astronômico. Não tinha por que ser diferente, uma vez que a astronomia havia sido e ainda era construída por argumentações matemáticas, e não físicas. Esperava-se de Copérnico um novo tratamento para essas questões, já que suas críticas ao sistema geostático de Ptolomeu eram acompanhadas de críticas à física de Aristóteles. Mas Copérnico não fez isso. Como conseqüência, foi baixa a aceitação de seu modelo – principalmente no que diz respeito às formulações físicas – nos anos que se seguiram à publicação. Em geral, os astrônomos apreciam a eficiência matemática do modelo, mas se reservam a comentar o movimento da Terra.

“Uma das ironias da situação é que um entendimento das questões matemáticas discutidas até esse ponto revela que as considerações matemáticas não conseguem determinar qual sistema é correto. (...) Seu livro é repleto de esquemas matemáticos tradicionais dos antigos astrônomos gregos; as páginas são preenchidas por excêntricos, deferentes e epiciclos. Copérnico alegou ter eximido de usar o equante, mas isso tem sido questionado.”⁸⁰

⁷⁸ R. A. Martins in N. Copérnico, *Commentariolus*, pp. 85-6;

⁷⁹ R. A. Martins in N. Copérnico, *Commentariolus*, pp. 82-3;

⁸⁰ M. J. Crowe, *op. cit.*, p. 86;

Por outro lado, há críticas ainda mais severas à hipótese copernicana, como nos mostra Rossi:

“A simplicidade do novo sistema, no entanto, era mais aparente do que real: para justificar os dados das observações, Copérnico foi forçado, em primeiro lugar, a não fazer coincidir o centro do universo com o Sol, mas com o ponto central da órbita terrestre; em segundo lugar, foi obrigado a introduzir de novo, como em Ptolomeu, uma série de círculos girando em torno de outros círculos; e finalmente atribuir à Terra (além do movimento de rotação ao redor do seu eixo e de translação ao redor do Sol) um terceiro movimento de declinação para justificar a invariabilidade do eixo terrestre com relação à esfera das estrelas fixas.”⁸¹

Da publicação do *Commentariolus* à publicação do *De Revolutionibus* passaram-se cerca de trinta e três anos. Durante esse tempo, Copérnico não se dedicou exclusivamente à sua obra. Mesmo que o fizesse, não daria conta de dar todas as respostas que os astrônomos e teólogos exigiriam de seu modelo. Seria preciso mais tempo, novas idéias e novos dados – em suma – seria preciso um Tycho Brahe, um Johannes Kepler, um Galileu Galilei e um Isaac Newton.

1.8 Desdobramentos

Era papel de Copérnico substituir ao mesmo tempo a física aristotélica e a cosmologia ptolomaica? Difícil responder. Martins afirma que “se o objetivo de Copérnico tivesse sido apenas o de propor um esquema matemático de cálculo, nada disso poderia ser exigido. Porém, como ele pretendia descrever a realidade, precisaria de boas respostas para certas perguntas.”⁸² Para Gingras, Keating e Limoges, “ao situar a Terra, por assim dizer, “no céu”, o Copérnico-

⁸¹ P. Rossi, *O nascimento da ciência moderna na Europa*, p. 120;

⁸² R. A. Martins in N. Copérnico, *Commentariolus*, p. 91;

astrônomo não podia deixar de suscitar questões da física às quais não estava em condições de responder”.⁸³ Verdet suaviza:

“se é verdade que a obra de Copérnico é desorientadora – desorientadora por sua própria exigüidade, pelas condições em que apareceu e, é preciso confessá-lo, por algumas de suas fraquezas – se é verdade que Copérnico era às vezes ignorante das próprias riquezas – um Copérnico mau copernicano –, a simples objetividade obriga a esta constatação: com Copérnico, e somente com ele, se iniciou uma subversão da qual irão sair a astronomia e a física modernas. Os julgamentos e as escolhas de Galileu e de Kepler pesam mais fortemente na balança do que as argúcias dos contadores de epiciclos!”⁸⁴

Entendemos, portanto, que a obra de Copérnico por si só não foi suficiente para se estabelecer nem uma nova astronomia, nem uma nova física, mas nem por isso ela não perde seu status de “revolucionária”, uma vez que, sem ela, a parte mais importante para a mudança de um paradigma (a crítica elementar dos fundamentos do paradigma vigente), não seria possível, baseado, é claro, na publicação das obras e disseminação das idéias do mesmo período. Agradamos as palavras de Paulo Rossi:

“A chamada Revolução Científica – (...) – teve realmente o caráter ‘revolucionário’ que foi tantas vezes sublinhado, porque não consistiu na modificação de resultados parciais no âmbito de um sistema aceito, mas no questionamento de todo esse sistema, na adoção de princípios contrários à ‘razão’ e à ‘experiência’, tal como vinham se configurando dentro da tradição, na construção de um novo quadro do mundo no qual se tornam problemáticas ou privadas de sentido muitas ‘verdades’ que tinham sido óbvias por quase dois milênios, enfim, na elaboração de um novo conceito de ‘razão’, de ‘experiência’, de ‘natureza’, de ‘lei natural’.”⁸⁵

A obra de Copérnico fez com que surgisse uma nova alternativa de interpretação do mundo baseada em argumentos matemáticos e na filosofia

⁸³ Y. Gingras, P. Keating e C. Limoges, *op. cit.*, p. 200;

⁸⁴ J-P Verdet, *op. cit.*, p. 72;

clássica aceita e bem-vinda em sua época. A crítica ao movimento da Terra não impediu que os astrônomos usassem seu modelo como uma nova fonte de pesquisa. Erasmio Reinhold (1511 – 1553), professor da Universidade de Württemberg, publicou as primeiras tabelas astronômicas tendo como base o modelo copernicano, *Prutenicae tabulae coelestium motuum* (1551).

Copérnico de alguma forma sabia que a sua obra era apenas um passo em direção a um novo rumo, como é possível ler ainda na introdução do *De Revolutionibus*;

“eles [Nicholas Schonberg, Tiedeman Giese, entre outros] diziam que quanto mais absurdos parecessem agora, para muitas pessoas, meus ensinamentos sobre o movimento da Terra, de mais admiração e agradecimentos eles seriam objeto, quando, publicados meus comentários, essa mesmas pessoas vissem a neblina do absurdo ser dissipada por minhas luminosas demonstrações.”⁸⁶

Além de Schonberg e Giese, Rheticus foi o primeiro astrônomo a concordar – ainda que parcialmente – com o modelo copernicano. No seu *Narratio Prima* (1540)⁸⁷, Rheticus evita comentar os movimentos da Terra, concentrando-se nos movimentos do Sol e das estrelas. Professor da Universidade de Württemberg, sua obra foi por muito tempo o único comentário sobre o sistema heliostático – Michael Mästlin e Johannes Kepler viriam a ser seus leitores. Interessante lembrar que, nem Rheticus e nem Mästlin ensinavam a astronomia copernicana em suas aulas. O próprio Erasmio Reinhold também se manteve afastado da primeira hipótese de Copérnico.

⁸⁵ P. Rossi, *A ciência e a filosofia dos modernos*, p. 34.

⁸⁶ N. Copérnico, *Das revoluções das Esferas Celestes* (livro um) in S. W. Hawking, *Os gênios da ciência: Sobre o ombro de Gigantes*, p. 11;

⁸⁷ Rheticus teve acesso aos manuscritos do *Commentariolus*, por isso a publicação do *Narratio Prima* em 1540;

Tycho Brahe (1546 – 1601), o famoso astrônomo dinamarquês, também teve acesso aos manuscritos de Copérnico, mas não aceitou a sua hipótese. Tycho apresentaria ao mundo, além de uma nova gama de dados astronômicos originários de observações muito precisas, um outro modelo de universo: a Terra, parada, é o centro do movimento da Lua e do Sol. Este, por sua vez, é o centro do movimento dos planetas.

O maior apoio ao modelo copernicano veio da Universidade de Tübingen, mas não de um professor de astronomia ou matemática, e sim de um aluno aspirante a teólogo, que ao longo da sua trajetória acadêmica e profissional, defendeu e reformulou a hipótese heliocêntrica e ajudou a colocá-la na História da Astronomia: Johannes Kepler.

1.9 Conclusão do Capítulo I

Encerramos o primeiro capítulo desta dissertação com a certeza de ter apresentado e analisado, ainda que de forma sucinta, temas da História da Ciência relativos à astronomia e à física que servirão de base para o leitor compreender melhor as questões que cercam Kepler na sua narrativa de interpretação do Universo. Com base nas informações apresentadas, tentaremos esboçar nessa conclusão o papel de Kepler na “revolução” apresentada.

Kepler iniciou seus estudos na Universidade de Tübingen, universidade protestante, assim como a Universidade de Württemberg. O currículo pedagógico também era baseado no *Trivium* e no *Quadrivium* de modo que Kepler estudou, ainda que de forma superficial, geometria, aritmética, música, astronomia e astrologia. O reconhecido astrônomo Michael Mästlin foi seu

principal professor, e apesar de ser um dos poucos que conheciam a fundo as propostas de Copérnico, não ensinava a hipótese heliocêntrica em suas aulas. Assim como outros catedráticos, ensinava o modelo ptolomaico por meio da leitura dos tratados clássicos. Mas em particular, Mästlin apresentou o modelo copernicano a Kepler justamente por este destacar-se nas questões relativas à matemática. O jovem aluno acabou se convencendo da superioridade desse modelo e foi seu fiel defensor, mesmo quando trabalhou como assistente de Tycho Brahe.

Devemos recordar, mais uma vez, que as ambições de Kepler eram no campo da formação teológica. Portanto, dedicava-se a estudar em profundidade as questões divinas segundo a prática luterana. Inspirado a compreender a lógica do Criador, Kepler aventurou-se por questões relativas à concepção do mundo, pois era um campo da teologia no qual suas facilidades em matemática poderiam ajudá-lo. Para ele, deveria haver um motivo particular para a existência de seis (e apenas seis) planetas, para ocuparem esse espaço (e não outro), para demorarem o tempo que levam (nem mais, nem menos) para completar as suas revoluções.

O ideal luterano permitia que seus seguidores estudassem as Sagradas Escrituras de modo a compreendê-la sem intermediários. A filosofia humanista tinha como motor o pensamento convincente (seja através da palavra ou pelo cálculo), o neoplatonismo cristão e a busca dos elementos secretos da Natureza.

“Agrada-lhe o grande? Não há nada maior que este universo, não há nada mais extenso. Deseja a dignidade? Não há nada mais preciso, nem mais bonito que este deslumbrante templo de Deus. Prefere conhecer as coisas ocultas? Não há nem houve mais

mistério na natureza. Somente uma coisa em tudo isso não satisfaz a todos, é que, para os irreflexivos, sua utilidade não está clara. Mas aqui está aquele livro da natureza, tão celebrado nos discursos sagrados proposto por Saulo aos gentis e no qual se contempla a Deus como ao Sol em um espelho ou na água. Pois, por quê, nós cristãos nos deleitaremos menos nessa contemplação, sendo nosso acordo celebrar a Deus com verdadeiro culto, venerá-lo e admirá-lo? Isto se faz com ânimo ainda mais devotado tanto quanto entendemos mais corretamente quais e quantas coisas tem criado nosso Deus.”⁸⁸

Assim sendo, logo no seu primeiro trabalho (*Mysterium Cosmographicum*), vemos um autor preocupado em revelar aos seus leitores alguns dos mistérios do Universo e provar a inteligência superior do Criador, expressa pela regularidade e harmonia aritméticas e geométricas. Mais que um defensor de Copérnico, Kepler era um cristão devoto. Talvez até caiba aqui uma inversão, que será justificada a seguir: o modelo heliocêntrico era o mais adequado para realizar o desejo de harmonia e perfeição de Kepler:

“Um astrônomo sem o neoplatonismo de Copérnico conviveria bem com a idéia da impossibilidade da construção de uma astronomia, que fosse simultaneamente simples, precisa e harmônica. (...) Um contemporâneo de Copérnico, sem o neoplatonismo deste, diante das pequenas discrepâncias da teoria ptolomaica, poderia reconhecê-las enquanto anomalias, porém provavelmente tentaria reduzi-las, sem alterar o núcleo da teoria astronômica-cosmológica dominante.”⁸⁹

Como veremos pormenorizado no segundo capítulo, algumas conclusões apresentadas no *Mysterium Cosmographicum* não satisfizeram o desejo de Kepler por ordem e harmonia. Para ele, era preciso continuar procurando. Mais confiante na suas idéias do que na hipótese copernicana (pois a conhecia bem), procurou encontrar novas informações que dessem

⁸⁸ J. Kepler, *El Secreto del Universo*, p. 55;

⁸⁹ F. R. R. Évora, *A Revolução Copernicana-Galileana*, p. 85;

sentido à sua busca. Ao associar-se a Tycho Brahe, teve acesso a dados empíricos mais precisos. Esse encontro (entre Kepler e os dados de Tycho Brahe – a relação pessoal entre eles não era das melhores) rendeu a Kepler a conclusão de dois aspectos do movimento planetário (conhecidas atualmente como primeira e segunda leis de Kepler) e, por conseguinte, a reformulação do modelo heliocêntrico.

Mesmo com os resultados publicados no seu *Astronomia Nova*, Kepler não conseguiu expressar dentro de sua lógica e cálculos a perfeição dos movimentos planetários. A relação entre a distância dos planetas e seus períodos de revolução (questão originária, mas não resolvida desde o *Mysterium Cosmographicum*) ainda precisava de reformulações. Em 1619, Kepler publica o *Harmonices mundi*, um conjunto de cinco livros que tinha como objetivos a discussão minuciosa do *De caelo* e do *De Generatione* de Aristóteles, e a continuação (e correção) das questões levantadas no *Mysterium Cosmographicum*. Nota-se que além da dedicação à construção de uma cosmologia harmônica, Kepler também deseja harmonizar a relação entre os céus e a terra. Tal preocupação já estava presente na sua primeira obra:

“no seu tratado *Mysterium Cosmographicum* Kepler não pesquisa somente as leis da estrutura do cosmos, mas aborda também o problema da *razão* dos movimentos dos planetas e da sua velocidade (que é tanto menor na medida em que os planetas ficam mais distantes do Sol). Por isso ele acredita ser preciso aceitar necessariamente uma das seguintes afirmações: ou as almas que dão movimento a cada planeta individual são mais fracas na medida da sua maior distância ao Sol, ou existe somente uma alma motora, posta no centro de todos os mundos, ou seja, o Sol, que movimenta cada corpo: com maior força os corpos vizinhos, com força menor aqueles mais distantes, em virtude da diminuição da força causada pela distância. Kepler decide pela segunda hipótese...”⁹⁰

Apesar de essa obra conter a conclusão que chamamos hoje de “terceira lei de Kepler”, a “lei” que servirá de base para as argumentações de Isaac Newton sobre a gravitação dos corpos celestes, ela não é vista como o maior trabalho de Kepler. O *Epitome Astronomiae Copernicae* (1618-21) e o *Tabulae Rudolphine* (1627) são tidos por alguns como representantes mais dignos da “nova ciência” que estaria por vir. Os aspectos “místicos-pitagóricos” das idéias de Kepler – como a relação entre as velocidades dos planetas e as notas musicais – bem como a teoria aristotélica do movimento na qual Kepler baseia seu trabalho são consideradas obsoletas. Mesmo assim, como Edmund Halley escreveu na sua resenha sobre o *Principia* de Newton, as onze primeiras proposições do físico inglês estavam de acordo com a descrição dos fenômenos planetários propostos por Kepler.

Concluimos, portanto, que seria muito difícil discutir qualquer aspecto da “terceira lei” do movimento planetário – seja sua apresentação ou sua fundamentação teórica – sem conhecer a forma pela qual a física e a astronomia foram estruturadas até os séculos XVI e XVII. Iniciar a discussão a partir da própria lei, seguindo à risca as palavras de Kepler, poderia nos levar por um caminho já conhecido na História da Ciência: “muitos [historiadores] insistiram sobre a incrível tenacidade com que ele [Kepler] procura dados que se adaptem a imaginosas hipóteses metafísicas e sirvam para confirmá-las.”⁹¹ O texto de Kepler é realmente cativante e correríamos o risco de somente concordar com suas exposições. Conhecendo as bases de sua formação e o

⁹⁰ P. Rossi, *O nascimento da ciência moderna na Europa*, p. 135;

⁹¹ P. Rossi, *O nascimento da ciência moderna na Europa*, p. 143.

pensamento da época, podemos ser mais críticos a respeito de suas escolhas e conclusões.

Capítulo II – Johannes Kepler: Vida e Obra

2.1 Introdução

Devido à sua importância para a Astronomia, é comum encontrarmos nas obras de historiadores que estudam o período da Revolução Científica, uma pequena biografia de Kepler. Entre eles podemos citar Debus (*El hombre y la naturaleza en el Renacimiento*), Dreyer (*A History of Astronomy from Thales to Kepler*), Koestler (*Os Sonâmbulos*), Rossi (*O nascimento da ciência moderna na Europa*) e Verdet (*Uma história da Astronomia*). Outra indicação de uma breve biografia, porém mais completa, é o verbete ‘Kepler’ no

Dictionary of Scientific Biography do American Council of Learned Society. Para um estudo mais aprofundado da vida do astrônomo, recomendamos a leitura da obra de Caspar (*Kepler*), reconhecida como um dos melhores trabalhos sobre o tema. Nesta dissertação, apresentamos superficialmente aspectos da vida pessoal de Kepler e aprofundamos questões relativas à sua formação e sua produção acadêmica em astronomia até o período da produção do *Harmonices Mundi*. Inicialmente, apresentaremos uma descrição dos fatos mais relevantes para depois fazermos uma análise mais ampla sobre quem foi Kepler e a importância do seu trabalho.

2.2 Informações pessoais

Johannes Kepler nasceu em Weil, hoje Weil der Standt, sudoeste da Alemanha, em 27 de dezembro de 1571. Na época, Weil fazia parte do ducado de Württemberg que, por sua vez, integrava o Sacro Império Romano-Germânico, cuja capital era Praga.

Filho de Heinrich Kepler e Katherine Guldenman, foi o primeiro dos sete filhos do casal, dos quais apenas quatro chegariam à idade adulta. Casou-se duas vezes: primeiro com Bárbara Muller, em 1597, com quem teve cinco filhos (apenas dois sobreviveram) e depois com Suzanna Reuttinger, em 1613, com quem teve mais 6 filhos (apenas três sobreviveram). Faleceu em 15 de novembro de 1630, na cidade de Regensburg, Alemanha. Definiu-se uma vez desta forma:

“Este homem nasceu destinado a passar muito tempo em tarefas difíceis evitadas por outros. (...) A princípio, os seus esforços foram dedicados a acrósticos e anagramas. (...) Gostava de enigmas. (...) Gostava de compor paradoxos e ... preferia a

matemática a qualquer outro estudo. (...) Explorou vários campos da matemática como se fosse o primeiro homem a fazê-lo (e fez certo número de descobrimentos), e verificou, mais tarde, que os seus descobrimentos já tinham sido descobertos antes.”⁹²

2.3 Contexto regional e histórico

Kepler viveu num período e num local fortemente influenciados pelos resultados da Reforma Protestante. “É particularmente impossível compreender as influências de Johannes Kepler sem desenvolver uma aproximação interdisciplinar entre a História da Ciência e a História da Igreja.”⁹³

Durante os séculos XIV e XVI, a Europa Ocidental de maneira geral – com exceção da Itália – estava descontente com o papel da Igreja Católica e questionava a autoridade do Papa. Do ponto de vista político, a soberania papal confrontava a soberania dos reis. Do ponto de vista teológico, alguns grupos se levantaram contra a hierarquia eclesiástica. “Esses movimentos, cujas idéias seriam retomadas pela Reforma Protestante, representavam o anseio dos cristãos por uma participação mais ativa na vida religiosa.”⁹⁴

A crítica mais severa ao modelo católico da época foi feita por Martinho Lutero (1483 – 1546), em 1517, em Württemberg. Lutero investiu contra os abusos da Igreja, principalmente no que diz respeito à venda de indulgências e à adulteração da “palavra sagrada”. Lutero também era contra a hierarquia da Igreja: sua convicção na doutrina de Santo Agostinho levava-o a entender o homem como seu único e próprio salvador, sem intermediação e intermediários.

⁹² A. Koestler, *Os sonâmbulos*, p. 163.

⁹³ C. Methuen, *Kepler's Tübingen*, p. 1

⁹⁴ Coleção Os Pensadores, *História da Filosofia*, p. 170.

Sua obra de 1525, *De Servo Arbitrio*, apesar de ser destinada a uma reforma religiosa, vem ao encontro dos anseios da sociedade alemã, tornando-se uma expressão de caráter social e econômico, pois

“a Alemanha é um palco propício para a propagação das idéias de Lutero. Embora pertença formalmente ao Sacro Império Romano-Germânico, ela é um mosaico de Estados e cidades que buscam afirmar sua soberania. Isso se traduz também nos anseios de rompimento com o papado, que cobra cada vez mais tributos desses Estados. Neles, os cavaleiros (representantes da pequena nobreza) opõem-se aos grandes proprietários, cuja maioria é formada por membros da Igreja. Por fim, na parte mais baixa da hierarquia social, os camponeses ainda se encontram submetidos aos laços medievais de servidão, que lhes impõem pesadas obrigações.”⁹⁵

A família de Kepler – principalmente o avô, Sebald – seguia os ensinamentos luteranos da Igreja Protestante. “Ainda que Weil der Stadt fosse pequena e super populosa, seus habitantes, todavia, viviam inspirados pela alto-estima e orgulho de sua independência, como cidadãos privilegiados de uma cidade imperial livre.”⁹⁶ Isso permitia, entre outras coisas, que os cidadãos escolhessem qual religião seguir. “Weil der Stadt permaneceu católica durante a Reforma, e aparentemente Kepler foi batizado na Igreja Católica, embora seus pais fossem luteranos.”⁹⁷

O duque de Württemberg, Herzog Christoph, também era protestante e, de acordo com os valores da filosofia luterana, introduziu nas escolas primárias um sistema de educação que iniciaria a formação de novos clérigos. “Todas as

⁹⁵ *Ibid.*, p. 174;

⁹⁶ M. Caspar, *Kepler*, p. 32.

⁹⁷ C. Methuen, *op. cit.*, p. 29.

crianças podiam freqüentar gratuitamente um primeiro ciclo de três anos de estudos, em que se aprendia a ler, escrever e calcular.”⁹⁸

“O trabalho de Philip Melanchthon (1497 – 1560) a esse respeito foi particularmente significativo. Como humanista convicto, assegurar provisões para uma boa educação era para ele de importância vital. (...) Apesar de seu trabalho teológico desempenhar uma parte importante da sistematização da teologia luterana, sua influência educacional também deu forma ao futuro do luteranismo.”⁹⁹

O ducado contava com um seminário teológico – o curso inferior em Adelberg e o superior em Maulbronn – e duas universidades protestantes, Württemberg e Tübingen. “As universidades protestantes em Württemberg e Tübingen eram os arsenais intelectuais do novo credo”¹⁰⁰. Kepler iniciou seus estudos na cidade de Leonberg, em 1578. Motivos familiares fizeram com que ele só conseguisse encerrar o período de três anos letivos em 1583. No ano seguinte, iniciou o seminário teológico, completando-o em 1587. Apesar de ter sido aprovado para freqüentar a Universidade de Tübingen ainda naquele ano, só conseguiu fazê-lo em 1589.

2.4 Leonberg, período de 1578 a 1583

Kepler iniciou a escola primária em Leonberg aos sete anos de idade. Há de se destacar a importância dada ao latim por esta instituição, pois como já comentamos anteriormente, fazia parte do plano maior da Reforma:

“O curriculum no seminário era em latim, e os discípulos se obrigavam rigorosamente a empregar apenas o latim até entre si. Já na escola primária, tinham de ler as comédias de Plauto e Terêncio, a fim de unirem a fluência conversacional à precisão acadêmica. O alemão, embora tivesse adquirido nova dignidade

⁹⁸ Scientific American: Kepler, “Os anos de juventude”, p.9;

⁹⁹ C. Methuen, *op. cit.*, p. 30.

¹⁰⁰ A. Koestler, *op. cit.*, p. 158;

com a tradução da Bíblia por Lutero não era todavia considerado um meio digno de expressão para os acadêmicos.”¹⁰¹

Sabemos que sobre a vida e obra de Kepler existe um grande material preservado. Segundo Max Caspar, são cerca de 400 cartas de sua autoria e mais de 700 cartas endereçadas a ele, além de horóscopos, mapas astrais, diários e, obviamente, os textos acadêmicos.

“Muitos outros documentos, relatando sua vida, mostram sua situação econômica, sua atividade profissional, sua relação com príncipes e autoridades com os quais tinha obrigações, assim como alguns eventos familiares.”¹⁰²

Desse período, o próprio Kepler descreve dois eventos que marcaram sua infância de forma positiva[?]: as observações da passagem de um cometa em 1577 e de um eclipse lunar em 1580.

2.5 Adelberg-Maulbronn, período de 1584 a 1587

A escolha por uma carreira religiosa era a mais adequada para um jovem cuja família vivia em condições financeiras e emocionais lastimáveis. O pai de Kepler, Heinrich, era soldado profissional – um mercenário – que se ausentava de casa por grandes períodos. A mãe, Katherine, ocupava-se em fazer remédios caseiros que eram interpretados pela comunidade como poções mágicas e feitiçaria. Johannes ainda tinha uma irmã caçula e um irmão epilético. Por muito tempo foi criado pelos avós, que não possuíam grandes posses. Os pais de Kepler viviam discutindo e muitas vezes Katherine abandonou o seu lar para ir ao encontro do marido. Dessa forma, pode-se

¹⁰¹ *Ibid.*, p. 158;

¹⁰² M. Caspar, *op. cit.*, p. 14;

presumir que a escolha de passar a vida num seminário foi a melhor decisão feita por esta família para o jovem Kepler.

O seminário teológico, que ele frequentou dos treze aos dezessete anos, dividia-se em curso inferior (Adelberg) e curso superior (Maulbronn). Viver em um seminário também não era fácil. A disciplina era muito rígida e o currículo extenso tinha objetivos de formação humanista e confessional.

“O ensino era ministrado por tutores, muitas vezes jovens teólogos recém-formados em Tübingen. O latim era empregado constantemente, até na conversa diária dos estudantes. Também se acrescentara o ensino do grego. As jovens mentes eram formadas por meio da leitura atenta dos clássicos¹⁰³, sobretudo Cícero, Virgílio, Xenófonos e Demóstenes. De acordo com os esquemas do *trivium*¹⁰⁴ e do *quadrivium*¹⁰⁵, a retórica, a dialética e a música eram ensinadas na seqüência, e no seminário maior, os elementos da esfera e aritmética.”¹⁰⁶

Kepler se destacava dos outros alunos quanto à sua natureza introspectiva, sua capacidade de raciocínio e argumentação e sua devoção religiosa. Seu bom desempenho nos estudos assegurou-lhe uma vaga na Universidade de Tübingen.

2.6 A Universidade de Tübingen

¹⁰³ Charlotte Methuen lista uma série de obras presentes no currículo do seminário teológico, cursos inferior e superior: Cícero, *De amicitia*, *De senectute* e *De officiis*; Virgílio, *Aeneid*; Xenófonos, *Paidéia*; as fábulas de Aesop e alguns textos de Melanchthon. Methuen também explica que as ciências matemáticas não faziam parte do currículo, mas que os estudantes se preparavam para os exames que levavam à Universidade – no mínimo por três semestres – lendo as obras *Organon* e *Física* de Aristóteles e *Elementos*, de Euclides. Kepler não chegou a estudar a obra de Euclides nessa época de sua vida acadêmica.

¹⁰⁴ *Trivium*: três disciplinas lingüísticas das “artes liberais” – gramática, retórica e lógica.

¹⁰⁵ *Quadrivium*: quatro disciplinas matemáticas das “artes liberais” – geometria, aritmética, astronomia e música;

¹⁰⁶ M. Caspar, *op. cit.*, pp. 38-9;

A Universidade de Tübingen¹⁰⁷ foi criada em 1477 por Eberhard im Bart, Conde e depois Duque de Württemberg. Kepler realizou seus estudos nessa universidade no período de 1589 a 1593, sendo depois chamado para ocupar o cargo de *mathematicus*¹⁰⁸ em Graz.

Caspar lamenta o fato de que os relatos de Kepler sobre seus estudos em Tübingen foram feitos de forma incompleta: “tudo que ele nos diz sobre seus estudos em filosofia é que, dos trabalhos de Aristóteles, ele leu principalmente o *Analytica posteriora* e o *Física*, deixando de lado *Ética* e *Tópicos*”.¹⁰⁹ Entretanto, sabe-se que o trabalho de Kepler é fortemente influenciado por questões pitagóricas, platônicas e neoplatônicas – como veremos nos tópicos relativos aos seus trabalhos acadêmicos. Charlotte Methuen acredita que algumas questões sobre as possíveis influências de Kepler podem ser respondidas se **limitarmos a investigação** sobre a interação entre teologia, filosofia natural, lógica e matemática e, em particular, astronomia, como elas aparecem nos trabalhos dos professores de Tübingen.

“É necessário perguntar se os escritos de Aristóteles e, em particular, Platão, Plínio, Plutarco e outros podem ser considerados como representantes da verdade na filosofia natural. Nem todos os estudiosos estavam preparados para discutir essa questão, e os que estavam tinham que procurar não só uma justificativa teológica, mas também filosófica para o que estavam fazendo”¹¹⁰.

Na universidade, os professores ministravam palestras sobre as leituras obrigatórias. Além de tecer suas opiniões e destacar dos textos o que

¹⁰⁷ Atual Eberhard-Karls-Universität;

¹⁰⁸ *Mathematicus* era o termo usado para designar a função e o cargo de professor de matemática e astronomia na escola protestante de Graz;

¹⁰⁹ M. Caspar, *op. cit.*, p. 44;

¹¹⁰ C. Methuen, *op. cit.*, p. 159;

consideravam mais importante, enfatizavam a exatidão destes, comentando aspectos gramaticais e relacionando-os com outras áreas do conhecimento. Devido à complexidade deste sistema, as palestras eram seguidas de aulas que recobravam o que havia sido discutido nas palestras, e nessas aulas os alunos tinham que participar efetivamente de debates e disputas. Martin Crusius (1526–1607) era responsável por preparar os alunos da faculdade de artes para essas tarefas. Entre os textos escolhidos estavam *Ilíada*, *Odisséia* e *Batrachomyomachia* de Homero. Samuel Heiland e Vitus Müller foram responsáveis por *Ética* de Aristóteles, enquanto Georg Liebler tratava de *Física* e *De caelo*. Andréas Planer se concentrava no *Analytica posteriora*, enquanto Jacob Heerbrand e Matthias Hafenreffer ensinavam teologia. E, finalmente, Michael Mästlin, o mais importante entre todos eles – devido à influência que teve sobre Kepler – responsável pelas áreas de matemática e astronomia.

Há de se destacar outros dois estudos significativos desse período: a astrologia e a religião. Kepler ocupou-se da astrologia por um bom tempo, tendo como base o livro *Theoricae planetarum* de George Peurbach. Sobre religião, Kepler foi um aluno bastante dedicado, já que seu coração e mente estavam mergulhados nas mais diversas questões teológicas¹¹¹. Merece destaque o jovem professor Matthias Hafenreffer, cuja sinceridade e talentos intelectuais cativaram Kepler.

Como discutimos anteriormente, é impossível separar a História da Ciência da História da Igreja. Tübingen é reduto luterano e foi Philip Melanchthon quem estabeleceu as normas para a Educação. Se por um lado alguns filósofos naturais estavam interessados em uma nova forma de se

interpretar a natureza, havia também outros humanistas que se mantiveram fiéis aos estudos escolásticos.

“Juan Luis Vives (1492-1540), incontestavelmente o mais notável dos educadores do Renascimento, concordava plenamente com ele [Erasmus (1466-1536)], ao combater o estudo das matemáticas, argumentando que estas tendem a ‘desviar a mente dos fins práticos da vida’ e tornava-se “menos apta para desfazer as realidades concretas e mundanas.”¹¹²

Já para Melanchthon,

“a prova matemática é a mais clara das provas, porque demonstra como coisas confusas podem ser reveladas e entendidas. (...) apesar das dificuldades iniciais associadas com sua aprendizagem, os benefícios desse conhecimento são mais admiráveis que aqueles que podem surgir da leitura de qualquer livro. Por meio desta disciplina, é permitido entender todo o Universo e os trabalhos mais bonitos de Deus: as outras artes se dirigem à Terra, enquanto as matemáticas libertam a mente humana para apreciar o extraordinário espetáculo dos trabalhos de Deus”¹¹³.

Assim, entende-se que os professores em Tübingen, independentemente da disciplina que lecionavam, direcionavam suas aulas para a compreensão maior da filosofia luterana, portanto trabalhavam em conformidade com os ensinamentos das Sagradas Escrituras.

2.6.1 Michael Mästlin

Michael Mästlin (1550-1631) nasceu em Göppingen, foi diácono em Backnang e professor de matemática em Heidelberg antes de assumir o posto em Tübingen em 1583. Na universidade, sucedeu Philip Apian, astrônomo renomado.

¹¹¹ Abordaremos novas e mais idéias sobre essas questões ao longo desse capítulo;

¹¹² A.G. Debus, *El hombre y la naturaleza en el Renacimiento*, p. 19;

¹¹³ C. Methuen, *op. cit.*, pp. 166-7;

“Mästlin foi um dos melhores astrônomos de seu tempo e desfrutou de grande estima no mundo acadêmico. Como era de costume naquele tempo, seu curso de introdução à geometria era baseado nos *Elementos* de Euclides, ao qual provavelmente adicionava algumas idéias de Arquimedes e Apolônio. Em continuidade, ele introduzia a sua audiência aos elementos da trigonometria. Para o seu curso de leituras astronômicas, ele utilizava um livro didático, *Epitomae Astronomiae*, original de 1582 e que foi reimpresso muitas vezes durante décadas.”¹¹⁴

Mästlin havia estudado, em 1572, as medidas de paralaxe de dois cometas e de uma nova, e concluiu que se tratavam de fenômenos supralunares, o que contrariava os ensinamentos de Aristóteles sobre esses eventos celestes¹¹⁵. Para ele, isso não representava um grande problema, pois acreditava

“que a exatidão das observações por meio das quais ele havia medido a paralaxe, combinada com o uso de demonstrações geométricas e aritméticas, permitia a ele tirar conclusões cuja verdade e precisão eram de maior valia que a autoridade das opiniões de Aristóteles, Plínio e outros filósofos clássicos”.¹¹⁶

Anos mais tarde, Mästlin justificou o movimento do cometa observado em 1577-78 por meio do modelo copernicano, concluindo que o mesmo estava situado na região da esfera de Vênus. Sobre o cometa de 1581, Mästlin voltou a argumentar contra a astronomia aristotélica e, mais uma vez, usou “do testemunho bíblico sobre a criação dos céus por Deus para argumentar que observações exatas dos movimentos dos corpos celestes eram necessárias”¹¹⁷.

¹¹⁴ M. Caspar, *op. cit.*, p. 46.

¹¹⁵ Para Aristóteles, os cometas e a nova eram fenômenos atmosféricos, pertenciam ao mundo sublunar, o mundo dos elementos corruptíveis. O mundo supralunar, por sua vez, era incorruptível, ou seja, inalterável, eterno.

¹¹⁶ Methuen, C. *op. cit.*, pp. 171-2;

¹¹⁷ *Ibid.*, p. 176;

Mästlin foi, sem dúvida, a maior influência de Kepler no período da universidade – e depois dela também. Kepler tornou-se um copernicano graças ao seu mestre. “O *De Revolutionibus* de 1543 que ele [Mästlin] possuía é provavelmente o exemplar mais amplamente anotado que existe”¹¹⁸. Mästlin sabia do risco que corria ao dissertar sobre o sistema copernicano, já que este era considerado contrário aos ensinamentos bíblicos, por isso o fazia com descrição. Como conhecia o potencial de Kepler para questões matemáticas e religiosas, tratou de ensinar o modelo heliostático para o jovem estudante. Este, por sua vez, não o decepcionou: “com exceção de Rheticus, Kepler tornou-se o primeiro entusiasta de Copérnico depois do próprio Copérnico”¹¹⁹.

Algum tempo depois, Kepler escreveria as seguintes palavras sobre esse período e sobre o modelo copernicano:

“Quando eu estudava sob a orientação do afamado Michael Mästlin em Tübingen, há seis anos, notando as muitas inconveniências da teoria do universo que era geralmente aceita, fiquei tão encantado com Copérnico, que Mästlin freqüentemente mencionava em suas aulas, que muitas vezes defendi suas opiniões nos debates dos estudantes sobre física. Cheguei até a escrever uma cuidadosa discussão sobre o primeiro movimento, defendendo que ele ocorre por causa da rotação da Terra. Gradualmente, em parte pelo que ouvi de Mästlin, em parte por mim mesmo, coletei todas as vantagens que Copérnico tem sobre Ptolomeu.”¹²⁰

2.7 Mudança de rumos: o cargo de *mathematicus* em Graz

Em 11 de agosto de 1591, Kepler concluiu a Faculdade de Artes da Universidade de Tübingen, obtendo o grau de mestre e, em seguida, ingressou no curso de teologia, seu real objetivo. Vale a pena recordar que “Kepler não

¹¹⁸ O. Gingerich, “KEPLER”, in American Council of Learned Society, *Dictionary of Scientific Biography*, T. VII, p. 289b;

¹¹⁹ *Ibid.*, p. 289a.

cursou Tübingen para se tornar filósofo, matemático ou astrônomo. Tudo que assimilou na Faculdade de Artes serviu apenas de preparação para os estudos teológicos”¹²¹. Porém, em 1593, um evento em particular acompanhado de um pedido, mudou os rumos do jovem Kepler.

Graz, capital da província austríaca da Estíria, possuía duas universidades: uma católica, outra protestante. Quando Georgius Stadius, professor de matemática da universidade luterana, faleceu, “pediram os governantes, como costumavam fazer, à universidade protestante de Tübingen que lhes recomendasse um candidato.”¹²² Kepler foi o escolhido.

Num primeiro momento, Kepler hesitou em aceitar o convite. Imaginava-se clérigo, não professor. Pôs em questão se seus conhecimentos matemáticos eram suficientes para assumir tal função. Acabou por aceitar a proposta impondo a condição de que poderia voltar a Tübingen para concluir seus estudos religiosos. O senado de Tübingen aprovou a condição e, “em 23 de março de 1594, Kepler deixou sua universidade adorada sem imaginar que jamais voltaria a viver em Württemberg”¹²³. Chegou a Graz em 11 de abril de 1594: tinha 23 anos.

‘*Mathematicus* provincial’ era o termo usado para designar a função e o cargo de professor de matemática e astronomia. Além de ministrar aulas, era também função do *mathematicus* a publicação anual de um calendário com previsões astrológicas.

“Tanto as funções como a remuneração de 200 florins anuais são modestas: ensinar os rudimentos de astronomia a jovens nobres

¹²⁰ J. Kepler *apud* O. Gingerich, *op. cit.*, p.289b;

¹²¹ M. Caspar, *op. cit.*, p. 48;

¹²² A. Koestler, *op. cit.*, p. 163;

¹²³ Scientific American: Kepler, *op. cit.*, p.11;

protestantes e compor um calendário acompanhado de um prognóstico para o ano seguinte, o que ainda assim lhe valia 20 florins suplementares!”¹²⁴

Kepler obteve certa popularidade quando algumas de suas previsões para o ano de 1595 se concretizaram, mas seu grande feito ocorreria alguns meses depois, mais precisamente em 9 de julho de 1595. Como escreveu Arthur Koestler no seu *Os Sonâmbulos*, Kepler teve “uma idéia [que] lhe cruzou a mente com tamanha força que sentiu estar de posse da chave do segredo da criação”¹²⁵.

2.8 *Mysterium Cosmographicum* (1596)

Os primeiros dois anos de Kepler como professor na Universidade de Graz foram bem difíceis. Além de receber um salário inferior ao de seu antecessor, foi recebido como “estagiário” por um ou dois meses antes de ser considerado ideal para o cargo. As disciplinas que lecionava – matemática e astronomia – não estavam entre as mais agradáveis da lista dos estudantes, por isso o número de alunos era bem reduzido. Para que esses não tivessem tanta dificuldade em seguir o curso, propôs um curso introdutório de seis aulas sobre aritmética, Virgílio e retórica.

Para estimular ainda mais seus alunos, tratou também de questões astrológicas. Certa aula, ao descrever um padrão nas conjunções de Júpiter e Saturno – cada conjunção ocorre oito signos zodiacais distantes do anterior e num intervalo de tempo de aproximadamente 20 anos – , “desenhou no

¹²⁴ J-P. Verdet, *Uma história da Astronomia*, p. 100;

¹²⁵ A. Koestler, *op. cit.*, p. 168;

quadro-negro uma longa seqüência de triângulos inscritos em um círculo”¹²⁶. O resultado deste desenho foi semelhante ao da figura abaixo e pode ser interpretado da seguinte forma: triângulos delimitados por um círculo inscrito (interno) e um circunscrito (externo). Kepler percebeu então que a proporção entre os raios dos círculos era quase idêntica à dos orbes de Saturno e Júpiter.

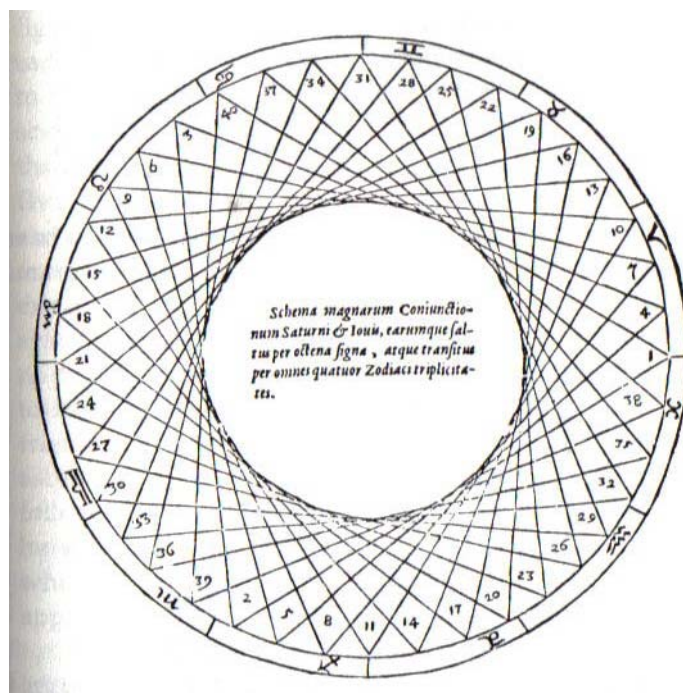


Figura – Diagrama de Kepler das conjunções de Júpiter e Saturno in Michael J. Crowe, *Theories of the World*, p. 149. O número 1 indica a conjunção do ano de 1583 sobre o signo de Áries; o 2, a de 1603 sobre o signo de Sagitário; o 3, a de 1623 sobre o signo de Leão, o 4; a de 1643 sobre o signo de Áries, e assim por diante. Os “triângulos” são formados a partir da união dos pontos 1, 2, 3.

Nas palavras do próprio Kepler (relato condensado):

“No ano de 1595 em Graz, em umas férias, refleti a respeito desse assunto [superioridade do modelo de copérnico frente ao de Ptolomeu] com toda a energia de minha mente. E havia, sobretudo, três coisas das quais eu buscava as causas – por que era desse jeito e não de outro – que eram o número, as dimensões e os movimentos dos orbes celestes. (...) Quase todo

¹²⁶ J-P. Verdet, *op. cit.*, p. 100;

o verão foi perdido com este angustiante trabalho. Por fim, numa ocasião nada especial, cheguei mais perto da verdade. Acredito que a Divina Providência interveio, de modo que descobri, por acaso, aquilo que jamais poderia ter conseguido com os meus próprios esforços. Acredito nisso ainda mais porque sempre pedi em orações a Deus para que pudesse ser bem sucedido, se o que Copérnico havia dito fosse verdade. Dessa maneira, aconteceu em 19 de julho de 1595, quando mostrava em minha aula como as grandes conjunções [de Saturno e Júpiter] ocorrem sucessivamente de oito em oito signos zodiacais e como passam gradualmente de um trígono a outro, que eu inscrevi dentro de um círculo muitos triângulos (ou quase-triângulos, de modo que o final de um fosse o começo do próximo). Desse modo, foi esboçado um círculo menor pelos pontos onde as linhas dos triângulos se entrecruzavam.”¹²⁷

Seguindo a lógica de Kepler, se os raios dos orbes de Saturno e Júpiter – planetas mais externos¹²⁸ nos dois modelos, copernicano ou ptolomaico, – possuíam uma relação entre si que permitia circunscrever e inscrever um triângulo equilátero no intervalo desses dois orbes, os raios dos outros orbes deveriam também possuir relações geométricas entre si, delimitando outras figuras. Kepler tentou, então, dar seqüência a esse raciocínio, tentando encaixar outras figuras planas. Não obteve êxito, mas não desistiu tão facilmente da tarefa. “Então, novamente, fiquei impressionado: por que colocar figuras geométricas planas entre orbes tridimensionais?”¹²⁹ Estava lançada a base do seu primeiro trabalho: *Prodomus Dissertationum Cosmographicarum continens Mysterium Cosmographicum de admirabili Proportione Orbium*

¹²⁷ J. Kepler *apud*. O. Gingerich, *op. cit.*, p. 290a.

¹²⁸ A astronomia desse período só conhece os planetas visíveis a olho nu. Mais detalhes no capítulo I dessa dissertação;

¹²⁹ J. Kepler *apud*. O. Gingerich, *op. cit.*, p. 290b;

*Coelestium deque Causis Coelorum numeri, magnitudinis, motuumque corpora Geometrica*¹³⁰.

Em suas palavras:

“Veja, leitor, a invenção e toda a substância deste pequeno livro! Como lembrança deste acontecimento, estou registrando para você a frase com as palavras exatas daquele momento em que a concebi: A órbita da Terra é a medida de todas as coisas; circunscreva em torno dela um dodecaedro e o círculo que o contém será o de Marte; circunscreva em torno [do orbe] de Marte um tetraedro e o círculo que o contém será o de Júpiter; circunscreva em torno [do orbe] de Júpiter um cubo e o círculo que o contém será o de Saturno. Agora, inscreva dentro [do orbe] da Terra um icosaedro e o círculo nele contido será o de Vênus; inscreva dentro [do orbe de] de Vênus um octaedro e o círculo nele contido será o de Mercúrio. Agora você tem a explicação do número de planetas. Tais foram a ocasião e o sucesso dos meus esforços. Nunca será possível exprimir em palavras a intensidade do meu prazer por esta descoberta. Não lamentei mais pelo tempo perdido. Os cálculos me consumiram dia e noite, para ver se essa idéia concordaria com as órbitas de Copérnico ou se minha alegria seria levada pelo vento. Em poucos dias tudo estava funcionando e pude observar como um corpo [poliedro] após outro se ajustava exatamente no seu lugar entre os planetas.”¹³¹

Apesar do relato emocionado sobre esta descoberta, os resultados não se “encaixavam” tão bem quanto Kepler previa, ou melhor, gostaria. A razão entre o raio do orbe de Vênus e o de Mercúrio era menor do que se esperava, e a razão entre o raio de Saturno e o de Júpiter, muito maior. As proporções calculadas para os outros planetas pareciam estar de acordo e confirmar, com erros de no máximo 5%, a hipótese de Copérnico.

Tabela I - Razões das órbitas planetárias adjacentes ¹³²

¹³⁰ “*Precursor dos Trabalhos Cosmográficos contendo o Mistério Cósmico das admiráveis proporções entre as Órbitas Celestes e as verdadeiras e corretas razões dos seus números, Grandezas e Movimentos Periódicos*”, tradução encontrada em A. Koestler, *op. cit.*, p. 168;

¹³¹ J. Kepler *apud*. O. Gingerich, *op. cit.*, p. 290b;

¹³² Modificado de O. Gingerich, *op. cit.*, p. 291a;

Planeta mais externo	Poliedro que se encaixa entre os orbes	Planeta mais interno	Cálculo de Kepler para a razão entre os raios dos orbes*	Valores que estariam de acordo com Copérnico
Saturno	Cubo	Júpiter	577	635
Júpiter	Tetraedro	Marte	333	333
Marte	Dodecaedro	Terra	795	757
Terra	Icosaedro	Vênus	795	794
Vênus	Octaedro	Mercúrio	577 ou 707	723
* adotando o valor 1000 para o raio do orbe interno				

Kepler entendia que a discordância entre as suas previsões e os dados de Copérnico não tornava sua hipótese errada. Como havia se tornado um especialista no modelo copernicano, conhecia igualmente seus pontos fortes e fracos. Sabia, por exemplo, que os dados de Copérnico foram computados tendo como referência central o orbe da Terra, e não o centro do Sol como proposto em sua própria teoria.

“Embora Kepler ficasse célebre pela concepção do sistema planetário centrado no Sol, ele era bastante crítico quanto ao sistema matemático que Copérnico desenvolveu. Os textos de Kepler salientavam repetidamente que Copérnico, após o seu primeiro passo arrojado, a transposição do Sol e da Terra, ficara muito perto de Ptolomeu ao explicar os pormenores do seu sistema.”¹³³

Com a ajuda de Mästlin, Kepler recalculou as posições dos planetas tendo o Sol como centro, e como era de se esperar, os resultados foram bem diferentes.

“Mästlin chamou a atenção de Kepler para as afirmações de Copérnico relatadas por Rheticus, as quais demonstravam que o grande mestre estivera bastante consciente da insuficiência de

¹³³ T. S. Kuhn, *A revolução copernicana*, p. 242;

informação sobre as quais desenvolvera e à qual ele atribuíra três causas: primeiro, que algumas observações dos antigos não tinham sido relatadas de forma honesta, mas modificadas para se adequarem as suas teorias; segundo, que a região das estrelas dos antigos poderia ter um erro de 10´ (minutos); e, terceiro, que não havia nenhuma observação existente comparativamente recente tais como as que Ptolomeu tinha tido ao seu dispor.”¹³⁴

Mesmo com a divergência entre a hipótese dos sólidos regulares e os dados “não tão confiáveis” de Copérnico, o *Mysterium Cosmographicum* tem um grande valor para a Astronomia: segundo J. L. E. Dreyer no seu livro *A History of Astronomy from Thales to Kepler*, Kepler consegue com grande lucidez, logo no primeiro capítulo, demonstrar as razões para se abandonar o sistema ptolomaico em favor do copernicano.

“Por meio de dois diagramas, ele [Kepler] mostra que os epiciclos ptolomaicos dos planetas externos são vistos exatamente do mesmo ângulo da Terra da mesma forma como a órbita da Terra é vista de um ponto qualquer em cada uma das órbitas dos planetas externos, e mostra também como isto explica o fato de Marte ter um epiciclo tão grande, enquanto Júpiter tem um epiciclo pequeno e Saturno um menor ainda, embora seus excêntricos sejam maiores que de Marte.”¹³⁵

Mas como Paolo Rossi afirma na sua obra *O nascimento da ciência moderna na Europa*,

“a finalidade principal do *Mysterium Cosmographicum* não é defender Copérnico, mas sim demonstrar que, na criação do mundo e na disposição dos céus, Deus “olhou para aqueles cinco corpos regulares que gozaram de tão grande fama desde os tempos de Pitágoras e de Platão, concedendo à sua natureza o número, a proporção e as relações dos movimentos celestes”¹³⁶.

Não só isso: Kepler atribuiu ao Sol o motivo dos movimentos dos planetas. Na cosmologia kepleriana, o Sol é responsável pela força que anima

¹³⁴ J. L. E. Dreyer, *A history of astronomy from Thales to Kepler*, p. 378;

¹³⁵ *Ibid.*, p. 373;

esses astros. Os planetas mais próximos possuem os menores períodos de revolução, pois são mais influenciados por esta ação do Sol – e os mais distantes possuem os maiores períodos de revolução, portanto são mais lentos. Essa conclusão em particular é vista pelos historiadores da ciência como um importante passo rumo à nova concepção científica, uma vez que associa uma explicação física a uma constatação astronômica.

Para nós, nesta dissertação, essa idéia é de vital importância, pois impulsionou Kepler a procurar uma relação exata entre os períodos de revolução dos planetas e as suas distâncias em relação ao Sol. Como sabemos, Kepler precisaria de mais vinte anos de pesquisas sobre o seu próprio modelo para publicar corretamente, em 1619 no *Harmonices Mundi*, a relação conhecida como “terceira lei de Kepler”, mas a sua primeira tentativa é feita no *Mysterium Cosmographicum*. Em suas palavras: “a maior distância do Sol atua duas vezes para aumentar o período e, inversamente, metade do aumento do período é proporcional ao aumento da distância”¹³⁷. Podemos reescrever a citação acima na linguagem matemática atual da seguinte maneira:

$$\frac{R_1}{R_2} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{1}{2}} \Rightarrow \frac{R_1}{R_2} = \sqrt{\frac{T_2}{T_1}}$$

Equação 1: Relação entre as distâncias dos planetas e seus períodos no *Mysterium Cosmographicum*. Na equação, R simboliza a distância do planeta em relação ao Sol e T , o seu período de revolução.

¹³⁶ P. Rossi, *O nascimento da ciência moderna na Europa*, p. 134;

¹³⁷ Kepler *apud*. J. L. E. Dreyer, *op. cit.*, p. 379;

Como nos relata Caspar, o trabalho de Kepler foi analisado por vários pensadores da época, uma vez que o próprio Kepler se encarregou de distribuir cópias do *Mysterium Cosmographicum*. As reações a essa obra foram as mais diversas. Como era de se esperar, Michael Mästlin o apoiou completamente. O professor Johannes Praetorius de Altdorf, por outro lado, desaprovou sua obra. “Em sua opinião, estas coisas [causas dos movimentos] pertenciam à física, não à astronomia, na qual, como uma ciência prática, não se obtém proveito de tais especulações”¹³⁸. Georg Limnäus, professor em Jena, ficou muito feliz ao ler uma obra que revivia a arte platônica de se filosofar. “Galilei, que viu o livro, escreveu a Kepler parabenizando-o pela sua adesão ao copernicanismo. Mas, com toda a probabilidade, ele ainda não tinha lido o livro.”¹³⁹ Tycho Brahe, sem sombra de dúvidas um dos mais importantes astrônomos de sua época, enviou-lhe uma longa carta expressando sua opinião, balanceando cuidadosamente críticas positivas e negativas.

Embora discordasse do movimento da Terra no sistema copernicano, Tycho Brahe viu na obra de Kepler o potencial argumentativo e matemático do jovem *mathematicus*. Kepler, por sua vez, desejava aperfeiçoar o seu modelo por meio de dados mais confiáveis – e o astrônomo dinamarquês dispunha dos melhores instrumentos de observação. “Após deixar a Dinamarca e se estabelecer na Boêmia como matemático imperial, Brahe ofereceu a Kepler um emprego de assistente”¹⁴⁰. Surge aqui uma parceria que expandiria ainda mais os horizontes astronômicos.

¹³⁸ M. Caspar, *op. cit.*, p. 69;

¹³⁹ P. Rossi, *op. cit.*, p. 136;

2.9 Tycho Brahe

Assim como Michael Mästlin, Brahe merece, nesta dissertação, um lugar de destaque, pois também foi muito influente na vida e na obra de Kepler.

Tycho Brahe (1546 – 1601) estudou na Universidade de Copenhague, mas não para se tornar astrônomo – era do interesse da família que seguisse carreira político-administrativa –, porém, ao contemplar um eclipse solar parcial em 21 de agosto de 1560, ficou impressionado com a capacidade dos matemáticos e astrônomos de prever tal fenômeno. Decidiu então estudar astronomia por conta própria. De posse de exemplares do *Tábuas Afonsinas* e das *Prutenicae tabulae coelestium motuum* (Tábuas Prussianas), Tycho observou a conjunção de Saturno e Júpiter em 1563. Diante das diferenças entre suas observações e os números publicados nas tabelas, motivou-se a aprimorar os dados astronômicos por meio da observação. Gozando de uma herança deixada pelo tio falecido, Brahe comprou livros e instrumentos astronômicos em suas viagens pela Europa:

“dispunha de um exemplar das *Efemérides* de Stadius, baseadas nas *Tábuas prussianas*, logo, no heliocentrismo, e, sinal de suas preocupações observacionais, não se contentou com essas *Efemérides*; adquiriu também *Tábuas Afonsinas*, as próprias *Tábuas prussianas* e as *Efemérides* de G. B. Carellus. (...) Desde 1564, Tycho adquirira em Leipzig uma balestilha cujo grande braço tinha um metro de comprimento (...). Cinco anos depois, em 1569, Tycho começou a construir seus próprios instrumentos: primeiro, um meio-sextante de madeira, cujo raio ultrapassava um metro e meio.”¹⁴¹

Em 1572, Tycho Brahe observou aquilo que viria a se tornar uma das suas maiores contribuições para a astronomia no século XVI. A noroeste da

¹⁴⁰ P. Rossi, *op. cit.*, p. 137;

constelação de Cassiopéia surgira uma “nova estrela”. Apesar do célebre Michael Mästlin e Thomas Digges também terem visto e deduzido que tal brilho era de fato de uma estrela, foi Brahe que por dezoito meses observou e acompanhou o seu movimento no céu, e que publicou, em 1573, suas conclusões na obra *De stella nova*.

O objetivo principal da observação sistemática dessa “nova estrela” era verificar, através da medição da paralaxe, se o fenômeno era relativo ao mundo sublunar, como no caso dos arco-íris e meteoros¹⁴², ou do mundo supralunar, ambiente dos planetas e da esfera das estrelas. Um astrônomo puramente aristotélico não se preocuparia tanto com o novo evento, uma vez que, para Aristóteles, os céus são imutáveis. Porém, a conclusão apresentada pelos três astrônomos era a mesma e contundente: não havia paralaxe detectável, por isso, era um evento do mundo supralunar.

Tycho Brahe classificou essa descoberta como a “fundação do renascimento da Astronomia”¹⁴³, mas não pelo fato de que essa “nova estrela” desmentiria o modelo aristotélico, mas porque possuía dados suficientes para confirmar suas conclusões. Como nos conta Verdet,

“o fato de Tycho Brahe julgar que a nova estrela era um milagre enfraquecia a sua conclusão: aliás Maestlin, que chegara às mesmas conclusões, não deduziu daí que o “milagre” pudesse refutar a cosmologia de Aristóteles. De fato, desse ponto de vista, uma estrela nova não punha em risco a imutabilidade dos céus, como a ressurreição de Lázaro não faria duvidar da mortalidade humana. (...) Cinco anos depois, a aparição de um cometa dará a

¹⁴¹ J-P. Verdet, *op. cit.*, pp. 97-8;

¹⁴² No século XVI os astrônomos achavam que os cometas eram fenômenos do mundo sublunar. Tycho Brahe também estudou os cometas e concluiu que se tratavam de corpos celestes do mundo supralunar. Sobre esse tema, Cibelle Celestino Silva escreveu um artigo bastante interessante intitulado “A natureza dos cometas e o “escorregão” de Galileu” na Revista Scientific American Brasil: Os grande erros da ciência: 20-5;

¹⁴³ Tycho Brahe *apud* M. B. Hall, *The Scientific Renaissance 1450 – 1630*, p. 111;

Tycho a oportunidade de renovar sua exploração observacional e iconoclasta”.¹⁴⁴

A fama obtida por meio da publicação do *De Stella Nova* ajudou Tycho Brahe a continuar sua prática empírica. Frederick II, rei da Dinamarca, ofereceu ao astrônomo todo o feudo da ilha de Hveen. Lá ele mandou construir o castelo de Uraniborg, com observatórios e oficinas para a confecção de grandes instrumentos astronômicos.

Em Uraniborg, Brahe foi capaz de catalogar mais de 700 estrelas, mapear os movimentos do Sol, da Lua e dos planetas, além de apurar as medidas das posições dos astros até o limite da precisão do olho humano por meio de novas técnicas que ele mesmo desenvolveu. Também acompanhou a passagem de seis cometas, sempre concluindo que se tratava de eventos ocorridos acima da esfera da Lua. Mais do que isso,

“tentando determinar suas trajetórias, concluiu que esses corpos celestes se moviam ao redor do Sol em percursos alongados, que pensou serem ovais. Além disso, verificou que eles chegavam a distâncias próximas ao Sol, depois se afastavam muito – o que era incompatível com a idéia de que existiam, no céu, esferas transparentes que transportavam os astros”.¹⁴⁵

Essa conclusão se tornou o segundo e decisivo golpe contra suas crenças em alguns tópicos da cosmologia aristotélica. Como descreveu na sua obra *De Mundi Aetherei Recentioribus Phaenomenis* de 1588:

“Não há realmente nenhum orbe [esferas] no Céu... estes, os quais os Autores [filósofos] inventaram para salvar as aparências, só existem na imaginação, de forma que os movimentos dos planetas em suas trajetórias devem ser compreendidos pelo intelecto, e podem ser (depois de uma interpretação geométrica)

¹⁴⁴ J-P. Verdet, *op. cit.*, p. 108;

¹⁴⁵ C. C. Silva, “A natureza dos cometas e o escorregão de Galileu” in *Revista Scientific American Brasil: Grandes erros da Ciência*, p. 25;

resolvidos pela aritmética na forma de números. Deste modo, parece em vão empreender o trabalho de tentar descobrir o verdadeiro orbe ao qual o cometa deve estar associado, para que girem juntos. Esses filósofos modernos concordam com a crença quase universal da antiguidade que assegurava como certo e irrefutável que os céus estavam divididos em vários orbes de dura e impenetrável matéria, de modo que as estrelas [astros] estão forçados a girar com elas. Mas mesmo se não existisse nenhuma outra evidência, os próprios cometas poderiam nos convencer de forma lúcida que esta opinião não corresponde à verdade. Pois os cometas por muitas vezes já foram discernidos, como resultado da maioria das observações e demonstrações, ao completar seus trajetos no mais elevado Éter, e não podem, forma alguma, ser arranjados ao redor de nenhum outro orbe.”¹⁴⁶

Se as esferas de cristal (orbes) não podem mais existir, o que está sustentando os planetas e as estrelas, o Sol e a Lua no mundo supralunar? Interessado por essas questões, Brahe elaborou e publicou na obra anteriormente citada um modelo de universo que, segundo ele, era compatível com a Física e a Matemática conhecidas, bem como com as Sagradas Escrituras. Tycho Brahe era contra o modelo de Copérnico, principalmente no que diz respeito ao movimento da Terra. A constatação do movimento dos cometas independente de um condutor era mais um fator contra a hipótese copernicana, uma vez que nesse modelo, a Terra e os outros astros eram movidos pelos seus orbes.

“Dados de confiança, extensos e atualizados são a primeira contribuição de Brahe para a solução do problema dos planetas. Mas ele tem outro papel e maior na Revolução Copernicana como autor de um sistema astronômico que rapidamente substituiu o sistema de Ptolomeu como ponto de reunião para aqueles astrônomos eficientes que, como o próprio Brahe, não podiam aceitar o movimento da Terra.”¹⁴⁷

¹⁴⁶ T. Brahe *apud* M. B. Hall, *op. cit.*, p. 114;

¹⁴⁷ T. S. Kuhn, *op. cit.*, p. 234;

Na sua hipótese, Saturno, Júpiter e Marte giram ao redor do Sol (central) num movimento anti-horário, em grandes órbitas. Vênus e Mercúrio também, mas em órbitas menores, mais próximas do Sol do que da Terra. O Sol, por sua vez, gira em uma órbita centrada na Terra, carregando consigo os planetas já descritos. No sistema ticomico (como ficou conhecido), como a Terra não possui movimento, todo o resto do arranjo deveria circular ao redor dela em apenas um dia, para explicar o “movimento diário da esfera celeste”.

Brahe acreditava que seu sistema estava livre dos erros que havia encontrado tanto no sistema copernicano como no ptolomaico. Porém, a análise do seu modelo levantava outras questões que não existiam anteriormente, como por exemplo, o fato da órbita de Marte interceptar a órbita do Sol: não poderiam estes dois astros se chocar?

Embora promettesse que em sua próxima obra apresentaria detalhes mais acertados do seu sistema, isso nunca veio a acontecer. Tycho Brahe não tinha conhecimento matemático suficiente para solucionar os problemas que seu modelo apresentaria. Apesar de ser o retentor dos dados mais precisos de sua época, não possuía a habilidade teórica de manejá-los a favor de seu sistema. Por ser um astrônomo renomado, seu modelo cativou muitos astrônomos que também discordavam do “primeiro movimento” da teoria copernicana, mas eram atraídos pela sua eficiência matemática.

Foi nesse ínterim que Tycho Brahe teve acesso ao *Mysterium Cosmographicum*. Como vimos, Kepler sabia muito bem manipular os dados empíricos em função de suas hipóteses. Em 1599, agora como Matemático Imperial de Praga, Brahe convidou Kepler para fazer parte de sua equipe.

Estava assim determinada uma parceria que duraria até 1601, com a morte de Tycho Brahe.

2.10 Mudança de rumos II: vida em Praga

Enquanto Brahe recebia total apoio do imperador Rodolfo II em Praga para continuar suas atividades de pesquisa astronômica, Kepler vivia um momento de crise em Graz. As mudanças impostas pela Contra-Reforma católica, na figura do arquiduque Ferdinando de Habsburgo (1503 – 1564) (que em seguida se tornaria Imperador Ferdinando II), culminaram no fechamento da Universidade de Graz. Apesar das suas boas relações com o próprio arquiduque e com o chanceler da Bavária, Herwart von Hohenburg, Kepler sabia que deveria procurar um novo lugar para continuar seu trabalho. Resolveu então responder ao convite de Tycho Brahe, feito em 1599.

Em 4 de fevereiro de 1600, Tycho Brahe e Johannes Kepler finalmente se conheceram pessoalmente. Brahe confiou a Kepler o estudo da órbita de Marte, o planeta mais difícil de ser analisado segundo o modelo geocêntrico. Mas determinar as características da órbita de Marte não era o objetivo real de Kepler: o motivo pelo qual ele havia se associado ao astrônomo dinamarquês era a qualidade e quantidade dos dados empíricos coletados pelo mesmo em muitos anos de observação dos céus. Kepler tece os seguintes comentários sobre Brahe em dois momentos distintos. Antes de conhecê-lo:

“Calemo-nos e ouçamos Ticho, que dedicou trinta e cinco anos às observações... Somente por Ticho é que eu espero; ele me explicará a ordem e a disposição das órbitas... Espero, então, um dia, se Deus me der vida, erguer um admirável edifício.”¹⁴⁸,

e após iniciar os trabalhos com ele:

¹⁴⁸ J. Kepler *apud* A. Koestler, *op. cit.*, p. 190;

“Ticho possui as melhores observações, e, por assim dizer, o material para a construção do novo edifício; possui também colaboradores e tudo quanto deseja. Falta-lhe apenas o arquiteto capaz de pôr tudo isso em uso, em conformidade com o seu projeto, porque, apesar de dispor de uma feliz inclinação e verdadeira habilidade arquitetural, está obstaculizado no progresso pela multidão dos fenômenos e pelo fato de se encontrar a verdade profundamente oculta neles. Agora, a velhice o persegue, enfraquecendo-lhe o espírito e as faculdades.”¹⁴⁹

A tarefa de determinar a órbita real de Marte levou mais tempo do que Kepler esperava e a relação entre os dois astrônomos começou a ficar fragilizada. Afora as discussões mais subjetivas (que não trataremos nesta dissertação), Brahe sabia que Kepler não abriria mão de defender o sistema copernicano em favor do seu próprio e, por isso, dificultou-lhe o acesso aos dados. De mais a mais, eles divergiam na forma de elaborar suas teorias astronômicas: Johannes Kepler, até então, elaborava uma astronomia *a priori*, ou seja, suas hipóteses eram confirmadas ou refutadas pelos dados observados, enquanto Tycho Brahe dedicava-se a uma astronomia *a posteriori*, ou seja, a teoria era modelada a partir dos dados coletados em suas observações. O problema de Marte ajuda a explicar essa consideração:

“Quando Kepler se juntou a Tycho no castelo de Benatky (fevereiro de 1600), Marte acabara de entrar em oposição ao sol, e uma tabela de oposições com observações feitas desde 1580 havia sido preparada; uma teoria também havia sido desenvolvida e representava muito bem as longitudes em oposição, com erros de apenas 2 minutos de arco. Mas as latitudes e as paralaxes anuais não podiam ser representadas pela teoria, e Kepler começou a cogitar se a idéia não estaria, afinal, errada, ainda que predissesse tão bem as longitudes de oposição. Havia alguns aspectos particulares da teoria com os quais Kepler discordava. Em primeiro lugar, Tycho tinha submetido, assim como Copérnico, o movimento dos planetas a um ponto próximo do sol. Kepler rejeitou essa idéia no seu livro, pois inferia um movimento ao redor de um ponto matemático em vez do grande astro sol.

¹⁴⁹ *Ibid.*, p. 208;

Mas também havia uma objeção de ordem prática a esse princípio. O tempo havia sido deduzido das observações das oposições – quando Marte diferia em 180° da longitude média do sol –, e foi preciso supor, portanto, que o movimento do sol (ou melhor, da terra) fosse uma quantidade conhecida¹⁵⁰,

Conforme J. L. E. Dryer apresenta, é possível concluir que Brahe não iria desfazer-se de cerca de vinte anos de observações sistemáticas em favor de uma idéia pré-concebida. Seguir a hipótese de Kepler significaria recalculá-las todo o conjunto de informações, correndo o risco de se perder a conformidade das longitudes. Antes de ser uma disputa idiossincrásica, o enfrentamento é uma demanda filosófica.

Após o falecimento de Tycho Brahe, Kepler teve acesso¹⁵¹ a todas as informações coletadas pelo astrônomo dinamarquês e, com elas, produziu mudanças significativas no pensamento astronômico da época que duram até os dias atuais. Kepler parecia ter certeza de que era realmente o “arquiteto” predestinado a construir o “edifício” da Astronomia.

2.11 *Astronomia nova*

Marte ainda era um problema a ser solucionado. Nenhum sistema de mundo até então conhecido dava conta de explicar com exatidão o movimento deste planeta. Brahe havia feito uma série de observações especiais para tentar, *a posteriori*, elucidar essa questão com seu modelo. Não conseguiu. Kepler tentou de várias formas conciliar a órbita de Marte com o referencial

¹⁵⁰ J. L. E. Dryer, *op. cit.*, p. 380;

¹⁵¹ É fato que Kepler teve acesso aos dados de Tycho Brahe, mas não foi fácil obtê-los, uma vez que o direito do uso das informações coletadas passou a ser da família, como acontece com as heranças. Foi preciso que o próprio Imperador Rodolfo II interviesse na questão, adquirindo da família tanto os dados, assim como os instrumentos. Kepler também se

terrestre, assim como exigia o modelo ticônico. Por mais que tentasse encontrar um conjunto de círculos que “salvasse os fenômenos”, os resultados obtidos apontavam erros superiores àqueles que Kepler considerava dignos de fazer jus ao trabalho de Tycho Brahe.

“Desenvolver a teoria de Marte significava, conseqüentemente, calcular a posição da linha das apsides¹⁵² e o valor da excentricidade. Como o círculo é definido por três pontos, para resolver este problema era necessário conhecer três pontos da órbita desse planeta. Esses pontos foram obtidos nas observações da oposição, porque (para usar as palavras de Copérnico), na oposição, é indiferente ter o observador em uma terra em movimento ou em um sol estacionário, visto que, nessa configuração, planeta, terra e sol situam-se em uma linha reta. Tycho Brahe tinha um conjunto de dez dessas oposições de Marte dos anos de 1580 a 1600 (mais tarde em 1602 e 1604, Kepler adicionou mais duas). (...) Naturalmente o resultado tinha que ser o mesmo a cada tentativa – sem importar qual grupo de três oposições era tido como base – se e somente se as hipóteses do formato da órbita e do tipo de movimento estivessem corretas.”¹⁵³

A revisão do modelo inicial parecia ser a solução mais indicada: “de todos os planetas observáveis (...), Marte é o que tem a órbita mais excêntrica; aliás, é devido a essa particularidade que a descrição de seu movimento por combinações de movimentos circulares é tão difícil.”¹⁵⁴ Como já discutimos anteriormente, os movimentos dos planetas deveriam sempre ser circulares e uniformes, ou seja, de acordo com a física aristotélica. Revisar o modelo inicial significa, portanto, repensar forma e princípio: talvez as órbitas não devessem

comprometeu a utilizar os dados não em benefício próprio, mas para engrandecer o trabalho de Brahe.

¹⁵² A linha de apside é a linha que passa pelos pontos de máxima aproximação e afastamento de um planeta em relação ao Sol;

¹⁵³ M. Caspar, *op. cit.*, p. 126;

¹⁵⁴ J-P. Verdet, *op. cit.*, p. 118;

ser necessariamente circulares, nem as velocidades dos planetas constantes, talvez ambas as considerações devessem ser notadas.

Mas, lembremos o que aconteceu com Copérnico – mudar um paradigma implica também em substituí-lo completamente, ou sofrer as conseqüências. Kepler, no *Mysterium Cosmographicum*, já tinha atribuído ao Sol uma propriedade elementar: a de ser a alma motora dos planetas¹⁵⁵. Portanto, com as órbitas centradas no Sol (e não num ponto geométrico como propuseram Copérnico e Brahe – o Sol mediano), os planetas teriam suas velocidades alteradas quando estivessem mais perto (aumento da velocidade) ou mais afastados (diminuição da velocidade) dele. Seria o fim da obrigatoriedade da uniformidade do movimento no éter? Quais argumentos teóricos sustentariam essa idéia?

Em 1600, William Gilbert publicou *De Magnete*, uma obra sobre a propriedade dos ímãs baseado em observações e experiências que ele próprio fizera. Nessa obra, Gilbert comparou a Terra a um imenso ímã, com um pólo norte e um pólo sul, e explicou por que as bússolas não apontavam de maneira precisa para o Norte. “Em sua descrição, a Terra era um ímã e o magnetismo era mais bem compreendido se concebido como uma força animista.”¹⁵⁶ Essa idéia animou Kepler, que elegeu a força magnética, oriunda do Sol, a responsável pelo movimento de todos os planetas.

Dessa forma, Kepler introduziu uma concepção física nos conceitos astronômicos – exatamente o que se esperava de Copérnico. Em seu benefício, essa análise não feria como um todo a física aristotélica, uma vez

¹⁵⁵ Cap. I, p. 49;

¹⁵⁶ A. G. Debus, *op. cit.*, p. 162;

que, em Aristóteles, a força é proporcional à velocidade. “Para explicar por que razão estes [planetas] não giram todos à mesma velocidade como os raios de uma roda, invoca a inércia, que é distinta para cada planeta e que faz com que eles se atrasem mais ou menos em relação à velocidade de rotação do Sol.”¹⁵⁷

Cabe aqui explicarmos a questão da inércia para Kepler. Para tanto, utilizaremos as palavras de Koyré:

“A inércia kepleriana, como bem se sabe, é algo muito diferente da inércia da [atual] física clássica. A inércia kepleriana exprime a resistência do corpo grave ao movimento (e não ao seu pôr-se em movimento ou aceleração), a sua tendência natural para o repouso. E assim – graças à inércia –, todo o movimento implica um motor, e privado deste, acaba por se consumir e por desaparecer. A persistência eterna de um movimento – qualquer que seja – é inconcebível para Kepler. A inércia, resistência interna ao movimento, desempenha na física de Kepler um papel análogo àquele que a resistência externa do meio desempenha na de Aristóteles; assim, Kepler estima que se os corpos não fossem dotados de inércia, o movimento seria instantâneo.”¹⁵⁸

Nesse ponto, Kepler é inovador em relação à física aristotélica, pois não relaciona o estado de repouso de um corpo com o seu “lugar natural”. Assim, a divisão dos movimentos (naturais ou violentos do mundo sublunar e naturais uniformes do mundo supralunar) não cabem nem na física, nem na cosmologia de Kepler.

Se Kepler viu no Sol uma solução para a variação da velocidade dos planetas, restava-lhe ainda encontrar a melhor forma para as órbitas. Sabemos que Kepler era um excelente matemático e habilidoso com os números. Em suas tentativas, estabeleceu um método de verificação que consistia em medir a distância dos planetas em relação ao Sol em pontos específicos de sua

¹⁵⁷ Y. Gingras, P. Keating e C. Limoges, *Do Escriba ao Sábio: os Detentores do Saber da Antiguidade à Revolução Industrial*, p. 212;

órbita. O somatório dessas distâncias correspondia ao tempo empregado pelo planeta para percorrer sua órbita.

“Ele dividiu metade da órbita circular começando de um apside até 180° , calculou a distância até o sol de cada um desses pequenos arcos graduados (fazendo com que o semi-diâmetro (raio) da órbita fosse igual a um) e somou esses 180 números. Esta soma forneceu a ele o intervalo de tempo que leva a Terra para completar metade de sua órbita. Se ele quisesse calcular o tempo gasto pela Terra para percorrer 50° a partir do apside, ele somava os 50 primeiros valores de distância. A razão, portanto, dessa soma em relação à anterior é a mesma que a do tempo transcorrido até a metade do período de revolução”¹⁵⁹.

Tal cálculo era demasiadamente extenso e cansativo. Na procura por um atalho, Kepler lembrou-se de um trabalho de Arquimedes¹⁶⁰ e substituiu o somatório das distâncias pela área correspondente, que era mais simples de ser calculada. Estava lançada a base do que conhecemos hoje como “Segunda Lei de Kepler” ou “lei das áreas”: o raio vetor descreve áreas iguais em tempos iguais.

Este procedimento trazia bons resultados para a órbita da Terra (para a precisão da época), mas só um planeta com grande excentricidade como Marte poderia confirmar se a substituição do somatório pela área seria válida. Seria preciso, mais uma vez, rever as hipóteses originais.

Definitivamente, a órbita de Marte não poderia ser uma circunferência. A equação da circunferência pode ser obtida através do conhecimento de três pontos, como vimos anteriormente. Porém, ao substituir qualquer um dos três

¹⁵⁸ A. Koyré, *Estudos Galilaicos*, p. 231;

¹⁵⁹ M. Caspar, *op. cit.*, p. 132;

¹⁶⁰ “Desde que eu estive ciente do fato de que há uma infinidade de pontos numa órbita e conseqüentemente infinitas distâncias, pensei que todas essas distâncias estão contidas no plano da órbita. Lembro-me que uma vez Arquimedes também dividiu o círculo em infinitos triângulos da mesma maneira porque ele tentou encontrar a razão entre a área da circunferência e o diâmetro” *in* Kepler *apud* M. Caspar, *op. cit.*, p. 132;

dados necessários por outro, Kepler obtinha uma equação diferente, ou seja, uma circunferência diferente. Resolveu focar seu esforço nos dados de afélio e periélio: determinando a distância da linha das apsides, era possível encontrar o raio da órbita do planeta e com ele calcular a área de acordo com sua última conclusão. Os resultados encontrados não eram favoráveis às suas hipóteses.

Kepler não mediu esforços para encontrar a forma real da órbita do planeta vermelho: recalculou posições, testou os dados em algumas formas ovais, obteve novos dados de observação, e até cogitou utilizar-se de um epiciclo para solucionar esse complicado enigma. Chegou a escrever para um amigo o seguinte comentário: “Se a órbita fosse somente uma elipse, o problema já teria sido resolvido por Arquimedes e Apolônio”¹⁶¹. Mas não seria bem assim. Após muitas idas e vindas, Kepler conseguiu descrever a órbita de Marte por meio de uma elipse matematicamente correta e generalizou sua descoberta ao afirmar, como atualmente conhecemos como “Primeira Lei de Kepler”, que os planetas descrevem trajetórias elípticas tendo o Sol em um dos focos.

Todas essas considerações formam o *Astronomia Nova αιτιολογητος seu Physica Coelestis, tradita commentariis de Motibus stellae Martis* (1609). Composta por setenta capítulos, essa obra apresenta não só as suas idéias de uma Astronomia em harmonia com a Física, mas a longa e penosa trajetória que teve de percorrer para, entre outros, cumprir com a promessa que fez a Tycho Brahe de usar os seus dados a favor de seu modelo, discutindo também

¹⁶¹ M. Caspar, *op. cit.*, p. 133;

os modelos de Copérnico e o de Ptolomeu, além de tratar das suas próprias concepções de universo.

2.12 Do *Astronomia Nova* ao *Harmonices Mundi*: entreto

Muito aconteceu na vida de Kepler no período que se estende da publicação do *Astronomia Nova* ao *Harmonices Mundi*. Relatar aqui todos os acontecimentos significativos seria impossível. Portanto apresentaremos os que consideramos mais importantes.

Com o falecimento de Tycho Brahe (1601), Kepler assumiu o posto de matemático imperial em Praga. Para poder apossar-se dos dados de seu mestre, Kepler precisou comprometer-se com a família de Brahe a completar e publicar a obra iniciada por ele, o *Tabulae Rudolphinae*. Isso só viria a acontecer no ano de 1627.

“As novas tabelas planetárias, o *Tabulae Rudolphinae*, na qual Kepler trabalhou por tantos anos, foram publicadas em 1627 em Ulm, sendo impressas sob a supervisão pessoal de Kepler, que deixara Linz para Ulm no final do ano anterior. É peculiar da nobre mente do autor que ele exprima, na primeira página, que as tabelas contêm a restauração da astronomia, concebida e conduzida “a Phoenice illo astronomorum TYCHONE^{162,163}”.

Mesmo determinado a encontrar a forma exata da órbita dos planetas e outros mistérios do universo, Kepler também se ocupou de outros assuntos – todos relacionados com a astronomia. Para acompanhar o eclipse solar de 10 de julho de 1600, construiu seus próprios instrumentos e realizou desenhos com o auxílio de uma câmera escura de orifício. Apesar de serem estudados desde a Antigüidade, os eclipses solares e lunares ainda não estavam

¹⁶² Pode ser assim interpretado: na figura única do astrônomo Tycho Brahe;

totalmente elucidados, tanto que o próprio Tycho Brahe negara a possibilidade da ocorrência de eclipses solares totais.

“As muitas observações cuidadosamente reunidas por Kepler, tanto da literatura clássica quanto dos relatos contemporâneos, ou não se correspondiam com freqüência ou não estavam de acordo com os cálculos no que se refere à passagem do tempo e ao tamanho do obscurecimento, conforme o grau exigido por uma boa teoria. Poderia haver várias razões para essas discordâncias. Elas poderiam originar-se do fato de que os valores numéricos em que se basearam os cálculos de tamanho e distâncias dos dois corpos celestes eram inexatos, ou do fato de que o fenômeno dos movimentos do sol e da lua ainda não havia sido dominado. A causa poderia, no entanto, também estar num procedimento de observação demasiadamente rústico que não levou em consideração certas circunstâncias externas e se baseou excessivamente em estimativas em vez de métodos de medição pesados.”¹⁶⁴

Kepler então se dedicou a estudar o fenômeno óptico da refração para melhorar ainda mais a experiência da observação astronômica. Examinou com cuidado a obra de Pólo Witelo (Vitellio) (1230c. – 1275c.), de 1270, na qual o autor, conhecedor dos tratados ópticos de outros pensadores como Al-Hazem, Ptolomeu e Euclides, trata dos temas de aspectos físicos da óptica e fisiologia da visão. Suas conclusões foram publicadas no *Ad Vitellionem Paralipomena, quibus Astronomiae Pars Optica traditur* (1604): entre elas, sua concepção metafísica sobre a natureza da luz – modo pelo qual Deus forma todas as coisas e lhes dá vida –, a compreensão que a intensidade da luz é inversamente proporcional ao quadrado da distância, e a observação criteriosa dos diâmetros aparentes dos corpos celestes e dos eclipses.

Em 1610, Kepler fora informado que em Pádua, Galileo Galilei (1564 – 1642) havia descoberto quatro novos planetas observando o céu por meio de

¹⁶³ J. L. E. Dryer, *op. cit.*, p. 404;

uma luneta. A notícia deixou Kepler ansioso por mais informações, uma vez que, no seu *Mysterium Cosmographicum*, havia justificado a razão pela qual a quantidade e a ordem dos planetas eram aquelas conhecidas.

Galileu havia realizado uma série de observações do céu com um “tubo óptico” (luneta ou telescópio refrator) com capacidade de aumento de vinte vezes. Com ela, foi capaz de verificar que a superfície da Lua era constituída por crateras e montanhas; que inúmeras outras estrelas, invisíveis aos olhos nus, apareciam próximas às estrelas conhecidas em seu campo de visão; e que a Via-Láctea era constituída por um conjunto de milhares de estrelas. Mas a principal descoberta de Galileu tratava-se da observação de Júpiter: ao longo de uma semana, percebera que o planeta era circulado por quatro “outras estrelas”, que batizou com o nome de “Medicea Siderea” em homenagem ao Grão Duque de Toscana. A apresentação das suas observações são relatadas na obra *Sidereus Nuncius* (1610).

Kepler, que já havia tentado estabelecer contato com Galileu na época da publicação do *Mysterium Cosmographicum*, obteve uma cópia do *Sidereus Nuncius* por meio do embaixador da Toscana, Juliano de Médicis. Em poucos dias, escreveu uma carta conhecida como *Dissertatio cum nuncio sidereo*, na qual dava apoio incondicional às descobertas feitas pelo astrônomo italiano e aproveitava para relatar suas próprias experiências com os cálculos da órbita de Marte e com a refração da luz.

“Não há dúvida (como você, Galileu, elegantemente infere) que se há quatro corpos orbitando ao redor de Júpiter, enquanto este segue um curso de 12 anos, não será absurdo o que disse

¹⁶⁴ M. Caspar, *op. cit.*, p. 143;

Copérnico: que há mesmo uma Lua que acompanha a Terra em seu movimento anual”¹⁶⁵.

Desta vez – treze anos depois da primeira tentativa de Kepler – Galileu respondeu a essa carta agradecendo a iniciativa da defesa de suas conclusões¹⁶⁶. Mas foi só. Os dois astrônomos diferiam muito na sua forma de pensar o Universo e, por mais que Kepler insistisse, Galileu mantinha-se distante: “é claro que compartilhava com Kepler a fé no heliocentrismo, mas as justificativas místicas, astrológicas e musicais da estrutura poliédrica do mundo só o faziam pôr-se em guarda contra um espírito tão distante do seu”.¹⁶⁷ Indiretamente, por meio de amigos em comum, como Juliano de Médicis, Kepler ainda soube que Galileu “descobrira”¹⁶⁸ os anéis de Saturno e que, como a Lua, Vênus possuía fases.

Kepler também pôde fazer observações do céu com o uso de uma luneta – emprestada pelo duque da Baviera, Ernst de Colônia. Ao longo de dez dias, ele observou Júpiter e, no relatório de nome *Narratio de Jovis satellibus* (1611), confirmou empiricamente as descobertas de Galileu. Mas a principal contribuição de Kepler viria em seguida: *Dioptrice*, de 1611, obra na qual ele

¹⁶⁵ J. Kepler, *Dissertatio cum nuncio sidereo*, p. 144;

¹⁶⁶ Visualizar os céus com uma luneta não era tarefa simples: a luneta era um instrumento relativamente novo, usado mais para se olhar os objetos na terra mesmo. Muitos daqueles que eram convidados por Galileu a olhar pelo instrumento não conseguiam tirar proveito do mesmo. “Um assistente de Magini disse a Kepler que tinha testado de diversas maneiras o instrumento de Galileu fazendo observações do céu e de objetos terrestres. Chegara à conclusão de que, na Terra, o aparelho era maravilhoso, mas que no céu era enganoso porque desdobrava as estrelas. Por isso, na sua opinião, os satélites de Júpiter eram fictícios.” Y. Gingras, P. Keating e C. Limoges, *op. cit.*, p. 218;

¹⁶⁷ J-P. Verdet, *op. cit.*, p. 128;

¹⁶⁸ Na verdade, Galileu acreditara que havia descoberto dois satélites de Saturno, como relata num anagrama enviado para Kepler: *smaismrmilmepoetaleumibunenugttaurias*, ou melhor, *altissimum planetarum tergeminum observavi*, ou seja, observei o mais alto planeta sob forma tríplice. A descoberta das fases de Vênus também chegou a Kepler na forma de anagrama: *Haec immatura a me iam frustra legunturoy*, ou melhor, *Cynthiae figuras aemulatur mater amorum*, isto é, a mãe dos amores imita as formas de Cynthia.

explica matematicamente o funcionamento das lentes nos telescópios refratores. Interessante registrar que, na época, os filósofos naturais se interessavam mais pela reflexão dos espelhos esféricos que pelas imagens deformadas conjugadas pelas lentes alongadas, isso porque, na obra de bastante prestígio intitulada *Magia naturalis* (1589) de Giambattista della Porta, o autor relata que as lentes só serviam àqueles que quisessem impressionar um auditório com a ajuda de truques e artifícios. Aos filósofos naturais os espelhos, aos mágicos, as lentes!

Ao contrário do que se possa imaginar, Kepler não se dedicava apenas a uma obra de cada vez. Seus projetos eram muitos e a sua produção incansável. Ao mesmo tempo em que se dedicou a completar as *Tabulae Rudolphinae* (1627), publicou duas obras muito significativas: em 1619, o *Harmonice mundi librum V* e, em 1621, o *Epítome Astronomia Copernicae*. Neste último, Kepler dedicou-se a retratar o modelo copernicano de universo de acordo com as próprias conclusões abordadas no *Mysterium Cosmographicum*, *Astronomia Nova* e *Harmonice mundi*. Como sabemos, é no *Harmonice mundi* que o objeto de estudo desta dissertação, a “terceira lei”, é apresentado pela primeira vez. Vamos, portanto, a ele.

2. 13 Conclusão do Capítulo II

Após termos percorrido uma parte expressiva da biografia de Kepler, precisamos condensar aqui certas particularidades da sua personalidade e do seu trabalho, e relacioná-las com as características do período histórico para que possamos continuar com a nossa investigação.

Kepler viveu num período marcado por transformações políticas, sociais, religiosas, educacionais e científicas. Sua formação e produção intelectual estão intrinsecamente ligadas ao pensamento de sua época – e esta é uma época de transição. “Tradição e reforma”, “antigos e modernos”, “clássico e novo” são termos antagônicos largamente usados pelos historiadores da ciência na tentativa de caracterizar o Renascimento.

Seguramente é um período de incertezas: os modelos clássicos são constantemente questionados e outras interpretações do mundo são anunciadas. As novas informações – oriundas de diversas fontes, como a releitura dos originais gregos, de análises matemáticas, de experimentações e observações – não promovem uma ruptura definitiva com o pensamento anterior, mas criam a instabilidade necessária para originar uma nova forma de pensar.

O *De Revolutionibus* de Copérnico (uma reinterpretação filosófica, religiosa e matemática do modelo de Ptolomeu), não conseguiu, sozinho, decretar a nova ordem do mundo, mas desestabilizou o cenário da astronomia e da física aristotélicas ao colocar o Sol como centro dos movimentos planetários e a Terra em movimento. Tycho Brahe, astrônomo excelente e publicamente contrário à hipótese copernicana do movimento da Terra, também contribuiu para essa instabilidade ao analisar os movimentos dos cometas, o surgimento de novas estrelas, e ao propor um modelo no qual os planetas giram ao redor do Sol. Galileo Galilei, um copernicano comedido, trouxe à tona quatro satélites que giravam ao redor de Júpiter e um novo aspecto para a Lua, mas permaneceu fiel à física aristotélica ao manter a

hipótese dos cometas serem fenômenos atmosféricos e da existência dos orbes celestes.

Eis um dos motivos de tanta incerteza: nesse período não há uma teoria que explique conjuntamente a dinâmica dos céus e da Terra como fizera Aristóteles. As novas cosmologias não trazem consigo uma nova física, e as teorias acabam sendo apenas parcialmente aceitas pelos filósofos.

“Esta revolução conceitual [revolução astronômica] realizou-se numa época em que o estatuto social do detentor do saber não era diferente da Idade Média e podemos dizer que Copérnico e os grandes astrônomos da geração seguinte, como Tycho Brahe e Johannes Kepler, foram figuras de transição. Ganhando raízes no quadro universitário medieval, mas influenciados pelo neoplatonismo do Renascimento, os seus trabalhos destruíram o cosmos ptolomaico sem todavia o conseguirem substituir por uma nova ordem tão coerente como a que fora dada por Aristóteles.”¹⁶⁹

Não haveria de ser diferente para Kepler: copernicano convicto, justificou e reformou o modelo heliostático segundo as suas próprias conclusões. Apesar de ter atribuído causas físicas a algumas de suas hipóteses – por exemplo, a variação da velocidade dos planetas em suas órbitas é justificada pela força que o Sol exerce sobre eles – e ter rompido com a tradição do movimento circular uniforme dos corpos etéreos, recorreu também à mística pitagórica e platônica dos sólidos regulares, bem como das proporções harmônicas.

Essa forma de agrupar e relacionar teorias de diversas origens é uma das características do Renascimento, o que faz de Kepler mais um

¹⁶⁹ Y. Gingras, P. Keating e C. Limoges, *Do Escriba ao Sábio: os Detentores do Saber da Antiguidade à Revolução Industrial*, p. 193;

representante do período, nem o melhor, nem o pior. Intriga-nos as palavras de

Maria Boas Hall:

“De todos os astrônomos do período pós-copernicano, o mais difícil de estimar e apreciar é Johannes Kepler. Não foi um grande astrônomo empírico – a visão deficiente poderia tê-lo impedido de tentar – insistia, entretanto, na concordância justa entre a teoria e a observação mais do que qualquer outro astrônomo anterior ao seu tempo. Um calculador apaixonadamente devotado e um místico matemático neoplatônico extremo: só se importava com aquelas representações matemáticas dos céus que ofereciam a possibilidade da interpretação por termos físicos. Místico e racional, matemático e semi-empírico, ele constantemente transformou aparentes absurdos metafísicos em relações astronômicas da mais alta importância e originalidade. Imensamente arrogante na sua convicção de que possuía a chave certa para os mistérios do universo, e até mesmo para a estrutura planejada por Deus no momento da criação, sempre reconheceu sua dívida com os seus predecessores. Realizou suas façanhas com a mais alta seriedade, e deixou uma elaborada trilha de procedimentos pelos quais chegou às leis do comportamento planetário, que levam seu nome e pelas quais é lembrado; ainda que nunca as tivesse chamado de leis, nem distinguido essas das outras, igualmente preciosas para ele, grande parte das quais foram acertadamente esquecidas. Seu melhor trabalho foi totalmente dependente das observações de Tycho Brahe, além de ser um copernicano firme e decidido. Foi um trabalhador prodigioso, autor de cerca de doze livros sobre astronomia, óptica, matemática e religião, e, ao mesmo tempo, administrou uma volumosa correspondência. Ainda que suas teorias tivessem tido pouca influência sobre seus contemporâneos, pois os trabalhos nos quais elas estavam inseridas possuíam um estilo excêntrico para os mais capazes astrônomos de sua época – homens cautelosos demais e que muito desprezavam as noções ocultas e místicas e que, por essa razão, não se dariam ao trabalho de analisá-las de forma apropriada; e a geração dos copernicanos místicos como Digges e Gilbert estava quase toda morta por volta de 1600 – antes, por assim dizer, que Kepler tivesse feito qualquer contribuição real para a astronomia teórica. Paradoxalmente, as idéias de Kepler foram realmente apreciadas pela primeira vez pela geração intensamente racional de cientistas que vieram após 1660, que viram a possibilidade de aplicá-las ao sistema mecânico de universo e as retiraram do contexto místico no qual Kepler as inseriu.”¹⁷⁰

Apesar dessa excelente descrição do perfil intelectual e emocional de Kepler, ela tenciona – no início e no final da sua descrição – deslocá-lo de seu tempo e espaço. Perguntamo-nos: estaria Kepler, ao mesmo tempo, atrasado e adiantado em relação aos seus contemporâneos? Atrasado, pois como a autora sugere, foi um dos últimos copernicanos místicos a contribuir com a astronomia do período. Adiantado, pois algumas de suas conclusões foram apreciadas pela geração sucessora de pensadores que primavam pelo racionalismo. Se empregarmos a lógica da autora, não estaria Kepler justamente adiantado em relação aos copernicanos místicos de sua época por ter conseguido reunir em seus trabalhos um maior número de evidências – teóricas, empíricas, místicas e religiosas – que efetivamente fortaleceram a hipótese de Copérnico em relação à astronomia e à física aristotélicas? Por outro lado, não estaria Kepler atrasado em relação aos seus sucessores, pois sua astronomia *a priori* precisava estar de acordo com o ideal pitagórico e platônico de um Deus geômetra e bom?

Além das considerações feitas acima, podemos nos perguntar se Kepler teria tido êxito no seu trabalho se não fosse por sua motivação mística e religiosa. Que outros caminhos Kepler poderia ter trilhado para chegar às mesmas conclusões? A “ciência moderna” é enfraquecida por ter como base as conclusões provenientes do pensamento místico de Kepler? Ou ainda, cabe aqui uma pergunta ainda mais primária: o que são, efetivamente, o “pensamento místico” e a “ciência” nos séculos XVI e XVII?

Se a mística de Kepler teve origem no pensamento pitagórico e platônico, ela era necessariamente fruto de seu tempo e de seu espaço. Se

¹⁷⁰ M. B. Hall, *op. cit.*, pp. 287-8;

durante a Idade Média o mundo ocidental dedicou-se a estudar Aristóteles, no Renascimento, Platão foi redescoberto e, com ele, o neoplatonismo de Plotino, as idéias de Santo Agostinho e outros autores medievais como Nicolau de Cusa. Em comum, a crença na superioridade divina e o esforço de compreendê-la na sua totalidade. Para tanto, era preciso ter liberdade religiosa para que essas discussões tivessem sentido. Na Europa renascentista, isso era mais presente nas cidades que adotaram o credo luterano que nas cidades católicas. Portanto, é impossível deslocar Kepler do seu tempo e do seu espaço. Se a “ciência” no Renascimento apresentou-se nas tentativas de retratar o mundo de acordo com modelos matemáticos, nos cálculos e experimentos que buscavam aproximar os homens de Deus e na revelação dos segredos ocultos na natureza, então, mais uma vez, é impossível deslocar Kepler do seu tempo e do seu espaço.

“O Renascimento, ao contrário do que se costuma imaginar, não representa a grande arrancada inicial da ciência moderna, que, na verdade, teve de romper com essa concepção do mundo de semelhanças. Mas, aqui e acolá, de um modo difuso, o Renascimento já prepara o terreno para essa ruptura.”¹⁷¹

Consideramos bastante acertadas as palavras de J. E. McGuire e P. M. Rattansi no artigo “Newton e as Flautas de Pã”, publicado no *Notes and Records of the Royal Society* 21 (1966) e reproduzido na obra *Newton: textos, antecedentes e comentários* de I. B. Cohen e R. S. Westfall:

“A aparente contradição entre essa filosofia neoplatônica tradicional e o severo indutivismo dos *Principia* desfaz-se ao examinarmos mais de perto o modo como Newton modificou a filosofia “mecânica” da natureza que era corrente em anos anteriores do século. Em certo sentido, ele a ampliou, permitindo a entrada de forças inexplicadas em suas explicações dos

¹⁷¹ Coleção Os Pensadores, *op. cit.*, p. 148;

fenômenos; mas, em um sentido mais profundo, restringiu-a, especialmente em suas pretensões de conhecimento do mundo natural. Um sinal dessa abordagem restritiva surgiu em seu trabalho inicial em óptica. Neste, Newton rejeitou as hipóteses arbitrariamente formuladas por filósofos como Descartes e Hooke, porque estes não poderiam deduzir delas os fenômenos da natureza, e porque seus mecanismos pictóricos eram incompatíveis com as leis desses fenômenos. Para Newton, a fonte do erro desses filósofos estava em não reconhecerem suficientemente que a filosofia mecânica, rigorosamente concebida, era apenas a estimativa das forças da natureza por cálculos geométricos, em termos da matéria em movimento.”¹⁷²

Analisando a citação e relacionando-a com o que discutimos sobre Kepler nos dois primeiros capítulos desta dissertação, entendemos que, assim como Newton, Kepler soube selecionar e utilizar de maneira precisa o pensamento de sua época para desenvolver sua própria cosmologia: foi defensor de Copérnico, mas, conhecendo os defeitos de sua hipótese, corrigiu-os e tornou-a mais ampla; da filosofia pitagórica, valeu-se da combinação harmoniosa dos números; de Platão, deu nova razão aos sólidos regulares; de Ptolomeu, apropriou-se da Astrologia e da Música; de Aristóteles, aceitou a negação da infinitude do mundo; de Gilbert, usou a força magnética para invocar o poder do Sol; de Brahe, empregou seus dados para a reformulação do cosmos; entre outros. Um trabalho digno de seu tempo, algo que só Kepler e sua “imensa arrogância e convicção de possuir a chave dos segredos do Universo” poderia realizar.

¹⁷² J. E. McGuire & P. M. Rattansi, “Newton e as “Flautas de Pã” in I. B. Cohen e R. S. Westfall, *Newton: textos, antecedentes e comentários*, pp. 141-2;

Capítulo 3 – Reflexões sobre a harmonia do mundo

3.1 Introdução

Neste terceiro e último capítulo, apresentaremos nossos estudos sobre a obra *Harmonices mundi* (1619) de Johannes Kepler. Concentramos a nossa pesquisa no livro V desta obra – o livro astronômico e metafísico – mais especificamente no capítulo terceiro, intitulado “Resumo da Teoria Astronômica necessária para o estudo das harmonias celestes”. É neste capítulo que Kepler apresenta a relação matemática entre os períodos e as distâncias médias de dois planetas quaisquer: aquela que conhecemos nos dias de hoje por “terceira lei de Kepler” ou “terceira lei do movimento planetário”, ou somente, “lei harmônica”.

Inicialmente faremos uma breve apresentação desta obra e do seu momento histórico particular. Em seguida, exploraremos os dez capítulos do livro V dando ênfase aos capítulos III e IV por acreditarmos que neles obtivemos as justificativas que formalizam o campo teórico e epistemológico da “terceira lei”. Por fim, apresentaremos nossa conclusão, tal como fizemos nos dois capítulos anteriores.

Por se tratar da fonte primária essencial desta pesquisa, destacaremos os comentários e análises de Kepler a respeito de suas próprias idéias. Prevalecerá, portanto, o texto original, ou seja, um relato carregado de emoção e de razão, de fé religiosa e de certeza “científica”, de crença e de “provas” matemáticas:

“Veja, eu lanço o dado e escrevo o livro – não faz diferença se ele será lido pelos meus contemporâneos ou pelas pessoas que virão: deixe-o esperar pelo seu leitor por cem anos, já que o próprio Deus esperou por seis mil anos por alguém que O interpretasse.”¹⁷³

3.2 A idéia inicial do *Harmonices mundi* e sua produção

¹⁷³ J. Kepler, *Harmony of the World*, p. 391;

O *Harmonices mundi* foi planejado em 1599 como uma seqüência¹⁷⁴ ao *Mysterium Cosmographicum*. Como vimos¹⁷⁵ no capítulo I desta dissertação, o objetivo inicial do *Harmonices mundi* era discutir as obras *De Caelo* e *De Generatione* de Aristóteles e aprofundar algumas questões presentes no *Mysterium Cosmographicum*. Na sua correspondência com Edmund Bruce em Pádua, Herwart von Hohenburg em Munique, e Michael Maestlin em Tübingen, no período de agosto a dezembro de 1599, ele mencionou suas idéias sobre a produção de um tratado cosmográfico com o título *De harmonice mundi*. Tal obra seria baseada no *Quadrivium* e composta de cinco partes. Porém, a determinação da forma real da órbita de Marte e suas pesquisas sobre a refração da luz atrasaram Kepler nesse intento, e a conclusão dessa obra data de 1619.

“Poucas semanas depois da descoberta da órbita elíptica de Marte, Kepler expressou a Christopher Heydon a esperança que Deus o libertasse da astronomia para que ele pudesse retomar sua atenção ao trabalho sobre harmonia.”¹⁷⁶

Foi somente em 1618, mais precisamente no dia 15 de maio, que Kepler encontrou a razão exata entre os tempos de revolução dos planetas e suas distâncias médias ao Sol. Após um período infeliz de sua vida pessoal – com o falecimento de sua filha e o julgamento de sua mãe acusada de feitiçaria – a “terceira lei” confirmaria a Kepler, mais uma vez em sua trajetória de investigações, uma descoberta astronômica estabelecida *a priori*:

“Os frutos de seus trabalhos nos domínios astronômico, matemático e filosófico encheram e alimentaram seu estoque de idéias harmônicas, forneceram-lhes clareza, correção, abertura e profundidade, ofereceram suportes e apresentaram novas combinações de pensamento.”¹⁷⁷

Kepler intitulou os cinco livros que formam o *Harmonices mundi* desta forma:

1. O primeiro é geométrico, sobre a origem e construções das figuras regulares com as quais se estabelecem as proporções harmônicas;

¹⁷⁴ É possível encontrar algumas referências ao *Harmonices mundi* na segunda edição do *Mysterium Cosmographicum* (1621). Entre elas, escolhemos a seguinte: “O leitor, por outro lado, poderá considerar minha obra astronômica uma continuação genuína e adequada deste livrinho, e, principalmente, os livros do meu *Harmonices*, visto que ambos seguiram o mesmo caminho” in J. Kepler, *El secreto del universo*, p. 53;

¹⁷⁵ Conclusão do Capítulo I, p. 50;

¹⁷⁶ E. J. Aiton, A. M. Duncan e J. V. Field in J. Kepler, *op. cit.*, p. XX;

¹⁷⁷ M. Caspar, *Kepler*, p. 265;

2. O segundo é arquitetônico, ou parte da geometria das figuras, sobre a congruência das figuras regulares no plano ou no sólido;
3. O terceiro é essencialmente harmônico, sobre a origem das proporções harmônicas nas figuras, e sobre a natureza e caráter peculiar dos assuntos relacionados a música, em oposição aos antigos;
4. O quarto é metafísico, psicológico e astrológico, sobre a essência mental das harmonias e sobre os tipos de harmonias no mundo, especialmente sobre a harmonia dos raios que descendem dos corpos celestes à Terra, e sobre seus efeitos na natureza ou no mundo sublunar e na alma humana;
5. O quinto é astronômico e metafísico, sobre a mais perfeita harmonia dos movimentos celestes, e a origem das excentricidades nas proporções harmônicas;
6. O apêndice contém uma comparação deste trabalho com o livro III do *Harmonias* de Claudius Ptolomeu e com as especulações harmônicas de Robert Floods, conhecido como Fludd, o físico de Oxford, inserida no seu livro sobre o macro e o microcosmos.

O *Harmonices mundi* foi dedicado ao Rei James I da Grã-Bretanha, França e Irlanda, como ele prometera havia algum tempo. Kepler preocupava-se com a crescente tensão entre católicos e luteranos e via em James a possibilidade de união entre esses dois credos, além de saber dos interesses do rei nos assuntos filosóficos:

“Pois, primeiro, não considere inconsistente com meu dever que uma pessoa que recebesse um salário do Caesar por matemática (...) devesse portanto mostrar ao mundo externo também que providência perspicaz o Príncipe deste estado cristão tomou em favor de tais estudos divinos, e que ele deveria entender a partir do progresso ininterrupto das manifestações da paz por todas essas províncias que o rumor da guerra civil sem dúvida logo estaria extinto junto com sua realidade. (...) E, que essa discordância levemente árdua demais, como numa melodia emocional, encontra-se no ponto exato de uma resolução em agradável cadência. (...) Quem, de fato seria um assessor da benevolência imperial mais valioso que um grande rei? Que patrono mais apropriado eu poderia escolher para um trabalho sobre a harmonia dos céus, com seus traços de Pitágoras e Platão, que o rei que deu testemunho de seus estudos de conhecimentos platônicos nos parâmetros domésticos, do qual ficamos sabendo também devido à veneração pública de seus súditos? Quem, quando ainda jovem, considerou a astronomia de Tycho Brahe, na qual este trabalho se baseia, digna da superioridade de sua inclinação? Quem, de fato, ao tornar-se um homem quando no comando de seu reino, assinalou os excessos da astrologia com desaprovação pública, os quais são de fato claramente revelados no livro IV deste trabalho, em que as verdadeiras bases dos efeitos das estrelas são reveladas. Assim, ninguém pode ter nenhuma

dúvida de que você terá completo entendimento do conjunto deste trabalho e de todas as suas partes.”¹⁷⁸

Como última análise deste item, apresentamos uma consideração feita pelo historiador da Ciência Owen Gingerich, um dos mais conhecidos pesquisadores de Johannes Kepler, a respeito da escolha do título *Harmonices mundi*:

“No artigo de George Gibson e Ian Johnston sobre a física da música (*Physics Today*, Janeiro de 2002, página 42), o box de número 2 sobre as “Harmonias do Mundo” de Johannes Kepler contém dois erros interessantes. Como o “s” final numa palavra de origem latina normalmente designa um plural, numa primeira impressão, o título do *Harmonices mundi libri V* de Kepler sugere a tradução “harmonias”. Entretanto, Kepler sendo um erudito, usou *harmonice* como na palavra grega e empregou no seu término o genitivo singular grego. Devido a sua veemente crença na unidade do cosmos, ele usou a forma singular; para ele o título era “Os cinco livros da Harmonia do Mundo”¹⁷⁹.

3.3 Sobre os primeiros quatro livros do *Harmonice mundi*: início da fundamentação teórica

Por mais que a nossa atenção precise estar voltada para o quinto livro do *Harmonices mundi*, faz-se necessário também visitar os outros quatro primeiros, mesmo que brevemente, para analisarmos a fundamentação teórica utilizada pelo autor.

O primeiro livro, que trataremos apenas por “Geométrico”, é estritamente matemático. Kepler descreve a construção das figuras regulares por meio de definições (21), proposições (27), corolários (1) e comparações (2). A forma de apresentação do texto é similar a outros tratados matemáticos: as definições e proposições são geralmente acompanhadas de exemplos gráficos ou de citações que atestam as afirmações. Kepler constantemente se refere à obra *Elementos* de Euclides. Segundo os comentadores E. J. Aiton, A. M. Duncan e J. V. Field, Kepler teve acesso a pelo menos duas versões da obra de Euclides: a edição feita a partir dos textos gregos de Heiberg e outra “editada por Simon Grynaeus, impresso por Johannes Hervagius em Basel no ano de 1533”¹⁸⁰. O objetivo deste livro é descrito no primeiro parágrafo da introdução:

“devemos procurar as causas das proporções harmônicas nas divisões de um círculo em partes fracionárias iguais, as quais são feitas geometricamente e de forma acessível ao conhecimento, isto é, a partir das figuras planas regulares passíveis de construção.”¹⁸¹

¹⁷⁸ J. Kepler, *op. cit.*, pp. 2-3;

¹⁷⁹ O. Gingerich, <http://www.aip.org/pt/vol-55/iss-8/p76a.html>, acessado em 25/01/2006.

¹⁸⁰ E. J. Aiton & A. M. Duncan & J. V. Field *in* J. Kepler, *op. cit.*, p. 24;

¹⁸¹ J. Kepler, *op. cit.*, p. 9;

Em particular, há uma passagem da introdução do livro I em que Kepler critica a análise feita por Petrus Ramus (1515 – 1572) sobre a obra de Proclus, principal comentador da obra de Euclides. Conforme Kepler, Ramus teria dito que tanto a obra de Proclus como o décimo livro de Euclides deveriam ser desprezados e rejeitados. Kepler chega a citar um trecho do livro 21 da obra de Ramus, *Scholae Mathematicae*, no qual o autor classifica o texto de Euclides como obscuro, confuso e infectado de superstição pitagórica. A resposta de Kepler é muito significativa, pois além de explicitar suas convicções na filosofia pitagórica e no trabalho de Euclides, reforça uma característica da sua personalidade: a de não medir esforços para verificar as suas hipóteses.

“Mas, meu Deus, Ramus, se você não tivesse acreditado que este livro era difícil demais para ser compreendido, você nunca o teria difamado com a acusação de tal obscuridade. Há necessidade de trabalho mais árduo, necessidade de tranqüilidade, necessidade de concentração e, acima de tudo, de empenho mental, para se chegar a compreender a intenção do autor. Quando a mente superior labuta a esse ponto, e depois, por fim, vê que alcançou a luz da verdade, é jubilosamente inundada de incrível prazer, e desta, por assim dizer, torre de observação, percebe o mundo inteiro com todos os traços distintivos de suas partes. Mas a você, que aqui age como o patrono da ignorância, e à massa de homens que quer tirar proveito de qualquer coisa, divina ou humana, a vocês, eu digo que pertencem as frases “sofismas prodigiosos”, “Euclides imoderadamente fazendo mal uso de seu tempo livre” e “essas sutilezas não têm lugar na geometria”. Que a sua parte seja criticar aquilo que não compreendem: para mim, um caçador das causas das coisas, nenhum outro caminho para chegar a elas tinha sido aberto que não o décimo Livro de Euclides.

“Seguindo Ramus, Lazarus Schöner, em seu *Geometria*, confessou que não conseguia ver absolutamente nenhuma utilidade para os cinco sólidos regulares no mundo, até ler com atenção meu livrinho que intitulei *O Segredo do Universo [Mysterium Cosmographicum]*, no qual demonstro que o número e as distâncias dos planetas são tiradas dos cinco sólidos regulares. Veja que dano causou Ramus, o mestre, a Schöner, o discípulo. Primeiro, Ramus, ao ler meticulosamente Aristóteles, o qual havia refutado a filosofia pitagórica sobre as propriedades dos elementos deduzidas dos cinco sólidos, de pronto produziu em sua mente um desprezo por toda a filosofia pitagórica. E depois, como sabia que Proclus era sectário de Pitágoras, não acreditou nele quando afirmou – o que era totalmente verdadeiro – que o objetivo final do trabalho de Euclides, ao qual todas as proposições de todos os seus livros estavam relacionadas, eram os cinco sólidos regulares. Por essa razão, surgiu em Ramus uma convicção muito firme de que os cinco sólidos deveriam ser removidos do objetivo dos livros dos *Elementos* de Euclides”¹⁸².

O segundo livro, o “Arquitetônico”, também segue a mesma linha do primeiro: uma obra matemática que trata da geometria das figuras, ou seja, de como figuras regulares podem se

combinar umas com as outras para a construção de novas figuras, o que é apresentado, mais uma vez, por meio de definições (13), proposições (14) e axiomas (1) para descrever como a combinação das figuras pode gerar congruência ou insociabilidade. A congruência das figuras desempenha um papel importante no pensamento de Kepler, o que nos remete novamente às suas especulações platônicas:

“a necessidade desta parte da nossa reflexão é distinta da forma geral deste trabalho. Pois, uma vez que nos encarregamos de explicar a origem da Harmonia e os seus mais poderosos efeitos no Mundo como um todo, como poderíamos deixar de mencionar a congruência das figuras que são a fonte das proporções harmônicas? (...) Uma vez que o efeito que essas figuras têm no domínio da Geometria – e naquela parte da Arquitetura que lida com os Arquétipos – é como uma imagem e um prelúdio dos seus efeitos além da Geometria, além das coisas concebidas na mente, isto é, dos seus efeitos em coisas naturais e celestiais? (...) Assim, [as propriedades da congruência] têm se mantido escondidas desde a eternidade na abençoada superioridade da mente divina, como uma das Idéias, e até então compartilhado na mais alta benevolência que pode não estar contida ao alcance de sua própria abstração, mas deve irromper com o trabalho da Criação, induzindo Deus, o Criador, a gerar sólidos relacionados com figuras particulares.”¹⁸³

A descrição e a origem dos cinco sólidos regulares são retomadas na proposição XXV deste livro. Kepler revisita a discussão iniciada no *Mysterium Cosmographicum* sobre esses sólidos serem escolhidos pelo Criador para gerar o intervalo entre as seis esferas celestes. Outra vez é possível identificar em Kepler o pensamento de Platão no que diz respeito ao “Corpo do Cosmos”¹⁸⁴

“o cubo permanecendo de pé em sua base quadrada expressa estabilidade, que é uma característica da matéria terrestre (...), o octaedro é visto de forma mais apropriada suspenso por ângulos opostos, (...) o quadrado que repousa

¹⁸² *Ibid.*, pp. 10-1;

¹⁸³ *Ibid.*, pp. 97-8;

¹⁸⁴ “Ora, evidentemente, é necessário que o que nasce seja corporal, e, portanto, visível e tangível. Nenhum ser sensível poderia nascer como tal se estivesse privado de fogo; nem sem algum sólido, e não existe sólido sem terra. Daí vem que, Deus, começando a construção do Corpo do Cosmos, principiou para constituí-lo tomando fogo e terra. Mas é impossível que dois termos formem sós uma composição completa sem um terceiro. (...) Se então o Corpo do todo devesse ter sido um plano sem espessura, uma só medição bastaria para atribuir-se a unidade e dá-la aos termos que a acompanham. Mas, com efeito, convinha que esse corpo fosse sólido, e, para harmonizar os sólidos, uma só mediação nunca bastaria: é necessário sempre duas. Assim Deus colocou o ar e a água no meio, entre o fogo e a terra, e dispôs esses elementos uns relacionados com os outros, tanto quanto seria possível numa mesma relação, (...) Por esses procedimentos e com a ajuda desses corpos assim definidos, em número de quatro, foi engendrado o Corpo do Cosmos”. Platão, *Timeu*, pp. 82-3;

exatamente entre esses ângulos dividindo a figura em duas partes iguais, (...) [dá] a imagem de mobilidade, uma vez que o ar é o mais móvel dos elementos, em velocidade e direção. O número menor de faces no tetraedro é visto com o significado da secura do fogo, uma vez que as coisas secas, por definição, mantêm seus limites. O grande número de faces do icosaedro é visto representando a umidade da água, uma vez que a umidade, por definição, é retida nos limites das outras coisas. (...) O dodecaedro é reservado para os corpos celestes, pois tem o mesmo número de faces que os signos do zodíaco. Pode ser mostrado que o icosaedro tem o maior volume entre as figuras, assim como o céu que tudo engloba.”¹⁸⁵

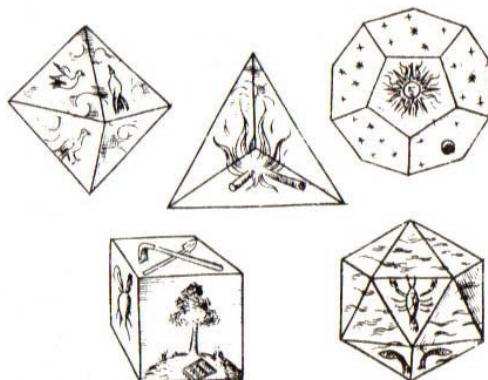


Figura 1 – os corpos do mundo: tetraedro: fogo; cubo: terra; octaedro: ar; icosaedro: água; dodecaedro: quinta essência in J. Kepler, *Harmony of the World*, p. 397.

Na seqüência, o terceiro livro, o “Harmônico”, cuida da origem das proporções harmônicas, e da natureza e diferenças das coisas relacionadas à melodia. Este livro é mais extenso em conteúdo que os dois anteriores, o que faz com que o Kepler o divida em dezesseis capítulos. Também foi o primeiro a ser impresso, uma vez que consta no final do livro II: “Segue o livro III, com nova fonte para as letras do alfabeto e um novo início de numeração para as páginas, porque foi com esse livro que a impressão começou”¹⁸⁶. Na introdução que se encontra antes mesmo do sumário, Kepler divaga sobre os tetráritos pitagóricos e sua relação com a música.

Sabemos que o fundamento da filosofia pitagórica é o número. Para Pitágoras e seus seguidores, a natureza se apresenta e se revela através da geometria e das relações entre os números. Se para Tales de Mileto a água é a substância fundamental pela qual todas as coisas são formadas, para os pitagóricos, o número não é apenas símbolo: é também “substância”.

¹⁸⁵ J. Kepler, *op. cit.*, pp. 114-5;

¹⁸⁶ *Ibid.*, p. 125;

“Os números não seriam, portanto – como virão a ser mais tarde – meros símbolos a exprimir o valor das grandezas: para os pitagóricos, eles são reais, são a própria “alma das coisas”, são entidades corpóreas constituídas pelas unidades contíguas. Assim, quando os pitagóricos falam que as coisas imitam os números estariam entendendo essa imitação (*mímesis*) num sentido perfeitamente realista: as coisas manifestariam externamente a estrutura numérica que lhes é inerente.”¹⁸⁷

Na filosofia pitagórica, matemática, música, cosmologia e ciência se misturam de forma homogênea. A razão entre dois números pode estabelecer consonância ou dissonância entre duas notas musicais: os números 1, 2, 3 e 4 – conhecidos como tetráditos – combinados nas razões 1/2, 2/3 e 3/4 formam, respectivamente, a oitava¹⁸⁸, a quinta e a quarta notas obtidas a partir de uma nota musical¹⁸⁹ qualquer. A relação entre o comprimento da corda e a frequência da nota emitida por ela também se aplica, na cosmologia pitagórica, ao tamanho das esferas planetárias. Imperceptíveis aos ouvidos humanos, cada planeta emitiria uma nota musical ao longo da sua trajetória – os mais lentos, notas mais graves, os mais rápidos, notas mais agudas – e o Universo seria, portanto, uma sinfonia musical regida pela harmonia matemática.

“No universo pitagórico, o disco faz-se bola esférica. Em torno dela, o sol, a lua e os planetas giram em círculos concêntricos, cada um preso a uma esfera ou roda. A rápida revolução de cada um de tais corpos ocasiona no ar um silvo, ou sussurro musical. Evidentemente cada planeta sussurrará em tom diverso, dependendo da razão da sua respectiva órbita, assim como o tom de uma corda depende do seu comprimento. As órbitas em que se movem os planetas formam uma espécie de imensa lira cujas cordas se curvam em círculo. Parecia também evidente deverem ser os intervalos entre as cordas orbitais governados pelas leis da harmonia”¹⁹⁰.

¹⁸⁷ Coleção Os Pensadores, *Pré-Socráticos*, p. 18;

¹⁸⁸ Cabe aqui um adendo: no texto relativo aos tetráditos, Kepler refere-se à harmonia musical usando uma terminologia musical típica do século XVII, como *diapason*, *diatessaron* e *diapente*. Explicam-nos os comentadores E. J. Aiton, A. M. Duncan e J. V. Field: “*Diapason*, que literalmente significa “todas as notas de uma oitava”, tem sido traduzido mais comumente pela mesma palavra em inglês [*diapason*: diapasão, em português] do que por “oitava”, pois Kepler não usa as duas palavras como sinônimas. Da mesma forma, as palavras “diatessaron”, “diapente”, “diahex”, e assim por diante, as quais foram tendência na música do século XVII, têm sido empregadas mais comumente para traduzir as mesmas palavras em latim por “quarta”, “quinta”, que pode ser aumentada ou diminuta, e “sexta”, que pode ser maior ou menor, uma vez que elas não são precisamente equivalentes.” E. J. Aiton & A. M. Duncan & J. V. Field in J. Kepler, *op. cit.*, p. xl;

¹⁸⁹ Utilizando a linguagem musical atual, podemos explicar melhor a relação entre uma nota musical e suas oitava, quinta e quarta. Tomando a seqüência das sete notas musicais (1. dó, 2. ré, 3. mi, 4. fá, 5. sol, 6. lá, 7. si) e escolhendo a nota dó como referência (1ª. nota), sua oitava será um novo dó, com o dobro da frequência do original (portanto, mais agudo). Para tanto, será preciso reduzir à metade o comprimento da corda do instrumento para conseguir essa nota, daí a razão 1/2. A quinta nota a partir do dó é a sol, que é 1,5 vezes mais alta (aguda) que o dó original e é obtida reduzindo a 3/2 o comprimento da corda. A quarta nota a partir do dó é o fá, obtida pela razão 4/3 da frequência, ou 3/4 do comprimento da corda.

¹⁹⁰ A. Koestler, *Os sonâmbulos*, p. 12;

No livro “Harmônico”, a fundamentação teórica é mais ampla. Sabemos que Kepler tomou como principal referência a obra *Harmonica* de Ptolomeu. Mas antes de receber do chanceler da Bavária, Johannes George Herwart, uma cópia manuscrita dessa obra em 1607, Kepler baseou-se, no mínimo, em mais três obras sobre a teoria musical: de Boécio, o *De institutione musica*, edições em latim que haviam sido publicadas em Veneza em 1492 e em Basel em 1546 e 1570, de Gioseffo Zarlino, o *Institutioni harmoniche* (1558) e, de Vincenzo Galilei, o *Dialogo della musica antica et della moderna* (1581). Tais referências levaram Kepler a dissertar acerca de erros relativos às teorias pitagórica e ptolomaica sobre o número de harmonias.

O quarto e último livro que nos propusemos a descrever nesta parte da dissertação é o que Kepler chamou de “Metafísico, Psicológico e Astrológico”. Dividindo-o em sete capítulos, Kepler discute temas amplos como a essência das proporções harmônicas, o número e o tipo de faculdades da alma e as causas das configurações astrológicas influentes (aspectos). Segundo o próprio Kepler, o livro IV

“fornece tudo que é mais importante para a contemplação da natureza, declara a mais esplêndida ordem das proporções – de acordo com as quais todo o universo foi construído – e [declara] a analogia das proporções, que conecta tudo no mundo – assim como Timeu disse em algum lugar–, que repara a harmonia entre as coisas que estão em conflito, e [repara] relações e afetos mútuos entre aqueles que estão amplamente separados”¹⁹¹.

Como nos livros “matemáticos”, o livro IV apresenta definições (2), axiomas (3) e proposições (15). Para ilustrar a relação entre geometria e astrologia, indicamos a proposição IX a seguir – para tanto é preciso comentar que, segundo os axiomas I e II, um polígono regular inscrito no círculo do zodíaco define o ângulo de um aspecto e essa é a forma pela qual os aspectos são definidos. De acordo com Kepler, nas proposições que vão de IX a XIV¹⁹²,

¹⁹¹ J. Kepler, op. cit., p. 281;

¹⁹² *Ibid.*, pp. 340-347;

as configurações influentes são aquelas que interceptam os seguintes arcos do círculo zodiacal:

- 180°: oposição, originado do diâmetro do círculo – o primeiro e mais forte dos graus de influência dos aspectos, que é tanto conjunção¹⁹³ como oposição¹⁹⁴ - os planetas ficam separados por um arco de 0° (conjunção) ou 180° (oposição);
- 90°: a quadratura¹⁹⁵ originada do tetrágono – o segundo dos graus de influência dos aspectos – o ângulo entre os planetas é reto;
- 120°: o trígono¹⁹⁶ e 60°: o sextil¹⁹⁷, originados do triângulo e do hexágono – terceiro dos graus de influência dos aspectos. Enquanto o trígono inscreve no círculo zodiacal um triângulo, é possível também inscrever no triângulo um hexágono. O sextil mostra-se com a configuração invertida, como nas figuras abaixo:

¹⁹³ Conjunção: segundo a Astrologia, a conjunção tende a ser um aspecto harmonioso. A sua qualidade depende principalmente dos planetas envolvidos, bem como da proximidade do aspecto. Por exemplo, uma conjunção entre o Sol e Mercúrio, é normalmente vista como harmoniosa;

¹⁹⁴ Oposição: apesar de ser vista normalmente como "desarmoniosa", tem muitas vezes um efeito bastante motivador e energizante. Aqui também, a qualidade do aspecto depende dos planetas envolvidos, e o que cada um faz dele;

¹⁹⁵ Quadratura: é um aspecto desarmonioso. Os planetas envolvidos parecem estar "bloqueados". A dificuldade está em conciliar duas forças que querem mover-se em direções completamente opostas;

¹⁹⁶ Trígono: é um aspecto harmonioso, os planetas envolvidos trabalham juntos de uma forma complementar, enriquecendo-se um ao outro;

¹⁹⁷ Sextil: tende a ser um aspecto harmonioso, dependendo é claro dos planetas envolvidos;

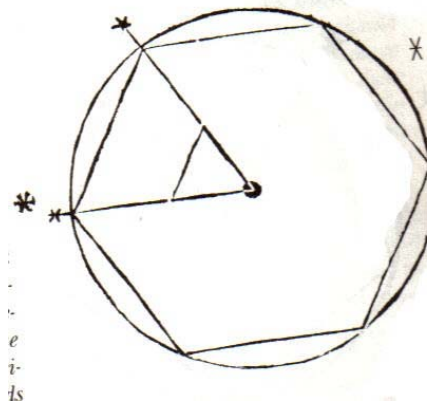
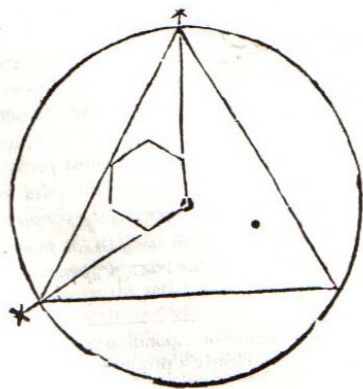


Figura 2 – Trígono: inscrição de um triângulo no círculo zodiacal. É possível hexágono no círculo zodiacal. É possível inscrever um hexágono neste triângulo possível inscrever um triângulo neste hexágono in J. Kepler, *Harmony of the World*, p. 342.

Figura 3 – Sextil: inscrição de um hexágono no círculo zodiacal. É possível inscrever um triângulo neste hexágono in J. Kepler, *Harmony of the World*, p. 343.

- 45°: semiquadratura¹⁹⁸ e 135°: sesquiquadratura¹⁹⁹, originados do octógono e da estrela;
- 30°: semisextil²⁰⁰ e 150°: quincúncio²⁰¹, originados do decágono e da sua estrela;
- 72°: quintil²⁰² e 108°: tridecil²⁰³, originados do pentágono e da estrela do decágono;
- 144°: biquintil e 36° decil, originados da estrela do pentágono e do decágono.

3.3.1 Sobre o *Harmonica* de Ptolomeu

¹⁹⁸ Semiquadratura: aspecto desarmonioso;
¹⁹⁹ Sesquiquadratura: aspecto desarmonioso;
²⁰⁰ Semisextil: neutro;
²⁰¹ Quincúncio: neutro;
²⁰² Quintil: harmonioso;
²⁰³ Tridecil: harmonioso;

Não se sabe ao certo quando Ptolomeu iniciou a produção desta obra e especula-se que ele não tenha conseguido terminá-la²⁰⁴. Jon Solomon afirma que o *Harmonica* é

“um registro indispensável sobre a ciência das harmonias e do seu desenvolvimento, desde o século VI a. C. com Pitágoras até o século IV [a.C.] de Archytas e Platão, aos helenistas Aristoxenus e Erastóstenes, até chegar, enfim, ao século II d.C com Ptolomeu”²⁰⁵.

O *Harmonica* é dividido em três livros, cada qual com 16 capítulos. No primeiro livro Ptolomeu define harmonia e som, e descreve os sons musicais como proporções matemáticas. No segundo livro, examina os mais amplos constructos harmônicos da música grega, especialmente o sistema de duplas oitavas. No terceiro livro, traz os comentários finais sobre as divisões da oitava e as suas aplicações na música e nos instrumentos, o que “leva a uma discussão sobre harmonia, razão e sentidos”²⁰⁶, e também à aplicação da ciência das harmonias nas questões relativas à alma humana, à eclíptica, ao zodíaco, às estrelas fixas e aos planetas.

A respeito do *Harmonica*, Kepler demonstra claramente que, apesar de ter encontrado uma obra mais antiga e que trata de questões semelhantes, o conteúdo apresentado por Ptolomeu está aquém de suas expectativas, afinal, ainda nesse período [antiguidade], muito faltava para a Astronomia, e Ptolomeu, por meio de uma tentativa infeliz [*Harmonica*], deve ter desanimado outros²⁰⁷. Voltaremos a comentá-la mais adiante.

3.4 O conteúdo do livro V do *Harmonices mundi*

O quinto livro do *Harmonices mundi*, o “Astronômico e Metafísico”, é o resultado de vinte e dois anos de especulações astronômicas experimentadas por Kepler, desde que a idéia da estruturação dos orbes celestes de acordo com os sólidos regulares assaltou a sua mente. Foi a certeza de que os mistérios do Universo poderiam ser solucionados a partir das hipóteses levantadas no seu primeiro “livrinho” que o levou a se aproximar de Tycho Brahe e consultar-

²⁰⁴ “a brevidade dos oito últimos capítulos juntamente com a falta de demonstrações e ilustrações, a ausência de polêmicas e a simplicidade estrutural das comparações feitas entre as harmonias da música, da alma e dos corpos celestes, não dá ao leitor confiança de que Ptolomeu tenha se dedicado muito a essas passagens”. J. Solomon, “Introduction” in: Ptolomeu, *Harmonics*, pp. XXX-XXXI.

²⁰⁵ *Ibid.*, p. XXI.

²⁰⁶ *Ibid.*, p. XXIV.

lhe os dados empíricos mais exatos de sua época. Para Kepler, só as melhores medidas poderiam comprovar a exatidão do seu pensamento; só um pensamento desprovido de falhas poderia ser capaz de expressar a lógica do Criador.

O livro se estrutura em dez capítulos²⁰⁸, da seguinte forma:

- Capítulo I: sobre os cinco sólidos regulares;
- Capítulo II: sobre a relação dos cinco sólidos regulares com as proporções harmônicas;
- Capítulo III: resumo da teoria astronômica necessária para o estudo das harmonias celestes;
- Capítulo IV: sobre com quais aspectos relacionados aos movimentos dos planetas as harmonias simples foram expressas, e o fato de que todas aquelas que pertencem à melodia são encontradas nos céus;
- Capítulo V: sobre as notas da escala musical maiores ou menores, isto é, as posições no sistema e os tipos de harmonias e o fato de que foram expressas por certos movimentos;
- Capítulo VI: sobre os tons ou modos musicais, que são individualmente expressos de uma maneira própria por cada planeta;
- Capítulo VII: sobre a possibilidade de haver contraponto, ou harmonia universal, entre todos os planetas, e que eles podem ser diferentes uns dos outros;
- Capítulo VIII: sobre as qualidades das quatro vozes – soprano, alto, tenor e baixo – nos planetas e sua expressão;
- Capítulo IX: demonstração de que, para produzir este arranjo harmônico, os excêntricos dos planetas têm que ser determinados da forma que são atualmente, e não de outra forma;
- Capítulo X: epílogo sobre o Sol, de acordo com conjecturas altamente sugestivas;

²⁰⁷ Ailton, Duncan, Field, *in*: J. Kepler, *op.cit.*, p. 391;

²⁰⁸ E um apêndice que trata de três temas: I. Uma versão do terceiro livro do *Harmonica* de Ptolomeu, a partir do livro III, que lida com o mesmo assunto; II. Uma complementação do texto ptolomaico, dos três últimos capítulos do livro de Ptolomeu, nos quais Ptolomeu forneceu só os lemas; III. Notas sobre esta parte da Harmonia, no qual Kepler explica o autor [Robert Fludd],

Kepler, no título do livro V, proclama:

“sobre a mais perfeita harmonia dos movimentos celestiais e sobre a origem, nos mesmos, das excentricidades, semidiâmetros e períodos, de acordo com os preceitos dos ensinamentos astronômicos mais completamente corrigidos dos dias atuais, e com as hipóteses de Copérnico, mas também com as de Tycho Brahe, qualquer uma das quais é hoje publicamente aceita como verdadeira, suplantando as de Ptolomeu”²⁰⁹.

Ao retomar a discussão sobre a origem dos excêntricos e dos semidiâmetros (distância média em relação ao Sol) dos planetas, Kepler revisita suas conclusões publicadas no *Mysterium Cosmographicum* e no *Astronomia Nova*. Desta vez, elas estão amparadas pelas suas idéias a respeito da harmonia do mundo. Essa nova interpretação é decorrente da descoberta da relação matemática entre os tempos de revolução e os raios das órbitas dos planetas. Kepler afirma, na introdução do livro V, que sua descoberta se deu de forma diferente à esperada, mas também de maneira muito boa.

“No *Mysterium Cosmographicum*, Kepler supôs que as distâncias planetárias eram determinadas exclusivamente pela interpolação dos cinco sólidos platônicos entre as esferas planetárias e havia buscado, no capítulo 12, ajustar a harmonia musical aos sólidos. (...) Agora ele supõe que a interpolação dos sólidos apenas dava uma orientação tosca (um esboço preliminar do cosmos, por assim dizer), enquanto as distâncias eram realmente determinadas de acordo com as relações harmônicas dos movimentos dos planetas”²¹⁰.

Ainda de acordo com o título, não podemos deixar de comentar que as idéias publicadas no livro V do *Harmonices mundi* que estão em concordância com o conhecimento astronômico vigente da época, para Kepler, são os aperfeiçoamentos recebidos pelas hipóteses de Nicolau Copérnico e de Tycho Brahe sobre o sistema de mundo – por isso ele usa, em seu texto, o termo “corrigido”. Como discutimos no primeiro capítulo, Kepler sempre foi um defensor da hipótese copernicana e a considerava a melhor substituta do modelo ptolomaico. Sabemos das inúmeras críticas, principalmente sobre os movimentos da Terra, que o modelo heliostático recebeu por grande parte de seus contemporâneos (Brahe foi um deles) e da baixa adesão explícita, mais pela força do pensamento aristotélico do que das imposições da Igreja Católica, em defesa desta causa. Entendemos que Kepler, com a afirmação de que o modelo ptolomaico está suplantado e com as conclusões apresentadas no livro V, está

refutando-o, e comparando suas descobertas ou experiências com as suas. Apesar de estar assim dividido no sumário do livro V, não há tais divisões no texto do apêndice;

²⁰⁹ J. Kepler, *op. cit.*, p. 387;

investindo de forma incisiva contra a astronomia clássica. É isso o que o torna um autor especial para o período.

Há também duas citações dignas de comentários: a primeira, que aparece logo após o título, é de Galeno²¹¹, retirada do terceiro livro do *Sobre a função das partes* e, a segunda, após o sumário do livro V, é de Platão²¹², da obra *Timeu*. Acreditamos que Kepler tenha usado esses dois autores por compartilhar com eles o sentimento enaltecido da descoberta e a obrigação de render homenagens à fonte inspiradora, pois como o próprio Kepler escreve na introdução do livro V:

“como Deus o Melhor e Maior, sendo Ele quem inspirou minha mente e atizou meu grande desejo, prolongou minha vida e força de vontade e providenciou os outros meios (...) Estou livre para renunciar à loucura sagrada, estou livre para provocar os mortais com a franca confissão de que eu estou roubando as naus douradas dos egípcios, de forma a construir com elas um templo para meu Deus, longe do território do Egito. (...) Veja, eu lanço o dado e escrevo o livro...”²¹³

Remetendo-se tanto ao *Mysterium Cosmographicum* quanto ao livro II do *Harmonices mundi*, e prometendo uma continuação desse tema no *Epitome astronomiae Copernicae*, Kepler classifica os cinco sólidos regulares em duas classes: primária e secundária. A primária é constituída por três sólidos (cubo, tetraedro e dodecaedro) e a secundária pelos dois restantes (octaedro e icosaedro). A classe primária é constituída pelos sólidos que possuem “faces de formas diferentes e vértices comuns a três faces, número mínimo necessário para

²¹⁰ E. J. Aiton, A. M. Duncan e J. V. Field *in* J. Kepler, *op. cit.*, p.389;

²¹¹ “Eu começo um discurso sagrado, um hino dos mais verdadeiros, para Deus, o Fundador, e considero devoção não sacrificar muitas hecatombes de touros para Ele e queimar incensos de perfumes inumeráveis e cássia, mas primeiro aprender eu mesmo, e então ensinar aos outros também, o quão grande Ele é na sabedoria, quão grande em poder, e de que magnitude em bondade. Pois querer adornar de todas as formas possíveis aquelas coisas que devem receber adornos, e não invejar nada – isso eu coloco como sinal da maior bondade, e por causa disso louvo-o como bondoso, já que nas alturas de Sua sabedoria Ele molda tudo de forma que cada coisa pode ser adornada ao máximo e Ele possa fazer com Seu poder inconquistável tudo o que Ele decretou.” Galeno *in* J. Kepler, *op. cit.*, p. 387;

²¹² “Mas, Sócrates, todos os homens, por menos que participem da sabedoria, ou quando estão a ponto de encetar um empreendimento pequeno ou grande, sempre de alguma maneira, invocam a divindade. Quanto a nós, que discorreremos sobre o mundo, dizer como nasceu, ou se porventura chegou a nascer, por mais forte razão devemos, se é que de todo não perdemos o espírito, chamar pelo auxílio dos deuses e deusas, rogar-lhes que nossos propósitos sejam sempre em tudo que os toque, antes de tudo conforme o seu pensar, e quanto ao que nos concerne, logicamente ordenados. No tocante aos Deuses, seja então essa a nossa invocação. E quanto ao que nos concerne, invoquemo-los também a fim de que pronto compreendais, e que eu exponha o mais claramente possível o que penso sobre este assunto.” Platão, *Timeu*, pp. 77-8;

formar um ângulo sólido”²¹⁴. A classe secundária é formada pelos sólidos que possuem “faces de formas iguais e vértices comuns a quatro ou cinco faces”²¹⁵.

A seguir, apresentamos um quadro comparativo que servirá como referência para as próximas considerações:

Sólido	Classe	Características	Gênero
1. Cubo 6 faces quadrangulares, 12 arestas, 8 vértices	Primário	<ul style="list-style-type: none"> • É o mais externo e espaçoso; • Tem a natureza do todo; • É o primeiro na ordem da geração; 	Macho
2. Tetraedro 4 faces triangulares, 6 arestas. 4 vértices	Primário	<ul style="list-style-type: none"> • Parte do cubo; 	Hermafrodita
3. Dodecaedro 12 faces pentagonais, 30 arestas, 20 vértices	Primário	<ul style="list-style-type: none"> • Está dentro do tetraedro; • Sólido composto de partes de um cubo e partes similares de um tetraedro, ou seja, de tetraedros irregulares, com os quais o cubo por dentro é fechado. 	Macho
4. Icosaedro 20 faces triangulares, 30 arestas, 12 vértices	Secundário	<ul style="list-style-type: none"> • Último das figuras secundárias que adotam um ângulo sólido feito por três ou mais linhas; 	Fêmea
5. Octaedro 8 faces triangulares, 12 arestas, 6 vértices	Secundário	<ul style="list-style-type: none"> • É o mais interno; • Similar ao cubo e ao icosaedro; 	Fêmea

As descrições feitas anteriormente estão acompanhadas por cinco ilustrações dos sólidos regulares e duas figuras comparativas. Não é possível identificar qual dessas figuras foi desenhada pelo próprio Kepler, ou por “seu amigo Wilhelm Schickard (1592-1635), professor de matemática em Tübingen”²¹⁶. De acordo com J. V. Field,

“Kepler parece ter sido muito bom desenhista, a julgar por seu croqui para a segunda capa do *Tábuas Rudolfinas* (Ulm, 1627) (...) entretanto, a facilidade técnica de Kepler [para o desenho] é menos relevante que o seu claro

²¹³ J. Kepler, *op. cit.*, pp. 391;

²¹⁴ E. J. Aiton, A. M. Duncan e J. V. Field *in* J. Kepler, *op. cit.*, p. 395;

²¹⁵ *Ibid.*, p. 395;

²¹⁶ J. V. Field, “Rediscovering the Archimedean Polyhedra: Piero della Francesca, Luca Pacioli, Leonardo da Vinci, Albrecht Dürer, Daniele Barbaro, and Johannes Kepler”, *Arquive for History of Exact Science*, vol. 50, nº 3-4, 1997, p. 275;

interesse no uso de ilustrações e diagramas nos seus trabalhos. A gravura elegante mostrando a teoria dos poliedros no *Mysterium Cosmographicum* pode ser considerada de caráter essencialmente decorativo e designada para ajudar a vender o livro. Entretanto, o livro também contém um bom número de outros diagramas que não são estritamente necessários, e à medida que Kepler vai ficando mais velho (...) os seus trabalhos vão recebendo mais ilustrações.”²¹⁷

Chama-nos a atenção a classificação dos sólidos regulares por gênero. Segundo Aiton, Duncan e Field, esta é a primeira vez que Kepler a faz:

“Evidentemente, os vértices são os símbolos sexuais masculinos e, as faces, os femininos. Nota-se que os poliedros masculinos têm mais vértices que faces. Os poliedros femininos, por sua vez, têm mais faces do que vértices, enquanto o poliedro hermafrodita tem o mesmo número de cada”²¹⁸.

Kepler acrescenta ainda duas combinações de poliedros, chamando-as de “casamentos notáveis”²¹⁹ – cubo e octaedro, dodecaedro e icosaedro – e uma relação “celibatária ou hermafrodita”²²⁰ – tetraedro e tetraedro. Essas combinações são formadas com base em fatores comuns:

“os poliedros machos têm o mesmo número de vértices que os poliedros fêmeas têm de faces e, quando a figura feminina é inscrita na masculina, os símbolos femininos e masculinos ficam um de frente para o outro”²²¹

e

“o tetraedro [celibatário ou hermafrodita] é inscrito em si mesmo, assim como se inscreve nas figuras femininas e masculinas, e tem os símbolos sexuais femininos do seu sexo em oposição aos masculinos”²²².

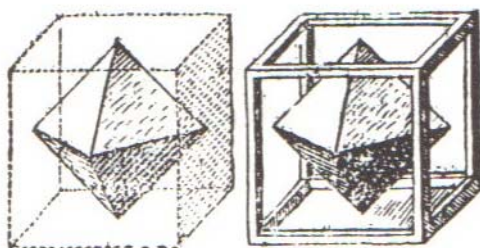


Figura 4 – casamento entre o cubo e o octaedro. A oposição entre os vértices e as faces demonstra a oposição entre macho e fêmea. J. Kepler, *Harmonices mundi*, p. 396.

²¹⁷ *Ibid.*, p. 275;

²¹⁸ E. J. Aiton, A. M. Duncan e J. V. Field in J. Kepler, *op. cit.*, p. 396-7;

²¹⁹ J. Kepler, *op. cit.*, p. 396;

²²⁰ *Ibid.*, p. 397;

²²¹ E. J. Aiton, A. M. Duncan e J. V. Field in J. Kepler, *op. cit.*, p. 397;

²²² J. Kepler, *op. cit.*, p. 397;

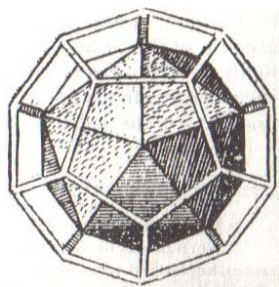


Figura 5 – casamento entre o dodecaedro e o icosaedro. A fêmea (neste caso, o icosaedro) é sempre inscrita no macho (neste caso, o dodecaedro). J. Kepler, *Harmonices mundi*, p. 396.

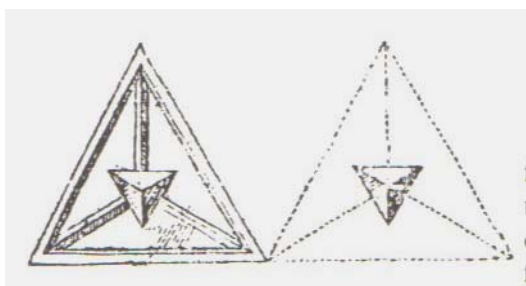


Figura 6 – o hermafroditismo do tetraedro justifica-se pelo número de vértices ser igual ao número de faces. J. Kepler, *Harmonices mundi*, p. 396.

A última figura do capítulo I é a estrela sólida, que provém do casamento entre o dodecaedro e icosaedro, “sua geração é decorrente da continuação das cinco faces do dodecaedro até que eles encontrem um ponto em comum.”²²³

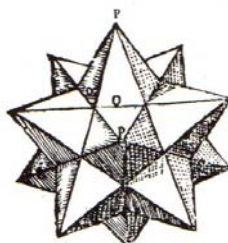


Figura 7 – a estrela sólida, um novo tipo de poliedro descoberto por Kepler *in* J. Kepler, *Harmonices mundi*, p. 397.

Mas, qual é a essência disso tudo? De que servem essas classificações e arranjos? Na lógica de Kepler, as classificações e combinações apresentadas são estabelecidas de acordo com as relações matemáticas existente entre os

²²³ *Ibid.*, pp. 397-8;

sólidos e entre os sólidos e as esferas que os circunscvem. Nas palavras de Kepler, temos:

“A principal diferença entre os casais ou famílias [dos casamentos apresentados] consiste no seguinte: que a relação entre a família do cubo é, de fato, exprimível, pois o [volume do] tetraedro é um terço do [volume do] cubo, o [volume do] octaedro é metade do [volume do] tetraedro, e um sexto do [volume do] cubo. Entretanto, a proporção do casamento do dodecaedro é, de fato, inexprimível, mas divina.”²²⁴

e

“Por último, devemos notar as proporções entre as esferas circunscritas e inscritas nos poliedros. No tetraedro [a proporção] é exprimível, assim como 100 000 está para 33 333, ou 3 para 1: no casamento do cubo [a proporção] é inexprimível, mas o quadrado do raio da circunferência inscrita é exprimível, assim como a raiz quadrada de um terço do diâmetro, isto quer dizer 100 000 para 57 735; no casamento do dodecaedro é claramente inexprimível, assim como 100 000 está para 79 465 (...).”²²⁵

Os termos ‘exprimível’, ‘inexprimível’ e ‘divina’ representam graus de conhecimento apresentados no primeiro livro do *Harmonices mundi*. Os oito graus de conhecimento estão descritos nas definições de XII a XX. ‘Exprimível’ está descrito na definição XIII e indica que o número que representa o estudo em questão – no caso dos casamentos dos poliedros, a razão entre os volumes dos sólidos machos e fêmeas – pode ser expresso, em notação moderna, por meio de uma fração racional. ‘Inexprimível’, descrito na definição XV, refere-se aos números que não podem ser descritos por uma fração racional, ou seja, números irracionais. Para esse caso particular, é interessante ver como Kepler se posiciona frente ao uso do termo ‘irracional’ para ‘inexprimível’:

“Tradutores latinos traduzem este termo [inexprimível] como “Irracional” [aspas do original], correndo um grande risco de ambigüidade e absurdidade. Vamos abandonar este uso, porque há muitas linhas que, embora sejam inexprimíveis, são definidas pelos melhores cálculos. Aritméticos, por meio de uma tradução similar, chamam-nos de números surdos, isto é, números que não conseguem falar nada mais que um homem surdo pode ouvir: mas esta denominação inclui somente números exprimíveis ao quadrado, assim como quantidades inexprimíveis.”²²⁶

A ‘proporção divina’ está descrita na definição e comparação XXVI. Ela se remete à ‘razão média e extrema’ de Euclides, ou como é mais conhecida,

²²⁴ *Ibid.*, p. 397;

²²⁵ *Ibid.*, p. 398;

²²⁶ *Ibid.*, p. 21;

‘razão áurea’. Em Kepler, ela assume caráter metafísico e estético para justificar o casamento entre o dodecaedro e o icosaedro. Em Euclides,

“essa proporção completava um dos resultados dos *Elementos* [XIII-17], segundo o qual, ao dividir a aresta de um cubo em razão média e extrema, o segmento maior é igual à aresta do dodecaedro inscrito na mesma esfera do cubo. (...) A divisão em razão média e extrema aparece na construção do pentágono regular, e na construção dos dois sólidos regulares complexos, o icosaedro e o dodecaedro. Diversas proposições dos livros XIII e XIV são dedicadas a essa proporção.”²²⁷.

Em suma, Kepler classifica e organiza os sólidos regulares, e justifica suas escolhas baseando-se em propriedades matemáticas provenientes das relações entre os próprios sólidos regulares e entre as esferas circunscritas neles. Na seqüência, mostra que a sua hipótese da interposição dos sólidos regulares entre as esferas dos planetas não dá conta, sozinha, de explicar com perfeição a razão entre as distâncias planetárias. É preciso complementar esta hipótese com outras idéias que se harmonizem com o seu modelo cosmológico. A proporção harmônica aplicada às razões entre as esferas circunscritas e inscritas foi a solução encontrada por ele para atingir esse objetivo. Antes, porém, Kepler conduz uma explicação sobre todos os tipos de proporções harmônicas existentes nos sólidos regulares, para só depois, discutir o caso dos poliedros e das esferas.

“Esta relação é diversa e variada. No entanto, há quatro graus principais de relação, pois [1^o] ou a marca da relação é tomada exclusivamente pela aparência que as figuras têm, ou [2^o] juntamente com a construção real dos lados, as mesmas proporções emergem e também são harmônicas, ou [3^o] elas resultam de figuras que já foram construídas ou separadamente ou em conjunção, ou, finalmente, [4^o] elas são iguais ou próximas às proporções das esferas da figura.”²²⁸

O primeiro grau de relação, o que leva em conta a aparência, reúne num mesmo grupo o tetraedro, o octaedro e o icosaedro pois “a característica ou termo maior é igual a 3, [portanto] têm afinidade com os sólidos de faces triangulares”²²⁹. Por sua vez, o cubo e o

²²⁷ Scientific American História: “Construir e Comparar”, vol.3, p. 68;

²²⁸ J. Kepler, *op. cit.*, p. 399;

²²⁹ *Ibid.*, p. 399;

dodecaedro encontram-se em grupos isolados, “aqueles que têm o termo maior igual a 4 (...) e igual a 5”²³⁰, devido às suas faces quadrangulares e pentagonais.

Este grau se estende em dois sub-níveis de afinidade: termo menor da proporção e ângulo sólido.:

“esta similaridade da face também pode ser estendida para o termo menor da proporção. Uma vez que o termo 3 é encontrado próximo de um termo na proporção dos duplos contínuos [múltiplos de 2], esta proporção é considerada relativa às três primeiras figuras descritas [tetraedro, octaedro e icosaedro], tal qual 1:3, 2:3, 4:3, 8:3, etc. Se o termo 5 for encontrado, a proporção se encaixa no casamento do dodecaedro, tal qual 2:5, 4:5 e 8:5, assim como 3:5, 3:10 e 6:5, 12:5, 24:5. (...) O ângulo sólido é similar: é trilinear nas figuras primárias [cubo, tetraedro e dodecaedro], quadrilinear no octaedro e quinquelinear no icosaedro. (...) No caso dos sólidos femininos esta relação aparenta ser mais atraente, pois o aspecto do ângulo é também adotado pela figura característica, escondida internamente, [como no caso do] quadrado no octaedro e o pentágono no icosaedro. Então 3:5 pertenceria ao icosaedro, pelos dois motivos.”²³¹

O segundo grau de relação leva em consideração a origem dos sólidos e aproxima as proporções harmônicas aos casamentos das figuras, assim como Kepler havia descrito no capítulo I. As proporções perfeitas estão associadas ao cubo e as que podem ser descritas por uma série de números, tal como na proporção divina, estão associadas ao dodecaedro.

“Além do mais, para estabelecer o lado da figura, o diâmetro da esfera deve ser cortado. Para o octaedro é preciso dividir [o diâmetro] pela metade, para o cubo e o tetraedro em três, e o dodecaedro em cinco. Conseqüentemente, as proporções são distribuídas entre as figuras de acordo com estes números, que expressam as proporções. Também por uma certa parcela, o quadrado do diâmetro é dividido, ou o quadrado dos lados da figura é formado. E então os quadrados dos lados são comparados com o quadrado do diâmetro, e estabelecem as seguintes proporções: para o cubo, 1:3; para o tetraedro, 2:3; para o octaedro, 1:2. Por isso, pela combinação dos pares, para o cubo e o tetraedro, 1:2; para o cubo e o octaedro, 2:3; para o octaedro e tetraedro, 3:4. Os lados do casamento dodecaedro são inexprimíveis”²³²

Entendemos que o segundo grau de relação está relacionado com a tentativa de Kepler de estabelecer a proporção harmônica através da divisão do círculo a partir de polígonos que podem ser construídos por régua e compasso. No livro I do *Harmonices mundi*, Kepler “introduz

²³⁰ *Ibid.*, p. 399;

²³¹ *Ibid.*, p. 400;

²³² *Ibid.*, pp. 400-1;

o conceito de quantidades geométricas que são conhecíveis²³³. De fato, essas são quantidades que podem ser construídas com régua e compasso²³⁴. O segundo grau de relação, portanto, harmoniza-se com o conceito de quantidades geométricas conhecíveis, também em seus diversos graus de cognoscibilidade:

“O primeiro e o mais imediato grau de cognoscibilidade ocorre quando a linha é igual ao diâmetro ou uma área é igual ao quadrado do diâmetro. Não tão imediato é o segundo grau de cognoscibilidade, quando a linha ou a área é igual a um certo número de partes de um diâmetro ou de um quadrado. Neste caso, a linha é chamada exprimível em comprimento e a área é chamada simplesmente de exprimível. O terceiro grau possível ocorre quando a linha é inexprimível em comprimento mas o quadrado é exprimível. Tal linha é chamada de quadrado exprimível. Todos os outros graus de cognoscibilidade envolvem quantidades que são inexprimíveis. Por exemplo, no caso do quarto grau, nem a linha nem seu quadrado são exprimíveis mas o quadrado pode ser transformado em um retângulo cujos lados são exprimíveis como um quadrado”²³⁵.

O terceiro grau de relação é dado pela análise das figuras já estabelecidas, levando em consideração um conjunto de fatores: (1) o número de lados da face (nlf) e o número total de arestas (nta), ou (2) o número de lados da face é comparado com o número de faces (nf), ou (3) o número de vértices da face (nvf) ou ângulo da face é comparado com o número de ângulos sólidos (nas), ou (4) o número de faces (nf) é comparado com o número de ângulos sólidos, ou (5) o número total de lados (ntl) é comparado com o número de ângulos sólidos. Em resumo:

Sólido	nlf	nta	nf	Nvf	nas	ntl	Fatores				
							nlf:nta	nlf:nf	nvf:nas	nf:nas	ntl:nas ²³⁶
Cubo	4	12	6	4	8	12	4:12 ou 1:3	4:6 ou 2:3	4:8 ou 1:2	6:8 3:4	8:12 ou 2:3

²³³ Definição VIII: “Uma quantidade é conhecida se pode ser deduzida, através de algumas seqüências de operações, tanto a partir do diâmetro de um círculo, se for uma linha, ou a partir do quadrado do diâmetro, se for uma área”. J. Kepler, *op. cit.*, p. 19;

²³⁴ E. J. Aiton, A. M. Duncan e J. V. Field *in* J. Kepler, *op. cit.*, p. XXV;

²³⁵ *Ibid.*, p. XXV;

²³⁶ A relação numérica está invertida propositadamente, pois segue o texto original das duas traduções para o inglês consultadas;

Octaedro	3	12	8	3	6	12	3:12 ou 1:4	3:8	3:6 ou 1:2		6:12 ou 1:2
Tetraedro	3	6	4	3	4	6	3:6 ou 1:2	3:4	3:4	1:1	4:6 ou 2:3
Dodecaedro	5	30	12	5	20	30	5:30 ou 1:6	5:12	5:20 e 3:12	12:20 ou 3:5	20:30 ou 2:3
Icosaedro	3	30	20	3	12	30	3:30 ou 1:10	3:20	ou 1:4		12:30 ou 2:5

O quadro comparativo anterior foi montado de acordo com o apresentado por Kepler. Notamos que para o dodecaedro e o icosaedro no fator 3, Kepler usa como recurso comparativo os casamentos entre essas figuras. O mesmo acontece no fator 4, desta vez, com todos os casamentos (o tetraedro faz par com ele mesmo, portanto a proporção é a igualdade). Percebemos também que Kepler acaba invertendo a proporção no fator 5. Do texto original, “o número de todos os lados é comparado com o número de ângulos sólidos; e o cubo origina 8:12 ou 2:3, o tetraedro 4:6 ou 2:3, o octaedro 6:12 ou 1:2, o dodecaedro 20:30 ou 2:3, o icosaedro 12:30 ou 2:5”²³⁷, a ordem está invertida, pois o número de lados de um cubo é 12 e 8 são os seus ângulos sólidos – como descritos nos fatores 3 e 4 –, o número de lados de um tetraedro é 6 e 4 são os seus ângulos sólidos e assim se repete até o icosaedro.

Como adiantamos no início deste item, o quarto grau de relação é o que Kepler define como “o mais apropriado para este trabalho”²³⁸. Este grau define a proporção resultante entre as esferas inscritas e circunscritas aos sólidos, “e

²³⁷ J. Kepler, *op. cit.*, p. 401;

o que é calculado são as proporções harmônicas que se aproximam destas”²³⁹. Kepler apresenta as razões entre as esferas inscritas e circunscritas dos sólidos regulares e seus casamentos e classifica-as segundo os graus de conhecimento, mas ainda não as relaciona com as razões entre as órbitas planetárias, como veremos a seguir:

“Somente no tetraedro o diâmetro da esfera inscrita é exprimível, isto é um terço da esfera circunscrita; mas no casamento do cubo a proporção, que é única neste caso, é similar a linhas que são exprimíveis somente ao quadrado. Pois o diâmetro da esfera inscrita está para o diâmetro da esfera circunscrita na proporção semitripla [isto é, a raiz quadrada de 1/3]. E se você comparar as proporções reais de cada um, a proporção das esferas do tetraedro é o quadrado da proporção das esferas do cubo. No casamento do dodecaedro, a proporção das esferas também é única, mas inexprimível, um pouco maior que 4:5. Portanto, as proporções harmônicas que são próximas da proporção das esferas do cubo e do octaedro são as seguintes: 1:2 como a próxima maior e 3:5 como a próxima menor; enquanto as harmonias que são próximas à proporção das esferas do dodecaedro são 4:5 e 5:6, como próxima menor, e 3:4 e 5:8 como a próxima maior.”

Desta forma, Kepler continuou trabalhando os pormenores geométricos e harmônicos da sua teoria no segundo capítulo do livro V. Para nós que buscamos compreender as etapas do seu raciocínio, acabamos por cair nos calabouços da mente de Kepler e na lógica da “Revolução Científica” que constrói seus argumentos utilizando-se dos conhecimentos antigos e modernos. É na análise do terceiro capítulo que discutimos efetivamente o nosso objeto de estudo.

3.5 Resumo da teoria astronômica necessária para o estudo das harmonias celestes

Neste capítulo, Kepler apresenta os treze argumentos que resumem sua concepção cosmológica. Mais especificamente no oitavo argumento, ele nos revela a descoberta ocorrida em 15 de maio de 1618:

²³⁸ *Ibid.*, p. 401;

“a proporção entre o período de quaisquer dois planetas é precisamente a razão sesquiáltera [potência de 3/2] das suas distâncias médias, isto é, das próprias esferas, embora tendo isto em mente, que a média aritmética entre os dois diâmetros da órbita elíptica é um pouco menor que o diâmetro mais longo”²⁴⁰

Como defenderemos a seguir, apesar do destaque dado pelos astrônomos e físicos das gerações posteriores a Kepler e a verificação (também posterior) de que este argumento poderia ser empregado de forma generalizada para qualquer corpo celeste (natural ou artificial) contido em uma órbita determinada – o que o “promove” ao status de “lei” física – Kepler considera seu oitavo argumento não menos importante que os outros doze apresentados. O único destaque que o próprio Kepler dá a este argumento foi relatado parcialmente no parágrafo anterior: as datas de concepção (8/3/1618) e verificação (15/5/1618) do mesmo.

Para que a leitura se torne menos cansativa, dividiremos a análise do capítulo III do livro V do *Harmonices mundi* em novos subitens. Cabe-nos lembrar ao leitor que as pormenorizações das concepções astronômicas tratadas aqui foram feitas no capítulo I desta dissertação.

3.5.1 Introdução do “Resumo”

Logo no primeiro parágrafo deste terceiro capítulo, Kepler avisa aos seus leitores que as hipóteses ptolomaicas foram completamente banidas deste estudo sobre a harmonia dos céus –

“as hipóteses astronômicas de Ptolomeu, da forma que foram expostas no *Theoricae* de Peurbach e em outros escritores de epítomes, devem ser totalmente excluídas desta discussão e arrancadas do pensamento; pois não transmitem nem a verdadeira disposição dos corpos no mundo, nem a comunidade dos movimentos”²⁴¹

– algo nada surpreendente para quem, no título deste livro V, afirmou que tais hipóteses foram suplantadas pelas de Copérnico e Tycho Brahe. Aparentemente, essa forma um tanto quanto “agressiva” de Kepler se expor contrário às idéias ptolomaicas seria justificada logo após, na primeira “condição”, quando comunicou aos leitores que estava estabelecido “entre todos os

²³⁹ *Ibid.*, p. 402;

²⁴⁰ *Ibid.*, p. 411;

²⁴¹ *Ibid.*, p. 403;

astrônomos, que todos os planetas giram ao redor do Sol²⁴². Obviamente, consideramos esta afirmação não-verdadeira; interpretamo-na simplesmente como a manifestação da opinião pessoal de Kepler sobre os astrônomos que defendiam o sistema geostático: a de que não poderiam ser considerados astrônomos!

Para Kepler, sua harmonia celeste encaixa-se tanto nas doutrinas de Copérnico quanto nas de Tycho Brahe, uma vez que, na hipótese ticônica, o movimento anual da Terra da hipótese copernicana é transferido para todo o sistema das esferas planetárias e para o Sol:

“de fato, assim como alguém que desenha um círculo no papel move a parte do compasso que escreve ao redor da ponta seca, ao passo que alguém que prende o papel a uma superfície que gira descreve o mesmo círculo – sem mover nenhuma das duas partes do compasso – no papel que gira; da mesma forma, neste caso, para Copérnico, a Terra de fato descreve um círculo por meio de um movimento real de seu próprio corpo, passando entre os círculos de Marte externamente e os de Vênus internamente; mas para Tycho Brahe, todo o sistema planetário (no qual, entre outros, estão também os círculos de Marte e Vênus) gira, como o papel na roda, colocando a Terra imóvel, como se ela fosse a ponta que escreve, em contato com o espaço vazio entre os círculos de Marte e Vênus.”²⁴³

3.5.2 As “condições” para a compreensão da harmonia celestial

Tomamos a liberdade de chamar de “condição” à forma pela qual Kepler revisa alguns pontos teoria astronômica para fundamentar a harmonia celestial. Por se tratar de um resumo, Kepler apresenta essas condições de forma ordenada, e acreditamos que o esteja fazendo da condição mais básica – a que os planetas giram ao redor do sol (primeira condição) – à mais complexa – a relação entre as proporções das distâncias entre dois planetas e o Sol em relação a proporção de seus movimentos aparentes (décima terceira condição).

Interessante notar que este resumo não traz somente uma compilação de informações já conhecidas entre os estudiosos: Kepler escolheu o resumo também para apresentar suas novas conclusões, que se dão a partir da oitava condição (“terceira lei” do movimento planetário) até a décima terceira. Isso nos leva a crer que Kepler, ao mesmo tempo em que não dá, em seu texto, um destaque especial à “terceira lei”, já a tem, em sua lógica, como condição fundamental para a compreensão da teoria astronômica.

Vejamos as condições:

²⁴² *Ibid.*, p. 405;

²⁴³ *Ibid.*, p. 404

1ª: A primeira condição trata da aceitação incondicional de que os planetas, inclusive a Terra, giram ao redor do Sol. O modelo heliocêntrico sempre foi a base da cosmologia kepleriana. Só pela hipótese copernicana que a interpolação dos sólidos regulares entre as esferas celestes é justificável, portanto, Kepler prefere Copérnico à Brahe;

2ª: A segunda condição diz respeito à excentricidade das órbitas, isto é, que os planetas ao longo de sua trajetória anual, aproximam-se e se afastam do Sol. Kepler faz uso de uma ilustração para demonstrar essas variações de posição.

Nota-se na ilustração a indicação para a disposição dos sólidos regulares entre os planetas.

“No diagrama, três círculos foram construídos para cada um dos planetas. Nenhum deles indica a verdadeira rota excêntrica do planeta, mas de fato o do meio, como por exemplo o *BE* no caso de Marte, é equivalente à órbita excêntrica, a respeito do seu maior diâmetro; mas a órbita verdadeira, no caso *AD*, toca o círculo superior, *AF*, no lado *A*, e o círculo inferior *CD* no lado oposto, em *D*. O círculo pontilhado *GH* desenhado passando pelo centro do Sol, indica a trajetória do Sol de acordo com Tycho Brahe. Se o Sol se move neste trajeto, todos os pontos do sistema planetário aqui representado procedem num caminho equivalente, cada um em sua própria rota. (...) Devido ao pouco espaço entre os três círculos de Vênus, os mesmos acabaram por se juntar em um só, contrário à minha intenção”²⁴⁴.

3ª: Na terceira condição, Kepler relembra as suas conclusões publicadas no *Mysterium Cosmographicum*, “de que o número de planetas, ou o número de órbitas em torno do Sol foi tirado, pelo mais sábio Criador, dos cinco sólidos regulares”²⁴⁵. Kepler aproveita para dar os créditos a Euclides, o geômetra que descreveu a construção dos mesmos;

²⁴⁴ *Ibid.*, p. 405;

²⁴⁵ *Ibid.*, p. 406.

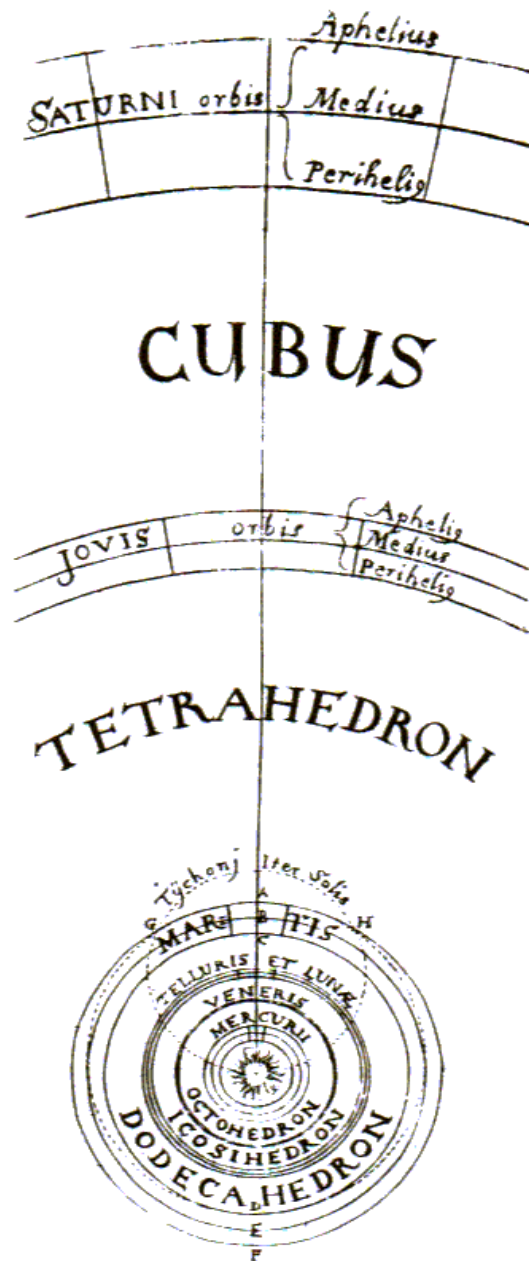


Figura 8: Modelo copernicano de Universo, adaptado às concepções cosmológicas de Kepler. Vemos na figura: a indicação da ordem dos sólidos regulares nas órbitas planetárias; a suposta órbita do Sol no modelo de Tycho Brahe; e os três círculos que representam o maior e o menor distanciamento do planeta em relação ao Sol, bem como o seu trajeto intermediário. Como descrevemos na página 2, os três círculos de Vênus são tão próximos que se fundem em um único *in J. Kepler, Harmony of the World, p. 405.*

4ª: Na quarta condição, Kepler admite que somente a intercalação dos sólidos regulares nas órbitas planetárias, como se elas fossem as esferas inscritas e circunscritas de cada sólido, não gera a proporção ideal que justifique os dados

astronômicos empíricos. Kepler relata uma série de considerações sobre esse fato, como por exemplo, “se os vértices do tetraedro forem posicionados no círculo interno de Júpiter, os centros das faces do tetraedro quase tocam o círculo externo de Marte”²⁴⁶.

Mas, como o “Criador não se afasta do seu próprio arquétipo”²⁴⁷, Kepler apresenta uma nova hipótese *a priori* que justificaria a manutenção da intercalação dos sólidos regulares:

“pelo fato de que os planetas mudam seus intervalos [velocidades] ao longo de períodos de tempo definidos, de tal forma que cada um deles tem duas distâncias distintas do Sol, a maior [afélio] e a menor [periélio], e que a comparação das distâncias a partir do Sol entre dois pares de planetas é possível de quatro formas [afélio-afélio, afélio-periélio, periélio-afélio, periélio-periélio] (...). Assim, as comparações par a par de planetas vizinhos são vinte ao todo, considerando que, por outro lado, há apenas cinco sólidos regulares. Entretanto, é apropriado que o Criador, que se preocupou com a proporção das órbitas como um todo, também se preocupou em particular com a proporção entre as variadas distâncias das órbitas individuais, e a atenção deve ser a mesma em cada caso, e esta deve estar ligada à outra. Sobre cuidadosa consideração, devemos claramente obter a seguinte conclusão, que para estabelecer tanto os diâmetros como os excêntricos das órbitas em conjunção, são necessários mais princípios básicos em complemento aos cinco sólidos regulares”²⁴⁸.

5ª: A quinta condição trata dos movimentos reais dos planetas, já discutidos anteriormente no *Astronomia Novae*, ou como se refere à obra o autor no texto original, *Commentarius de stella Martis*. Chamamos a atenção para os axiomas 1 e 4, em que Kepler declara que o Sol é a fonte do movimento dos planetas²⁴⁹, e 3 e 4 (novamente), nos quais Kepler refere-se ao que é conhecido

²⁴⁶ *Ibid.*, p. 406;

²⁴⁷ *Ibid.*, p. 407;

²⁴⁸ *Ibid.*, p. 407;

²⁴⁹ Mais referências sobre isso, ver nesta dissertação o capítulo I, item 1.7.2 e capítulo II, item 2.11;

atualmente como “1ª lei de Kepler ou Lei das Órbitas”, isto é, que a órbita descrita pelos planetas ao redor do Sol é elíptica, com o Sol ocupando um dos focos da mesma. A base para todos os axiomas é descrita separadamente: “os arcos diários são iguais se tomados sobre o mesmo excêntrico, não são atravessados com a mesma velocidade”²⁵⁰, e é completada pelas seguintes conclusões²⁵¹:

1. “mas que esses *períodos diferenciados despendidos nas partes iguais do excêntrico obedecem à proporção das suas próprias distâncias em relação ao Sol*, fonte do movimento;
2. e, por sua vez, que períodos supostamente iguais, digamos, um dia natural em cada caso, *os verdadeiros arcos diários correspondentes de uma única órbita excêntrica têm entre si uma proporção que é inversa à proporção de duas vezes a distância do Sol.*
3. ao mesmo tempo, entretanto, foi por mim mostrado que *a órbita do planeta é elíptica,*
4. *e o Sol, a fonte do movimento, está em um dos focos da elipse;*
5. e assim, quando o planeta completa, de todo o trajeto, *um quadrante com origem no seu afélio, ele está precisamente a meia distância do Sol, entre a sua maior distância do afélio e a menor distância do periélio.*
6. Por esses dois axiomas pode-se concluir que o *movimento diário médio* de um planeta no seu excêntrico, *é o mesmo que o movimento diário verdadeiro*, naqueles momentos em que o planeta está *no final do quadrante do seu excêntrico, considerado como origem o afélio*, mesmo que o verdadeiro quadrante continue parecendo menor que o próprio quadrante.
7. Além disso, resulta que *quaisquer dois arcos diários verdadeiros do excêntrico, que realmente estão à mesma distância, um no afélio e outro no periélio, quando somados, são iguais a dois arcos diários médios.*
8. Em conseqüência, desde que a proporção dos círculos é a mesma que a proporção dos seus diâmetros, *a proporção entre um arco diário médio e a soma de todos os arcos diários médios que formam todo o trajeto e que são iguais, é a mesma entre o arco diário médio e a soma de todos os arcos diários verdadeiros no excêntrico, que são iguais em número mas diferentes entre eles. É necessário conhecer antecipadamente os arcos diários verdadeiros e os movimentos verdadeiros, para que possamos agora compreender, por meio deles, os movimentos aparentes, como se colocássemos um olho no Sol*”²⁵².

²⁵⁰ *Ibid.*, p. 408;

²⁵¹ Todas as palavras grafadas em itálico obedecem à tradução do texto original;

²⁵² *Ibid.*, p. 408;

6ª: Na sexta condição, Kepler comenta que os arcos aparentes, vistos do Sol, parecem ser menores e mais lentos no afélio e maiores e mais rápidos no periélio, para um observador posto no centro do mundo²⁵³. São apresentados outros seis axiomas, como por exemplo, “que a proporção entre o arco diário aparente de um dado excêntrico é satisfatória e precisamente o quadrado do inverso da proporção das suas distâncias ao Sol”²⁵⁴, que os arcos excêntricos não devem ser tão grandes, nem os excêntricos tão achatados²⁵⁵.

7ª: A sétima condição retoma a rejeição dos movimentos aparentes dos planetas, como o de retrogração. Como sabemos, esses movimentos são resultados exclusivos do movimento da Terra em torno de seu eixo e ao redor do Sol. Retomar esse tópico é importante porque, como comentam Aiton, Duncan e Field,

“pelo fato de que as harmonias celestes seriam percebidas apenas a partir do Sol, pareceria possível concluir que Kepler considerou-as objetos da mente e não dos sentidos. Embora a alma-terra pudesse perceber e ser influenciada pelo aspetos astrológicos (a manifestação da harmonia na natureza), pareceria que apenas as mentes inteligentes poderiam entender e reconhecer as harmonias celestes, uma vez que tivessem sido trazidas à luz.”²⁵⁶

8ª: Finalmente, na oitava condição, Kepler faz o estudo conjunto dos arcos das órbitas de dois planetas, relacionando o período de revolução dos mesmos e a distância média que os separam do Sol. Kepler sabe que está diante de uma verdadeira descoberta astronômica, algo muito superior às suas hipóteses sobre os sólidos regulares:

“pois quando as verdadeiras distâncias entre as esferas foram determinadas por meio das observações de Brahe, pelo trabalho contínuo de longa data, enfim, enfim²⁵⁷ a verdadeira proporção entre os períodos e as esferas – e se você [leitor] quiser o momento exato, ela foi concebida mentalmente em 8 de março deste ano de 1618, mas submetida aos cálculos de forma errônea e assim tida como falsa, e finalmente retomada em 15 de maio, adotando uma nova linha de pensamento, vencendo a escuridão da minha mente.”²⁵⁸

²⁵³ *Ibid.*, p. 409;

²⁵⁴ *Ibid.*, p. 409;

²⁵⁵ *Ibid.*, p. 409;

²⁵⁶ E. J. Aiton, A. M. Duncan e J. V. Field *in* J. Kepler, *op. cit.*, p. 410;

²⁵⁷ Do texto em inglês: “by continuous toil for a very long time, at last, at last, the genuine proportion of the periodic times (...)”, *Ibid.*, p. 411;

²⁵⁸ *Ibid.*, p. 412;

Antes, ainda, apresenta quatro definições necessárias para as futuras argumentações:

1. “Apside mais próxima de dois planetas: periélio do planeta superior, afélio do planeta inferior, não obstante o fato que eles tendam a não estar na mesma região do mundo, mas em diferentes, e por ventura até em lados opostos.
2. Movimentos extremos: o mais lento e o mais rápido de toda a trajetória orbital.
3. Movimentos convergentes ou de aproximação: aqueles que estão o mais próximo do apside, isto é, no periélio do planeta superior e no afélio do inferior.
4. Movimentos divergentes ou de afastamento: aqueles que estão no apside oposto, ou seja, no afélio do planeta superior e periélio do inferior.”²⁵⁹

E, assim, anuncia:

“a proporção entre o período de quaisquer dois planetas é precisamente a razão de 3/2 (sesquiáltera) das suas distâncias médias, isto é, das próprias esferas, embora tendo isto em mente, que a média aritmética entre os dois diâmetros da órbita elíptica é um pouco menor que o diâmetro mais longo.”²⁶⁰

Na seqüência, Kepler faz um estudo de caso (Saturno e Terra) no qual aplica os valores aproximados dos períodos de revolução destes dois planetas e justifica numericamente a sua descoberta. Tomamos a liberdade de usar a terminologia matemática moderna para ilustrar este exemplo e o fizemos da mesma forma empregada por Norberto de Paula Lima nos seus comentários sobre *Timeu e Crítias ou A Atlântida*²⁶¹ de Platão.

“Se qualquer um tomar um terço da proporção do período, por exemplo, da Terra, que é um ano, e fizer o mesmo com o período

²⁵⁹ *Ibid.*, p. 411;

²⁶⁰ *Ibid.*, p. 411;

²⁶¹ Consultar bibliografia no final desta dissertação;

de Saturno, trinta anos, isto é, as raízes cúbicas, e tomar um duplo desta proporção, elevando ao quadrado as raízes, terá como resultado números que correspondem exatamente às distâncias médias da Terra e Saturno em relação ao Sol, pois a raiz cúbica de 1 é 1, e o quadrado disto é 1. Também a raiz cúbica de 30 é maior que três, e assim, o quadrado dela é maior que 9. E Saturno, em sua distância média em relação ao Sol, é um pouco maior que 9 vezes a distância média do Sol à Terra.”²⁶²

9ª: Na nona condição, Kepler afirma que para “conhecer as verdadeiras trajetórias de cada planeta através do éter, duas razões devem ser combinadas, a razão dos arcos diários reais do excêntrico e a razão das distâncias médias de cada planeta em relação ao Sol.”²⁶³ É desta forma que se avaliará depois se as trajetórias descritas pelos planetas estão ou não estão em harmonia;

10ª: A décima condição trata do tamanho dos arcos diurnos reais para um observador posicionado no Sol: “para encontrar definitivamente o tamanho aparente de qualquer arco diário, (...) multiplique a proporção dos arcos pela proporção inversa, não da média, mas das distâncias reais, pois elas encontram-se em qualquer ponto do excêntrico.”²⁶⁴

Período da Terra (1 ano)
Período de Saturno (30 anos)
“se qualquer um tomar um terço da proporção do período, (...) isto é, as raízes cúbicas”

$$\begin{aligned} T_{\text{Terra}} &= 1 \\ T_{\text{Saturno}} &= 30 \\ \sqrt[3]{\frac{T_{\text{Terra}}}{T_{\text{Saturno}}}} \end{aligned}$$

“e tomar um duplo desta proporção, elevando ao quadrado as raízes”

$$\left(\frac{T_{\text{Terra}}^{\frac{1}{3}}}{T_{\text{Saturno}}^{\frac{1}{3}}} \right)^2$$

“terá como resultado números que correspondem exatamente às distâncias médias da Terra e Saturno em relação ao Sol.”

$$\frac{R_{\text{Terra}}}{R_{\text{Saturno}}} = \frac{T_{\text{Terra}}^{\frac{2}{3}}}{T_{\text{Saturno}}^{\frac{2}{3}}}, \text{ ou como foi primeiramente enunciado,}$$

²⁶² J. Kepler, *op. cit.*, p. 412 – nesta dissertação, página 136;

²⁶³ *Ibid*, p. 412;

²⁶⁴ *Ibid*, p. 412;

“pois a raiz cúbica de 1 é 1, e o quadrado disto é 1.”

“também a raiz cúbica de 30 é maior que três, e assim, o quadrado dela é maior que 9.”

“e Saturno em sua distância média em relação ao Sol é um pouco maior que 9 vezes a distância média do Sol a Terra.”

$$\frac{T_{Terra}}{T_{Saturno}} = \frac{R_{Terra}^{\frac{3}{2}}}{R_{Saturno}^{\frac{3}{2}}}$$

$$\sqrt[3]{1} = 1$$

$$(1)^2 = 1$$

$$\sqrt[3]{30} \approx 3,11 \therefore 3,11 > 3$$

$$(3,11)^2 \approx 9,67 \therefore 9,67 > 9$$

$$\frac{R_{Terra}}{R_{Saturno}} = \frac{1}{9,67} \Rightarrow R_{Saturno} = 9,67 \cdot R_{Terra}$$

11ª: Na décima primeira condição, Kepler apresenta o cálculo de como a razão entre as distâncias entre os afélios e periélios de dois planetas podem ser obtidas a partir dos movimentos aparentes. Assim como na oitava condição, propõe um exemplo numérico. Decidimos expô-lo aqui por tratar-se de uma aplicação direta da condição de número oito:

“Tomemos dois planetas cujos períodos de revolução sejam 27 e 8. Assim, a razão do movimento diário médio do primeiro para o segundo é 8 para 27. Consequentemente, [a razão entre] os semidiâmetros das órbitas será de 9 para 4. Pois a raiz cúbica de 27 é 3 e a raiz cúbica de 8 é 2, e o quadrado dessas raízes são 9 e 4. Agora, deixe que o movimento aparente no afélio de um seja 2 e no periélio do outro 33 e um terço. As proporções médias entre os movimentos médios 8 e 27, e estes, aparentes, serão de 4 e 30. Portanto, se a proporção média 4 corresponde a uma distância média de 9 para o planeta, então o movimento médio de 8 resulta numa distância do afélio de 18, o que corresponde ao movimento aparente de 2; e se a outra proporção média de 30 dá ao outro planeta uma distância média de 4, então o seu movimento médio de 27 irá resultar em um intervalo periélio de 3 e três quintos. Portanto, digo que a distância do afélio está para a distância do periélio como 18 está para 3 e três quintos. Disso se torna evidente que as harmonias impostas entre os movimentos extremos desses dois e os períodos determinados em cada caso acarretam as distâncias extremas e médias, assim como as excentricidades.”²⁶⁵

Em notação moderna, esse parágrafo fica mais fácil de ser interpretado:

“Tomemos dois planetas cujos períodos de revolução sejam 27 e 8”
 Período de revolução do planeta mais afastado do Sol (T): 27;
 Período de revolução do planeta mais próximo do Sol (t): 8;

“a razão do movimento diário médio do primeiro para o segundo é 8 para 27”
 Movimento Diário Médio do planeta mais afastado do Sol (M): 8
 Movimento Diário Médio do planeta mais próximo do Sol (m): 27

$$\therefore \frac{M}{m} = \frac{t}{T}$$

“Conseqüentemente, [a razão entre] os semidiâmetros das órbitas será de 9 para 4”
 Semidiâmetro do planeta mais afastado do Sol (R): 9;
 Semidiâmetro do planeta mais próximo do Sol (r): 4;

$$\frac{R}{r} = \frac{T^{\frac{2}{3}}}{t^{\frac{2}{3}}} \Rightarrow \frac{R}{r} = \frac{27^{\frac{2}{3}}}{8^{\frac{2}{3}}} \Rightarrow \frac{R}{r} = \frac{9}{4}$$

(uso direto da condição 8)

“Agora, deixe que o movimento aparente no afélio de um seja 2 e no periélio do outro 33 e um terço”
 Movimento aparente no afélio do planeta mais afastado (MA): 2;
 Movimento aparente no periélio do planeta mais próximo (ma): 33^{1/3}

Nesta passagem específica, é preciso empregar o primeiro axioma que descrevemos na sexta condição:

“a proporção entre o arco diário aparente de um dado excêntrico é satisfatória e precisamente o quadrado do inverso da proporção das suas distâncias ao Sol”, ou seja,

$$\frac{MA}{M} = \frac{R^2}{RA^2} \text{ ou } \frac{ma}{M} = \frac{r^2}{ra^2} \text{ e}$$

$$\frac{MP}{M} = \frac{R^2}{RP^2} \text{ ou } \frac{mp}{M} = \frac{r^2}{rp^2}$$

“As proporções médias entre os movimentos médios 8 e 27, e estes, aparentes, serão de 4 e 30”

Onde:

MA: movimento no afélio do planeta mais afastado do Sol;
 ma: movimento no afélio do planeta mais próximo do Sol;
 RA: distância do afélio do planeta mais afastado do Sol;
 ra: distância do afélio do planeta mais próximo do Sol;
 MP: movimento no periélio do planeta mais afastado do Sol;
 mp: movimento no periélio do planeta mais próximo do Sol;
 RP: distância do periélio do planeta mais afastado do Sol;
 rp: distância do periélio do planeta mais próximo do Sol;
 Os valores 4 e 30 são as razões aparentes, obtidas da seguinte forma:

²⁶⁵ *Ibid.*, p. 413;

$$\frac{MA}{M} = \frac{R^2}{RA^2} \Rightarrow \frac{MA.(M)}{M.(M)} = \frac{R^2}{RA^2} \Rightarrow \frac{MA.(M)}{M^2} = \frac{R^2}{RA^2} \Rightarrow$$

$$\sqrt{\frac{MA.(M)}{M^2}} = \sqrt{\frac{R^2}{RA^2}} \Rightarrow \frac{\sqrt{MA.(M)}}{M} = \frac{R}{RA} \Rightarrow$$

$$\sqrt{MA.(M)} = \frac{R.M}{RA} \Leftrightarrow \frac{R.M}{RA} = \sqrt{MA.(M)} \Rightarrow$$

$$\frac{R.M}{RA} = \sqrt{2.8} \Rightarrow \frac{R.M}{RA} = 4$$

e

$$\frac{r.m}{rp} = \sqrt{33\frac{1}{3}.27} \Rightarrow \frac{r.m}{rp} = 30$$

“Portanto, se a proporção média 4 corresponde a uma distância média de 9 para o planeta, então o movimento médio de 8 resulta numa distância do afélio de 18, o que corresponde ao movimento aparente de 2; e se a outra proporção média de 30 dá ao outro planeta uma distância média de 4, então o seu movimento médio de 27 irá resultar em um intervalo periélio de 3 e três quintos”

$$\frac{R.M}{RA} = 4 \Rightarrow RA = \frac{R.M}{4} \Rightarrow RA = \frac{9.8}{4} \Rightarrow RA = 18 \text{ e}$$

$$\frac{r.m}{rp} = 30 \Rightarrow rp = \frac{r.m}{30} \Rightarrow rp = \frac{4.27}{30} \Rightarrow rp = 3\frac{1}{5}$$

12^a: Na décima segunda condição, Kepler afirma ser possível obter o movimento médio de um planeta a partir dos seus movimentos extremos: “neste caso, não é precisamente a média aritmética entre os movimentos extremos, nem precisamente a média geométrica; mas é tanto menor que a média geométrica quanto a média geométrica é menor que a média (aritmética) entre as duas médias”²⁶⁶.

13^a: Kepler encerra o capítulo III com a condição que dá os parâmetros matemáticos das suas conclusões:

“a proporção de dois movimentos extremos aparentes convergentes é sempre menor que a razão sesquiáltera dos intervalos correspondentes a estes movimentos extremos; e em que razão o produto das duas razões dos intervalos

²⁶⁶ *Ibid.*, p. 413;

correspondentes aos dois intervalos médios ou aos semidiâmetros das duas esferas não chega a alcançar a razão das raízes quadradas das esferas, nesta razão é que as razões dos dois movimentos extremos convergentes excedem a razão dos intervalos correspondentes; mas se esta razão composta excedesse a razão das raízes quadradas das esferas, então a razão dos movimentos convergentes seria menor que a razão de seus intervalos”²⁶⁷.

3.6 Com quais aspectos relacionados aos movimentos dos planetas as harmonias simples foram expressas, e que todas aquelas que pertencem à melodia são encontradas nos céus

As considerações sobre as consonâncias planetárias, sendo que estas são definidas em função das condições discutidas no capítulo III, são apresentadas neste capítulo. Sobre o título “Com quais aspectos relacionados aos movimentos dos planetas as harmonias simples foram expressas, e que todas aquelas que pertencem à melodia são encontradas nos céus”, Kepler argumenta que, de todas as coisas que são relativas aos planetas, como “suas distâncias do Sol, seus períodos, arcos excêntricos diários, tempos gastos nestes arcos, ângulos em relação ao Sol – ou arcos diários aparentes vistos por um observador no Sol – (...)”²⁶⁸, os períodos dos planetas são os que realmente importam para a determinação das proporções harmônicas.

Mas há muitas formas de se estudar a relação dos períodos dos planetas e, como é típico da escrita de Kepler, ele descreve os pormenores dos seus sucessos e também dos seus fracassos. Aiton, Duncan e Field, antecipam²⁶⁹, em nota de rodapé, que apenas o período, ou as distâncias de afélio e periélio, ou o arco diurno verdadeiro no afélio e periélio, não resultarão na harmonia esperada por Kepler. Esta só ocorre, de acordo com Kepler, quando a comparação é feita entre as velocidades [angulares] no afélio e periélio, estando o observador no Sol, ou seja, nos movimentos diários aparentes. Antes de analisá-la, seria conveniente explicar o método utilizado

²⁶⁷ *Ibid.*, p. 414;

por Kepler no capítulo IV em um estudo que não resultará nas consonâncias planetárias, mas ajudará na compreensão de como se estrutura a harmonia musical na cosmologia kepleriana. Para isso escolhemos a primeira hipótese, dos períodos de revolução serem harmônicos por si só.

São apresentadas duas tabelas²⁷⁰: a primeira com os dados dos períodos de revolução dos planetas e as velocidades angulares médias, e a segunda com a interpretação harmônica dos valores dos períodos.

	Período		Velocidades médias diárias		
	Dias	Minutos ²⁷¹	Minutos	Segundos	Terços de minuto ²⁷²
Saturno	10759	12	2	0	27
Júpiter	4332	37	4	59	8
Marte	686	59	31	26	31
Terra com Lua	365	15	59	8	11
Vênus	224	42	96	7	39
Mercúrio	87	58	245	32	25

	Saturno	Júpiter	Marte	Terra	Vênus	Mercúrio	
	10759. 12						
Metades	5379. 36	4332. 37				87. 58	Dobros
	2689. 48	2166. 19			224. 42	175. 56	
	1344. 54	1083. 10	686. 59	365. 15	449. 24	351. 52	
	672. 27	541. 35					

²⁶⁸ *Ibid.*, p. 417;

²⁶⁹ E. J. Aiton, A. M. Duncan e J. V. Field *in* J. Kepler, *op. cit.*, p. 418;

²⁷⁰ *Ibid.*, p. 418;

²⁷¹ Do texto em inglês 'Sixtieths of a day', ou seja, sexagésima parte de um dia.

A tabela acima é construída de seguinte maneira: o período de Saturno é dividido pelo valor 2 repetidas vezes, pois como se sabe, na escala musical, uma nota e sua oitava – que numa corda, por exemplo, é obtida pela divisão da mesma ao meio – são interpretadas pelo ouvido humano como sons musicais idênticos. Desta forma, Kepler determina quatro oitavas para Saturno. O mesmo procedimento é repetido para o cálculo das três oitavas de Júpiter. Para Vênus e Mercúrio, o procedimento é parecido, só que desta vez, multiplica-se o período pelo valor 2, já que é possível obter tanto as oitavas mais agudas²⁷³ (dividindo-se a corda ao meio), como as mais graves²⁷⁴ (dobrando o tamanho da corda). O motivo pelo qual o período de Saturno é dividido até a sua “quarta oitava acima” e Mercúrio, até a sua “terceira oitava abaixo” é para que esses valores possam respeitar o intervalo de uma oitava, estabelecido em função do período da Terra (365 dias e 15 segundos), ou seja, mínimo de 182 dias e 37,5 segundos e máximo de 730 dias e 30 segundos.

Mas, como já foi anunciada, essa não é uma relação harmônica. Nas palavras de Kepler:

“Todos os últimos números são incompatíveis com as proporções harmônicas, e parecem semelhantes aos números inexprimíveis. Vamos permitir que o número de dias de Marte, 687, seja medido em unidades que simbolize 120, que significa a divisão de uma corda. Nestas unidades, Saturno será representado por um valor um pouco maior que 117, tomada a décima sexta parte; Júpiter um pouco menos de 95, tomada a oitava parte; a Terra um pouco menos de 64; Vênus um pouco mais de 78, tomado o dobro; Mercúrio, mais de 61, tomado o quádruplo. Ainda que estes números não formem nenhuma proporção harmônica com 120; os números vizinhos, 60, 75, 80, e 96 fazem. De forma similar, se Saturno simbolizar 120, Júpiter será representado por um valor próximo de 97; a Terra, um valor acima de 65; Vênus, mais de 80;

²⁷² Do texto em inglês ‘*Third minutes*’, ou seja, terços de minuto.

²⁷³ Em linguagem musical, oitava acima.

²⁷⁴ Em linguagem musical, oitava abaixo.

Mercúrio, menos de 63. No caso de Júpiter ser 120, a Terra será menos de 81; Vênus, menos de 100; Mercúrio, menos de 78. Nas mesmas unidades para Vênus, a Terra será menor que 98; Mercúrio mais de 94. Por último, se a Terra se tornar 120, Mercúrio será menor que 116. Mas, se esta livre seleção de proporções fosse válida, ela estaria absolutamente em perfeita harmonia, sem excessos ou deficiências. Por essa razão, Deus o Criador não foi revelado por ter planejado introduzir as proporções harmônicas entre as somas dos tempos gastos [pelos planetas] aos tempos periódicos.”²⁷⁵

O porquê do número 120 é explicado no capítulo IV do Livro III desta obra: “temos que encontrar para todos os números que representam os mais nobres termos da divisão harmônica de sete notas, isto é, 2, 3, 4, 5, 6, 5 e 8, o mínimo múltiplo comum, 120”²⁷⁶. Os “nobres termos da divisão harmônica” são os valores empregados para obter por meio da divisão, dada a primeira nota, as outras notas da escala em uma oitava. Vejamos como Kepler esquematiza esta idéia: a nota mais grave representada na partitura no canto superior direito é um Sol (G). Ela também está representada pela última linha (ou seria uma corda?) no lado direito da figura. Sua oitava acima é a primeira nota na escala, e a primeira das linhas. Sua obtenção é conseguida mediante a divisão da corda pela metade, assim como é indicado na chave do lado esquerdo da figura (1/2 corresponde à primeira nota na escala) e na primeira linha onde se consegue ler os números 1 e 2 à esquerda da linha. O resultado desta divisão, 60, é apresentado na segunda chave da esquerda e na própria linha, à direita. O procedimento se repete para a segunda nota, o Mi sustenido (E#, equivalente ao fá, F), cuja razão é 5/8 (sétima) e o resultado da divisão é 72; para o Mi (E), de razão 5/8 (sexta) e valor 75; para o Ré (D), de razão 2/3

²⁷⁵ *Ibid.*, p. 419;

²⁷⁶ *Ibid.*, p. 177;

(quinta) e valor 80; para o Dó (C), de razão $3/4$ (quarta) e valor 90; para o Si (B), de razão $4/5$ (terça) e valor 96; e, finalmente para o Lá (A), de razão $5/6$ (segunda) e valor 100.

“A proporção das partes”²⁷⁷ é obtida através da razão entre os intervalos das consonâncias: primeiro, compara-se as consonâncias – B está para A na razão $96/100$ ou $24/25$; C está para B na razão $90/96$ ou $15/16$; D está para C na razão $80/90$ ou $8/9$; E está para D na razão $75/80$ ou $15/16$; e por último, F está para E na razão $72/75$ ou $24/25$. Nota-se que os intervalos se repetem: $24/25$, $15/16$, $8/9$, $15/16$ e $24/25$. A proporção das partes é a razão entre esses valores, que também se repetem quando ajustados: $9/10$, $8/9$, $9/10$.

Portanto, não formam consonâncias as razões entre os períodos de Saturno e Marte ($117/120$), Júpiter e Marte ($95/120$ ou $19/24$), Terra e Marte ($64/120$ ou $8/15$), Vênus e Marte ($78/120$ ou $39/60$), Mercúrio e Marte ($61/120$), Júpiter e Saturno ($97/120$), Terra e Saturno ($65/120$ ou $13/24$), Vênus e Saturno ($\sim 80/120$), Mercúrio e Saturno ($63/120$), Terra e Júpiter ($81/120$ ou $27/40$), Vênus e Júpiter ($\sim 100/120$), Mercúrio e Júpiter ($78/120$ ou $39/60$), Terra e Vênus ($98/120$ ou $49/60$), Mercúrio e Vênus ($94/120$ ou $47/60$), e, por fim, Mercúrio e Terra ($116/120$ ou $29/30$).

²⁷⁷ *Ibid.*, p. 177;

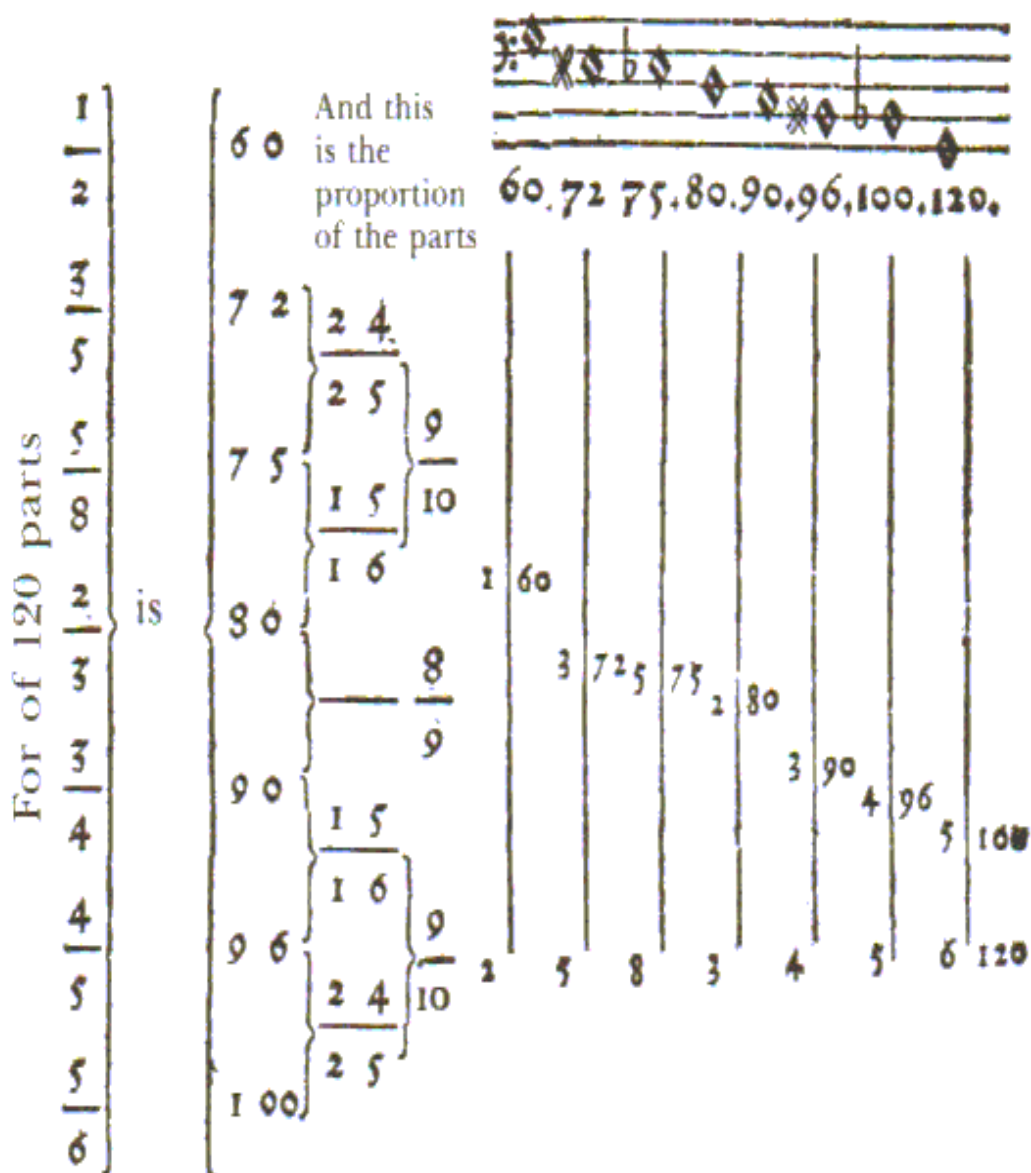


Figura 9: Descrição da argumentação sobre o número 120, as notas musicais e seus intervalos. Na escala musical à direita, o primeiro símbolo à esquerda é uma clave de Fá. O segundo símbolo é a indicação da nota, o terceiro corresponde ao atual # (sustenido) e a letra b, indica o bemol da nota natural que se segue. J. Kepler, *Harmony of the world*, p. 177.

Para a conclusão deste capítulo, discutiremos as características do movimento planetário que resultam nas harmonias celestiais. Kepler analisa assim a questão:

“Desde que, entretanto, Deus nada estabeleceu sem uma beleza geométrica, a menos que esteja relacionada com alguma outra coisa de maior prioridade, nós prontamente inferimos que os períodos têm a sua duração, assim como os astros também têm seus volumes, originados de algo que tem uma existência anterior no arquétipo. (...) As harmonizações geométricas devem portanto ser encontradas igualmente nestes tempos [períodos], ou em algo de maior prioridade na mente do Criador, aparentemente. (...) Quanto ao que concerne aos planetas individualmente, portanto, a discussão sobre os arcos, os períodos empregados em arcos iguais, e o distanciamento dos arcos em relação ao Sol, será única e a mesma. E porque tudo isto acontece de forma variada no caso dos planetas, não há dúvida que se estas prescrevem qualquer beleza geométrica, pelo infalível projeto do Artesão, isto acontece nos seus extremos, nas distâncias de afélio e periélio, (...). Portanto, as distâncias extremas (...) baseadas nas observações muito acuradas de Tycho Brahe, pelo método explicado no *Comentários sobre Marte* e pelo esforço muito persistente de dezessete anos, (...), não há nenhum planeta sozinho, com exceção de Marte e Mercúrio, que as distâncias extremas sugiram a harmonia. Mas, se compararmos entre si as distâncias extremas de diferentes planetas, alguma luz de harmonia começa a brilhar adiante.”²⁷⁸

A seguir veremos como Kepler propõe a unificação da teoria dos sólidos regulares com as harmonias celestiais²⁷⁹. Acreditamos que devemos apresentar a argumentação por etapas e de forma sucinta, já que Kepler muitas vezes se dá ao trabalho de “nos divertir com sua narrativa”²⁸⁰:

1. Somente as distâncias não são apropriadas para verificar as harmonias, pois estas estão relacionadas à lentidão ou rapidez do movimento: para justificar esta afirmação, Kepler descreve, anteriormente, uma tabela com dados relativos às distâncias de afélio e periélio dos planetas. Por exemplo, são

²⁷⁸ *Ibid.*, pp. 419-21;

²⁷⁹ *Ibid.*, p. 421;

²⁸⁰ Referência a um trecho da obra *Astronomia nova*, usada no livro de Paolo Rossi, *O nascimento da ciência moderna na Europa*, como epígrafe: “Quando Cristóvão Colombo, Magalhães e os portugueses contaram como perderam o rumo nas suas viagens, nós não só os desculpamos, mas ficaríamos lamentando não dispormos da sua narrativa, sem a qual toda a diversão estaria perdida. Por isso, não serei alvo de censura se, induzido pelo mesmo afeto

atribuídos a Saturno os valores 10052 para afélio e 8968 para periélio, que não resultam por si só em consonância, já que a razão destes valores é “maior que o tom menor 10000/9000 e menor que o tom maior 10000/8935”²⁸¹.

2. Por se tratar de distâncias que simbolizam os diâmetros das esferas, a proporção dos cinco sólidos regulares deve ter prioridade em ser empregada. Estes valores devem ser pensados não mais como os raios das esferas, “mas como medidas do movimento”²⁸²: ou seja, por analogia, as órbitas excêntricas são as linhas dos círculos que circunscrevem e se inscrevem nos poliedros. As “medidas do movimento” deixam de ser tratadas meramente como distâncias e assumem uma nova interpretação, a dos comportamentos dos astros em suas órbitas, nas posições extremas. Desta forma, os valores dos arcos excêntricos expressos em minutos e segundos devem ser empregados segundo a condição nove expressa no capítulo III do livro V do *Harmonices mundi*: “os movimentos diários de cada planeta devem ser multiplicados pelo semidiâmetro de suas órbitas”²⁸³.

Essa nova interpretação também não revela a harmonia esperada. Em contrapartida, é usada por Kepler para fazer uma referência a Aristóteles:

“Deste modo, Saturno mal completa um sétimo do trajeto de Mercúrio²⁸⁴; e o resultado é o que Aristóteles, no livro II do seu *De Caelo*, julgou estar de acordo com a razão, que o planeta mais próximo ao Sol sempre completa uma distância maior do que

pelos meus leitores, quisesse seguir o mesmo método deles.” J. Kepler in P. Rossi, *O nascimento da ciência moderna na Europa*, p. 138;

²⁸¹ Os valores para os tons maiores e menores são aproximados, ou como Kepler se refere, valores vizinhos. J. Kepler, *op. cit.*, p. 421;

²⁸² *Ibid.*, p. 421.

²⁸³ *Ibid.*, p. 412;

²⁸⁴ Anterior a esta afirmação, Kepler apresenta os dados em uma tabela calculada por meio da condição nove. Para justificar a afirmação: Saturno: no periélio, arco diário 1074; no afélio, arco diário 1208 e Mercúrio: no periélio, arco diário 4680; no afélio, arco diário 7148. Portanto, o arco diário de Saturno é menor que um sétimo do arco diário de Mercúrio;

aqueles mais afastados, o que era impossível atingir na astronomia antiga.”²⁸⁵

3. As trajetórias verdadeiras dos planetas não devem ser consideradas para as relações harmônicas, e sim os arcos diários aparentes, aqueles que são interpretados como se vistos do Sol. Kepler procura convencer os seus leitores que o tipo de harmonia que estava propondo, até então, não era algo instintivo como as harmonias que ocorrem naturalmente, tal qual na luz e no som:

“Mas quem se beneficiará das harmonias entre os arcos, ou quem compreenderá essas harmonias? Há duas coisas que nos revelam as harmonias em eventos naturais, sejam eles luz ou som. Aquele é recebido através do olhar, ou de sentidos ocultos análogos ao olhar; e este, através dos ouvidos. E a compreensão mental nessas revelações distingue entre instinto (sobre o qual muito foi dito no Livro IV) ou por raciocínio astronômico ou harmônico entre o melódico e o não-melódico. Na verdade, não existe nenhum tipo de som nos céus, e a movimentação não é tão turbulenta a ponto de produzir um assobio por meio da fricção com o ar celestial. Resta a luz. Se pode nos ensinar qualquer coisa sobre os arcos dos planetas, ela nos ensina que os olhos ou algum órgão sensorial análogo a eles, estão localizados numa determinada posição; e para que a luz nos informe de imediato e por iniciativa própria, parece que o órgão sensorial tem de estar em sua presença. Portanto, haverá um órgão de sentido por todo o mundo, o que equivale a dizer que, desta forma, um único e mesmo órgão está presente nas movimentações de todos os planetas”²⁸⁶.

A partir deste parágrafo no texto, há um “ponto de virada” bastante significativo: Kepler sugere que deixemos um pouco de lado a astronomia racional e encaremos a harmonia de forma mais instintiva, tal qual a ação dos aspectos celestiais em nossas vidas terrestres, pois

“assim, esta aparência, trazida pela ação da luz sobre o corpo do Sol, pode, junto à própria luz, fluir direto para as criaturas vivas, que compartilham neste instinto, assim como no quarto livro

²⁸⁵ J. Kepler, *op.cit.*, p. 423;

²⁸⁶ *Ibid.*, p. 423;

afirmamos que o padrão dos céus flui para um embrião por ação dos raios”²⁸⁷

Portanto, a hipótese harmônica recai nos arcos descritos pelos planetas em seus movimentos diários, tendo como referencial o Sol. Para isso, recorre a astronomia defendida por Tycho Brahe²⁸⁸ e apresenta os seguintes dados para os arcos aparentes:

Harmonias dos pares				Trajeto diário aparente			Harmonias individuais		
Div.	Conv.				Minutos		Minutos		
					Segundos		Segundos		
				Saturno	No afélio No periélio	1.46.a 2.15.b	Entre E	1.48 2.15	4/5, uma terça maior
$\frac{a}{d}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{b}{c}$	$\frac{1}{2}$						
				Júpiter	No afélio No periélio	4.30.c 5.30.d	Entre E	4.35 5.30	5/6, uma terça menor
$\frac{c}{f}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{d}{e}$	$\frac{5}{24}$						
				Marte	No afélio No periélio	26.14.e 38.01.f	Entre E	25.21 38.1	2/3, uma quinta
$\frac{e}{h}$	$\frac{5}{12}$	$\frac{f}{g}$	$\frac{2}{3}$						
				Terra	No afélio No periélio	57.03.g 61.18.h	Entre E	57.28 61.18	15/16, um semitom
$\frac{g}{k}$	$\frac{3}{5}$	$\frac{h}{i}$	$\frac{5}{8}$						
				Vênus	No afélio No periélio	94.50.i 97.37.k	Entre E	94.50 98.47	24/25, um suspenso
$\frac{i}{m}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{k}{l}$	$\frac{3}{5}$						
				Mercúrio	No afélio No periélio	164.0l. 394.0m.	Entre E	164.0 394.0	5/12, oitava e terça menor

A tabela anterior deve ser interpretada da seguinte maneira:

1. Os intervalos convergentes e divergentes (à esquerda) se referem ao que foi anteriormente dado como definição na condição 8. Para conseguir estas

²⁸⁷ *Ibid.*, p. 424;

relações, os valores devem ser transformados, ou seja, para o primeiro movimento divergente (a/d), o valor do arco do afélio de Saturno (1min46s) deve ser interpretado como 106 segundos (1min=60s + 46s = 106s) e o valor do arco do periélio de Júpiter (5min30s), 330 segundos. Portanto, 106/330 equivale aproximadamente a 1/3.

2. Individualmente e dentro do limite estabelecido (à direita, “entre – e “), cada planeta é representado por uma consonância dentro da escala. Tomando os valores da mesma forma que no exemplo anterior, para Saturno, 108 segundos referentes ao arco diário no afélio e 135 segundos (2min e 15s = 120s + 15s = 135s) referentes ao periélio, equivalem a razão 108/135, ou seja, 4/5.

Nos dois casos, tanto na comparação entre os movimentos extremos de dois planetas consecutivos em posições opostas (por exemplo, velocidade de Saturno no afélio e Júpiter no periélio) como na comparação dos movimentos extremos de cada planeta tomado individualmente, as relações harmônicas se apresentam claramente e com boa aproximação, com melhores resultados para o primeiro caso.

“Ademais, existe uma grande distinção entre as harmonias que foram delimitadas entre planetas individuais e entre planetas combinados. Pois as primeiras realmente não podem existir no mesmo momento específico, enquanto o segundo, absolutamente, pode. Porque o mesmo planeta, quando situado em seu afélio não pode, ao mesmo tempo, estar também em seu periélio, que é oposto, mas tratando-se de dois planetas, um pode estar em seu afélio e o outro, em seu periélio no mesmo momento específico. Então, a proporção da melodia simples ou monodia, que chamamos de música coral e que era o único tipo conhecido pelos antigos, – a melodia de diversas vozes chama-se figurada, invenção dos séculos recentes – é a mesma que a proporção das

²⁸⁸ “que ensina sobre os movimentos diários dos planetas, abstraindo a partir do movimento próprio dos planetas as paralaxes da órbita anual, que concede a elas a semelhança das estações e das regressões.” *Ibid.*, p. 424;

harmonias indicadas por planetas individuais às harmonias que eles indicam em combinação.²⁸⁹

3.7 Conclusão do Capítulo III

Ao contrário do que se possa imaginar, o *Harmonices mundi* não encerra a busca de Kepler pela harmonia do mundo. Como vimos, o *Epitome astronomiae Copernicae* e o *Tabulae Rudolphinae* estavam sendo escritos paralelamente ao *Harmonices mundi* e, nestas duas obras (mais na primeira que na segunda), Kepler retoma boa parte da discussão sobre os sólidos regulares, a forma das trajetórias planetárias e a relação harmônica entre período e distância em relação ao Sol. Até uma segunda versão do *Mysterium Cosmographicum* foi publicada em 1621, revisada e comentada pelo autor, já adaptado às suas novas conclusões.

As duas tentativas iniciais de Kepler de se estabelecer uma relação harmônica entre período e distância, publicadas no *Mysterium Cosmographicum*²⁹⁰ e no *Astronomia Nova*²⁹¹, são muito inferiores àquela obtida no *Harmonices mundi*. Apesar de todo o detalhamento empregado em seu texto para apresentar as conclusões a respeito dos movimentos celestes e dos cálculos apresentados como exemplos da aplicação de sua teoria astronômica, o livro V termina sem Kepler justificar como chegou à conclusão da condição oito. Não foi possível saber através da leitura por que a razão entre os períodos de dois planetas se relaciona com as respectivas distâncias

²⁸⁹ *Ibid.*, p. 430;

²⁹⁰ $\frac{(T_2 - T_1)}{T_1} = \frac{2 \cdot (R_2 - R_1)}{R_1}$;

médias através da potência de 3/2. Não há nenhuma demonstração – nem geométrica, nem aritmética – nem justificativa de ordem física que caracterizem este expoente.

Assim sendo, como Kepler obteve êxito? Como Kepler determinou que a razão entre os quadrados dos períodos é igual à razão entre os cubos das distâncias médias?

Se lembrarmos do texto original, veremos que em 8 de março de 1618 ele experimentou trabalhar com o expoente 3/2 mas não obteve sucesso por erros em seus cálculos. Ou seja, Kepler parte de uma hipótese teórica *a priori* e a submete à prova matemática. Também sabemos que Kepler é um hábil calculador, mas, acima de tudo, é um matemático extremamente motivado a encontrar os arquétipos estabelecidos pelo Criador na formação do mundo. Vimos, no capítulo II desta dissertação, o quanto foi trabalhoso para Kepler calcular as distâncias dos planetas em relação ao Sol em função dos arcos descritos em suas órbitas, mas que uma mudança na metodologia do cálculo o fez concluir o que conhecemos hoje como “segunda lei de Kepler” ou “lei das áreas”. Voltando ao texto original, em 15 de maio Kepler retoma o expoente 3/2 com uma nova linha de pensamento (que não sabemos qual é) e determina a relação exata.

“A terceira lei é mencionada sem uma explicação do contexto na qual aparece no livro. Ou seja, a pérola é retirada de seu suporte, onde, no entanto, todo o seu encanto torna-se importante pela primeira vez. Mas o estilo de tal suporte não corresponde ao materialismo de nosso tempo; é repleto de ornamentações, ricas em referências e com cuja elegância simbólica muitos não sabem como começar qualquer coisa. É insignificante a objeção à

$$^{291} \frac{T_1}{T_2} = \frac{R_1^2}{R_2^2};$$

concepção de Kepler baseada no argumento de que não existem apenas seis planetas, que posteriormente dois ou quiçá três planetas adicionais além da órbita de Saturno e várias centenas de pequenos planetas entre Marte e Júpiter foram descobertos. Como se todo sistema científico, no qual concebemos os fenômenos da natureza, não correspondesse apenas à posição da pesquisa de seu tempo e não pudesse ser derrubado no dia seguinte pela descoberta de novos fatos empíricos!”²⁹²

Sorte ou perseverança? Intuição ou iluminação? Ciência ou adivinhação? Não há respostas exatas para tais perguntas. Segundo Debus, Kepler é o “paradoxo científico do Renascimento – o excelente matemático cuja inspiração provinha de sua crença nas harmonias místicas do universo”²⁹³.

Mas a “terceira lei” não é conhecida como “lei harmônica” apenas por dar a relação entre períodos e distâncias de dois corpos celestes. Por meio dela, é possível calcular os movimentos dos planetas no afélio e no periélio, e a partir destes, revelar ao mundo a harmonia que o adorna.

Os valores obtidos pelas razões entre os movimentos no afélio e periélio de um só planeta, ou em pares, em situações opostas, assemelham-se com as proporções simples das notas musicais. Retomando o exemplo de Kepler no livro III do *Harmonices mundi*, sendo Saturno o planeta mais afastado do Sol, e portanto mais lento, seu menor movimento (afélio: 106 segundos) corresponderá à nota mais grave do sistema harmônico (sol). A Terra, que apresenta movimento no afélio semelhante ao de Saturno (afélio: 107 segundos) também corresponderia à nota sol, porém mais aguda (cinco oitavas acima) pois sua órbita é menor que a de Saturno. Como os planetas variam a suas velocidades ao longo do seu movimento anual, um conjunto de notas

²⁹² M. Caspar, *op. cit.*, p. 289;

²⁹³ A. G. Debus, *El hombre y la naturaleza en el Renacimiento*, p. 180;

podem ser atribuídas aos mesmos, de acordo com os modos maior ou menor:
eis as consonâncias planetárias.

Saturno	sol, lá, si, lá, sol
Júpiter	sol, lá, si bemol, lá, sol
Marte (aproximado)	fá, sol, lá, si bemol, dó, si bemol, lá, sol, fá
Terra	sol, lá bemol, sol
Vênus	Mi (unísono)
Mercúrio	dó, ré, mi, fá, sol, lá, si, dó, ré, mi, dó, sol, mi, dó



Figura 10: Representação das notas musicais que se assemelham às velocidades angulares dos planetas em suas órbitas in J. Kepler, *Harmony of the World*, p. 439;

“Há ainda outra importante conclusão. Por meio da razão das velocidades extremas de um planeta, obtém-se (de acordo com a proposição das áreas) a razão das suas distâncias extremas. Isto corresponde ao valor do excêntrico. Assim como ele uma vez, no *Mysterium Cosmographicum*, acreditou ter revelado o número e as distâncias dos planetas a partir dos sólidos regulares *a priori*, agora estava convencido de que tinha obtido êxito da mesma forma com os excêntricos, também com a ajuda da harmonia. Em seu trabalho da juventude, ele expressou a esperança de que viria o dia em que esse mistério também fosse revelado, uma vez que, de fato, Deus não havia distribuído os excêntricos destas dimensões aos planetas individuais de forma aleatória e sem razão. Este dia havia chegado, o objetivo foi alcançado.”²⁹⁴

Apesar de todo esforço de Kepler em consolidar sua cosmologia com uma série de considerações que estivessem em harmonia com os princípios geométricos, astronômicos, físicos, matemáticos e religiosos de sua época, esta obra em particular não recebeu atenção à altura de seu propósito. O

âmbito da astronomia, que carecia de um novo referencial após ter recebido severas críticas de astrônomos como Nicolau Copérnico, Tycho Brahe e Galileo Galilei, reconheceu Kepler apenas parcialmente como um sucessor fidedigno. Como nos conta Bruce Stephenson no seu livro *The Music of the Heaven*,

“em meados do século XVII, os leitores haviam conseguido desarraigar as três “leis do movimento planetário” dos livros de Kepler. Era muito mais provável, no entanto, que fizessem referência ao livro didático de Kepler, o *Epitomae astronomiae Copernicanae*, e às *Tábuas Rudolphinas* para tais efeitos do que às fontes originais, o *Astronomia nova* e o *Harmonice Mundi*. As teorias de Kepler sobre a harmonia celestial, por outro lado, parecem ter sido amplamente ignoradas. Logo após o nascimento, parecem ter sido relegadas a uma espécie de limbo, da qual nunca saíram: técnicas demais para serem lidas por aqueles que tentam ouvir a música das esferas e peculiar demais para serem levadas a sério por cientistas com a habilidade técnica para entendê-las.”²⁹⁵

Parece até que Kepler já previa que o *Harmonices mundi* teria uma aceitação difícil entre os seus pares (“não faz diferença se ele será lido pelos meus contemporâneos ou pelas pessoas que virão: deixe-o esperar pelo seu leitor por cem anos, já que o próprio Deus esperou por seis mil anos por alguém que O interpretasse.”²⁹⁶), mas para ele não fazia diferença: estaria sempre a serviço do Deus Criador, a decifrar e divulgar a Sua obra.

Considerações Finais

²⁹⁴ *Ibid.*, p. 285;

²⁹⁵ B. Stephenson, *The Music of the Heaven*, pp. 242-3;

²⁹⁶ J. Kepler, *op. cit.*, p. 391;

Tínhamos como objetivo desta pesquisa em História da Ciência dissertar sobre a apresentação e fundamentação teórica e epistemológica empregada por Johannes Kepler na elaboração da “terceira lei” do movimento planetário. A fonte primária principal utilizada foi a tradução para o inglês feita por E. J. Aiton, A. M. Duncan e J. V. Field do original, em latim, *Harmonices mundi*, de 1619.

O *Harmonices mundi* é uma composição harmoniosa entre matemática, música e teologia aplicadas ao contexto astronômico do século XVII. Foi concebido originalmente como a continuação de um trabalho anterior de Kepler, o *Mysterium Cosmographicum* (1596). Nesta obra Kepler defende abertamente a hipótese heliostática de Nicolau Copérnico e descreve pela primeira vez sua idéia dos sólidos regulares como representação matemática das órbitas dos planetas.

Utilizamos o primeiro capítulo desta dissertação para contextualizar a Astronomia e a Física no cenário europeu ocidental dos séculos XVI e XVII e observamos as principais críticas e defesas aos sistemas geocêntrico de Ptolomeu e heliostático de Copérnico, a importância da coleta sistemática dos dados astronômicos de Tycho Brahe e alguns dos motivos que levaram Kepler a se tornar um eterno defensor do modelo copernicano. Damos ênfase ao fato de que, apesar do conjunto de mudanças propostas nestes dois campos do conhecimento, mudanças as quais rompiam com paradigmas anteriormente aceitos – como, por exemplo, o movimento de rotação e de revolução da Terra, a abolição dos orbes celestes, o fim do dogma do movimento circular uniforme para os planetas, os cometas serem corpos celestes “supralunares” e não fenômenos atmosféricos, o Sol ser responsável direto pelo movimento dos

planetas – tais transformações não aconteceram de forma ágil e inesperada, nem foram ditadas por uma única pessoa.

A contribuição de Johannes Kepler neste panorama foi bastante significativa: se lembrarmos que as aspirações do jovem estudante austro-germânico eram do campo da teologia, a sua busca incessante pela compreensão da lógica do Criador e a sua facilidade de análise das questões matemáticas resultou, não só no desenvolvimento das três “leis” que levam o seu nome, mas em todo um lineamento teórico-filosófico influenciado pelo neoplatonismo renascentista, pelos ensinamentos religiosos luteranos e pela matemática euclidiana.

No segundo capítulo, tentamos estabelecer uma linha de tempo que pudesse dar conta da maioria dos eventos significativos que contribuíram para a formação pessoal e intelectual de Kepler. Por mais que buscássemos, para fins didáticos, uma linearidade nesses eventos, algumas idas e vindas foram necessárias para dar conta da complexidade do cenário da Revolução Científica, reconhecido por muitos autores como um labirinto histórico. Nesse período, enquanto as transformações políticas, sociais, religiosas, educacionais e científicas influenciam umas as outras, “antigos” e “modernos” medem força a respeito das novas interpretações do mundo trazidas pelas grandes navegações ou pela releitura dos originais gregos ou por outros eventos impossíveis de serem relegados, como o “surgimento” de uma nova estrela no céu e a reforma do calendário juliano.

Neste capítulo Kepler é estudado novamente como agente passivo e ativo desse período, pois é influenciado e influencia o pensamento da época,

por exemplo, rompendo com a tradição do movimento circular uniforme dos corpos etéreos e atribuindo causas físicas aos movimentos planetários, bem como recorrendo à mística pitagórica e platônica dos sólidos regulares e das proporções harmônicas para explicar a ordem e a regularidade destes movimentos.

Uma vez contempladas as bases astronômicas, físicas e filosóficas, deixamos para o terceiro e último capítulo desta dissertação a apresentação e fundamentação teórica mais evidente da “terceira lei de Kepler”.

Ao estudarmos o quinto livro do *Harmonices mundi*, a nossa indagação sobre a menor quantidade de estudos em livros e artigos sobre a “lei harmônica” em comparação com as outras “leis” se fez patente: é muito difícil “aos nossos olhos” – e também para muitos contemporâneos de Kepler – acreditarmos na quantidade de evidências pormenorizadas apresentadas pelo astrônomo na relação harmônica envolvendo o movimento dos planetas e a teoria musical. Passamos do “encantamento” à crítica mais severa e de novo, ao “encantamento” simplesmente ao transitarmos de uma página para a outra: a “terceira lei”, apresentada no capítulo III, aparece como mais uma das muitas considerações de Kepler sobre a teoria astronômica; a forma de sua utilização é demonstrada em exemplos bem construídos; sua aplicabilidade é direta nas questões relativas aos movimentos diurnos dos planetas no afélio ou periélio; os resultados obtidos, quando comparados uns com os outros, aproximam-se muito bem das relações harmônicas entre as consonâncias de acordo com a teoria musical da época; mesmo com todas essas evidências “bem diante de

nossos olhos”, a pergunta permanece: como foi possível chegar à conclusão que se chegou?

Não é por menos que o *Epitome Astronomiae Copernicae* e o *Tabulae Rudolphine* (1627) são tidos por alguns como os representantes mais dignos da “nova ciência” que estaria por vir, apesar de lamentarmos, em parte, essa consideração. Como expusemos na conclusão do capítulo terceiro, nas palavras de Max Caspar, o embasamento teórico de Kepler não corresponde ao materialismo de nosso tempo, por isso dificulta-nos sua compreensão integral, conforme era o desejo do autor; seu estilo é repleto de ornamentações, ricas em referências e com cuja elegância simbólica muitos não sabem como começar qualquer análise. Atentos a isso, procuramos investigar Kepler apenas em seu contexto, sem torná-lo ícone nem de uma nova astronomia, nem de uma “magia matemática”.

Portanto, ao repetirmos as perguntas “sorte ou perseverança”, “intuição ou iluminação”, “ciência ou adivinhação” para o trabalho de Kepler, escolhemos como única resposta válida “todas as anteriores” e deixamos, para um momento futuro, novas e outras considerações.

Referência Bibliográfica

- ALFONSO-GOLDFARB, A. M. *A magia das máquinas: John Wilkins e a origem da mecânica moderna*. São Paulo, Experimento, 1994.
- _____, *O que é História da Ciência*. São Paulo, Brasiliense, 1994.
- AMERICAN COUNCIL OF LEARNED SOCIETIES. *Dictionary of Scientific Biography*. Nova Iorque, Charles Scribner's sons, 1981.
- ANDERY, M. A. P. A. & N. Micheletto & T. M. A. P. Sérgio & D. R. Rubano & M. Moroz & M. E. M, Pereira & S. C. Gioia & M. H. T. A. Gianfaldoni & M. R. Savioli & M. L. B. Zanotto, orgs. *Para compreender a ciência*. 6ª Edição. São Paulo/Rio de Janeiro, Educ, 1996.
- BIANCHI, L., "A física do movimento". *Revista Scientific American Especial: A ciência na Idade Média*: 40-3;
- BOCZKO, R. *Conceitos de Astronomia*. São Paulo, Edgard Blücher, 1984.
- BOQUIN, D. & J. Celeyrette, "A lógica na Idade Média", *Revista Scientific American Especial: A ciência na Idade Média*: 24-9.
- BUTTERFIELD, H. *As origens da ciência moderna*. Trad. portuguesa de Teresa Martinho. Lisboa, Edições 70, 1992.
- CASPAR, M. *Kepler*. Trad. inglesa de C. Doris Hellman. Nova Iorque, Dover Publications, 1993.
- COHEN, I. B. & R. S. Westfall, orgs. *Newton: textos, antecedentes, comentários*. Trad. Vera Ribeiro. Rio de Janeiro, Contraponto/Eduerj, 2002.
- COHEN, I. B. *Revolution in Science*. Cambridge/Massachusetts/Londres, Harvard University Press, 1985.
- COLEÇÃO OS PENSADORES, *Aristóteles*. São Paulo, Nova Cultural, 2004.
- _____, *História da Filosofia*. São Paulo, Nova Cultural, 2004.
- _____, *Platão*. São Paulo, Nova Cultural, 2004.
- _____, *Pré-Socráticos*. São Paulo, Nova Cultural, 2004.
- _____, *Santo Agostinho*. São Paulo, Nova Cultural, 2004.
- _____, *Tomás de Aquino*. São Paulo, Nova Cultural, 2004.

- CONFORD, F. M. *Plato's cosmology: The Timaeus of Plato*. Indianópolis/Cambridge, Hackett Publishing Company, 1977.
- COPÉRNICO, N. *Commentariolus: pequeno comentário de Nicolau Copérnico sobre suas próprias hipóteses acerca dos movimentos celestes*. Ed. de Roberto de Andrade Martins. 2ª Edição. São Paulo, Editora Livraria da Física, 2003.
- _____, *On the Revolutions of the Heavenly Spheres*. Tradução inglesa de C. G. Wallis. Chicago/Londres, Enciclopedia Britannica, 1952 (Col. Great Books of Western World, Vol. 16)
- CROWE, M. J. *Theories of the World – from Antiquity to the Copernican Revolution*. 2ª Edição. Nova Iorque, Dover Publications, 2001.
- DEBUS, A. *El Hombre y la Naturaleza en el Renacimiento*. Trad. espanhola de S. L. Rendón. 2ª. Edição. México D. F., Fondo de Cultura Económica, 1996.
- DREYER, J.L.E. *A history of astronomy from Thales to Kepler*. 2a. edição, Nova Iorque, Dover Publications [s.d.]
- ÉVORA, F. R. R. *A revolução copernicana-galileana. I. Astronomia e cosmologia pré-galileana*. Campinas: Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência/UNICAMP, 1988 (Coleção CLE, 3)
- FIELD, J. V. "Rediscovering the Archimedean Polyhedra: Piero della Francesca, Luca Pacioli, Leonardo da Vinci, Albrecht Dürer, Daniele Barbaro, and Johannes Kepler", *Archive for History of Exact Science*, vol. 50, nº 3-4, 1997;
- GALILEO-KEPLER, *El mensaje y el menjereo sideral*. Trad. espanhola de C. S. Santos. Madri, Alianza Editorial, 1984;
- GINGRAS, Y. & P. Keating & C. Limoges, *Do Escriba ao Sábio: os detentores do saber da Antiguidade à Revolução Industrial*. Trad. portuguesa de Ângelo dos Santos Pereira. Porto, Porto Editora, 2007.
- HALL, M. B., *The Scientific Renaissance 1450 – 1630*. Nova Iorque, Dover Publications, 1994.
- KEPLER, J. *Concerning the more certain fundamentals of astrology: a new brief dissertation looking towards a cosmotheory together with a physical prognosis for the year 1602 from the birth of christ, written to the philosophers, 1602*. Edmonds (WA), Holmes Publishing Group, 2001.
- _____, *Epitome of Copernican astronomy and Harmonies of the world*. Trad. inglesa Charles G. Wallis. Chicago/Londres, Enciclopedia Britannica, 1952. (Col. Great Books of Western World, Vol. 16)

- _____, *Epitome of Copernican astronomy and Harmonies of the world*. Trad. inglesa Charles G. Wallis. Nova Iorque, Prometheus Books, 1995.
- _____, *The Harmony of the world*. Trad. inglesa E. J. Ailton, A. M. Duncan, J. V. Field. Filadélfia, American Philosophical Society, 1997.
- KOESTLER, A. *Os Sonâmbulos. História das idéias do homem sobre o Universo*. Trad. Alberto Denis. São Paulo, Instituição Brasileira de Difusão Cultural, 1961.
- KOYRÉ, A. *Do Mundo fechado ao Universo infinito*. Trad. Donaldson M. Garschagen. 3ª Edição, Rio de Janeiro/São Paulo, Forense Universitária, 2001.
- _____, *Estudos de História do Pensamento Científico*. Trad. Márcio Ramalho. Rio de Janeiro/Brasília, Editora Forense Universitária/Universidade de Brasília, 1992.
- _____, *Estudos Galilaicos*, Trad. portuguesa Nuno F. da Fonseca. Lisboa, Publicações Dom Quixote, 1986;
- KUHN, T. S. *A estrutura das revoluções científicas*. Trad. Beatriz Vianna Boeira & Nelson Boeira. 8ª Edição. São Paulo, Perspectiva, 2003.
- _____, *A Revolução Copernicana. A Astronomia Planetária no Desenvolvimento do Pensamento Ocidental*. Trad. Marília Costa Fontes. Lisboa, [s.ed.], [s.d.].
- MARTENS, R. M. *Kepler's philosophy and the new astronomy*. Princeton/Oxford, Princeton University Press, 2001.
- MARTINS, R. A., "A Torre de Babel Científica", *Revista Scientific American Especial: Grandes Erros da Ciência*: 6-13;
- _____, R. A., *O Universo. Teorias sobre sua origem e evolução*. São Paulo, Moderna, 1994.
- McCLUSKEY, S. C. *Astronomies and cultures in early medieval Europe*. Cambridge, Cambridge University Press, 1998.
- METHUEN, C. Kepler's Tübingen: stimulus to theological mathematics? Tese de Doutorado, Edingburgh, University of Edinburgh, 1994.
- PLATÃO, *Timeu e Crítias ou a Atlântida*. Trad. N. P. Lima. São Paulo, Hemus, 1981.

- PTOLOMEU, C. *The Almagest*. Trad. Inglesa de R. C. Taliaferro. Chicago/Londres, Enciclopaedia Britannica, 1952. (Col. Great Books of Western World, Vol. 16)
- _____, *Harmonics*. Trad. inglesa de J. Solomon. Leiden/Boston, Brill, 2000.
- _____, *Tetrabiblos*. Trad. inglesa de F. E. Robbins. Cambridge, Harvard University Press, 1980.
- RIHA, O., “Medicina dos Humores e Símbolos”, *Revista Scientific American Especial: A ciência na Idade Média*: 52-7;
- ROSSI, P. *A ciência e a filosofia dos modernos*. Trad. Álvaro Lorencini, 1ª Reimpressão, São Paulo, Editora Unesp, 1992.
- _____. *O nascimento da ciência moderna na Europa*. Trad. Antonio Angonese. Bauru/São Paulo, Edusc, 2001.
- SACROBOSCO, J. *Tratado da Esfera*. Trad. Carlos Ziller Camenietzk sobre Trad. Pedro Nunes. São Paulo/Rio de Janeiro, Editora Unesp/Nova Stella Editorial/MAST, 1991.
- SAVOIE, D., “Os estudos no Ocidente”. *Revista Scientific American Especial, A ciência na Idade Média*: 9;
- SILVA, C. C., “A natureza dos cometas e o escorregão de Galileu”, *Revista Scientific American Brasil: Grandes erros da Ciência*: 20-5;
- STEPHENSON, B. *The music of the heavens: Kepler’s harmonic astronomy*. Princeton, Princeton University Press, 1994.
- VERDET, J. P. *Uma História da Astronomia*. Trad. Fernando Py. Rio de Janeiro, Jorge Zahar Editor, 1991.