

**CLAUDEMIR ROQUE TOSSATO**

**FORÇA E HARMONIA NA ASTRONOMIA FÍSICA  
DE  
JOHANNES KEPLER**



**Departamento de Filosofia  
Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas  
Universidade de São Paulo**

**SÃO PAULO**

**2003**

**CLAUDEMIR ROQUE TOSSATO**

**FORÇA E HARMONIA NA ASTRONOMIA FÍSICA  
DE  
JOHANNES KEPLER**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Filosofia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, sob a orientação do Prof. Dr. Pablo Rubén Mariconda, como requisito parcial para a obtenção do grau de doutor em Filosofia.

**DEDALUS - Acervo - FFLCH-FIL**



21000052880

**SBD-FFLCH-USP**



234578

**SÃO PAULO**

**2003**

À Araci,  
Que sempre me apoiou, principalmente  
nos momentos em que eu mais precisei.

## AGRADECIMENTOS

À FAPESP, pela bolsa de estudos concedida nos anos de 1999 a 2003, sem a qual não teria sido possível a continuidade desta tese. A presente tese faz parte das atividades do Projeto Temático Fapesp – “Estudos de filosofia e história da ciência”.

Ao assessor da FAPESP, pelas avaliações e sugestões importantes para este trabalho.

Ao Pablo Rubén Mariconda, que orientou, comentou e sugeriu mudanças importantes para esta tese, demonstrando, sempre, muita dedicação e amizade.

Aos Profs. Caetano Ernesto Plastino (Depto. De Filosofia da FFLCH/USP) e Fátima Regina Évora (Depto. De Filosofia da UNICAMP), que leram o texto apresentado no exame de qualificação, fazendo relevantes comentários e críticas.

À Professora Marilena Chauí, pelas sugestões propostas para esta tese.

Ao Valter, pelas suas valiosas leituras críticas dos capítulos desta tese.

Ao Paulinho, Maurício e Regina, pelas nossas conversas sempre muito enriquecedoras e pela nossa amizade.

Aos companheiros do grupo temático, Marcelo, Márcio, Antônio, Fábio, Jaadiel, Anastásia, Rodolfo, Diter, e Eduardo, pelas discussões e críticas propiciadas ao longo do desenvolvimento desta tese.

À Marie, pela ajuda incansável na elaboração dos relatórios da reserva técnica.

Aos funcionários do Departamento de Filosofia da Universidade de São Paulo pela atenção e auxílio dispensados durante a elaboração desta tese.

Ao professor Paulo Bevilaqua, pelo auxílio e orientação nas traduções da língua latina.

Aos meus amigos e familiares, em especial ao meu pai Roque, à minha irmã Luci, aos meus cunhados, e aos meus sobrinhos, particularmente ao Daniel.

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	12
1. O CONCEITO DE FORÇA.....	25
1.1. Introdução.....	25
1.2. Os Primeiros Resultados.....	29
1.3. A utilização do conceito de força na obtenção das duas Primeiras leis.....	35
1.3.1. A primeira formulação do conceito de força.....	37
1.3.2. A segunda formulação do conceito de força.....	64
1.4. O desenvolvimento histórico do conceito de força.....	81
1.5. Conclusão.....	102
2. O CONCEITO DE HARMONIA.....	107
2.1. Introdução.....	107
2.2. As hipóteses de Copérnico.....	111
2.3. A harmonia no <i>Mysterium cosmographicum</i> .....	120
2.4. A harmonia vista na <i>Harmonia do mundo</i> .....	130
2.4.1. A teoria do conhecimento kepleriana: a teoria da percepção como garantia para a descoberta das relações harmônicas no mundo celeste.....	133
2.4.2. O conceito de harmonia e a obtenção da terceira lei dos movimentos planetários.....	142
2.4.3. A analogia da escala musical.....	152
2.5. Kepler e Galileu: a defesa do copernicanismo mediante a unidade e matematização do mundo físico.....	156
3. A COSMOLOGIA KEPLERIANA: UNIÃO ENTRE PREDIÇÃO E EXPLICAÇÃO.....	161
3.1. Introdução.....	161
3.2. A distinção entre a astronomia ptolomaica e a	

cosmologia aristotélica.....	165
3.2.1. Eudoxo e Aristóteles: a constituição da cosmologia antiga e medieval.....	170
3.2.1. Ptolomeu: as bases da tradição astronômica computacional.....	177
3.2.3. A astronomia preditiva e a cosmologia explicativa antes de Copérnico e Kepler.....	188
3.2.4. Copérnico e a nova proposta para a astronomia e a cosmologia.....	193
3.3. A cosmologia e a astronomia kepleriana: união entre predição e explicação.....	195
4. A EPISTEMOLOGIA E A METODOLOGIA KEPLERIANAS.....	228
4.1. Introdução.....	228
4.2. O caráter de causalidade e hipótese em Kepler.....	234
4.3. O plano histórico.....	253
4.4. Realismo kepleriano: racionalidade e progresso.....	258
5. A RECEPÇÃO DAS LEIS DE KEPLER E AS CRÍTICAS AOS CONCEITOS DE FORÇA E HARMONIA.....	275
5.1. Introdução.....	275
5.2. A recepção das leis de Kepler: as primeiras críticas.....	277
5.3. As primeiras interpretações epistemológicas sobre as leis de Kepler.....	284
5.4. As críticas atuais contra Kepler.....	289
5.5. Respostas.....	299
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	305

## Resumo

Esta tese é um estudo histórico sobre o processo de elaboração das três leis keplerianas dos movimentos planetários, investigando em que sentido Kepler mudou os enfoques metodológicos e epistemológicos da astronomia do início do século XVII. Com este estudo, pretende-se compreender como a proposta original kepleriana para a constituição teórica da astronomia foi significativa para essa ciência e, também, para a constituição e consolidação das novas formas de conceber e produzir o conhecimento científico operado nos séculos XVI e XVII.

Para realizar tais objetivos, a tese procura focar o processo de formação do saber científico para Kepler através dos constituintes teóricos que esse astrônomo postulou para dar conta de toda a problemática envolvida no processo de elaboração da sua teoria dos movimentos planetários. Neste sentido, este trabalho analisa os dois principais conceitos propostos e desenvolvidos por Kepler na elaboração de suas leis: o primeiro é o conceito de “força”, um componente teórico que estabelece que a ação do Sol, por meio de forças magnéticas nos planetas, é a causa dos movimentos planetários darem-se tais como são detectados pelas observações astronômicas; o segundo conceito é o de “harmonia”, que é aplicado ao espaço fornecido pelo sistema copernicano, que determina o espaço físico necessário para o funcionamento das forças provindas do Sol; harmonia para Kepler representa a possibilidade do intelecto humano elaborar leis em linguagem matemática. Em outras palavras, os conceitos de força e harmonia, em conjunto, representam as condições para Kepler defender uma postura realista em astronomia.

## Abstract

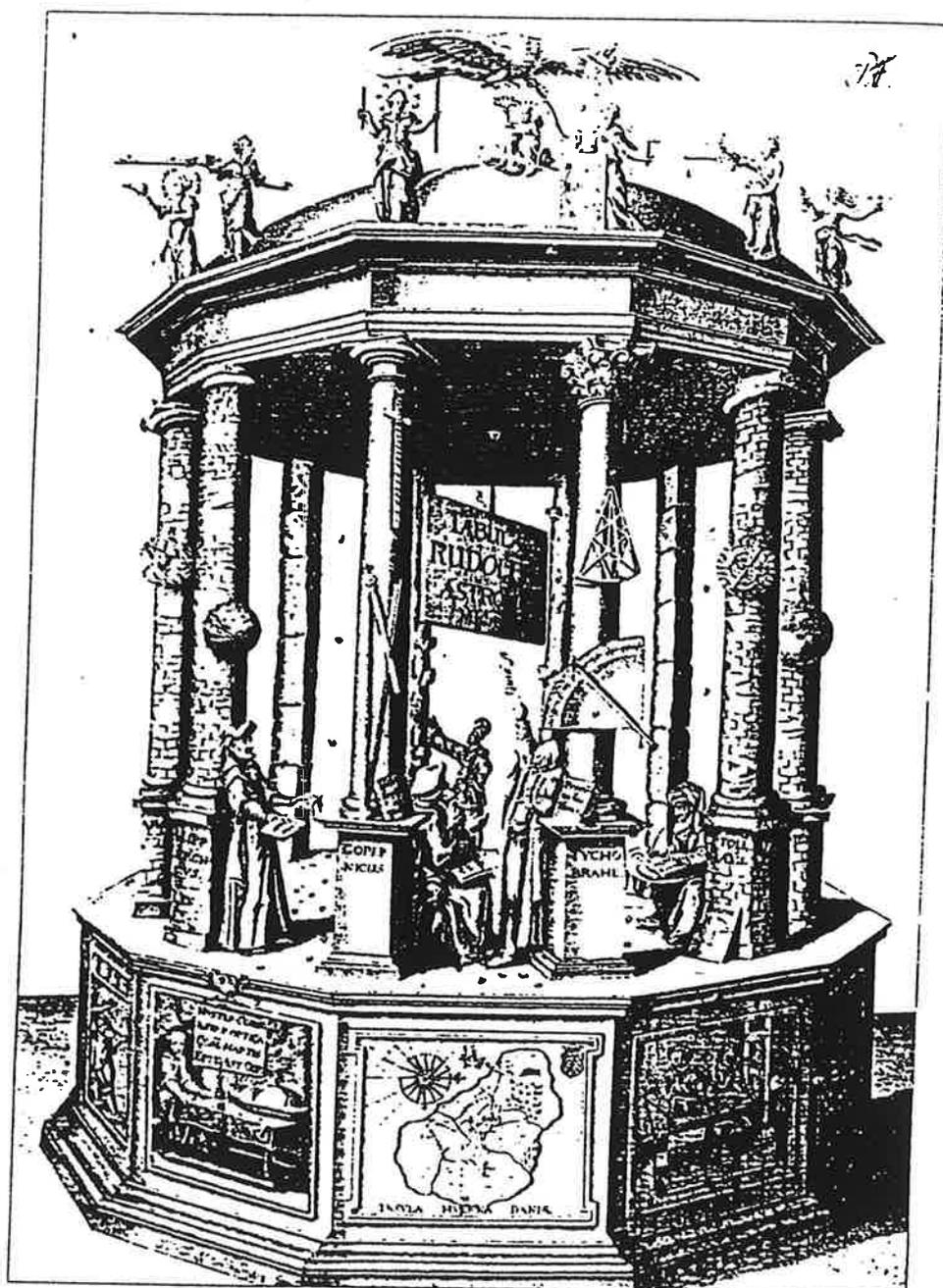
This thesis is an historical investigation on the process of elaboration of Kepler's three laws of planetary motions, searching the sense in which Kepler changed the methodological and epistemological view of astronomy in the beginning of seventeenth century. With this investigation we pretend to understand how Kepler's original proposal to

the theoretical constitution and consolidation of new forms of conceiving and producing scientific knowledge in sixteenth and seventeenth century.

To perform these goals, the thesis search to view Kepler's formation process of scientific knowledge by means of theoretical constituents that the astronomer postulated to treat the problematic involved in the process of elaboration of this planetary theory. In this sense, this work analyses the two main concepts proposed and developed by Kepler in the elaboration of his laws: the first in the concept of "force", a theoretical component which establishes that the solar action, by means of magnetic forces on planets, is the cause of planetary movements to happen as detected by astronomical observation; the second concept is "harmony", which is applied to the space given by Copernican system, which determines the physical space which is necessary to the employment of solar forces; to Kepler, harmony represents the possibility of human intellect to elaborate laws in mathematical language. In other words, the concepts of force and harmony, together, represent the conditions of Kepler's defense of a realist view in astronomy.

### Observação

As citações das obras de Kepler mencionadas neste trabalho, *Mysterium cosmographicum*, *Astronomia nova*, *Harmonia do mundo* e o *Epítome da astronomia copernicana*, foram retiradas dos originais escritos em língua latina, a partir das obras completas de Kepler *Gesammelte Werke*, editada por Max Caspar e Walter von Dyck, Munich, 1938 – 1959, 17 vols. Apresentamos, em cada citação de Kepler dessas obras, o texto original, em notas de rodapé; seguimos também as siglas adotadas nessa obra completa de Kepler, assim, para cada citação são dadas a sigla “G. W.”, seguida do volume ao qual pertence a obra em questão e a numeração da página ou capítulo citado. A listagem com as referências encontra-se na bibliografia descrita no final da tese. Usamos também traduções das obras referidas nas línguas inglesa, francesa e espanhola, às quais se encontram também nas referências bibliográficas.



Frontispício das *Tabelas Rudolfinas*. extraída de Voelkel.  
 [Voelkel, J. R., 1999. p. 112]

## Introdução

A figura da página anterior mostra a primeira página das *Tabelas Rudolfinas*, de 1627, obra que, de uma certa maneira, coroou toda a produção astronômica de seu autor, J. Kepler. As *Tabelas Rudolfinas* representaram, para a astronomia do século dezessete, não apenas melhores meios para a obtenção dos posicionamentos dos planetas ao longo do zodíaco, tarefa que seria suficiente para incluir o nome de Kepler nos anais da história da astronomia mas, principalmente, trouxe, mesmo que embutido nos seus procedimentos técnicos, os esforços keplerianos para aquilo que sempre foi o seu principal objetivo na ciência do mundo celeste: reformular a astronomia no que concerne a suas partes prática e teórica, permitindo a essa ciência fundamentar os seus conhecimentos a partir de uma base segura e física. De fato, se olharmos atentamente para a figura, veremos os principais astrônomos da antiguidade e do período: Hiparcus, Ptolomeu, Copérnico e Tycho Brahe (Kepler encontra-se abaixo da base da coluna), bem como os instrumentos de observação astronômica: desde a régua e o compasso até o astrolábio e o quadrante. Mas o que é mais interessante na imagem é a inclusão da balança e da alavanca, isto é, instrumentos mecânicos que simbolizam a precisão na medida e a possibilidade de aplicação na prática; a intenção com a inclusão dessas figuras: a admissão de causas físicas, ou reais, no processo de elaboração do saber astronômico. A alegoria é precisa, a astronomia, com Kepler, passou a tratar de coisas que antes tinham sido deixadas a segundo plano, as partes físicas e explicativas dos seus fenômenos. A obra de Kepler visou, antes de mais nada, resgatar tais coisas.

Logo no início da introdução à *Astronomia Nova*, Kepler apresenta ao leitor o que ele pretende realizar na astronomia de sua época; um objetivo que já estava presente em linhas gerais no *Mysterium cosmographicum* [Kepler, J., G. W., I, p. 15] e que o acompanhou ao longo da sua vida, até as suas últimas obras; um árduo trabalho que pretendia modificar o caráter dessa ciência nos seus aspectos tanto práticos quanto epistemológicos e metafísicos, uma modificação nos alicerces da astronomia, que a marcaria para sempre, e que lhe renderia novas áreas de estudo. Essa tarefa, pouco usual em sua época, representou uma fase importante para a história da astronomia, bem como para o pensamento e a cultura ocidental, segundo ele [Kepler, J., G. W., III, p. 20]:

“Meu objetivo no presente trabalho é o de reformular a teoria astronômica (especialmente para o movimento de Marte) em todas as suas três formas de hipóteses [ptolomaica, copernicana e brahiana], de modo que se possa construir tabelas que correspondam aos fenômenos celestes. (...) Eu inquiri sobre as causas físicas e naturais dos movimentos (dos planetas). O resultado eventual dessas considerações é a formulação de argumentos claros que mostram que a opinião de Copérnico sobre o mundo (sofrendo pequenas alterações) é a verdadeira, e que as outras duas são falsas.”<sup>1</sup>

Duas coisas são extremamente importantes nos objetivos descritos na passagem acima, pois elas refletem a posição, ou o status, da astronomia no primeiro quartel do século XVII. A primeira refere-se à astronomia prática, em especial no que concerne à confecção de tabelas sobre os posicionamentos dos planetas ao longo do zodíaco; a segunda fala sobre a parte teórica, mostra que a obra tratará dos aspectos físicos e naturais dos movimentos planetários, algo que não era comum e aceito pela comunidade astronômica desse período.

Tanto a astronomia prática quanto a teórica, que Kepler denominava de “astronomia profunda” [Kepler, J., G. W., III, p. 233], continham problemas epistemológicos cruciais; problemas que, se hoje em dia foram, de uma certa maneira, suplantados, refletiam, quando Kepler tratou deles, as necessidades que marcavam a importância de uma modificação

---

<sup>1</sup> “Meum jam institutum in hoc Opere potissimum quidem est, Astronomicam doctrinam (praecipue de Martis motu) in omnibus tribus formis emendare; sic quidem, ut quae ex tabulis computamus, ea coelestibus apparentiis respondeant. (...) seu potius Physicam coelestem et causas motuum naturales inquiri: ex qua consideratione tandem non obscura nascuntur argumenta, quibus sola Copernici de mundo opno (pauculis mutatis) vera, reliquae duae falsae convincuntur & c.”

drástica nos fundamentos da astronomia. A questão tinha dois níveis: o primeiro era a falta de dados astronômicos que determinassem com mais precisão os movimentos planetários; é bem verdade que os dados de Brahe, considerados os mais precisos até então numa astronomia restrita à observações a olho nu, forneceram uma gama de observações competentes, mas insuficientes para determinar, por si só, uma reformulação drástica na astronomia. Faltava uma renovação teórica. O segundo nível era que os maiores problemas referiam-se às questões epistemológicas e metodológicas, pois a astronomia se via em meio às disputas entre os adeptos dos modelos geocêntricos, fundamentados em Ptolomeu e as novas hipóteses heliocêntricas, sugeridas por Copérnico, e, ainda, os modelos híbridos de Tycho Brahe.

O astrônomo prático, em linhas gerais, no início do século XVII, não se preocupava tanto com as questões teóricas [Westman, R. S., 1980, p. 107], pois para ele o que importava era calcular os posicionamentos dos planetas ao longo do zodíaco; estava mais voltado para a obtenção dos movimentos planetários com o menor erro possível – trabalho necessário para a confecção de tabelas dos posicionamentos planetários, importante para a agricultura, por determinar os períodos adequados para o plantio e a colheita; para a elaboração de um calendário correto (que conjugasse os movimentos do Sol e da Lua), entre outros. O astrônomo prático via-se no meio das discussões acerca de qual modelo era mais satisfatório para a realização dos seus objetivos: ou os modelos ptolomaicos ou as novas hipóteses copernicanas (e num certo grau, o modelo híbrido de Brahe), oscilando ora entre um, ora entre outro. Mas em todas as tabelas elaboradas, em todos os calendários confeccionados, adotando-se qualquer um dos modelos, certas características sempre estavam presentes: o erro na determinação dos posicionamentos, a incerteza quanto aos prognósticos, um calendário com problemas etc. Isso acarretava tanto na impossibilidade de determinação de posicionamentos seguros, implicando em problemas práticos, quanto na falta de solidez para a decisão entre um e outro dos modelos.

Quanto à astronomia teórica, que fornecia as bases epistemológica e metodológica para a astronomia prática, o problema era ainda mais sensível. A astronomia, uma das ciências mais antigas e uma das que mais resultados obteve nos finais do século XVI<sup>2</sup>, não

---

<sup>2</sup> Apesar dos erros e problemas astronômicos desse período, a astronomia era uma das ciências que mais resultados alcançou, e isso devido à longa tradição de observações sistemáticas, desde os babilônios em diante.

se tinha estabelecido tal como a vemos hoje em dia. Suscintamente, não tínhamos nesse período uma astrofísica, mas apenas técnicas, artifícios matemáticos, voltados para a satisfação das necessidades da astronomia prática, mas, contudo, carregados de problemas, que eram conseqüências diretas das disputas entre os sistemas da época, como bem sintetiza Westman [Westman, R., 1980, p.110]:

“A história da astronomia é retratada como um campo de disputa. O calendário era irrealizável e incerto, porque os movimentos solares e lunares não tinham sido satisfatoriamente fixados. O princípio de movimento circular e uniforme não era satisfeito nem pelos homocentristas os quais violavam o fenômeno da variação dos brilhos, nem pelos seguidores de Ptolomeu, os quais transgrediam o princípio de que todos os movimentos devem ser circulares e uniformes com respeito ao mesmo centro. E, finalmente, a ordem dos planetas falhava para satisfazer o critério ao qual Copérnico designava pela *Ótica* de Euclides: ‘Dos objetos que se movem igualmente afastados, os mais afastados devem sempre atravessar com mais lentidão’”

A astronomia teórica<sup>3</sup> tinha problemas nos seus fundamentos. De fato, a astronomia nos finais do século XVI e início do XVII era completamente distinta da de hoje em dia. Se hoje a astronomia utiliza-se de um vocabulário próprio, refinado e talhado conforme a admissão de uma postura que se denomina “científica”, o quadro era diferente na época de Kepler, pois termos que poderiam ser vistos como pertencentes às artes divinatórias, tais como “inteligência planetária” ou “esferas sólidas de cristais” eram muito comuns.

Além disso, as hipóteses copernicanas, que forneceram as bases teóricas para a ruptura com os modelos ptolomaicos, não tinham nenhuma comprovação empírica, mas apenas instigavam futuros adeptos a aceitarem uma nova proposta de organização cósmica, sendo aplicados a elas os mesmos vícios e crenças que eram aceitas pelos adeptos do geocentrismo. O próprio Bruno, segundo Paolo Rossi, entregou-se plenamente ao copernicanismo, mas não pelas provas racionais que foram procuradas e desenvolvidas por Galileu, Kepler, Newton, pensadores posteriores a ele, mas pela beleza e fantasia que a mobilidade da Terra fornecia a uma mente fértil, segundo ele [Rossi, P., 1992, p. 160]:

---

<sup>3</sup> Deve-se registrar que “astronomia teórica” era a teoria planetária, sobre os movimentos dos planetas, enquanto que “cosmologia” era a teoria geral do universo.

“Giordano Bruno fez-se defensor na Inglaterra da visão copernicana do mundo. Apresentou a teoria de Copérnico na perspectiva da magia astral e dos cultos solares, associou o copernicanismo com a temática presente no *De vita coelitus comparanda* de Marsílio Ficino, viu no ‘diagrama’ copernicano o *hieróglifo* da divindade: a Terra se move porque vive em torno do Sol; os planetas, como estrelas vivas, fazem com ela o seu caminho; outros inumeráveis mundos, que se movem e vivem como grandes animais, povoam o Universo infinito.”

E, em termos metodológicos, as hipóteses copernicanas eram entendidas não como expressão do que ocorre de fato nos céus, mas como ficções, como símbolos que serviriam para “salvar as aparências”.

Os problemas da astronomia prática foram avolumando-se ao longo da história, principalmente por serem frutos da falta de precisão dos modelos geocêntricos, que não determinam e nem explicam satisfatoriamente os fenômenos celestes; por outro lado, os progressos tanto no que concerne às técnicas quanto às matemáticas, suscitaram novos horizontes para desenvolver a astronomia, fornecendo materiais de estudo que, em potência, representaram a possibilidade de ruptura com o geocentrismo.

Mas uma coisa estava potencialmente presente, o que levou alguns astrônomos a mudarem o seu pensamento quanto à organização do mundo celeste, referente aos limites que a antiga organização do mundo tinha em relação à nova: a falta de possibilidade de construir explicações, por parte dos adeptos do geocentrismo, acerca dos movimentos de retrogradação, para o número de planetas existentes, e também a ausência de condições para considerar os modelos dos movimentos planetários de uma forma integrada com o todo, rompendo com os modelos isolados de Ptolomeu; por outro lado, as hipóteses dos movimentos da Terra e da centralidade do Sol possibilitaram condições para essas explicações e arranjos dos céus de uma forma integrada. Em suma, se o geocentrismo era equivalente ao copernicanismo em termos de resultados práticos, ele estava limitado em relação à cosmologia, pois não permitia explicar realisticamente uma série de ocorrências, como, por exemplo, os movimentos retrógrados. Isso foi percebido por Kepler que, adotando o copernicanismo, passou a construir uma nova astronomia.

Na verdade, o impacto inicial do *De revolutionibus* não foi algo que representou uma mudança drástica para a astronomia do século XVI. Inicialmente, foi visto apenas

como uma obra inserida no contexto metodológico do período: o de “salvar as aparências”, trabalhando com um número menor de hipóteses do que as utilizadas pelos modelos ptolomaicos. Porém, essa visão é apressada, pois o significado científico e cultural desse livro suplanta a visão instrumentalista prevalecente nessa época. O contexto da obra revolucionária de Copérnico transcendeu os motivos da astronomia prática do dezesseis; mais do que um modelo computacional, ela continha – ainda que não desenvolvida em todas as suas vertentes por Copérnico – elementos que abriram as portas para novas investigações cosmológicas e, talvez mais importante do que isso, forneceu um arsenal significativo para o desenvolvimento de críticas, que já vinham avolumando-se, contra o universo físico de Aristóteles e a astronomia computacional de Ptolomeu.

A física de Aristóteles e a astronomia de Ptolomeu são comumente vistas como um grupo de teorias que formam uma unidade: Aristóteles forneceu os princípios físicos e metafísicos necessários e Ptolomeu, por sua vez, desenvolveu uma astronomia compatível com esses princípios. De fato, para Aristóteles o centro do mundo é o centro da Terra, não por sua dignidade, mas por ser o lugar para o qual os corpos pesados se dirigem em seus movimentos naturais; também admite que os movimentos dos corpos celestes são circulares e uniformes, e isso porque o movimento dos corpos do mundo supra-lunar têm uma natureza distinta da dos corpos terrestres, que, por ser um mundo em que ocorrem mudanças, o seu movimento natural é retilíneo, enquanto que nos céus, mundo eterno e sem mudanças, o movimento circular é o mais adequado. O próprio Ptolomeu, no primeiro livro do *Almagesto*, reconhece que se utilizou dos princípios físicos de Aristóteles para construir a sua astronomia. Porém, os desenvolvimentos adotados por Ptolomeu no restante da sua obra deixam de lado a necessidade de um centro físico, construindo os seus modelos a partir de pontos matemáticos, fictícios por assim dizer, levando a astronomia para um terreno distinto do enfoque dado por Aristóteles.

Aristóteles admite que o universo é constituído de esferas concêntricas encaixadas uma nas outras – modelo esse importado de Eudoxo e Calipso -, sendo que o centro dessas esferas é um centro físico, a Terra. Ptolomeu, ao propagar o equante, rompeu de uma certa forma com a procura de determinação dos movimentos planetários a partir da realidade física, instaurando a astronomia numa visão eminentemente cinemática.

Essa distinção entre a física de Aristóteles e a astronomia de Ptolomeu estava presente no contexto astronômico dos séculos XVI e XVII, o que gerou uma espécie de problema acerca de qual atitude a ser tomada: ou a astronomia se restringiria a ser uma ciência computacional, deixando de lado as questões cosmológicas, ou, por outro lado, admitir-se-ia as questões cosmológicas e, desse modo, o problema seria: como salvar as aparências? Visto que tratar das questões cosmológicas e físicas trazia problemas para adequar os movimentos circulares e uniformes aos princípios físicos.

Kepler notou esse problema central da astronomia, e procurou desenvolver um projeto voltado para a resolução do mesmo. A sua solução para esse conflito: reformular a astronomia na sua parte teórica, dotando-a de condições para falar do mundo físico e, também, determinar prognósticos e tabelas dos movimentos planetários de uma forma satisfatória. Para tanto, o copernicanismo forneceu-lhe tanto o arsenal cosmológico quanto o princípio de perfeita ordenação que preside a organização das órbitas planetárias em torno do Sol, elementos necessários para poder realizar essa reformulação teórica. Ao romper com o axioma platônico, Kepler notou que a astronomia pode tratar tanto das questões físicas quanto da obtenção de tabelas astronômicas. Porém, para chegar a esse resultado foi necessária uma mudança de enfoque significativa nos procedimentos adotados pela astronomia antiga e medieval, uma mudança referente às bases epistemológicas e metodológicas, o que nos leva a ver no astrônomo de Rudolfo II mais do que um personagem intermediário entre Copérnico e Newton, mas como um autor voltado a iniciar uma das etapas necessárias para a constituição daquilo que foi denominado como “revolução científica do século XVII”.

A renovação epistemológica e metodológica pretendida por Kepler passou diretamente por uma renovação metafísica. A possibilidade de poder tratar a astronomia tanto sob o ponto de vista prático quanto teórico, ou, em outros termos, possibilitar à astronomia determinar posições e predições competentes e, ao mesmo tempo, ser uma astronomia que se remeta às explicações físicas (isto é, uma cosmologia), foi fruto de uma mudança acerca das crenças metafísicas. Se o universo anterior a Kepler se apoiava na crença da perfeição do círculo, dos movimentos circular e uniforme, da distinção entre mundos terrestres e celestes, aos quais métodos distintos deveriam ser aplicados, o universo kepleriano, por outro lado, assume crenças que se afastam dessas antigas. No mundo

celeste kepleriano não temos o predomínio do círculo e nem dos movimentos circulares e uniformes, já não temos mais um mundo celeste distinto do mundo terrestre – se não temos uma união completa, temos, pelo menos, um universo que aponta para essa união – e, também, os métodos para se obter conhecimentos são os mesmos, tanto para o mundo terrestre quanto para o celeste. A base metafísica para a astronomia terrestre encontra-se no seu realismo; na sua crença inabalável de que o mundo celeste é um mundo físico e harmônico, e que a realidade desse mundo pode ser conhecida racionalmente pelo intelecto humano.

O realismo kepleriano é a estipulação metafísica de que os aspectos físicos envolvidos nos fenômenos celestes, em especial os movimentos planetários, (tais como a consideração dos componentes dos movimentos; as suas velocidades, tempos de percurso e variações nas distâncias dos planetas ao centro físico de movimentos, o Sol) podem ser conhecidos pois esses componentes encontram-se num espaço harmônico, isto é, num espaço em que, dadas as disposições dos corpos celestes no heliocentrismo, é possível a expressão harmônica entre os componentes desses corpos, de maneira a termos os meios, mediante a linguagem matemática (geométrica), para podermos representar o que é necessário e universal. Em outros termos, o realismo kepleriano advoga que é possível o conhecimento do universo celeste nos seus aspectos físicos e harmônicos e, sendo assim, é possível a expressão dos fenômenos físicos, os movimentos planetários, em forma de leis gerais.

A consideração da metafísica kepleriana como um realismo voltado a falar do mundo celeste nos seus aspectos físicos e harmônicos, permite, assim acreditamos, entender os dois conceitos básicos utilizados para tratar a astronomia tanto nos aspectos preditivos quanto explicativos: os de força física e o de harmonia celeste. Esses dois conceitos, os quais ficaram conhecidos ao longo da história da astronomia pelos seus modos: força magnética (para o conceito de força) e sólidos perfeitos e a música celeste (para o conceito de harmonia), são apenas modelos para expressar a crença metafísica kepleriana de que o universo é físico e harmônico. Sendo assim, se pensarmos o universo kepleriano como um universo alicerçado na sua metafísica realista, poderemos entender, talvez, muitas das “confusões” e má compreensões sobre Kepler, que podem ser resumidas nas seguintes palavras [Durham, F. & Purrington, R. D., 1989, p. 144]:

‘Kepler é, pois, uma figura enigmática, o menos compreendido dos grandes fundadores da ciência moderna. Quando tratamos de convertê-lo numa figura moderna, seu misticismo, sua busca de uma harmonia celeste, sua visão do Sol como a morada de Deus, recorda-nos tão rudemente quanto medieval era o seu espírito. Mas se tratamos de considerar a Kepler como preso à astrologia, ao culto do Sol e ao hermetismo, só necessitamos recordar suas contribuições à dinâmica planetária e à ótica, e sua fundação, junto com Galileu, da nova astronomia. Muito trabalho resta para fazer, se se quer compreender a figura de Johannes Kepler, fazê-la crível para o nosso século.’

O pai da astronomia moderna, o homem que lançou as bases para o desenvolvimento da dinâmica celeste, um dos fundadores da ciência moderna e, por extensão, um dos que mudaram a nossa visão de mundo, é visto, ao mesmo tempo como uma figura enigmática e preso às categorias medievais de pensamento. Se notarmos bem o conteúdo da citação acima, é justamente nos conceitos de harmonia celeste e de força magnética que se encontram, segundo a visão que ficou estabelecida normalmente sobre Kepler, o seu misticismo e a sua visão hermética e religiosa sobre o mundo, motivos suficientes para considerá-lo como um pensador não moderno.

Em linhas gerais, a ligação de Kepler com a religiosidade, com a astrologia e o hermetismo não podem ser desconsiderada, pois isso fez parte da “cultura Kepleriana”, são elementos presentes em seu pensamento. Mas, por outro lado, acreditar que Kepler é um autor enigmático por fazer parte dessas tradições parece excessivo e, principalmente, considerar a leitura dos conceitos de força e harmonia como categorias plenamente inseridas na estrutura de pensamento medieval, parece mais excessiva ainda. Podemos ler Kepler de um modo alternativo; se considerarmos os conceitos de força e de harmonia não como conceitos isolados – isto é, isolados como conceitos que apenas determinam a postulação de faculdades ocultas ou crenças de conteúdo estético e finalistas -, mas como componentes de um quadro mais amplo, ou seja, inseridos na crença metafísica realista de Kepler, poderemos, assim esperamos, entender o uso e aplicação desses conceitos e, fundamentalmente, entender um pouco melhor as mudanças epistemológicas e metodológicas operadas por ele na astronomia de sua época. Quando entendemos força e harmonia não apenas por meio dos seus modelos analógicos: força magnética e sólidos

perfeitos, mas como conceitos que visaram aproximar-se da realidade física e harmônica do universo e, além disso, quando entendemos as suas funções operacionais dentro da astronomia e cosmologia keplerianas, podemos compreender o uso e a necessidade (entendida aqui como histórica) desses conceitos.

Dessa forma, o objetivo central deste trabalho é apresentar um estudo dos conceitos de força e de harmonia celeste keplerianos; analisando-os como modelos inseridos no quadro metafísico kepleriano (o de que a realidade do mundo celeste é física e harmônica). Com isso pretendemos mostrar que o uso desses conceitos permitiu a Kepler poder reformular as bases epistemológicas e metodológicas da astronomia e cosmologia de sua época, de maneira a poder integrá-las numa só ciência. A nossa análise é de fundo histórica, pois entendemos que o uso e aplicação desses conceitos devem ser compreendidos mediante os problemas e as necessidades da astronomia e cosmologia da época de Kepler. Sendo assim, a estrutura básica desta tese pode ser entendida da seguinte maneira.

No primeiro capítulo, tratamos do conceito de força kepleriano, mostrando a sua aplicação no processo de obtenção das duas primeiras leis dos movimentos planetários – a lei da forma elíptica [primeira lei] e a lei das áreas [segunda lei]. Destacamos as etapas de trabalho kepleriano contidas na *Astronomia nova* (obra que apresenta ao mundo científico as duas primeiras leis), tais como a hipótese vicária; a lei das distâncias; a hipótese das superfícies; o estudo e uso do conceito de força magnética (usado em analogia com a força magnética proposta por Gilbert); **o método kepleriano de teste de hipóteses, no qual se destaca a quebra com o axioma platônico de movimentos circulares e uniformes; o poder da crença kepleriana de que o universo pode ser compreendido nos seus aspectos físicos, o que o levou a admitir como elementos invariáveis neste seu trabalho os dados observacionais de Brahe e a utilização do conceito de força.** Adicionamos a essa apresentação do conceito de força no processo de obtenção das duas primeiras leis um pequeno histórico do conceito de força, o qual visa mostrar os refinamentos conceituais operados por Kepler nesse conceito.

No segundo capítulo, tratamos do conceito de harmonia celeste, contido nas obras *Mysterium cosmographicum* e *Harmonia do mundo* (esta última contém a terceira lei dos movimentos planetários, a chamada “lei harmônica”). É nossa intenção mostrar os refinamentos operados por Kepler nesse conceito, onde ele expressa a estrutura matemática subjacente aos fenômenos celestes, os movimentos planetários. Apresentamos o que foi

básico para Kepler desenvolver o seu conceito de harmonia, a saber, a nova proposta cosmológica copernicana, já que as postulações da centralidade do Sol e dos movimentos da Terra forneceram as condições (ou o espaço cósmico) para ele poder argumentar que os movimentos planetários podem ser entendidos nos seus aspectos físicos e reais quando aplicados no espaço físico e real que possibilita a determinação desses movimentos. **O conceito de harmonia garante que as regularidades encontradas nos movimentos planetários são regularidades que se dão pela relação causal entre a fonte de movimentos, o Sol, e os planetas.** Neste sentido, é básica a idéia de sistema operada pelo copernicanismo, pois ele integra, distintamente dos modelos geocêntricos (que determinam os movimentos de cada planeta isoladamente), as partes com o todo. O conceito kepleriano de harmonia muda o enfoque metafísico da astronomia e cosmologia tradicionais; nessa nova proposta de Kepler, não temos mais o domínio do círculo e da hierarquização do cosmo, mas a tentativa de matematização dos componentes reais dos movimentos planetários. O conceito de harmonia também implica a teoria kepleriana do conhecimento, na qual o sujeito pode conhecer a estrutura harmônica celeste, pois o intelecto humano é apto a conhecer essa estrutura.

No terceiro capítulo é apresentada a cosmologia kepleriana na sua versão final, exposta no quarto livro da obra *Epítome da astronomia copernicana*. Nesse quarto livro, Kepler desenvolve o que ele entende por astronomia física e harmônica, de modo que temos com isso os meios para poder entender como os conceitos de força e harmonia se integram num único sistema e, a partir disso, podemos pensar a astronomia e a cosmologia como uma ciência só, que trata tanto da parte técnica (entendida no século XVII como astronômica) competentemente, quanto da parte explicativa (cosmológica). É apresentado um pequeno quadro histórico sobre a distinção, operada desde a época de Platão e Aristóteles, entre astronomia preditiva e cosmologia explicativa; apresentamos a raiz dessa distinção na crença no axioma platônico de movimentos circulares e uniformes, quando, com a quebra do mesmo, Kepler teve a liberdade suficiente para poder falar dos movimentos planetários de acordo com os seus novos preceitos metafísicos: a crença na possibilidade da astronomia poder descrever e explicar os movimentos planetários por meio da ótica da realidade.

O quarto capítulo é dedicado às questões epistemológicas e metodológicas da astronomia kepleriana. Visto que Kepler operou uma distinção na forma de se entender o quadro de crenças da tradição de sua época, isso permitiu que ele tratasse as questões epistemológicas e metodológicas sob o prisma da realidade. Kepler mudou o estatuto das hipóteses astronômicas; essas deixaram de ser apenas meios para cálculos e passaram a expressar conteúdos físicos e cosmológicos, isto é, uma hipótese astronômica adquire um significado, com Kepler, distinto do significado tradicional: passa a remeter-se diretamente aos aspectos físicos e reais envolvidos nos movimentos planetários, de modo a conter condições de testes distintos dos empregados pela postura instrumentalista: não apenas adequação empírica, mas que se remetem à realidade do mundo, de modo a termos condições de decidibilidade realista para a escolha das hipóteses. As mudanças epistemológicas keplerianas também mudaram o enfoque da noção de causalidade; com as exigências físicas dadas à astronomia, pôde-se abandonar a teoria das causas aristotélicas, considerando-se, no seu lugar, apenas a causa eficiente. O novo estatuto dado às hipóteses astronômicas e à causalidade permitiu a Kepler defender o copernicanismo como o sistema verdadeiro, e mostrar a falsidade dos modelos que se apóiam em teses contrárias. O realismo kepleriano foi importante no contexto histórico do século dezessete, pois foi uma forma de abandonar a questão da falta de condições para a escolha entre teorias. O copernicanismo deve ser aceito, segundo Kepler, pois ele fala do mundo real, de maneira a termos, com ele, possibilidades de falar racionalmente sobre o cosmo. A noção de “progresso” mostra-se, desse modo, aplicada por Kepler ao copernicanismo, torna-se o meio para mostrar a racionalidade de tal sistema.

Finalmente, no quinto capítulo, apresentamos e discutimos as principais críticas apontadas contra os conceitos de força e harmonia celeste ao longo da história. A nossa intenção é mostrar que, à luz dos resultados obtidos nos quatro primeiros capítulos da tese, as críticas levantadas a esses conceitos não contemplam o caráter histórico do qual eles eram dependentes.

As três leis dos movimentos planetários, ao nosso ver, foram obtidas por meio do incansável esforço de Kepler em traduzir as observações astronômicas de Brahe em linguagem matemática, mas com a condição de que essas observações não fossem adequadas ao axioma da circularidade e uniformidade, como era comum na astronomia do

início do século XVII, mas, em vez disso, que expressassem as necessidades físicas do universo celeste, ou seja, as leis espelham o mundo celeste nos seus aspectos empíricos, as observações astronômicas, e físicos, isto é, a realidade tal qual o intelecto humano pode conhecer. Dessa maneira, os conceitos de força e harmonia são elementos heurísticos que não podem ser considerados como secundários (ou como apenas recursos ligados às faculdade ocultas) no processo de elaboração das leis que regem o mundo cósmico.

## Capítulo 1. O Conceito de Força

### 1.1. Introdução

De todas as grandes obras científicas dos séculos XVI e XVII, a *Astronomia nova*, elaborada e redigida entre 1600 e 1606, e publicada no ano de 1609, é uma das mais instigantes. Escrita de uma forma diferente do *Principia* de Newton - o qual foi concebido, na sua maior parte, à maneira dos *Elementos* de Euclides, em que os resultados saem como conseqüências diretas de teoremas e provas anteriormente comprovados -, ou do *Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo: ptolomaico e copernicano*, de Galileu - no qual vários diálogos são entre um adepto do mundo ptolomaico-aristotélico com um defensor do novo mundo proposto por Copérnico, acompanhados de um interlocutor neutro, obra na qual vemos toda a maestria de Galileu para dar plausibilidade ao copernicanismo - a *Astronomia nova* é uma obra que mescla o trabalho de um cientista dos dias atuais, apresentando, na sua maior parte, tabelas, dados observacionais, relatos de posicionamentos planetários, com investigações teóricas, com postulações sobre a natureza dos movimentos planetários (sobre a parte física desses), com preocupações sobre o método astronômico, e sobre a realidade harmônica que subjaz aos fenômenos observados. Além disso - e, em termos históricos para a constituição da astronomia moderna, isto, talvez, seja o mais importante - vemos Kepler nesse livro como um legítimo representante do estágio de transição com os padrões epistemológicos, metafísicos e metodológicos de sua época, isto

é, Kepler, como um autor que mistura elementos da tradição aristotélica com elementos necessários para romper com essa mesma tradição. O velho e o novo estão presentes nessa obra: o velho por aceitar muitas coisas do aristotelismo, especialmente no que é relativo à inércia - em Kepler, a inércia é entendida como privação de movimento, a tendência do corpo (planeta) a resistir à ação do corpo solar -; em contrapartida, o novo nos é dado pela ruptura com a teoria aristotélica dos quatro elementos, de modo a podermos ver o cosmo como homogêneo, retirando a hierarquização que predominou durante toda a Idade Média entre o mundo sublunar e o supralunar. Os princípios que regem os fenômenos terrestres aplicam-se também ao mundo terrestre; e, nessa via, o conceito de força, que representou o principal componente proposto por Kepler para dar sustentação à sua teoria física dos movimentos planetários na *Astronomia nova*, obterá a sua significação.

Podemos ver Kepler, pelos elementos mistos contidos em sua astronomia, como um autor que tem que dar conta dos problemas envolvidos na astronomia e cosmologia dos séculos XVI e XVII. Ele não rompeu, com veremos mais abaixo, drasticamente com os modelos dos movimentos planetários ptolomaicos ou com a física e cosmologia aristotélica, mas os utilizou, os testou, e em alguns momentos eles lhe foram úteis, só rompendo com os mesmos quando da impossibilidade de mantê-los. A simples aceitação das hipóteses copernicanas não era suficiente para romper com a tradição astronômica e cosmológica do início do século XVII e, principalmente, no que concerne à sua tentativa de erigir as bases físicas e dinâmicas para elaborar a sua teoria dos movimentos planetários, ele não teve predecessores. Kepler teve que romper com partes do conhecimento aceito pela tradição, isto é, ele abandonou certos padrões centrais da astronomia e cosmologia da sua época (como a aceitação do axioma platônico e o uso de artifícios geométricos, bem como a distinção entre mundo terrestre e mundo celeste) e os substituiu por novos. O que foi importante, porém, sob o ponto de vista histórico, foi que, após as modificações keplerianas, a astronomia e a cosmologia já não poderiam ser entendidas como eram no início do dezessete. É justamente nesse sentido que a *Astronomia nova* e o conceito de força nela desenvolvido adquirem expressão na história da astronomia moderna.

A gênese da *Astronomia nova* encontra-se nos primeiros estudos de Kepler, expostos na obra de 1596, o *Mysterium cosmographicum*<sup>1</sup>. Nessa sua obra da juventude, ele elaborou as questões que influenciaram todos os seus desenvolvimentos, científicos e intelectuais, até o final de sua vida. Profundamente obcecado pela descoberta da verdadeira estrutura do universo, que para ele é fundamentalmente uma estrutura harmônica, que pode ser expressa pela geometria, Kepler formulou perguntas que, de uma certa forma, não tinham sentido na astronomia no início do século XVII: Por que existem apenas seis planetas e não mais do que esse número? [Kepler, J., G. W., I, pp. 10 – 11] Por que, para um planeta qualquer, ocorre uma proporcionalidade entre os tempos de translação e as suas distâncias ao centro de movimentos? [Kepler, J., G. W., I, pp. 68 – 73] Qual é a causa motriz desses movimentos, o que leva um planeta a se mover, quando analisamos os dados observacionais sobre ele, de um modo irregular (fora da circularidade e da uniformidade)? [Kepler, J., G. W., I, pp. 68 – 73].

Essa obra de 1596 levantou tais questões, que foram trabalhadas e desenvolvidas pelas obras seguintes. Mas, se em 1596 Kepler estipulou hipóteses “estranhas”, para dar conta da estrutura do mundo, como a hipótese dos cinco sólidos perfeitos encaixados nas seis órbitas dos planetas [Kepler, J., G. W., I, caps. III – XI], o seu procedimento na *Astronomia nova* tem um caráter diferente. Em 1609, quando da publicação da *Astronomia nova*, muitos dos argumentos em favor da existência de uma estrutura regular subjacente aos fenômenos celestes observados adquirem uma feição distinta da de 1596; Kepler, em 1609, torna-se mais um cientista, valorizando critérios que não estavam presentes quando da postulação da hipótese dos sólidos perfeitos. Os dados observacionais, os quais são devidos exclusivamente a Brahe, tornam-se relevantes; as hipóteses levantadas referem-se aos fenômenos celestes nos seus aspectos físicos e naturais. Enfim, ocorreu, mesmo que não notada inicialmente, uma mudança de enfoque e de procedimentos entre 1596 e 1609.

Podemos afirmar, com certeza, que Tycho Brahe teve uma profunda influência no modo pelo qual Kepler tratou a problemática dos movimentos planetários na *Astronomia nova*. Se em 1596 Kepler tratou a astronomia tendo exclusivamente como guia as suas teses

---

<sup>1</sup> Nos deteremos um pouco mais sobre essa obra quando tratarmos do conceito de harmonia kepleriano, no capítulo segundo deste trabalho. Isso se dá porque o *Mysterium cosmographicum* liga-se às tentativas de Kepler de erigir, ou obter, a estrutura harmônica subjacente aos movimentos planetários. Pelo momento, apenas apresentaremos as indagações iniciais de Kepler em astronomia e o esboço da suas hipóteses físicas e dinâmicas contidas nessa obra de juventude.

metafísicas – como a de harmonia celeste –, o mesmo não se deu em 1609. A correspondência entre Kepler e Brahe no período anterior à vinda do primeiro a Praga<sup>2</sup>, revela a crítica que Brahe dirigiu ao tratamento eminentemente apriorístico de Kepler. Assim, escreve Brahe a Kepler em 9 de dezembro de 1599<sup>3</sup>:

“(...) eu não posso aprovar inteiramente os vossos critérios engenhosos, pelos erros que cometeis (...), a saber, que atribuísteis uma certa realidade às órbitas celestes, a fim de facilitar as imaginações copernicanas, e de podê-las representar mais facilmente. Que os movimentos celestes observam uma certa simetria, e que eles assim o fazem porque acompanham seus circuitos ao redor de um centro, ou de um outro, a distâncias diferentes da Terra ou do Sol, eu não nego. Mas a harmonia e a proporção desses arranjos devem ser [pesquisados] a *posteriori*, onde os movimentos e as ocasiões dos movimentos são estabelecidos exatamente, e não determinados a *priori*, como vós e Mastlin fazeis.”

Essas críticas adquiriram um peso significativo para o desenvolvimento da obra kepleriana. Como veremos mais abaixo, Kepler não abandonou o copernicanismo<sup>4</sup> e nem a sua procura de elaborar explicações físicas; mas, por outro lado, os dados observacionais tiveram um papel decisivo, tanto na elaboração quanto nos testes das hipóteses elaboradas por Kepler em astronomia.

Uma das principais características no que respeita ao estilo da *Astronomia nova*<sup>5</sup> é o fato de Kepler fazer um relato de todas as etapas pelas quais ele teve que passar até chegar

<sup>2</sup> Após Kepler ter publicado o *Mysterium cosmographicum*, um exemplar dessa obra foi enviado a Brahe, que a leu e ficou impressionado com a sagacidade do jovem astrônomo alemão na sua tentativa de obter a estrutura cósmica dos céus, isto é, impressionou-se com a hipótese dos sólidos perfeitos, mas não concordou com ela e nem com o modo apriorista da obra. Apesar disso, Brahe viu em Kepler um astrônomo que lhe poderia ser útil como seu assistente, e, com isso, ajudá-lo no estudo das posições dos movimentos dos planetas catalogadas por Brahe. Assim, Brahe iniciou uma correspondência com Kepler, comentando a sua obra, o *Mysterium cosmographicum*, e instigando-o a ir trabalhar com ele em Praga. Conferir, para maiores detalhes sobre os relacionamentos entre Kepler e Brahe, Hellman, [Hellman, D., 1975]; Gerlach, [Gerlach, W., 1975] e Horský, [Horský, Z., 1975].

<sup>3</sup> Carta retirada de Koyré, [Koyré, A., 1961, p.161].

<sup>4</sup> Na realidade, Brahe não era um copernicano, pois ele próprio tinha um sistema alternativo em relação ao sistema copernicano e aos modelos ptolomaicos, um sistema híbrido no qual a Terra está no centro, a Lua e o Sol giram em torno dela, e os planetas giram em torno do Sol.

<sup>5</sup> Essa questão de estilo não nos parece secundária, como poderia ser vista. Alguns dos problemas levantados contra a maneira singular kepleriana de tratar as ciências, em especial ao uso de conceitos que, à primeira vista, podem parecer deslocados das ciências (como força e harmonia), podem ser parcialmente resolvidos, ou suavizados, se notarmos as mudanças que ocorreram entre 1596 e 1609. No *Mysterium cosmographicum* Kepler adota uma postura que mescla empolgação com tentativas de compreensão dos problemas

aos seus resultados finais. Todos os acertos e erros encontram-se relatados. Kepler, diferentemente de outros autores, sejam os do século XVII ou sejam os atuais, não se encabulava de dizer no que errou e de que forma errou. Para ele, o mais importante é aquilo que podemos chamar de “honestidade intelectual”, que resulta na avaliação imparcial de suas próprias realizações.

A obra é conhecida principalmente pela apresentação das duas primeiras leis de Kepler. Porém, o significado da obra mostra-se mais transparente quando notamos os procedimentos e mudanças adotados por Kepler na astronomia de sua época. A maneira singular pela qual Kepler tratou a astronomia enriqueceu sensivelmente o desenvolvimento dessa ciência, principalmente com relação aos seus fundamentos.

## 1.2. Os primeiros resultados

A *Astronomia nova*<sup>6</sup> é composta de cinco livros, dos quais o terceiro e o quarto - que nos interessam por apresentar os desenvolvimentos e as aplicações do conceito de força - contêm respectivamente a segunda e a primeira leis. O primeiro, segundo e quinto livros tratam de questões ligadas à astronomia tradicional, da época de Kepler, relacionados em boa parte com uma cinemática celeste.

---

astronômicos de uma forma promissora para a astronomia; a empolgação está nas suas hipóteses dos sólidos perfeitos, e as tentativas são as questões que ele levanta, principalmente as referentes ao que leva um planeta a perfazer movimentos que fogem do círculo e da uniformidade. Já na *Astronomia nova*, a empolgação diminui e as tentativas tornam-se mais frutíferas. Os conceitos de força e harmonia tornam-se expressões de ocorrências, de relações entre tempos, velocidades em função das variações nas distâncias dos planetas ao Sol. O que queremos dizer com isso é que muito do que se entende sobre a forma de Kepler tratar a astronomia está alicerçada na obra de 1596, enquanto que a de 1609, que contém um estilo de narração de todas as etapas, sendo que isso demonstra as mudanças pelas quais Kepler passou, de modo a termos uma contemplação das modificações conceituais que Kepler operou em astronomia, é, assim entendemos, a obra que deve ser analisada para uma correta compreensão dos trabalhos de Kepler. Retornaremos a isso quando formos discutir o conceito de força na sua formulação final, quando Kepler obtém a primeira lei dos movimentos planetários.

<sup>6</sup> Não é intenção deste trabalho fazer uma discussão detalhada da *Astronomia nova*, capítulo por capítulo ou fase a fase dos processos de descoberta das duas primeiras leis, algo que extrapolaria em muito os objetivos da tese, por ser extremamente difícil e volumoso; pretendemos, apenas, destacar o que é importante para a utilização do conceito de força. Para maiores detalhes sobre os procedimentos contidos na *Astronomia nova*, conferir Koyré, [Koyré, A., 1961], Simon, [Simon, G., 1979] e Caspar, [Caspar, M., 1959]. Alguns artigos também são importantes, entre eles o de Aiton, [Aiton, E. J., 1969], o de Whiteside, [Whiteside, D. T., 1975] e o de Wilson, [Wilson, C., 1958]. Conferir, também, a minha dissertação de mestrado, intitulada “O processo de elaboração das duas primeiras leis keplerianas dos movimentos planetários” [Tossato, C. R., 1997], na qual discuto as principais etapas para a obtenção das duas primeiras leis de Kepler, tais como estão na *Astronomia nova* de 1609.

No primeiro livro, Kepler faz um levantamento dos principais problemas relativos à detecção dos movimentos planetários [Kepler, J., G. W., III, caps. I a VI], tais como as equivalências das hipóteses que ocorrem quando comparamos os modelos ptolomaicos, copernicanos e brahianos [Kepler, J., G. W., III, cap. II]. Essas equivalências se dão porque no que concerne ao movimento não uniforme dos planetas – chamado de primeira desigualdade - tanto o epiciclo com o concêntrico (utilizado por Copérnico), corresponde, isto é, determina com o mesmo grau de precisão, ao excêntrico (que é o utilizado por Ptolomeu). Da mesma forma, utilizar epiciclos duplos, ou vários tipos de excêntricos com equantes, também determina equivalências [Kepler, J., G. W., III, cap. V].

No segundo livro, Kepler trabalha com duas coisas importantes. A primeira é a determinação de que os planos de todos os excêntricos – isto é, o plano orbital dos planetas – intersectam-se somente no corpo físico do Sol. Isso é importante porque traz toda a problemática para os aspectos físicos dos movimentos planetários. Nos modelos anteriores, inclusive o copernicano [Copérnico, N., 1984, caps. V e VI], os planos das órbitas planetárias eram obtidos independentemente do corpo físico central, seja a Terra ou o Sol, mas de acordo com um ponto matemático: ou um ponto excêntrico, ou o equante. Trazendo a discussão para o nível físico, Kepler inicia as suas caminhadas em direção a uma astronomia física, como ele mesmo diz na introdução à *Astronomia Nova* [Kepler, J., G. W. III, prefácio, p. 20]:

“Ora, o primeiro passo em direção à determinação das causas físicas [dos movimentos dos planetas] está em demonstrar que os planos de todos os excêntricos somente podem se intersectar no centro do corpo solar (e não em algum ponto aproximado), contrário ao que pensavam Copérnico e Brahe.”<sup>7</sup>

Essa admissão, pouco comum na época de Kepler, foi vista por alguns comentadores como uma espécie de ponto de partida que renovou a astronomia no que concerne aos estudos físicos, sendo considerada, especialmente por Gingerich, como a “lei zero da astronomia moderna” [Gingerich, O, 1975, p. 264]:

“(...) Kepler nos mostrou que as linhas das apsides planetárias e, portanto, todos os planos planetários devem passar através do Sol. Essa idéia é tão importante que deveria ser denominada de lei zero de Kepler. Ela é um signo do gênio de Kepler, a qual pode ser reconhecida como um primeiro estágio crucial para a reforma da astronomia.”

O segundo procedimento importante do segundo livro da *Astronomia nova* é a estipulação da hipótese vicária, que, apesar de ser falsa, sendo substituída pela lei das áreas e pela lei da forma elíptica no final da obra, quando Kepler já dispunha de um aparelho suficiente para a derivação das suas duas primeiras leis, serviu fundamentalmente como uma hipótese de trabalho, sem a qual as leis talvez não tivessem sido obtidas.

O significado de *vicária* é “aquele que faz as vezes de outrem ou de alguma coisa”<sup>8</sup>, o que implica que essa hipótese já era vista por Kepler, quando da sua formulação, como uma hipótese a ser substituída conforme ele tivesse condições para abandoná-la – entendendo-se essas como o desenvolvimento das suas hipóteses físicas, especialmente o seu conceito de força magnética exercida pela Sol nos planetas<sup>9</sup>. Isso se explica pelo fato da hipótese vicária ser, antes de qualquer coisa, uma hipótese restrita a uma cinemática celeste, na qual não se considera os aspectos físicos e dinâmicos envolvidos nos movimentos planetários, mas, “à imitação dos antigos”, procura-se uma melhor representação dos movimentos admitindo-se, para tanto, que as órbitas são circulares e uniformes, e que se deve retirar o centro de movimentos do corpo físico para um centro excêntrico, segundo Kepler, acerca da hipótese vicária, [Kepler, J., G. W. III, p. 40]:

“Portanto, à imitação dos antigos, não considerando as causas físicas, põe-se que o caminho do planeta é um círculo; e põe-se que existe algum ponto contido em seu interior, ao redor do qual o planeta percorre ângulos iguais em tempos iguais; e que entre ele (ponto) e o centro do Sol encontra-se o centro do círculo planetário a uma distância desconhecida. Colocam-se essas coisas e tomadas quatro observações anacrônicas com as posições sobre o zodíaco e os intervalos de tempos, são

<sup>7</sup> “Ad physicas vero causas motuum indagandas primus gradus fuit, ut demonstrarem, concursum illum Excentricorum non alio loco (prope Solem) contingere, quam in ipsissimo centro corporis Solaris, contra quam Copernicus et Braheus crediderant.”

<sup>8</sup> Conferir Aurélio, *Novo dicionário da língua portuguesa*.

<sup>9</sup> E isso se dará no capítulo LVIII da *Astronomia nova*, quando Kepler obtém e argumenta que a forma elíptica é a única que satisfaz os critérios postos pela sua astronomia alicerçada em causas físicas.

pesquisados, por um método muito laborioso, a posição de um e outro centro sobre o zodíaco, a distância do centro do Sol e a proporção de uma e de outra excentricidade, tanto de uma parte entre elas mutuamente, quanto de outra parte ao raio do círculo.”<sup>10</sup>

Essa estratégia kepleriana, de utilizar os procedimentos da tradição para depois substituí-los conforme tivesse condições epistemológicas para tal empreitada, é interessante, pois isso nos apresenta uma das faces do seu método. Fazer tal coisa é procurar a solução de um problema que, no caso, é a determinação de uma teoria dos movimentos planetários sob o contexto físico, partindo do que já se tem. A tradição, para Kepler, errava por não ter uma base epistemológica e metodológica satisfatória, mas isso não representou que todos os seus procedimentos devessem ser descartados *a priori*, como foi feito no *Mysterium cosmographicum*, sendo assim, deve-se investigar os procedimentos da tradição, mostrar como ela erra e salvar o que ela tem de correto. Se nossa visão estiver correta, então não podemos dizer que Kepler operou apenas indutivamente, mas, como veremos, a investigação dos procedimentos antigos com novas formas de pensar a astronomia o levaram a elaborar conceitos que foram necessários para o seu trabalho e que pertencem à sua metafísica.

A hipótese vicária pretendia obter os seguintes elementos das órbitas planetárias: 1) a posição da linha das apsides, para saber em que ponto o planeta está mais afastado e em que ponto ele está mais próximo do Sol; 2) o valor da excentricidade; 3) a anomalia mediana para qualquer posição de Marte em seu trajeto sobre o Sol. Para tanto, Kepler assume o equante ptolomaico, expediente que tinha sofrido críticas severas por parte de Copérnico<sup>11</sup>.

<sup>10</sup> “Ad imitationem igitur veterum, dissimulatis causis Physicis, ponitur, iter Planetæ esse circulum; poniturque intra ejus complexum esse punctum aliquod, circa quod aequalibus Planeta temporibus aequales absolvat angulos; interque illud et centrum Solis versari centrum circuli Planetarii, distantia incognita. His positis, et assumptis quator observationibus acronychiis cum locis sub Zodiaco et intervallis temporariis, inquiritur Methodo laboriosissima, situs utrisque centro sub Zodiaco, distantia a centro Solis, et proportio utriusque Eccentricitatis, cum ad se mutuo, tum ad radium circuli.”

<sup>11</sup> Copérnico, [Copérnico, N., 1984, livro IV, cap. II, p. 319], onde lemos: “Mas se é assim [acerca do equante de Ptolomeu], que diremos acerca do axioma segundo o qual o movimento dos corpos celestes é uniforme e só aparentemente apresenta-se como não uniforme, quando o movimento aparente uniforme do epiciclo é, de fato, não uniforme, coisa absolutamente contrária ao princípio estabelecido e à afirmação feita?”. Copérnico nunca aceitou a utilização do equante, pois ele violava o axioma platônico, algo inconcebível pelo cônego polonês.

Na figura abaixo, D, G, F e E [Kepler, J., G. W., III, cap. XVI] são as quatro oposições do planeta Marte; B é o centro do excêntrico BG; C é o equante; A é Sol; HI a linha das apsides. O problema de Kepler era o de posicionar as oposições de Marte (D, G, F e E) sobre o excêntrico BG, de forma que B, C e A estejam posicionadas sobre as apsides de uma maneira tal que os valores (das excentricidades) dessas sejam constantes e, conseqüentemente, possibilitem a computação dos ângulos HCF e HAF (anomalia mediana e verdadeira, respectivamente) para qualquer posição de Marte. Em outras palavras, para determinar qualquer posição de Marte sobre o zodíaco, era necessário encontrar um valor fixo para a excentricidade - para, dessa maneira, elaborar tabelas sobre os posicionamentos do planeta. Para tanto, Kepler precisou ajustar as quatro oposições de Marte, de modo que AB fosse igual a BC; isso foi dado através do ajustamento das oposições - uma por vez, para em seguida, relacionar todas com todas. Kepler foi obrigado a fazer várias tentativas, do tipo ensaio e erro<sup>12</sup>, aproximando os dados e tentando construir esse círculo excêntrico. Por exemplo, no ponto F, o ângulo FAH, anomalia verdadeira, é dado pelas observações de Brahe, e, desta forma, o ângulo FCH também o é<sup>13</sup>. Assim, a partir de F pode-se localizar C na linha das apsides, de uma forma provisória. Após isso, deve-se localizar os outros pontos (G, D e E) de maneira que a posição de C seja igual para todos - isto é, CB tenha o mesmo valor em relação a cada oposição; após isso, BA também tem que ter o mesmo valor de C (CB = BA). Kepler obteve os resultados finais<sup>14</sup> que a longitude no afélio é de 28° 48' 55" de Leão; como o valor de BA = 11332, e CB = 7232, sendo o raio tomado como igual a 100.000 partes.

<sup>12</sup>Na verdade, Kepler escreveu cerca de 900 páginas (não incluídas todas na *Astronomia nova*), na tentativa de ajustar a órbita circular a esses elementos.

<sup>13</sup>A anomalia mediana era obtida através do conhecimento da anomalia verdadeira e da equação ótica.

<sup>14</sup>O procedimento geométrico completo kepleriano para a formulação hipótese vicária é extremamente difícil e longo; apresentamos apenas um esquema desse procedimento. Para maiores informações ver o capítulo XVI da *Astronomia nova*, bem como Koyré, [Koyré, A., 1961, pp. 173 -175], e Simon, [Simon, G., 1979, pp. 316 -317].

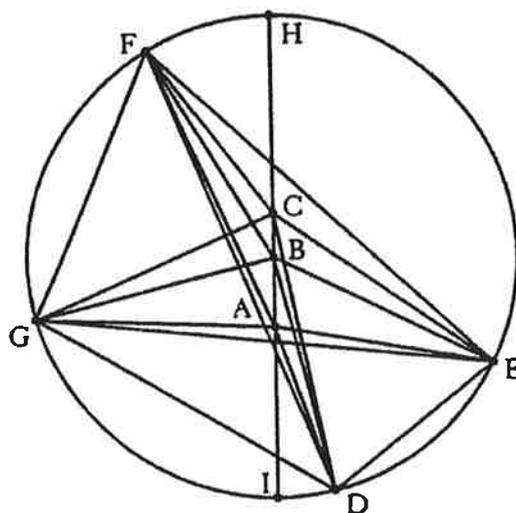


Figura 1: a hipótese vicária<sup>15</sup>

A partir desses resultados, Kepler investigou se o centro do círculo excêntrico liga-se ou não à linha AB. A conclusão a que esse astrônomo chegou foi que, para isso ocorrer, deve-se alterar ou assumir outra direção de HI e dos ângulos HBF e HAF.

Kepler notou que a excentricidade do planeta não era fixa, mas oscilava na linha das apsides, acarretando que, ao se dividir o círculo de movimentos em  $360^\circ$ , o planeta, quando está em  $90^\circ$  (isto é, quando está no primeiro quadrante), tem um erro de  $2'$  de arco, um erro desprezível para a época; mas testando quando está em  $45^\circ$  ou  $135^\circ$  (isto é, quando está no primeiro octante do primeiro quadrante, e no primeiro octante do segundo quadrante) o erro obtido foi de  $8'$  de arco, o que para Kepler era algo inconcebível [Kepler, J., G. W., III, cap. XIX], o que levou Kepler a não aceitar como correta a hipótese vicária, levando-o a escrever o seguinte comentário, que representa uma guinada fundamental para a história da astronomia, segundo Kepler [Kepler, J., G. W. III, p. 178]:

“Mas quanto a nós, que pela bondade divina, pudemos dispor de um observador tão exato como Brahe, convém que reconheçamos essa dádiva divina e a usemos (...). Logo irei para o alvo segundo as minhas próprias idéias, porque se tivesse acreditado poderemos ignorar os oitos minutos, teria aceitado, de acordo, a minha

<sup>15</sup> Figura extraída de Kepler, [Kepler, J., G. W., III, p. 153].

hipótese. Visto, porém, não ser possível ignorá-los, esses oitos minutos apontam o caminho para uma completa reforma da astronomia; torna-se o material de construção de grande parte desta obra.”<sup>16</sup>

A completa reforma da astronomia referida por Kepler está, justamente, nos desenvolvimentos físicos que se iniciarão logo após a recusa da hipótese vicária. O conceito de força representará o principal elemento a ser utilizado na astronomia física de Kepler, que permitirá substituir a hipótese vicária, que era um expediente meramente matemático, pelas duas primeiras leis dos movimentos planetários.

### 1.3. A utilização do conceito de força na obtenção das duas primeiras leis

A terceira e a quarta partes da *Astronomia nova* representam um marco fundamental para a história da astronomia; nelas se encontram as duas primeiras leis de Kepler, a lei da forma elíptica e a lei das áreas. Essas leis forneceram duas mudanças básicas para a astronomia: a primeira foi a ruptura com o axioma platônico de movimentos circulares e uniformes, implicando, como principal consequência, no abandono dos expedientes matemáticos, utilizados desde os antigos astrônomos gregos até o próprio Copérnico, para a computação das formas mediante a correção das irregularidades constatadas observacionalmente. Com as suas duas primeiras leis, Kepler operou uma simplificação relevante no que concerne à computação dos posicionamentos planetários, pois a órbita elíptica e a lei das áreas não necessitam de nenhum artifício geométrico – seja de um círculo excêntrico, seja de um círculo com deferente e epiciclos, seja de um equante – para obter os seus resultados quanto às posições dos planetas.

A segunda foi a volta das discussões físicas à astronomia<sup>17</sup>, mediante a procura incansável de Kepler em obter as explicações sobre por que os planetas perfazem

<sup>16</sup> “Nobis cum divina benignitas Tychonem Brahe observatorem diligentissimum concesserit; (...) Quam viam in sequentibus ipse pro meo modulo allis praeibo. Nam si contemnenda censuissent 8 minuta longitudinis, jam satis correxissem hypothesin. Nunc quia contemni non potuerunt, sola igitur haec octo minuta viam praeiverunt ad totam astronomiam reformandam, suntque materia magnae parti hujus operis facta.”

<sup>17</sup> A astronomia grega antiga sofreu uma ruptura decisiva com Ptolomeu, quando este postulou o equante. Uma das marcas fundamentais da astronomia dos gregos foi a de criar um expediente condicionador para as computações dos movimentos planetários, o axioma platônico, segundo o qual todos os movimentos celestes são circulares e uniformes, ou compostos de circularidade e uniformidade. Diversos astrônomos, entre os quais os mais importantes foram Aristóteles e Eudoxo, tentaram, mediante a elaboração de modelos via

movimentos que não são nem circulares, nem uniformes, mas que se apresentam como “disformes”, em relação à circularidade e à uniformidade, aos nossos sentidos. A astronomia física de Kepler é uma tentativa de obter a estrutura pela qual podemos descrever os movimentos dos planetas de uma maneira objetiva, uma estrutura que possa ser testada e corroborada por qualquer astrônomo, sem cair na impossibilidade de escolha entre as hipóteses astronômicas<sup>18</sup>. Em outros termos, Kepler tinha como objetivo descrever e explicar objetivamente o fenômeno dos movimentos planetários, e, para tanto, precisava ir contra a postura instrumentalista fortemente presente em sua época. Se ele ficasse ao nível da astronomia aceita, restringir-se-ia a uma cinemática celeste, mas para poder falar objetivamente sobre a realidade do mundo supra-lunar necessitou mudar o enfoque para as causas físicas que levam os planetas a se moverem.

O principal componente da astronomia física de Kepler é o seu conceito de força. Tanto a formulação quanto a utilização desse conceito acontecem em meio às tentativas de descrição e explicação do por que o planeta Marte, planeta por ele analisado na *Astronomia nova*, perfaz movimentos tais como são observados a partir da Terra. Kepler elabora duas formulações do conceito de força na *Astronomia nova*. A primeira, que está contida nos capítulos XXXII a XXXIX na terceira parte da obra, procura determinar a natureza da força que age nos planetas, emanada pelo Sol, procurando defini-la e esclarecer os sentidos que podem ser vistos como significativos para a sua aplicação na obtenção da teoria dos movimentos planetários; Kepler construiu o seu conceito de força utilizando-se, principalmente, dos trabalhos de Gilbert, expostos no *De Magnete*, sobre magnetismo. A segunda formulação, contida nos capítulos LVI a LVIII na quarta parte, apresenta a operacionalidade do conceito de força; na procura de descrever corretamente a forma da órbita de Marte, Kepler considerou que a forma elíptica pode ser explicada mediante a ação causal do centro físico de movimentos, sendo que essa ação causal se dá pela força exercida

---

esferas concêntricas, adequar as observações aos movimentos. Ptolomeu operou uma modificação radical ao postular os movimentos com equante, que teve como maior consequência a separação entre os mundos celeste e terrestre – aliado a isso, é claro, estava a concepção grega de que há uma distinção, dada fundamentalmente pela teoria dos quatro elementos de Aristóteles, entre os acontecimentos do mundo supralunar e sublunar -, cabendo ao astrônomo restringir-se à computação dos movimentos sem remeter-se às suas características físicas. Trataremos disso mais detidamente no capítulo três deste trabalho. Para maiores informações sobre o axioma platônico e os seus desenvolvimentos consultar Dreyer, [Dreyer, J.L.E., 1953].

<sup>18</sup> Como já adiantamos acima, e trataremos mais detalhadamente no capítulo referente à metodologia e epistemologia de Kepler, ocorria na época de Kepler um forte apego à postura instrumentalista, acarretando

pelo Sol nos planetas. Essas duas formulações ajudam a entender o papel que o conceito de força tem dentro da teoria exposta por Kepler para dar conta da problemática envolvida na explicação, sob a ótica do realismo, tal como pretendia Kepler, dos movimentos planetários.

### 1.3.1. A primeira formulação do conceito de força

Quando Kepler chega ao capítulo XXXII da *Astronomia nova* – e relembremos que ele narra todas as etapas pelas quais passou, apresentando-as em sua ordem cronológica de obtenção - ele estava no seguinte estágio: visava encontrar a forma verdadeira<sup>19</sup>, isto é, física [Kepler, J., G. W., III, introdução], da órbita de Marte, determinando todos os seus componentes, sendo os mais importantes a anomalia verdadeira, a anomalia mediana e a equação ótica (deve-se salientar que esses componentes pertenciam à astronomia presa, ainda, aos pressupostos da determinação da órbita por meio do princípio da circularidade e uniformidade). Caso chegasse a determinar esses valores corretamente, poderia encontrar as variações nas velocidades de Marte e, computando-as pelas distâncias dele ao Sol, expressar a órbita correta de Marte. O problema de Kepler é que ele tinha que construir a órbita através de um centro não matemático – contrário ao que era feito pelos astrônomos teóricos de sua época, presos ao axioma platônico - mas físico, o que implicava duas coisas: a primeira era relativa ao grau de dificuldade que a admissão de uma astronomia física trazia; tratar os movimentos mediante o centro físico era aumentar o trabalho, pois a admissão de excêntricos ou equantes tinha como função justamente “simplificar” a computação dos movimentos, pelo fato de que um centro físico<sup>20</sup> aumentaria o número de

---

na impossibilidade de escolha entre as hipóteses astronômicas, visto que os critérios de escolha eram distintos dos empregados por Kepler.

<sup>19</sup> O critério de verdade para Kepler liga-se ao seu critério de hipótese e de construção das ciências mediante fundamentos objetivos. É verdadeira, em astronomia, uma asserção que se remeta diretamente aos constituintes físicos envolvidos num determinado fenômeno e, desde que essa asserção possa fazer parte da explicação, da determinação das causas físicas, dos mesmos, sendo corroboradas pelas experiências; conferir Kepler, [Kepler, J., G. W. I, p. 240]. Trataremos tal questão mais detalhadamente no capítulo quatro desta tese.

<sup>20</sup> Deve-se salientar que estamos tratando apenas das dificuldades relativas à computação dos movimentos de translação e não os de rotação. Os principais argumentos contra as hipóteses copernicanas diziam respeito à impossibilidade de explicação dos fenômenos terrestres, caso admitamos o duplo movimento da Terra, tais como os argumentos da bala disparada por um canhão, ou dos arremessos e os de queda livre. Os argumentos contra a translação – movimento do planeta em torno do Sol – alicerçavam-se principalmente na

artifícios necessários para adequar os dados ao axioma platônico de movimentos circulares e uniformes<sup>21</sup>. Em segundo lugar, como consequência da primeira, Kepler tinha que renovar seu arsenal de trabalho, o que o levou a elaborar hipóteses auxiliares para alcançar os seus objetivos.

Como vimos, sem considerar as causas físicas presentes nos movimentos planetários, Kepler construiu a sua hipótese vicária, que tinha uma margem de erro de aproximadamente 8' de arco. A sua estratégia, quando inicia as discussões físicas, é a retomada do equante ptolomaico, expediente esse criticado por Copérnico, mas, antes disso, Kepler tratou dos movimentos da própria Terra [Kepler, J., G. W., III, caps. XXII a XXVI], algo não considerado por Ptolomeu (pelo fato de não precisar dele). Kepler transportou o centro de observações da Terra para o planeta Marte e, sabendo, via três oposições de Marte, as distâncias desse ao Sol, pôde computar geometricamente as distâncias da Terra ao Sol, o que o levou a considerar a Terra como um planeta que tem uma variação nas suas velocidades, na qual, para se poder determinar a uniformidade da sua órbita, dever-se-ia introduzir um equante.

Esse passo foi fundamental, pois a partir dessa bissetação da excentricidade, Kepler chegou à sua lei das distâncias, uma lei errônea, mas importante para o processo de descoberta da lei das áreas. Sobre o uso do equante, ele escreveu o seguinte [Kepler, J., G. W., III, p. 233]:

“(...) No meu *Mysterium Cosmographicum*, publicado há oito anos, adiei a discussão sobre o equante ptolomaico pela razão de que ela não poderia ser feita sob as bases de uma astronomia ordinária, pois não sabíamos se é a Terra ou o Sol que usa um ponto equalizador e têm uma excentricidade bissetada. Entretanto, agora, na verdade ensino que a coisa é líquida depois de termos confirmado pelo testemunho firme da

---

impossibilidade de detectar a paralaxe do planeta. Kepler, ao procurar expressar a forma real dos planetas, não trata das paralaxes estelares, mas da determinação da forma das órbitas dos planetas.

<sup>21</sup> A questão era complexa. Como veremos mais adiante, o axioma platônico era um princípio que visava simplificar o trabalho do astrônomo no que concernia à elaboração de tabelas astronômicas, retirando os empecilhos para se obter ou uma órbita circular e uniforme, ou órbitas compostas de circularidade e uniformidade. Visto assim, quando se consideram os movimentos pelo centro físico, o trabalho aumenta, pois se faz necessário a introdução de muitos artifícios. Nesse sentido, o trabalho de Kepler aumentaria as exigências, levando a introdução de mais artifícios.

astronomia e mostrado que é claro que existe um equante na teoria do Sol ou da Terra.<sup>22</sup>”

Kepler se refere na passagem que a astronomia de 1596, ano da publicação do *Mysterium cosmographicum*, não estava bem constituída, era muito falha, para utilizar o equante<sup>23</sup>, principalmente por não poder decidir qual é o centro dos movimentos planetários, mas agora, a astronomia tem condições para decidir. Isso se explicará pela admissão de um centro físico; é mediante a astronomia física que se poderá decidir qual das propostas de organização do mundo celeste, geocêntrica ou heliocêntrica, é a verdadeira. Isso teve duas conseqüências básicas, a primeira funcionando como uma objeção aos procedimentos epistemológicos keplerianos, e a segunda como uma amostra da metodologia de Kepler para construir a sua teoria dos movimentos planetários.

A primeira é que, na *Astronomia nova*, Kepler, como já foi dito, narra cronologicamente todas as etapas de seu trabalho, e isso pode acarretar que a justificação do Sol como centro dos movimentos planetários foi feita mais em função da crença de Kepler sobre a verdade do copernicanismo do que na obtenção de provas satisfatórias para o posicionamento do Sol no centro do sistema. Ao lermos a citação acima, pode parecer que ele não sabia qual era o centro físico da órbita: ou a Terra, segundo Ptolomeu e Brahe, ou o Sol, segundo Copérnico, de modo que é a investigação que determinará qual é o centro responsável pela ação física dos movimentos planetários. De uma certa forma isso é correto; o trabalho desenvolvido a seguir na obra chegará ao resultado de que é o Sol o centro de movimentos. Mas devemos lembrar que Kepler em 1604, ano em que escreve o capítulo XXXII da *Astronomia nova*, já era um entusiasta defensor do copernicanismo<sup>24</sup>,

<sup>22</sup> “Cum ergo in Mysterio meo Cosmographico ante annos octo publicato litem hanc de causa aequantis Ptolomaici hoc solo nomine distulerim,, quod ex Astronomia vulgari dici non posset, an etiam Sol vel terra puncto aequatorio et ejus eccentricitas bisectione utatur; equidem jam decet rem esse liquidam, postquam sincerioris Astronomiae testimonio confirmatum habemus, omnino in theoria Solis vel terrae aequantem inesse.”

<sup>23</sup> O problema do uso do equante, que o levava a ferir o axioma platônico, era que ele determinava um ponto vazio, ou um foco vazio, pelo qual os movimentos seriam adequados à uniformidade da órbita, isto é, o ponto se “moveria” dentro da linha das apsides, determinando ângulos (arcos de circunferência) iguais em tempos iguais, mas ele era antes de tudo um ponto fictício, matemático. Com a lei da forma elíptica para as órbitas, o Sol estará num dos focos, e os movimentos serão vistos como uniformes pelas áreas, e não arcos de circunferências, iguais percorridas em tempos iguais. Na verdade, o que Kepler fez foi considerar o Sol como o ponto equante, mas como ponto físico e real.

<sup>24</sup> Na realidade Kepler sempre foi um defensor do copernicanismo. Kepler aceitou a mobilidade da Terra e a centralidade do Sol na universidade de Tubinguem, quando entrou em contato com ela via o seu mestre

não demonstrando qualquer tipo de dúvida acerca da sua verdade. Não devemos achar, contudo, que essa aceitação incontestada era “ingênua”, e que as provas desenvolvidas visavam a apenas dar as premissas de uma conclusão já conhecida, ou aceita, de modo que o trabalho procurou adequar as premissas à conclusão. O desenvolvimento da *Astronomia nova* foi, antes de tudo, o de lançamento das bases epistemológicas e metodológicas necessárias para a astronomia do início do século XVII, de maneira que, independentemente de se saber se Kepler justificou o Sol como centro de movimentos a partir de uma crença ou de um trabalho, digamos, de descoberta, o cerne das pesquisas encontra-se na mudança de enfoque operada: a astronomia não tinha como função uma investigação sobre a função físico-mecânica do Sol ou dos planetas – isso era função da filosofia natural que estava estabelecida via a aceitação incontestável, pelo menos pelos seus adeptos, do aristotelismo, que posicionava a Terra ao centro -; com as investigações keplerianas sobre qual é o centro de movimentos, em contrapartida, o trabalho volta a ser relevante.

A segunda consequência é a função metodológica da utilização do equante ptolomaico, expediente este tão criticado por Copérnico. O uso do equante, por parte de Kepler, está ligado à necessidade desse astrônomo de construir uma teoria acerca dos aspectos físicos da astronomia. Copérnico deu um grande passo ao mudar o centro dos movimentos para o Sol, permitindo, com isso, uma melhor organização do cosmo, respondendo que certas anomalias surgem pela disposição errônea dos planetas no espaço celeste, como na segunda desigualdade, por exemplo, onde os movimentos retrógrados são frutos do posicionamento errôneo da Terra no centro, de maneira que a retrogradação se mostra como aparente quando dotamos a Terra de movimentos; mas o mesmo ele não fez quando aceitou o axioma platônico como princípio básico para a construção das hipóteses em astronomia<sup>25</sup>. O uso do equante por Kepler, o qual pode parecer como um recurso ligado apenas a uma cinemática celeste de cunho instrumental, faz parte da sua

---

Maestlin. As razões de Kepler para aceitar o copernicanismo logo na sua juventude, sem provas empíricas e teóricas para isso – o que alias ele procurou subsequenteiramente dar essas provas – pode estar ligado às suas crenças metafísicas.

<sup>25</sup> Como veremos no capítulo desta tese sobre a epistemologia e metodologia kepleriana, mais à frente, quando discutiremos o estatuto realista do keplerianismo, a aceitação incontestada de Copérnico do axioma platônico limitou, e muito, o seu trabalho no que concerne à procura da descrição realista dos movimentos planetários, pois o cerne do axioma platônico, a circularidade e a uniformidade, leva, no limite, à construção

metodologia. Kepler não sabia quando utilizou o equante qual é a forma real da órbita de Marte, ele apenas tinha como básico que a órbita deveria ser descoberta a partir de princípios físicos. O uso do equante liga-se a um processo de “aproximação”, no qual os expedientes são utilizados e, mesmo sabendo-se que eles são errôneos, são aceitos e substituídos quando eles tiverem uma expressão, ou um recurso melhor e mais adequado. Pode-se dizer que esse procedimento de uso por aproximação é uma forma de se obter resultados pelo princípio de razão suficiente kepleriano, segundo o qual para todo acontecimento existe uma justificação racional que pode ser obtida pelo intelecto humano (não confundindo essa “justificação racional” como causas últimas, as quais somente Deus pode saber quais são). Seguindo essa via, o uso do equante por Kepler faz parte do seu “procedimento de descoberta”, tendo o mesmo estatuto da hipótese vicária, da qual já falamos e da lei das distâncias, que trataremos agora.

Assumindo que o equante ptolomaico pode demonstrar que as velocidades dos planetas são proporcionais às suas distâncias ao centro em que são computadas as uniformidades dos planetas - isto é, o equante ptolomaico determina a proporcionalidade entre as distâncias e tempos dele ao planeta -, Kepler passa a transferir essa relação para o centro físico de movimentos. Seu raciocínio pode ser compreendido da seguinte forma: pela figura abaixo, Kepler escreve [Kepler, J., G. W., III, p. 234]

“Agora, eu próprio afirmo que  $\upsilon\chi$ , assim designadas como o arco de tempo (como apontou Ptolomeu) está para o arco  $\delta\psi$ , o qual o planeta atravessa, aproximadamente como  $\alpha\delta$ , a distância do arco  $\delta\psi$  a partir do centro do mundo, está para  $\delta\beta$ , a distância mediana dos pontos  $\pi$  e  $\rho$  a partir de  $\alpha$ . E, igualmente, o arco de tempo  $\phi\tau$  está para o arco do movimento do planeta  $\epsilon\omega$ , aproximadamente como  $\alpha\epsilon$ , a distância do arco  $\epsilon\omega$  a partir do centro do mundo  $\alpha$ , está para  $\epsilon\beta$  e  $\alpha\pi$ , a distância mediana do centro do mundo, a qual pode ser encontrada pelos pontos  $\pi$  e  $\rho$ .”<sup>26</sup>

---

de hipóteses ligadas aos expedientes do epiciclo e do deferente, o que resulta na impossibilidade de utilização de um centro físico.

<sup>26</sup> “Atqui ego dico  $\upsilon\chi$  sic delineatum arcum temporis, ut voluit Ptolemaeus, esse quamproximo ad  $\delta\psi$  arcum itineris, ut est  $\alpha\delta$  distantia arcus  $\delta\psi$  a centro mundi, ad  $\delta\beta$  distantiam mediocrem punctorum  $\pi$ .  $\rho$ . ab  $\alpha$ . Et similiter arcum temporis  $\phi\tau$  esse ad arcum itineris  $\epsilon\omega$  quam proxime, ut est  $\alpha\epsilon$  distantia arcus  $\epsilon\omega$  a centro mundi  $\alpha$ , ad  $\epsilon\beta$  et  $\alpha\pi$  distantiam a centro mundi mediocrem, quae potest contingere in  $\pi$ .  $\rho$ . signis.”

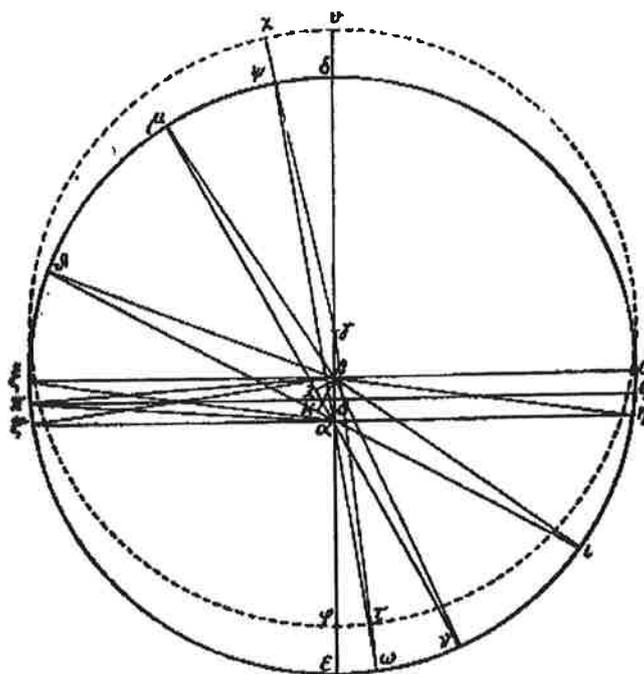


Figura 2: a lei das distâncias<sup>27</sup>

Basicamente, a figura mostra o movimento real do planeta (caso o percurso seja circular), representado pelo círculo contínuo, e o movimento excêntrico, dado pela circunferência tracejada;  $\alpha$  representa o centro do mundo, isto é, o centro físico de movimentos;  $\gamma$  é o equante, o ponto fictício que determina os arcos de tempo  $\chi\upsilon$  e  $\phi\tau$  como iguais, isto é, esses arcos são uniformes, pois seus tempos de percurso são idênticos.

Kepler demonstra, mediante a teoria geral da proporcionalidade, que os arcos de tempos obtidos pelo equante,  $\chi\upsilon$  no afélio (ou apogeu) e  $\phi\tau$  no periélio (ou perigeu), são proporcionais aos arcos das distâncias computadas a partir do centro físico de movimentos,  $\psi\delta$  no afélio e  $\varepsilon\omega$  no periélio; e isso ocorre em razão da relação entre a excentricidade dada pelo centro do mundo e centro físico (lembrando que a excentricidade foi bisetada),  $\alpha\beta$ . Assim, a relação seria:

$$\upsilon\chi : \delta\psi :: \alpha\delta : \delta\beta, \text{ para as posições no afélio; e } \phi\tau : \varepsilon\omega :: \alpha\varepsilon : \varepsilon\beta, \text{ no periélio.}$$

<sup>27</sup> Figura extraída de Kepler, [Kepler, J., G. W., III, p. 235].

Através do uso do equante, Kepler chega ao seguinte resultado: há uma proporcionalidade entre as velocidades dos planetas com as suas distâncias ao centro de movimentos, que pode ser exposta segundo a sua lei das distâncias, que reza [Kepler, J., G. W., III, pp. 233 - 234]:

“(…) que a rapidez no periélio e a lentidão no afélio são proporcionais, o mais que possível, às linhas unidas do centro do mundo ao planeta.”<sup>28</sup>

Isto é, conforme a distância do planeta ao centro é menor, a sua velocidade é maior, e se a distância é maior, a velocidade é menor. Essa lei<sup>29</sup> é falsa porque ela funciona apenas nos pontos extremos da órbita (as apsides, que contém o afélio e o periélio), mas nas distâncias medianas, ou longitudes heliocêntricas, ela se mostra falha. Mas apesar disso, ela serviu também como uma hipótese de trabalho, pela qual os seus resultados serviram para a obtenção da lei das áreas.

Sabendo que há, pelo menos nas apsides, uma proporcionalidade entre distâncias e velocidades, Kepler investiga qual é o centro responsável por essa proporcionalidade: o Sol ou a Terra.

A prova de que é o Sol o centro se dá no capítulo XXXIII da *Astronomia nova*. Os passos são os seguintes: deve-se saber, em primeiro lugar, se a ação física, a fonte motriz, que leva aos resultados da lei das distâncias é causada pelo corpo do planeta (que transita ao redor do centro), ou pelo corpo que está no centro do sistema (Terra ou Sol) [Kepler, J., G. W., III, p. 234]; sobre isso, escreve Kepler [Kepler, J., G. W., III, p. 237]:

<sup>28</sup> “(...) celeritatem in perihelio et tarditatem in aphelio proportionari quam proxime lineis ex centro mundi eductis in Planetam.”

<sup>29</sup> Aiton, [Aiton, E. J., 1969] discute uma série de controvérsias geradas em relação à equivalência da lei das distâncias com a lei das áreas. Segundo ele, diversos comentadores da obra de Kepler não compreenderam o papel da lei das distâncias. Assim, Dreyer, [Dreyer, J. L. E., 1953, p. 388] afirma que Kepler nunca se deparou com o erro da lei das distâncias; Caspar, [Caspar, M., 1959, p. 132] considera que Kepler era consciente da falta de identidade das duas leis; Koyré, [Koyré, A., 1961, p. 318] por seu lado, acha que Kepler deduziu erroneamente a lei das áreas da sua lei das distâncias, corrigindo o erro no *Epítome*. Aiton, contudo, não considera nenhuma dessas interpretações corretas, e argumenta que a lei das distâncias funciona para órbitas circulares, enquanto que a lei das áreas é para órbitas elípticas. De fato, a interpretação de Aiton nos parece a mais próxima da verdade. A lei das distâncias, seguindo a nossa interpretação, pode ser vista como um expediente, como um instrumento de trabalho, que só tem significado para órbitas circulares – ela só é correta na linha das *apsides* -, enquanto que a lei das áreas só pode ser vista como lei nas órbitas elípticas,

“(…) Além disso, a existência de uma força animal, pela qual se sugere que o movimento sideral seja existente no corpo móvel do planeta, que deverá resistir tantas vezes a intenção e a remissão da fadiga parece-me um absurdo de ser afirmada. Também é impossível de entender-se como essa força animal poderia conduzir seu corpo [do planeta] através dos espaços do mundo, visto que não há nenhuma órbita sólida, como foi provado por Brahe. E como também isso poderia ser aceito por um corpo [dos planetas] que roda sem o auxílio de pés ou asas. Portanto, a única possibilidade restante é que a causa dessa caminhada [trajeto do planeta] resida em outra parte, a saber, o ponto que é tomado como sendo o centro do mundo, a partir do qual as distâncias são medidas.”<sup>30</sup>

O argumento é interessante e significativo. Existem apenas duas possibilidades para obter-se o responsável físico pelos movimentos: ou são os planetas, ou está no centro; os planetas não podem ser, pois, para serem, deve-se explicar como eles o fariam, visto que não existem órbitas sólidas<sup>31</sup> e eles não são dotados de capacidades físicas, pés ou asas, para caminharem por si mesmos. Neste sentido, dada a impossibilidade física dos planetas agirem por si só, resta que a fonte física pela qual ocorre a proporcionalidade entre velocidades e distâncias encontra-se no centro do mundo.

Apesar da ironia de Kepler sobre a não existência de pés ou asas nos planetas para as suas caminhadas, para poderem realizar o trajeto, o argumento visa, antes de qualquer coisa, atacar a concepção usual da época de que os planetas eram dotados de capacidades intrínsecas que garantiriam os seus movimentos, isto é, os planetas conteriam, segundo essa concepção, uma espécie de “inteligência planetária” que seria o “motor” interno para a ocorrência dos movimentos.

---

com o Sol real num de seus focos. Sobre a segunda lei e a lei das distâncias conferir, também, Aiton, [Aiton, E. J., 1975 e 1975b]; Donahue, [Donahue, W. H., 1994] e Wilson, [Wilson, C., 1958 e 1975].

<sup>30</sup> “Animalen quoque vim, quae motum sideri inferat sedentem in mobili Planetae corpore, totis intendi et remitti citra fatigationem et senium, id forsitan erit absurdum dictu. Adde quod intelligi nequit, quomodo vis haec animalis corpus suum per spacia mundi transvectet, cum nulli sint orbes solidi, ut Tycho Brahe demonstravit: sed neque alarum aut pendum adminicula adsint, rotundo corpori, quorum motatione, anima, hoc suum corpus per auram aetheriam, ceu aves per aerem, nisu quodam, et contranisu illius aurae, transportet. Relinquitur igitur, ut causa hujus debilitationis et intensionis resideat in termino altero, scilicet in ipso suscepto mundi centro, a quo distantiae computantur.”

<sup>31</sup> As descobertas de Brahe de que os cometas não são fenômenos atmosféricos, mas que se movimentam ao longo da eclíptica, trouxe uma grande argumentação contra a existência de esferas sólidas encaixadas uma nas outras, pois como explicar o fato dos cometas terem que transpassar essas esferas sólidas? Sobre isso, conferir Donahue, [Donahue, W. E., 1975].

Na verdade, como veremos mais adiante, quando tratarmos dos desenvolvimentos históricos do conceito de força, a questão era extremamente complicada; a sua gênese nasce da tentativa de adequar o princípio metodológico da circularidade e uniformidade com o requisito ontológico acerca de qual astro é responsável pelos movimentos, e como esses movimentos se dão – e de uma certa forma isso foi um dos motivos da ruptura, explícita em Ptolomeu, entre a astronomia e a física (cosmologia). Ela pode ser resumida da seguinte maneira: a astronomia grega, desde Platão e Aristóteles, e a medieval tinham como objetivo adequar as irregularidades constatadas observacionalmente ao axioma da circularidade e uniformidade, de maneira que os movimentos eram computados retirando os desvios de acordo com o axioma. Por outro lado, segundo a teoria aristotélica de que cada movimento, seja natural ou violento, deve ter uma causa, de modo que essa causa seja ou interna (está no próprio móvel, como o homem, por exemplo, quando caminha, que nesse caso é uma causa natural), ou externa (pela ação de um agente quando empurra, puxa, lança, etc., um objeto, sendo um movimento violento), não havendo possibilidade de uma ação a distância; isso acarretou que, para os movimentos planetários, que são eminentemente naturais, os movimentos devem ser explicados pela ação interna dos corpos, deles mesmos, que têm, no limite, uma natureza divina, que transcende a humana. Isso é bem resumido por Dugas [Dugas, R., 1954, p. 19]:

“A rotação ao redor do centro da Terra é o movimento natural do éter, portanto as esferas e os astros se movem por eles (...), as estrelas e os sete astros errantes movem-se cada um ao redor de seu eixo de rotação própria, uniforme e perpetuamente. Aristóteles seguiu a teoria de Eudoxo; os astrônomos tinham que pôr em ordem as disposições e os movimentos para melhor traduzir, em Ptolomeu, os fatos da astronomia descritiva, mas sem renunciar aos princípios da matéria. Os astros são movidos por divindades próprias, almas eternas e inteligentes, de uma inteligência que transcende a de todos os seres vivos.”

O problema é justamente esse: para poder aceitar-se o axioma platônico e justificar os movimentos “errantes” dos planetas mediante uma descrição física, deve-se admitir a existência de “almas planetárias”, “inteligências planetárias”; recursos esses que criaram uma espécie de ruptura entre a astronomia descritiva - aos moldes de Ptolomeu, que, seguindo uma via prática, computou os movimentos planetários no sentido de determinar os

melhores posicionamentos possíveis, utilizando, apenas, os princípios físicos de Aristóteles necessários para o seu trabalho (centralidade da Terra, esfericidade da mesma e dos céus etc)<sup>32</sup> – com a cosmologia, preocupada mais em determinar a estrutura do cosmo. O problema era grave<sup>33</sup>, e perpetuou-se durante toda a Idade Média. O contexto dado pela aceitação de esferas de cristais ou inteligências planetárias permitiu uma série de interpretações sobre os movimentos planetários.

Quando Kepler faz a crítica do recurso às inteligências planetárias, ele está visando combater justamente a ruptura entre a astronomia descritiva (que ele chama de prática, ou comum) com a cosmologia (que ele denomina de teórica, ou profunda). Essa crítica é a expressão da procura da unificação entre os aspectos práticos, necessários para a determinação dos posicionamentos dos planetas, com a estrutura física do sistema de movimentos. Com isso, forma-se um corpo organizado, no qual, se estabelecermos os constituintes físicos, poderemos progredir na obtenção dos dados práticos. Nesse sentido, os termos “inteligências planetárias” e “esferas de cristais” não são adequados para esse projeto; e serão substituídos por “forças”; o resultado dessa substituição é o abandono do axioma platônico e a obtenção da órbita elíptica e da lei das áreas.

Já que não é possível serem os planetas os responsáveis pelos movimentos, resta que a fonte de movimentos localiza-se no centro do sistema. Agora, é necessário saber o que está no centro: a Terra ou o Sol. Na realidade, a prova de que é o Sol o centro de movimentos dar-se-á apenas quando Kepler obtiver a forma elíptica, a primeira lei, quando provar que os movimentos elípticos se dão pela ação solar, que faz que os planetas mudem a sua trajetória (a força do Sol leva os planetas a mudarem o movimento circular para o elíptico); mas no capítulo XXXIII, Kepler está apenas investigando as hipóteses com base no critério de construir a astronomia sobre alicerces físicos. Nesse sentido, é significativo o

---

<sup>32</sup> Ptolomeu, *Almagesto*, Livro I, cap. 1, onde lemos: “E assim, de uma forma geral, podemos estabelecer que os céus são esféricos e movem-se esfericamente; que a Terra, enquanto figura, é sensivelmente esférica quando nós a tomamos como um todo; em posição liga-se em linhas retas no meio dos céus, semelhante a um centro geométrico; em magnitude e distância, tem a razão de um ponto com respeito à esfera das estrelas fixas, não tendo em si nenhum movimento local.” O que é significativo é que Ptolomeu somente se refere aos princípios ou discussões físicas no capítulo 1 do primeiro livro; no restante da obra, temos apenas um trabalho computacional. O mesmo é observado em Copérnico, dos seis livros do *De Revolutionibus*, apenas o primeiro trata de uma astronomia física, e os outros cinco, computacionais.

<sup>33</sup> Os astrônomos árabes, muito influenciados por Aristóteles, nunca viram com bons olhos esses recursos, justamente na utilização de artifícios matemáticos, especialmente o equante, como centro de movimentos reais, isto é dos planetas. Como pode – e a mesma pergunta fará Kepler – um ponto matemático ser o centro de um sistema físico de movimentos? Conferir Dijksterhuis, [Dijksterhuis, 1986, pp. 209 – 212].

argumento utilizado por Kepler nessa passagem do texto; ele utiliza uma analogia, com a balança e a alavanca. Deixemos que ele nos relate esse argumento [Kepler, J., G. W., III, pp. 237 – 238]:

“Se, portanto, o afastamento do centro do mundo a partir do corpo do planeta, garante a lentidão do planeta, e a aproximação, a rapidez, é necessário que a fonte de força motriz se encontre no centro do próprio mundo. Com efeito, supondo isso, a forma da causa será visível, pois nós a compreenderemos como os planetas se movem se forem entendidos quase como uma balança ou alavanca. O planeta, pelo fato de estar mais longe do centro, será movido mais dificilmente (certamente mais lentamente) pela força do centro; e isso é certamente o mesmo que se eu dissesse que os pesos que estão na parte mais afastada do braço da balança são mais pesados; isso não acontece por ele mesmo, mas por causa da força sustentada pelo braço nessa distância. Dessa maneira, pois, nos dois casos, o da balança ou alavanca e o dos movimentos dos planetas, essa fraqueza ocorre proporcionalmente às distâncias. “(...) A partir disso, segue-se que o movimento do próprio Sol (se ele é movido) é intensificado ou diminuído quando ele estiver mais próximo ou mais afastado da Terra e, portanto, segue-se que o Sol é movido pela Terra. Mas se, por outro lado, a Terra está em movimento, ela deverá ser movida pelo Sol, com velocidade maior ou menor quando ela estiver mais próxima ou mais afastada dele, sendo que a força no corpo do Sol permanecerá perpetuamente constante. Entre essas duas hipóteses não existem intermediários.

“ Eu próprio concordo com Copérnico, e digo que a Terra é um dos planetas.”<sup>34</sup>

Essa passagem é significativa, tanto que o comentário que Koyré faz sobre ela apresenta as modificações introduzidas por Kepler na estrutura do universo copernicano como básicas para uma compreensão sensível da nova visão de mundo: a de deslocar o centro do cosmo da Terra para o Sol físico, segundo ele [Koyré, A, 1961, p. 197]:

<sup>34</sup> “Quod si itaque elongatio centri mundi a corpore Planetarum, praestat Planetarum tarditatem, appropinquatio velocitatem; fons itaque virtutis motricis in illo suscepto mundi centro insit necesse est. Hoc enim posito, et modus causae patebit. Intelligimus enim hinc, quod Planetarum pene ratione statera seu vectis moveantur. Nam si Planeta, quo longior a centro, hoc difficilior (utique tardius) a centri virtute movetur: equidem perinde est, ac si dicerem, pondus, quo longius exeat ab hypomochlio, hoc reddi ponderosius; non seipso, sed propter virtutem brachii sustentatis, in hac distantia. Utrunque namque et hic in statera seu vecte, et illic in motu planetarum, haec debilitas sequitur proportionem distantiarum (...) ex quo sequitur, ipsius quoque Solis, si movetur, intendi et remitti motum, prout propior vel remotior a terra fuerit, et hic Solem a terra moveri sequeretur. Sin autem terra movetur, a Sole et ipsa quoque movebitur, et id celerius vel tardius, prout ei

“Os resultados que nós vimos [dados pela analogia com a alavanca e a balança] são de uma importância capital. A modificação introduzida por Kepler na estrutura do mundo copernicano – a de transferir a origem das órbitas para o Sol real – confirma a verdade da doutrina copernicana, apoiando-se numa concepção dinâmica do Universo astral; inversamente a concepção dinâmica confirma, e explica, a necessidade de transferir a questão: com efeito, se os movimentos dos planetas são acompanhados de uma velocidade variável, e se essas variações se dão em função das distâncias entre eles e o Sol, esses movimentos só podem ser explicados pela ação de uma força motriz, e de uma força motriz que não se pode encontrar em outro lugar que não seja no corpo do Sol.”

Apesar do entusiasmo contagiante de Koyré, devemos ser cautelosos. Em primeiro lugar, as modificações introduzidas por Kepler – em especial, deslocar o centro para o Sol real – no sistema copernicano são necessárias, mas não são suficientes; nada se prova até esse momento, e muito menos se explica; a única coisa que pode ser dita com segurança, no capítulo XXXIII da *Astronomia nova*, é que se pode construir ou, pelo menos, pode pensar-se, uma astronomia física, e que há boas razões para admitir-se o Sol como centro dos movimentos planetários. Em segundo lugar, Kepler ainda não provou que é o Sol o centro de movimentos; o argumento mostra apenas que se pode deslocar a questão para um centro de forças e falar-se racionalmente e com decidibilidade dos aspectos físicos da astronomia<sup>35</sup>.

De fato, o argumento não prova se é a Terra ou o Sol o responsável pelos movimentos, apenas apresenta, por meio da analogia com a balança e a alavanca, que há um critério que deve ser respeitado, um critério mecânico. A ação se dá basicamente pela distância do corpo que está no extremo (os braços da alavanca e da balança), o planeta ou o Sol, com o centro (o fulcro na alavanca, e o centro na balança), o Sol ou o planeta. Essa analogia é significativa por dois aspectos: em primeiro lugar, a analogia abole a distinção entre fenômenos celestes e terrestres. Os mesmos componentes que regem a ação na balança e na alavanca - que são as distâncias dos extremos aos centros, com as forças

---

propior aut ab eo remotior fuerit: manente in corpore Solis virtute perpetuo constante. Itaque inter duo jam proposita medium nullum est. Ego in Copernico acquiesco, et tellurem unam ex Planetis esse patior.”

<sup>35</sup> Kepler foi o primeiro astrônomo a tratar fisicamente os movimentos planetários por meio das propostas heliocêntricas. Conferir Krafft, [Krafft, F., 1975].

empregadas via a ação central, que no caso são representadas pelo agente que emite a força (alavanca) ou o centro de gravidade (balança) – podem ser empregados no caso dos movimentos planetários – dados pela ação do corpo central nos planetas –, de maneira que a ação da força (mais intensa ou menos intensa), tanto no caso da alavanca e da balança, quanto nos movimentos planetários, ocorre em função das distâncias dos extremos ao centro (distância maior, intensidade de força menor; distância menor, intensidade de força maior). Isso pode parecer um lugar comum hoje em dia, mas na época de Kepler a astronomia, o estudo do mundo celeste, como já dissemos, era vista como tendo natureza distinta do mundo terrestre, pois a teoria dos quatro elementos de Aristóteles impedia, dada a distinção entre os mundos terrestre e celeste, um tratamento analógico desse tipo. Terra e céus têm naturezas distintas, implicando concepções e métodos distintos.

Em segundo lugar, é a função, que começa a ser definida mais claramente, do conceito de força e o início do processo de matematização dos movimentos planetários por meio da ação dessa força. A analogia com a balança e a alavanca transfere a questão para as distâncias dos planetas ao centro de movimentos. Como vimos, há uma proporcionalidade, que Kepler nesse momento de seu trabalho ainda não conhecia claramente, entre as velocidades (e também os tempos) em função das distâncias, e isso explicar-se-á, segundo Kepler, pela ação da força do corpo central (e também da inércia dos planetas, que Kepler introduzirá na discussão mais adiante). Mas o importante é notar que a construção da astronomia física kepleriana começa a tomar dimensões significativas; Kepler não tinha, até esse momento, uma caracterização exata da função da força por ele postulada, mas ela já lhe indica os caminhos que ele deverá seguir na sua teoria dos movimentos planetários: a de agente que pode, segundo a sua ação, explicar o por que os planetas perfazem movimentos com alterações de velocidades, e a via, o caminho, está em matematizar essas alterações em relação ao aumento e diminuição da própria ação da força do centro. Em outras palavras, pode-se, com isso, abandonar as qualidades – no sentido da teoria aristotélica dos elementos - dos corpos celestes e considerar as relações entre os seus constituintes primários: velocidades, tempos e distâncias.

Até esse momento Kepler tinha boas razões para acreditar que os movimentos planetários são guiados por forças. Mas a questão que logo se apresentou é: o que é essa

força? Qual a sua natureza?<sup>36</sup> Depois disso, trata-se de investigar como ela age<sup>37</sup>. A resposta de Kepler sobre a natureza da força é dada, novamente, por analogias, primeiro com a luz e, em seguida, com o magnetismo de Gilbert<sup>38</sup>.

Os problemas envolvidos na analogia com a luz são complicados, pois essa analogia apresenta o espinhoso problema de se considerar a força ou como material ou como imaterial, ou, em outros termos, observável ou inobservável. Kepler, em 1604, enfrentou esse problema com as suas investigações sobre a luz, quando da elaboração do seu primeiro tratado sobre ótica (o *Paralipomènés à Vitellion*). A luz é vista como uma substância, mas uma substância imaterial, que não se perde ou se consome, mas que apenas age. Segundo Kepler, sobre as semelhanças de natureza entre força e luz temos [Kepler, J., G. W. III, p. 240]:

“(…) A emissão [da força], da mesma maneira que a luz, é imaterial, não como os odores, os quais são acompanhados pela diminuição das substâncias [das suas partes], ou do calor a partir da perda na fornalha, ou de qualquer coisa similar que se executa no meio (...).

“Visto, então, que essa espécie de poder, exatamente como a espécie da luz (que vimos na *Astronomia pars óptica*, capítulo 1), não pode ser considerada como dispersada através do espaço intermediário entre a fonte e o corpo móvel, mas deve ser visto quanto seja ocupado pelo móvel no seu âmbito em proporção à soma da circunferência que ele ocupa, esse poder (espécie) não deve, portanto, ser qualquer corpo geométrico, mas sim como um com uma certa superfície plana, como a luz.”<sup>39</sup>

<sup>36</sup> A pergunta sobre a natureza da força, ou por que os planetas se movem devido à força, leva necessariamente à metafísica kepleriana. Kepler poderia contentar-se com o “como o planeta se move”, deixando a espinhosa questão da causa dos movimentos fora da sua pesquisa. Mas, como veremos adiante, as suas crenças metafísicas o impediram de ficar no nível cinemático.

<sup>37</sup> Na verdade, na *Astronomia nova*, Kepler primeiro aponta que há forças que são as responsáveis pelos movimentos planetários (capítulo XXXIII), após isso, investiga a sua natureza (capítulos XXXIV a XXXIX) e, finalmente, como ela age e como a partir dela explicam-se os movimentos dos planetas (capítulos LVI a LVIII).

<sup>38</sup> Muitas das críticas contra o conceito de força kepleriano vêm do uso desta associada ao magnetismo. O magnetismo era visto, principalmente pelos cartesianos, como um recurso a qualidades ocultas. Discutiremos isso no capítulo cinco desta tese.

<sup>39</sup> “Effluxus igitur, quemadmodum et lucis, immateriatus est; non qualis odorum cum diminutione substantiae, non qualis caloris ab aestuante fornace, et si quid est símile, quibus media implentur. (...) Cum ergo species haec virtutis plane ut species lucis (de quo in Astronomiae parte Óptica cap. 1) non possit considerari ut per spacium intermedium dispersa, fontem inter et corpus mobile, sed ut collecta in mobili, quantum de ambitu a mobili occupatur: non erit igitur virtus haec (seu species) aliquod corpus Geometricum, sed veluti superficies quaedam, plane ut lux.”

A intenção de Kepler é clara, a de geometrizar a ação da força, obtendo, para tanto, a figura geométrica que expressa a sua ação no espaço, do mesmo modo que há uma figura que abarca as emissões da luz. Com isso, Kepler poderia descrever em linguagem geométrica a ação do movente sobre a matéria, pois se os corpos, que são materiais, são movidos por algo, essa ação de mover pode ser expressa geometricamente [Kepler, J., G. W., p. 242].

A quantificação do conceito de força. É nisso que se alicerça todo o trabalho de Kepler para a construção da astronomia em bases físicas. E nisso, também, está a principal diferença da função da matemática nos trabalhos de Kepler e da tradição. Na astronomia da época de Kepler, como vimos, a matemática funcionava como um instrumento, voltada para a criação de artifícios para adequar as irregularidades dos movimentos planetários observados ao axioma platônico de movimentos circulares e uniformes, sem relacionar esses artifícios ao ser, isto é, à realidade física; em Kepler, a matemática é um constituinte presente na matéria<sup>40</sup>; se quisermos fazer uma relação mais próxima, podemos dizer que os epiciclos, deferentes e equantes estão para a força kepleriana, mas com a diferença de que enquanto os primeiros são artifícios matemáticos sem relação com a matéria, o último é um constituinte físico que tem na sua natureza uma constituição geométrica, pois age em corpos que têm figuras<sup>41</sup>.

Mas a procura da natureza da força não se restringe à analogia com a luz; essa serviu para determinar que a força pode, justamente por agir sobre corpos materiais, como a luz, ser tratada geometricamente. Após isso, Kepler passa a tratar da força de uma forma mais próxima a um contexto científico; assim, é relevante a seguinte passagem [Kepler, J., G. W., III, p. 242]:

“Concebendo que o poder atribuído [a força] atrai os corpos dos planetas, mostramos como ele é formado, semelhante à luz, e qual é o seu ser metafísico.

Agora, contemplaremos a natureza profunda de sua fonte, apresentada pelas espécies

<sup>40</sup> Isto é, a matéria é vista por Kepler como apta a ser matematizada, de onde podemos extrair as relações que fazem parte da sua natureza. No caso dos movimentos planetários, os corpos (planetas e Sol) mantêm relações que são suscitadas pela ação da força do Sol nos planetas; essas relações são as velocidades, tempos e distâncias.

<sup>41</sup> Como discutiremos no capítulo referente à harmonia kepleriana, neste trabalho, o *Mysterium cosmographicum*, de Kepler, apresenta as bases para a compreensão da possibilidade para decompor as

(arquetipos). Pois pode parecer que existe uma espécie de divindade ligada ao corpo do Sol, a qual pode ser comparada à nossa alma, a partir da qual as espécies [as forças] atraem os planetas ao seu redor.

“(…). O poder que é estendido a partir do Sol aos planetas, move-os em um curso circular ao redor do corpo imóvel do Sol. Mas isso não pode acontecer, ou ser concebido, pelo pensamento, ou por qualquer outro modo semelhante.”<sup>42</sup>

O raciocínio de Kepler acerca da natureza da força tem duas partes: em primeiro lugar, há uma força, admitida justamente para explicar os movimentos dos planetas; porém, pode-se dizer, como era comum dizer-se nessa época, que essa força é ligada a uma espécie de divindade do Sol, isto é, é uma característica do Sol enquanto ser divino poder condicionar os planetas a moverem-se em torno de si. Porém, e aqui temos a segunda parte do raciocínio exposto na citação acima, isso “pouco explica”, num contexto pretendido por Kepler, o de determinar razões físicas para a astronomia. Quando Kepler diz, na citação acima, que o poder do Sol faz os planetas moverem-se ao seu redor, e que isso não se pode dar pelo pensamento ou formas semelhantes, ele quer expressar que essa explicação não é adequada quando consideramos o problema sob o ponto de vista físico ou, em termos modernos, científico, pois “pensamento” nesse sentido é a ação por meio de recursos inacessíveis de serem expressos pelas faculdades de conhecimento humano, isto é, recursos extra-científicos. O que entra em jogo com isso é algo que podemos chamar de “deslocamento de sentidos”: força vista como ação divina não pode ser matematizada, enquanto que, no contexto físico, semelhante à luz, ela é apta de ser tratada geometricamente, e, conseqüentemente, segundo os critérios epistemológicos keplerianos, ser vista como científica.

A prova disso está na analogia empregada a seguir: força como uma espécie de ação magnética. Kepler foi muito influenciado pelo *De Magneto*, de Gilbert, publicado em

---

figuras presentes na matéria em formas geométricas, e, assim, matematizá-las, *Mysterium cosmographicum*, capítulo II.

<sup>42</sup> “De illa itaque virtute diximus, quae corpora planetarum proxime attingit et trahit, quomodo comparata, quomodo luci cognata sit, et quid in suo esse Metaphysico. Sequitur ut indice hac defluente specie (ceu archetipo) ipsam etiam penitorem fontis naturam contemplemur. Videre namque possit in corpore Solis latitare divinum quipiam, et comparandum animae nostrae, ex quo effluat species ista Planetas circumagens. (...) Nam quia virtus illa, ex Sole ad Planetas exporrecta, in gyrum illos movet circa Solis corpus intransportabile, fieri id aut cogitatione comprehendi nullo alio modo potest.”

1600<sup>43</sup>. A analogia consiste na comparação entre os movimentos planetários e um orador numa assembléia. Numa assembléia [Kepler, J., G. W., III, pp. 242 – 243], um orador está posicionado no centro da mesma, e a platéia está ao seu redor, semelhante à circunferência de um círculo. O orador, para poder entrar em contato com todos os participantes, olha para os olhos de cada um deles, girando até chegar ao primeiro novamente e, assim, continua o seu discurso ininterruptamente, realizando inumeráveis voltas ao redor da assembléia; com isso, os olhos do orador passam dos olhos de cada participante numa fração regular de tempo, de modo que os olhos do orador não se desfazem no todo (os olhos do orador passam de olhos em olhos dos participantes). Quanto aos movimentos planetários, o Sol é o centro, e um planeta qualquer representa os olhos de todos os participante. O Sol gira sobre o seu próprio eixo, fazendo que a sua ação seja constante no planeta (para cada arco de circunferência percorrido pelo planeta, existe a ação do corpo solar).

Essa analogia também é significativa. Por ela podemos notar que a força exercida pelo corpo solar nos planetas é atrativa<sup>44</sup>, isto é, a força tem a capacidade de retirar o planeta da sua inércia natural, levando-o a mover-se de acordo com a atração exercida pelo centro. Isso fica mais claro quando a associamos ao que é exposto por Kepler na introdução da *Astronomia nova*. Nessa passagem da introdução, Kepler apresenta os princípios gerais da sua teoria de forças atrativas, apresentando sete axiomas, que são [Kepler, J., G. W. III, introdução, pp. 25 – 26]:

“A verdadeira doutrina da gravidade contém os seguintes axiomas:

“Toda substância enquanto corpórea, nasceu de modo a encontrar-se em repouso em todo lugar em que foi isoladamente colocada, fora da esfera de um corpo cognato (semelhante).

<sup>43</sup> O forte do emprego da analogia com o magnetismo será dado na segunda formulação do conceito de força na *Astronomia nova*, exposta nos capítulos LVI a LVIII, onde Kepler operacionalizará o conceito, mostrando que uma órbita só pode ser elíptica, quando vista sob o ângulo das exigências físicas, mediante a ação de uma força magnética exercida pelo Sol nos planetas. No momento, Kepler apenas relaciona o magnetismo à força, procurando extrair elementos sobre a última a partir da primeira.

<sup>44</sup> Alguns comentadores consideram que a força kepleriana não é atrativa, mas que é apenas uma emanção do corpo do Sol, que será tangencial ao corpo do planeta, assim, escreve Rybka, [Rybka, E., 1975, p. 214]: “Kepler fez, entretanto, a falsa suposição de que elas [as forças] estavam em operação apenas no plano orbital. Disso se pode dizer que as forças de Kepler não tem nenhuma feitura gravitacional, como foi considerado por Newton, mas são apenas tangenciais e deslocam os planetas ao longo de suas órbitas”. Mas o que Rybka esquece é que, como se dá no *Epítome*, livro IV, a ação do Sol atrai o planeta, e esse só não vai ao seu encontro devido à sua inércia. Assim, as forças keplerianas têm, para que se possa expressar os movimentos planetários, um componente de atração.

“A gravidade é uma disposição corpórea mútua entre corpos cognatos (semelhantes) para unir ou unir-se conjuntamente; assim, a Terra atrai uma pedra muito mais do que a pedra atrai a Terra (a força magnética está na mesma ordem dessas coisas).

“Os corpos celestes (se principalmente colocarmos a Terra no centro do mundo) não são atraídos para o centro do mundo, enquanto centro do mundo, mas para o centro de um corpo cognato esférico, a saber, a Terra. Conseqüentemente, onde se encontrar localizada a Terra, ela será conduzida por suas forças de animal, e os corpos graves serão atraídos por ela,

“Se a Terra não fosse redonda, os corpos graves não poderiam em todo lugar ser atraídos em linhas retas para o ponto médio da Terra, mas poderiam ser atraídos para diferentes pontos a partir de diferentes lados.

“Se duas pedras forem colocadas num lugar do mundo próximas uma da outra, fora da influência de algum corpo de valor cognato, essas pedras, de modo semelhante a dois corpos magnéticos, podem vir a unir-se em algum lugar intermediário, cada uma aproximando-se da outra por um intervalo proporcional ao volume da outra.

“Se a Lua e a Terra não forem retidas por uma força animal ou qualquer coisa semelhante e qualquer que seja o seu circuito, a Terra poderia ascender para a Lua cerca de uma das cinqüenta e quatro partes do intervalo, e a Lua poderia descender para a Terra cerca de cinqüenta e três partes do intervalo, e elas poderiam unir-se; provando, mediante isso, que a substância de cada uma seja de mesma densidade.

“Se a Terra cessasse de atrair as águas para si, todas as águas do mar poderiam seguir em direção ao corpo da Lua.”<sup>45</sup>

Esses axiomas expõem a base da teoria da gravidade de Kepler. Por eles nós podemos estabelecer os seguintes pontos:

---

<sup>45</sup> “Vera igitur doctrina de gravitate his innititur axiomatibus. 1. Omnis substantia corporea, quatenus corporea, apta nata est quiescere omini loco, in quo solitaria ponitur, extra orbem virtutis cognati corporis. 2. Gravitatis est affectio corporea, mutua inter cognata corpora ad unionem seu conjunctionem (quo rerum ordine est et facultas Magnetica) ut multo magis Terra trahat lapidem, quam lapis petit Terram. 3. Gravia (si máxime Terram in centro mundi colocemus) non feruntur ad centrum mundi, ut ad centrum mundi, sed ut ad centrum rotundi cognati corporis, Telluris scilicet. Itaque ubicumque collocetur seu quocumque transportetur Tellus facultate sua animali, semper ad illam feruntur gravia. 4. Si Terra non esset rotunda, gravia non undiquaque ferrentur recta ad medium Terrae punctum, sed ferrentur ad puncta diversa a lateribus diversis. 5. Si duo lapides in aliquo loco mundi collocarentur propinqui invicem, extra orbem virtutis tertii cognati corporis; illi lapides ad similitudinem duorum Magneticorum corporum coirent loco intermedio, quilibet accedens ad alterum tanto intervallo, quanta est alterius moles in comparatione. 6. Si Luna et Terra non retinerentur vi animali, aut alia aliqua aequipollenti, quaelibet in seu circuito; Terrae ascenderet ad Lunam quinquagesimaquarta parte intervalli, Luna descenderet ad Terram quinquaginta tribus circiter partibus intervalli: ibique jungerentur: posito tamen, quod substantia utriusque sit unius et ejusdem densitatis. 7. Si Terra cessaret attrahere ad se aquas suas; aquae marinae omnes elevarentur, et in corpus Lunae influerent.”

- 1) o axioma 1 determina a inércia kepleriana. Se um corpo está fora da influência de um outro corpo semelhante, então ele permanecerá em repouso. Portanto, “Inércia” é privação de movimentos, tendência natural do corpo a manter-se em repouso. Este axioma é original de Kepler: inércia como ausência de movimentos;
- 2) o axioma 2 expõe o que é gravidade para Kepler. É uma disposição presente em corpos semelhantes (que são corpos cognatos, isto é, têm a mesma natureza), que os leva a unirem-se. Notar que a Terra, corpo semelhante da Lua, a atrai de um modo proporcional ao seu tamanho; como a Terra é maior do que a Lua, ela a atrairá (procurará unir-se a ela) de uma maneira mais intensa do que a Lua irá atrair a Terra. Essa idéia já se encontra em Copérnico [Copérnico, N., 1984, Livro I];
- 3) o axioma 3 tem a função de determinar a base para a prova da impossibilidade de repouso da Terra (pelo menos quanto ao movimento de rotação sobre o seu próprio eixo), que será desenvolvido pelo axioma 4. Se a Terra estiver no centro do mundo, os corpos semelhantes (os planetas, a Lua e o Sol) serão atraídos não para o centro do mundo, mas para a Terra – pois é o corpo que atrai (corpos semelhantes atraem corpos semelhantes), e não o lugar que eles estão localizados - devido à força animal (quanto a isso, comentaremos mais abaixo), que é, pelo axioma 2, um corpo semelhante, mas;
- 4) o axioma 4 mostra a impossibilidade disso. Se a Terra está no centro, imóvel, sem girar sobre si mesma, os planetas (corpos semelhantes), não seriam atraídos para o centro do mundo em linhas retas, mas teriam movimentos aleatórios; além disso, esse axioma mostra a necessidade da forma esférica da Terra, com base na concepção de gravidade do axioma 2. Isso também já se encontra em Copérnico [Copérnico, N., 1984, Livro I]. Isso representa que, mediante os axiomas 1 e 2, um corpo semelhante é atraído por outro corpo semelhante, retirando o primeiro da sua inércia natural; mas para isso se dar se faz necessário que existam forças agindo em todas as direções pelas quais ocorrem a atração; se a Terra estivesse estática, não teríamos movimentos regulares, mas irregulares, o que abala a ordem natural de acontecimentos;
- 5) o axioma 5 mostra que corpos semelhantes podem vir a unir-se de uma maneira proporcional aos seus volumes;

- 6) o axioma 6 é interessante. Se a Terra e a Lua não estiverem sobre a ação de um terceiro corpo parente, elas atrair-se-ão de acordo com o seu tamanho ou volume, sendo a Terra maior que a Lua, ela aproximar-se-á a proporção do tamanho pelo qual ela excede a da Lua;
- 7) o último axioma é uma consequência que se daria caso não ocorresse a ação da Terra sobre as águas do mar, essas seguiriam em direção do corpo lunar, mostrando a atração da Lua sobre as águas da Terra.

Duas coisas devem ser destacadas nessa teoria esboçada por Kepler. A primeira refere-se à gravitação. Kepler não tem uma teoria como a newtoniana, isto é, ele não pôde, dado o caráter que ele deu à força, deduzir matematicamente os movimentos a partir da postulação de forças centrais, no sentido de que matéria atrai matéria na razão direta de suas massas e na inversa do quadrado de suas distâncias, mas ainda assim ele pôde determinar matematicamente as relações – que foram expressas subseqüentemente, em sua terceira lei dos movimentos planetários – entre os tempos e a variação das distâncias, compatível com a suposição do aumento e diminuição da ação da força exercida pelo Sol. Além do mais, essa teoria kepleriana já aponta para uma relação entre dois corpos: o Sol possui uma força maior que a dos planetas, e estes últimos também possuem uma força. Em segundo lugar, é o uso do termo “força animal”. Pela citação, pode-se afirmar que Kepler entendeu força como uma categoria ligada à tradição medieval, na qual força significa uma faculdade oculta. Isso pode ser analisado de duas maneiras: a primeira é que Kepler de fato a utiliza nesse contexto como uma qualidade oculta, mas isso se explica pelo fato de força ser para Kepler um componente não muito claro, pois ele serve como uma expressão da sua crença metafísica de que o universo cósmico pode ser entendido mediante a sua realidade física (ou seja, força é um conceito em formação e, desse modo, muitas conotações antigas estão presentes); a segunda maneira de analisar a referência à “força animal” é que Kepler está postulando força sem se remeter à sua natureza última, mas a aproxima da natureza. Isso fica mais claro quando notamos o que ele escreve mais a frente – no capítulo 57, p. 364 – sobre a natureza da força que, se for vista como uma faculdade não natural, mas como “inteligência” “mente planetária”, etc., pouca coisa pode-se explicar, mas, ao contrário, quando vemos força como algo natural, então podemos analisá-la frente a recursos aptos de

serem entendidos pelo intelecto humano. Em suma, o que queremos dizer com isso é que o conceito de força foi sendo construído por Kepler, de maneira a sair de uma conotação não natural para uma natural (isto é, que pode ser entendida, pois contém elementos naturais, do mundo dos fenômenos. De fato, Kepler usa “força animal” como algo que está preso à tradição mágica renascentista naturalista, pois essa força se apresenta como uma explicação causal (tal como no axioma 3, no qual a Terra atrai os graves para ela), responsável pelos movimentos planetários darem-se conforme as observações astronômicas, mas essa explicação também pode ser vista sob a ótica, como veremos mais adiante, do mecanicismo, isto é, Kepler irá deixar a conotação eminentemente mágica por uma mais próxima da natureza, uma explicação que tem como modelo a ação dada por máquinas, como a balança e a alavanca.

Essa teoria da gravidade esboçada por Kepler na *Astronomia nova* muda e mantém alguns aspectos da teoria prevalecente em sua época, a teoria dos quatro elementos de Aristóteles e a distinção entre movimentos terrestres e celestes. Mantém o sentido dado à inércia; com Kepler inércia representa privação de movimento e tendência de um corpo a se manter em repouso, ou, em seu lugar natural. Porém, muda significativamente quando apresenta que os corpos cognatos têm as suas ações tanto nos fenômenos terrestres quanto nos celestes. Não há uma divisão propriamente dita em camadas hierarquizadas, qualitativas, mas as ações ocorrem entre corpos que são de mesma natureza; neste sentido, não há nenhuma razão para dizer-se que os movimentos dos corpos celestes têm uma natureza distinta dos movimentos terrestres – e como consequência disso, quando Kepler, na quarta parte da *Astronomia nova*, for investigar a órbita real do planeta Marte, não aceitará a circularidade e a uniformidade como expressões dos movimentos celestes, esses movimentos podem perfazer qualquer curva, desde que respeitem os critérios da astronomia física: ação por meio da força exercida pelo centro do sistema. Assim, os corpos celestes têm a mesma natureza dos corpos terrestres; o critério não é mais dado pela camada em que está o corpo (sublunar ou supra-lunar), mas pela relação entre corpos naturais dotados de certo poder; o que está em jogo agora, em Kepler, é o papel dos corpos físicos e a possibilidade de matematização das relações entre eles. Trata-se, portanto, de um cosmo homogêneo, como resume Simon [Simon, G., 1979, p. 337]:

“Isso foi acompanhado por um passo importante, pois permitiu aos corpos celestes aparecerem como objetos físicos, tendo as mesmas texturas e obedecendo às mesmas leis, compostos de elementos análogos àqueles que se encontram sobre a Terra.”

A astronomia pode elaborar leis. Essa conseqüência é retirada da homogeneização do espaço. E isso se comprovará com o que vem a seguir a discussão dessa primeira formulação do conceito de força: a segunda lei dos movimentos planetários, que reza que um planeta qualquer percorre áreas iguais em tempos iguais; lei esta descoberta antes da primeira, a lei da forma elíptica.

Kepler chegou à segunda lei antes da primeira não por acaso. De fato, poder-se-ia objetar que as descobertas de Kepler foram aleatórias ou frutos de um trabalho sem um guia seguro. Não nos parece que assim o seja. Quando Kepler obteve a segunda lei – e estamos supondo a sua honestidade quanto à seqüência cronológica de suas descobertas –, ele ainda não sabia ao certo qual era a verdadeira forma da órbita de Marte; apenas queria construí-la de acordo com os cânones da sua astronomia alicerçada em bases físicas, e não meramente computacionais. Desta forma, visto que a sua teoria, quando chegou ao capítulo XL da *Astronomia nova* (capítulo que contém a segunda lei), indicava que os movimentos planetários ocorrem porque há uma força exercida sobre os planetas pelo centro de movimentos – que ele acreditava ser o Sol –, Kepler teve bons motivos para admitir que essa força era a causa da variação das velocidades e tempos dos planetas em função do aumento ou diminuição das distâncias dos planetas ao Sol.

A partir disso, podemos notar que a relação entre áreas e tempos dada pela segunda lei é fruto da tentativa de relacionar os constituintes da órbita de Marte às necessidades de sua conjugação aos aspectos físicos. A lei das áreas foi inicialmente denominada de *método imperfeito de computar as equações a partir da hipótese física* [Kepler, J., G. W., III, cap. XL], ou mais simplificadamente, *hipótese das superfícies*, implicando que ela era um expediente de trabalho para a obtenção dos objetivos keplerianos<sup>46</sup>.

O cerne da segunda lei encontra-se no uso do Sol verdadeiro e nas variações de velocidades e arcos de circunferência observados nos trajetos dos planetas. Isto é, quando

---

<sup>46</sup> A segunda lei só terá o estatuto de “lei” quando Kepler obtiver a primeira lei, de maneira que a sua função será melhor justificada.

deslocamos a procura da expressão dos posicionamentos planetários para o Sol real, e não mediano, notamos que ocorrem variações significativas nos tempos de percurso em função das distâncias dos planetas a esse centro físico, e, com isso, o papel da astronomia teórica passa a ser o de obter as correspondentes geométricas de tais variações. Esquemáticamente, a prova pode ser vista da seguinte forma: pela figura abaixo demonstra-se, [Kepler, J., G. W. III, p. 264]:

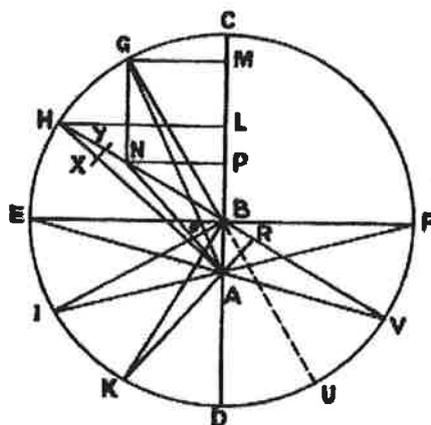


Figura 3: a segunda lei de Kepler<sup>47</sup>

“Seja AB a linha das apsides, A o Sol (ou a Terra para Ptolomeu): B o centro do excêntrico CD, todo o semicírculo CD deve ser dividido em qualquer número de partes iguais, CG, GH, HE, EI, IK, KD, e sejam os pontos A e B conectados com os pontos de divisão. Portanto, AC é a distância maior, enquanto que AD é a distância menor, e as outras, em ordem, são AG, AH, AE, AI, AK. E visto que os triângulos sobre alturas iguais estão entre si como as suas bases<sup>48</sup>, os setores, ou triângulos, CBG, GBH, e assim todos têm a mesma altura, os lados iguais BC, BG, BH, eles são, portanto, todos iguais. Mas todos os triângulos estão contidos na área CDE, e todos os arcos ou bases estão contidos na circunferência CED. Portanto, por composição<sup>49</sup>, como a área CDE está para o arco CED, assim a área CBG está para o arco CG, e, alternando<sup>50</sup>, como o arco CED está para CG, CH, e o resto em ordem,

<sup>47</sup> Figura extraída de Kepler, [Kepler, J., G. W., III, p. 267].

<sup>48</sup> Euclides, *Elementos*, Livro VI, proposição 1 - “Os triângulos e paralelogramos, que têm a mesma altura, estão entre si como suas bases”, [Euclides, 1956, tradução de Heath, T. L., vol. II, p. 191].

<sup>49</sup> Euclides, *Elementos*, Livro V, definição 14 - “Composição de uma razão significa tomar o antecedente juntamente com o conseqüente como um em relação ao conseqüente em si mesmo.”, [Euclides, 1956, tradução de Heath, T. L. vol. II, pp. 134 – 135].

<sup>50</sup> Euclides, *Elementos*, Livro V, definição 12 - “Razão alternada significa tomar o antecedente com relação ao antecedente e o conseqüente com relação ao conseqüente.”, [Euclides, 1956, tradução de Heath, T. L., vol. II,

assim, está a área CDE para as áreas CBG, CBH, e o restante em ordem. Portanto, nenhum erro é introduzido se as áreas forem tomadas pelos arcos desse modo, substituindo as áreas CGB, CHB pelos ângulos da anomalia excêntrica CBG, CBH.”<sup>51</sup>

Inicialmente, Kepler apresentou os dados do problema. AB a linha das apsides, A é o Sol, B o centro excêntrico. Dividiu, em seguida, o semicírculo CD em partes iguais, unindo cada ponto ao centro B e ao Sol A, formando vários triângulos. Aplicou a esses triângulos, relações geométricas retiradas dos *Elementos* de Euclides, relacionando os arcos com as áreas computadas a partir do centro do excêntrico, B; desta forma, temos:

1) Os triângulos CBG, GBH, e os demais, têm a mesma altura, assim, pela proposição VI dos *Elementos* de Euclides, temos que os lados BC, BG, BH e os demais são todos iguais.

2) Como todos os triângulos estão contidos na área CDE, e todos os arcos ou bases estão contidos na circunferência CED, portanto, pela Definição 14 do livro V dos *Elementos*, temos que:

$$\text{Área CDE} : \text{arco CED} :: \text{área CBG} : \text{arco CG}$$

3) E, alternando, pela definição 12 do livro V dos *Elementos*:

Arco CED : arcos CG, CH e os demais :: área CDE : áreas CBG, CBH e as demais (as áreas vão se acumulando).

---

p. 134]. Aplica-se essa definição na proposição 16, do mesmo livro - “Se quatro magnitudes forem proporcionais, também serão proporcionais alternadamente”. pp. 164 - 165.

<sup>51</sup> “Sit AB linea augium; A Sol (vel terra Ptolemaeo); B centrum eccentrici CD; cujus semicirculos CD dividatur in partes aequales quotcumque CG, GH, HE, EI, IK, KD, et connectantur AB puncta cum punctis divisionum. Erunt igitur, AC longissima distantia, AD brevisima, caeterae ex ordine AG, AH, AE, AI, AK. Cum igitur triangula aequalita sint ut bases, et sectores sive triangula CBG, CBH, et reliqua, insistentia partibus circumferentiae minimis, ideoque a rectis non differentibus, omnia eadem habeant altitudinem, cruribus BC, BG, BH, aequalibus: omina igitur erunt aequalia. Sed in area CDE insunt haec triangular omnia, et in semicircumferentia CED insunt arcus, ceu bases omnes. Quare per compositionem, ut area CDE ad arcum CED, sic area CBG ad arcum CG, et permutatim, ut CED arcus ad CG, CH, et singulus ordine, sic area

Até aqui, Kepler associou as áreas com os ângulos da anomalia excêntrica. Em seguida, ele prossegue [Kepler, J., G. W., III, pp. 264 - 265];

“Além disso, como as linhas retas a partir de B para as partes infinitas da circunferência estão todas contidas na área do semicírculo CDE, e as linhas retas de B para as partes infinitas do arco CH estão todas contidas na área CBH, portanto estão também as linhas retas de A para as mesmas partes infinitas da circunferência ou arco que fazem a mesma coisa. E, finalmente, visto que todas as [retas] traçadas a partir de A e B estão sobre o mesmo semicírculo CDE, sendo que todos a partir de A estão nas várias distâncias a que está o Sol, concludo, dessa maneira, que computando a área CAH ou CAE posso ter a soma das distâncias infinitas em CH ou CE; não porque o infinito possa ser percorrido, mas porque penso que a medida da faculdade pela qual as distâncias coletadas percorrem os tempos está contida nessa área, de modo que podemos ser aptos a obtê-la pelo conhecimento da área sem enumeração das parcelas mínimas.”<sup>52</sup>

Kepler relaciona as áreas percorridas a partir do centro do excêntrico com as áreas percorridas a partir do centro físico, mediante as semelhanças dos triângulos construídos; demonstrando que todas essas estão sobre a mesma área, possibilitando reunir todas as distâncias que compõem a área. Continua Kepler [Kepler, J., G. W., III, P. 265]:

“Portanto, a partir disso, como a área CDE está para metade do tempo periódico, o qual nós designados por 180°, assim as áreas CAG, CAH estão para o tempo percorrido sobre CG e CH. Assim, a área CGA torna-se uma medida de tempo ou

---

CDE ad areas CBG, CBH, et singulas ordine. Quare nihil peccatur, si pro arcibus, areae in hunc modum tractentur, et pro angulis anomaliae eccentrici CBG, CBH, areae CBG, CHB.”

<sup>52</sup> Porro quemadmodum rectae ex B ad infinitas partes circunferentiae extensae, omnes in area semicirculi CDE insunt, et rectae ex B ad infinitas partes arcus CH extensae, omnes in area CBH insunt: ita etiam rectae ex A ad easdem circunferentiae vel arcus partes infinitas, idem faciunt. Cum denique utraeque, et quae ex B, et quae ex A, unum et eudem semicirculum CDE impleant: eae vero, quae ex A educuntur, sint distantiae ipsae, quarum summa quaeritur: hinc concludere mihi videbar, computata CAH, vel CAE area, summam haberi infinitarum distantiarum in CH vel CE: non quod infinitum pertransiri posit, sed quod facultatis, quo pollent distantiae, ad moras accumulandas, collectae mensuram in hac area inesse putarem, ut ita eam adipisci posimus per cognitionem areae, citra minimarum partium dinumerationem.”

anomalia mediana, correspondendo ao arco do excêntrico CG, visto que a anomalia mediana mede o tempo.”<sup>53</sup>

Kepler associa as áreas parciais percorridas com os tempos parciais percorridos, juntamente com a área total do semicírculo com o tempo para seu percurso, que fica assim:

Área CDE : Tempo Total (semicírculo) :: áreas CAG, CAH : tempo CG, CH.

Desta forma, a anomalia mediana CGA, no caso do arco CG, é a medida de tempo para a computação do percurso dado pela área CGA; o mesmo valendo para as outras áreas. Em outras palavras, Kepler obteve que o planeta percorre áreas iguais em tempos iguais, computadas a partir do centro físico de movimentos, A, que representa o Sol. Aqui, já temos a formulação da segunda lei, mas Kepler não a reconhecia assim; desta forma, ele continua [Kepler, J., G. W., III, p. 265]:

“Entretanto, a parte CBG da área CAG era a medida da anomalia excêntrica, sendo que a equação ótica é o ângulo BGA. Portanto, a área restante, a do triângulo BGA, é o excesso (para esse lugar) da anomalia mediana sobre a anomalia excêntrica, e o ângulo BGA do triângulo é o excesso da anomalia excêntrica CBG sobre a anomalia igualizada CAG. Portanto, o conhecimento de um triângulo de ambas partes da equação correspondendo à anomalia igualizada GAC.”<sup>54</sup>

Isto é, Kepler ainda considera as questões relativas a uma astronomia posicional, pois utiliza a parte ótica, o ângulo BGA, como o excesso que produz a anomalia mediana. Toda essas questões serão deixadas de lado quando Kepler assumir a sua hipótese das superfícies como a segunda lei dos movimentos planetários.

O raciocínio de Kepler foi o de utilizar a sua lei física - lei das distâncias - tentando obter uma demonstração geométrica para validar essa lei para os tempos de percurso de

<sup>53</sup> “Quare ex superioribus, sicut se habet CDE area ad dimidium temporis restitutorii, quod dicatur nobis 180 gradus: sic CAG, CAH areae ad morarum in CG et CH diurnitatem. Itaque CGA area fiet mensura temporis seu anomaliae mediae, quae arcui eccentrici CG respondet, cum anomalia media tempus mediatur.”

<sup>54</sup> “Prius autem pars CGB hujus areae CAG, erat mensura anomaliae eccentrici, cujus aequatio Optica est angulus BGA. Ergo residua area, trianguli scilicet BGA, est excessus (hoc loco) anomaliae mediae supra anomalam eccentrici, et ejusdem trianguli angulus BGA est excessus anomaliae eccentrici CBG supra

cada grupo de distâncias percorridas, as áreas. Deste modo, a hipótese das superfícies, nesse estágio da *Astronomia Nova*, era, pode-se afirmar, um recurso para dar sustentabilidade à lei física das distâncias, objetivando determinar que em cada setor percorrido pelo planeta há uma proporcionalidade entre as distâncias percorridas com os tempos gastos para percorrê-las.

Esse raciocínio era errôneo, mas Kepler notou que cada área percorrida correspondia proporcionalmente à anomalia mediana (tempo de percurso dessa área), isto é, as observações dadas pelos tempos das anomalias medianas correspondiam à suposição de divisão do círculo em áreas.

Na verdade, a segunda lei tal como foi exposta no capítulo XL da *Astronomia nova* é uma mistura de procedimentos, tanto novos quanto antigos. Os recursos que Kepler tinha em mãos estavam limitados ao arsenal da astronomia computacional de sua época: o uso dos artificios geométricos, como o equante, o epiciclo com deferente, etc.; além disso, as órbitas deveriam ser compostas pela adequação entre as anomalias medianas, do excêntrico e a verdadeira, adicionada à equação ótica. Em outras palavras, Kepler chegou à relação entre áreas iguais e tempos iguais em meio ao uso dos expedientes usados na astronomia de sua época juntamente com os expedientes que ele introduziu em astronomia; é uma mescla de astronomia tradicional com exigências físicas.

O resultado disso foi que a segunda lei se mostrou<sup>55</sup>, no momento que foi elaborada, como um instrumento de trabalho imperfeito. A segunda lei se mostrou errônea inicialmente porque ela foi construída mediante a forma circular e uniforme. Contudo, quando aplicada à forma ovalada e elíptica, a segunda lei se apresentou como uma expressão adequada das relações entre tempos e áreas. Ela é significativa quando vista fora das exigências do axioma platônico e, em seu lugar, como pertencente às exigências da astronomia física, como escreve Koyré [Koyré, A, 1961, p. 232]:

“(…) sobre a estrutura dinâmica dos movimentos planetários, investigações que, como nós temos visto, vão alcançar o reconhecimento da impossibilidade natural de

---

coaequatam CAG. Ejusdem itaque trianguli cognitio utramque partem aequationis prodit, respondentem anomaliae coaequatae GAC.”

<sup>55</sup> Muitas críticas foram levantadas contra a segunda lei, especialmente pelos astrônomos contemporâneos de Kepler. Em particular, que ela seria um mero expediente geométrico. Mas o que se deve ressaltar é que a segunda lei só obtém significatividade quando se tem a primeira lei.

uma órbita ser perfeitamente circular. Isso sem dúvida porque, de um lado, as formas das equações não podem parecer naturais, quando se está convencido da necessidade de introduzir considerações dinâmicas em astronomia; de outro lado, pelo motivo que o novo método revela-se problemático nas trajetórias circulares, mas, em contrapartida, mostra-se correto nas trajetórias ovais.”

Se ficarmos presos ao axioma platônico, os procedimentos necessários para construir a astronomia em bases físicas – e relembremos que esses procedimentos são dados pela computação dos movimentos a partir do centro físico – apresentarão problemas, que se originaram no fato de que o axioma platônico não é um expediente natural [Kepler, J., G. W., III, cap. XXXLV]; assim, quando deslocamos a determinação dos movimentos planetários para o centro físico, as possíveis relações que podem ser obtidas (e a segunda lei é uma dessas), terão o estatuto de instrumentos, mas não de leis, pois apresentarão erros; mas, quando se abandonam as exigências prévias do axioma – e esse é o resultado da quarta parte da *Astronomia nova*, na qual a circularidade é substituída pela forma elíptica – as relações obtidas podem ser vistas como leis da astronomia.

Após finalizar a terceira parte da *Astronomia nova*, Kepler tinha em mãos o resultado dado pela lei das áreas, mas sem considerá-la, ainda, uma lei. Será com a aplicação do conceito de força, na quarta parte, que a astronomia física de Kepler terá a sua roupagem definitiva, pois nessa parte, com a segunda formulação do conceito de força, na qual o papel do centro físico de movimentos mostrar-se-á como o responsável pelas alterações nas órbitas planetárias, a astronomia pôde romper tanto com o primado do axioma platônico quanto com a postura metodológica instrumentalista.

### 1.3.2. A segunda formulação do conceito de força

Dos capítulos XLI a LV da *Astronomia nova*, Kepler se preocupou com o teste empírico e, como conseqüência, chegou à prova da impossibilidade da órbita do planeta Marte ser circular e uniforme ou composta de movimentos circulares e uniformes. Nesses capítulos Kepler fez um trabalho de “garimpeiro”, por assim dizer, ao procurar encontrar a forma real da órbita de Marte em meio às complexidades que tal empreitada exigia, e o fruto do trabalho, o diamante, que é a órbita elíptica, foi descoberto quando as exigências

do conceito de força puderam ser satisfeitas. Para sermos exatos com a denominação de garimpeiro, devemos lembrar a posição de Kepler quando inicia a quarta parte da sua principal obra. Até esse momento, ele tinha a hipótese vicária, satisfatória para uma astronomia vinculada às exigências computacionais, mas falha quanto às necessidades físicas; a lei das distâncias – velocidades proporcionais às distâncias -, que tinha esse estatuto de lei apenas para as linhas das *apsides*; a hipótese das superfícies (a segunda lei dos movimentos planetários), que determinava que os tempos são proporcionais às áreas de percurso, mas que falhava justamente por ser a órbita vista como circular e uniforme. Esses eram os resultados que Kepler obteve. Além disso, Kepler trabalhava com os expedientes comuns em sua época, o excêntrico, o epiciclo com deferente, o equante, e com as relações que valiam para esses expedientes: as anomalias excêntricas, mediana e verdadeira, e com a equação ótica. E, finalmente, com as bases da astronomia física, a computação via o centro físico e a ação da força exercida por tal centro. Como elemento de teste, os dados de Brahe. Em meio a todos esses elementos, Kepler tinha que procurar minuciosamente a órbita de Marte. Não resta dúvidas que seu trabalho foi de um garimpeiro.

O primeiro teste de Kepler foi em relação à circularidade e uniformidade [Kepler, J., G. W., III, caps. XLI a XLV]. Tratando a circularidade e a uniformidade não como um axioma, mas como uma hipótese [Kepler, J., G. W., III, cap. XLI], Kepler chegou ao resultado de que, através de 3 posições de Brahe sobre o planeta Marte quando esse estava em oposição, a resolução da primeira desigualdade (movimento não uniforme) não se poderia dar, visto que não era possível determinar a excentricidade e a posição no afélio [Kepler, J., G. W., III, cap. XLII]. Kepler poderia adequar os resultados ao procedimento tradicional de “salvar as aparências”, e obter as posições do afélio – e qualquer outra que precisasse – mediante o acréscimo de epiciclos e deferentes. Mas não o fez. E isso porque os resultados deveriam ser dados em função do centro físico, e não matemático. O erro estava justamente na aceitação da órbita circular, assim escreve Kepler [Kepler, J., G. W., III, p. 275]:

“Podeis ver, leitor, que nós devemos começar por um outro caminho. Pois podeis ver que as três posições excêntricas de Marte e o mesmo número de distâncias do Sol, para a lei do círculo [axioma da circularidade] foi aplicada a elas, rejeitaram o afélio encontrado acima (com uma pequena invariabilidade). Nisso está a fonte de

nossa suposição de que o caminho não é um círculo. Sob essa suposição não é possível determinar as três distâncias uma em relação às outras.”<sup>56</sup>

O erro não está nos dados, não está no uso dos instrumentos de trabalho. Pode estar, segundo Kepler, ou na tentativa de computar os dados com referência ao centro físico, o Sol, ou na admissão da circularidade. A novidade é que Kepler não considerou o erro na primeira possibilidade, o centro físico, como seria comum em sua época, mas na segunda, na circularidade, algo inadmissível pela comunidade astronômica de sua época.

Continuando o seu trabalho, sem se intimidar pela força de quase dois mil anos de uso do princípio da circularidade, Kepler dá o golpe final contra a ela, afirmando que [Kepler, J., G. W., III, 287]:

“(…) a órbita do planeta não é um círculo, mas uma curva que avança pouco a pouco sobre os dois lados, para novamente caminhar em direção à largura do círculo no perigeu (...) nomeia-se ‘oval’ uma figura dessa espécie.”<sup>57</sup>

Se notarmos o significado dessas palavras de Kepler, podemos determinar dois pontos. O primeiro é que ocorre uma espécie de simplificação em relação à astronomia desse período, pois, retirando-se o peso do axioma platônico e considerando a órbita circular como uma hipótese, e, também, computando os movimentos não com referência a um centro matemático – necessário para adequar os dados ao axioma -, mas a partir de um centro físico, os dados de Brahe determinaram que a órbita foge da circularidade, achatando-se nas longitudes; a simplificação está em que não se faz necessário o uso dos expedientes matemáticos (esses são necessários quando se quer “salvar as aparências” por meio do axioma platônico. O segundo é que – e este será fundamental para os nossos propósitos de determinar a função de conceito de força - considerar a órbita não como circular, mas ovalada, é retirar da astronomia uma espécie de curva (circular) que era vista quase que como uma “divindade”, por uma curva (oval) que está mais próxima do mundo

<sup>56</sup> “Jam vidisti lector, de novo nobis incipiendum esse: cum tres Martis locos eccentricos, totidemque a Sole distantias ad legem circuli revocatas, aphelium (supra non incertissime constitutum) negare cerneret; unde nobis suspicio orta, viam Planetæ non esse circulum. Quare ex tribus distantibus, reliquæ disci non poterunt. Itaque cujuslibet loci distantia ex suis propriis observationibus extruenda; omnium maxime aphelia et perihelia, ex quarum comparatione de genuina eccentricitate discimus.”

fenomênico observado; isto representa procurar uma explicação física: qual é a causa que leva o planeta a perfazer um movimento oval.

A importância da circularidade na astronomia da época de Kepler não deve ser menosprezada. Se a aceitação de que a Terra gira ao redor do Sol, e não o contrário, levou a um trabalho árduo, justamente pela necessidade de romper com a visão de mundo prevalecente, instaurando uma nova, a quebra com a circularidade não tem um peso menor. Na verdade, podemos dizer que o axioma platônico era um princípio regulador para os movimentos planetários que satisfazia a diversas facetas do conhecimento astronômico e da cultura em geral. Se por um lado ele auxiliava na computação dos movimentos errantes dos planetas, fornecendo um ponto de apoio seguro para a determinação das tabelas astronômicas, pois ele era um princípio de ordenação e de inteligibilidade dos movimentos planetários, ele, por outro lado, também satisfazia as necessidades de hierarquização e estética, tão presentes na forma de ver o mundo pelos antigos e medievais. O círculo e a esfera eram as figuras geométricas consideradas as mais perfeitas; em um mundo conduzido pela crença incontestável de que tudo foi feito em função do homem, tanto nas ciências quanto nas artes, tornou-se natural acreditar que os movimentos dos corpos planetários teriam que ter em sua estrutura princípios ligados à beleza, à simplicidade e à satisfação dos anseios de que o mundo foi criado da forma mais harmoniosa possível. Assim, se a crença de que o centro do mundo deve ser o nosso planeta, a nossa morada, de modo que as coisas, terrestres e celestes, espelham uma organização estabelecida (onde as mudanças substanciais ocorrem na Terra, enquanto que nos céus, mundo próximo ao Criador, as mudanças não ocorrem, pois já é um mundo perfeito), a circularidade e a uniformidade, então, são os princípios mais adequados para o mundo supra-celeste, fazendo parte da cultura ocidental do mundo antigo e medieval, bem como no Renascimento, nos séculos XV e XVI, como nos descreve Hanson [Hanson, N.R., 1985, p. 255]:

“Nunca se chegou a pôr em dúvida esse juízo (circularidade e uniformidade) durante os 2000 anos de astronomia computacional técnica. Copérnico não o fez, e Ptolomeu não o poderia ter feito. Como alguém poderia pôr em dúvida tal princípio dado o contexto intelectual em que se movia o pensamento antigo? As razões dessa

---

<sup>57</sup> “(...) circa quod Planeta limitem agit, non est perfectus circulus, sed deminutus a lateribus ab ea latitudine quam habet in línea apsidum (...) sed figurae ovalis.”

aceitação completa eram em parte observacionais e em parte filosóficas, estando fortemente reforçadas por outros fatores estéticos e culturais.”

Em outras palavras, romper com a circularidade e a uniformidade dos movimentos planetários foi uma tarefa ligada não apenas à astronomia, mas à visão de mundo antigo-medieval renascentista; por isso, nenhum astrônomo colocou em dúvida tal princípio antes de Kepler. Assim, se aceitarmos o peso do axioma e as rupturas culturais que a sua quebra representaram, teremos que aceitar que a estipulação da forma elíptica foi uma mudança ligada tanto aos aspectos astronômicos (observacionais), quanto cosmológicos. Como veremos mais adiante, quando tratarmos da cosmologia de Kepler, o axioma era um guia confiável e simples para a elaboração de tabelas, sendo que a forma elíptica seria uma das diversas formas que poderiam ser traçadas pela composição dos artifícios geométricos ligados ao axioma, mas não era, contudo, aceita, pois, caso se admitisse a forma elíptica, então a cosmologia ver-sei-á na obrigação de determinar a causa natural que leva os planetas a moverem-se segundo essa curva, ou seja, aceitar o axioma platônico era aceitar um princípio natural que não exigia nenhum tipo de justificação para o seu uso (não se justifica o por que um planeta perfaz movimentos circulares), mas, por outro lado, formas elípticas, se utilizadas, exigiriam alguma explicação sobre o motivo que leva os planetas a perfazerem movimentos dessa natureza.

Voltando à *Astronomia nova*, logo após ter posto em dúvida a circularidade e apresentado argumentos observacionais contra o seu uso, quando visto, é claro, pela ótica física da astronomia, Kepler testou formas ovaladas [Kepler, J., G. W., III, caps. XLV a LV]. Essa parte é interessante pois mostra que o trabalho de Kepler oscilou entre a maneira antiga de conduzir a astronomia com a nova, que ele estava instaurando. O problema é que Kepler abandonou a circularidade, mas não abandonou os artifícios ligados a ela. Na tentativa de encontrar a verdadeira forma da órbita do planeta Marte, sabendo que essa forma não é um círculo perfeito, mas faz uma curva fechada achatada, ovalada, Kepler utiliza de epiciclos com deferentes para tentar expressá-la.

Uma forma ovalada não é uma figura geométrica regular, ela é muito imprecisa. É ovalada, mas quanto é ovalada? Para responder a essa pergunta, Kepler admite que a forma pode ser elíptica [Kepler, J., G. W., III, cap. XLV], elaborando a sua “elipse auxiliar”. Mas esse recurso é abandonado e Kepler passa novamente a utilizar epiciclos para tentar

explicar o por que há um afastamento do planeta em relação ao Sol, ou por que ocorre que o planeta percorre arcos não uniformes quanto mais ele se afasta do Sol [Kepler, J., G. W., III, 289]:

“(…) Portanto, sobre a força consideravelmente persuasiva desse consenso, concluo imediatamente que a incursão do planeta para os lados resulta disto: que o poder que move o planeta e administra as suas distâncias segundo a lei do círculo procede da força do Sol; assim, primeiramente ele produz progressos iguais em tempos iguais, e o aproxima uniformemente do Sol segundo a lei do epiciclo; em seguida, (a força do Sol), por uma variação de graus no poder da força, por diversas distâncias, move o planeta de uma forma não uniforme, fazendo-o mover-se mais lentamente conforme ele estiver mais afastado do Sol.”<sup>58</sup>

É a força exercida pelo Sol que faz os planetas se afastarem do círculo e do movimento uniforme. E Kepler tentará expressar, sem êxito, essas variações de força via o epiciclo. Kepler utiliza então o excêntrico [Kepler, J., G. W., III, cap. XLVII] na esperança de obter a concordância entre a sua representação com os dados, novamente não tendo êxito. De fato, qualquer teoria que utiliza os artifícios matemáticos dos gregos ver-se-ia diante da difícil tarefa de adequar as irregularidades com esses artifícios, ainda mais se se acrescentassem exigências físicas, simplificadas por Ptolomeu justamente por “complicar” em demasia o sistema. O que estava em jogo, e devemos sempre ter isso presente, para os astrônomos do início do século XVII, não era a elaboração de teorias com conteúdo físico, mas teorias que descrevessem satisfatoriamente os movimentos planetários. Nesse sentido, as exigências físicas de Kepler tiveram duas conseqüências: a) inicialmente, complicava a aquisição da teoria, justamente por incluir necessidades que tinham sido abandonadas há muito tempo, devido à complexidade que elas implicavam; b) tais exigências, apesar de complicar o sistema quando vistas pela ótica da astronomia aceita, abriram o caminho para a ruptura com o axioma platônico e, após o abandono de tal axioma, simplificaram o sistema, mostrando que o arsenal utilizado pela astronomia computacional já não tinha

<sup>58</sup> “(…) Cum itaque conspiratio ista vim admirabilem afferret ad persuadendum, statim conclusi, hunc ingressum Planetæ ad latera ex eo contingere, quod virtus Planetam movens et distantias ex lege circuli administrans præveniat virtutem Solis: eo quod illa aequalibus temporibus aequales progressus faceret, et sic Planetam aequabiliter lege epicycli ad Solem demitteret; hæc vero diversis sui gradibus, per diversa diastemata exceptum Planetam, inaequaliter, et altum tardius promoveret.”

qualquer sentido de ser utilizado. É muito significativo o que escreve Kuhn a esse respeito [Kuhn, T., 1957, p. 212]:

“(…) Quando elipses são substituídas às órbitas circulares básicas, comuns na astronomia de Ptolomeu e Copérnico, e quando a lei das áreas é substituída pela lei do movimento sobre um ponto no centro ou próximo a ele, são necessários excêntricos, epiciclos, equantes e outros desvios *ad hoc*.”

Dessa maneira, a procura da forma da órbita do planeta Marte por meio da estipulação e do teste de hipóteses, tais como a da forma ovalada da trajetória, mostra o grau de complexidade envolvido em tal trabalho. A utilização dos expedientes geométricos mostrou a Kepler a necessidade de substituí-los por recursos mais adequados tanto no que concerne à obtenção dos posicionamentos planetários, quanto aos requisitos de uma astronomia que procure dar conta dos movimentos que ocorrem quando computados pela astronomia física.

O restante dos capítulos concernentes ao teste da forma ovalada (XLVIII a LV) mostra uma série de fracassos que não nos interessarão neste trabalho. O importante é o que virá a seguir, o retorno ao uso do conceito de força, na sua segunda formulação, o qual se mostrará como um conceito satisfatório para operacionalizar a astronomia física de Kepler, e que abrirá as portas para a obtenção da primeira lei e para a justificação da hipótese das superfícies como uma lei, chamada a segunda lei de Kepler.

Na primeira formulação do conceito de força na *Astronomia nova*, capítulos XXXII a XL, como vimos, Kepler investigou a possibilidade, através da constatação de que há uma relação de proporção entre as velocidades dos planetas em torno do centro e as variações das distâncias (dos planetas ao centro), de poder afirmar-se que há uma espécie de força que age nos planetas – descartada a possibilidade de ser o próprio planeta o responsável pela emissão dessa força; a seguir, especulou sobre a natureza dessa força, admitindo que ela age semelhantemente à luz e ao magnetismo. Porém, nesse estágio ele ainda estava preso ao axioma platônico, acreditava que a órbita deveria ser descrita com base na admissão da circularidade e a uniformidade dos movimentos celestes, ou por curvas compostas por movimentos desse tipo. Agora, após ter posto em dúvida a circularidade, admitindo que a órbita “foge” do círculo, achatando-se nas longitudes heliocêntricas, irá

investigar as possibilidades de expressar esse “achatamento” por meio da ação do Sol nos planetas, obtendo como resultado que a órbita é elíptica.

É muito provável que Kepler tenha escrito os capítulos sobre a força, nessa segunda formulação (LVI a LVIII) no ano de 1605; algumas cartas da sua correspondência dão sustentação a isso. Os conteúdos desses capítulos foram discutidos em várias cartas, especialmente com o seu mestre Maestlin e com o seu amigo, e também astrônomo, Fabricius, de maneira que nós temos a possibilidade, através dessas cartas, de apreciar dúvidas, especulações e a construção de argumentos em favor tanto da admissão de causas físicas quanto da quebra da circularidade, de modo que vale a pena determo-nos nessa correspondência.

Em 5 de março de 1605, Kepler escreve a seu grande amigo e mestre Maestlin, comunicando-lhe que chegou ao resultado de que é impossível a órbita de qualquer planeta, e no caso, Marte, ser composta com a admissão da circularidade e da uniformidade, segundo Kepler [Kepler, J., G. W., XV, 171 - 172]:

“No que concerne aos movimentos de Marte, vou explicar-me mais claramente (...) As distâncias ao Sol não estão como num círculo perfeito, mas como numa oval, do qual, após esforços infinitos, eu encontrei a representação (...)

[E continua Kepler acerca das dificuldades para a determinação da realidade dos movimentos] “A solução não será possível a não ser que nós investiguemos as causas que se encontram nas naturezas reais, a saber: o corpo solar é circularmente magnético e ele gira sobre si mesmo, fazendo girar com ele o orbe de sua força (...). Em contrapartida, os próprios corpos dos planetas são aptos a permanecer em repouso em qualquer lugar do mundo em que estejam localizados. Conseqüentemente, afim de que eles sejam movidos pelo Sol, é necessário a ação de uma força contrária, resultando que quando eles estiverem mais afastados do Sol, eles mover-se-ão mais lentamente e, quando mais próximos, mais rapidamente. Por outro lado, todo corpo planetário deve ser considerado como magnético, ou quase magnético; (...) Assim, é confirmado pelas observações que o planeta executa movimentos de libração (oscilação do raio que une o planeta ao Sol) e, notadamente, que nessas librações ele se move mais lentamente nas vizinhanças das apsides e do epiciclo, e mais rapidamente nos lugares medianos; de modo que nas suas fugas do Sol, ele se move mais lentamente no afélio e mais rapidamente no periélio. Além disso, o raio superior da libração percorre um tempo maior que um raio igual

inferior, pois a virtude magnética no planeta age de uma maneira mais fraca quando ele está a uma grande distância do Sol.”<sup>59</sup>

Essa carta faz um resumo do problema e da solução dada por Kepler sobre os movimentos planetários. O problema é: como dar condições à astronomia para ela trabalhar, agora que o axioma platônico se mostrou falho, “as distâncias não estão como num círculo perfeito, mas como numa oval?” A solução: reformular epistemológica e ontologicamente a astronomia; “A solução não será possível a não ser que investiguemos as causas que se encontram nas naturezas reais, a saber, o corpo solar é magnético e gira sobre si mesmo, fazendo girar com ele o orbe de sua virtude.” Isso já vinha sendo adiantado em toda a *Astronomia nova*, mas agora, em 1605 e nos capítulos LVI a LVIII, Kepler a desenvolveu mais detidamente. O conceito de força mostrar-se-á como o elemento básico para a reforma da astronomia pretendida por Kepler.

O conteúdo da carta explicita a estratégia de Kepler: as observações astronômicas dos movimentos de Marte, as observações de Brahe, mostram claramente que ocorrem variações na órbita, pois nota-se que há variações de velocidades – mais lento no afélio, mais rápido no periélio, e graus de variações nas longitudes heliocêntricas - em função das variações das distâncias de Marte ao Sol; para dar conta disso, Kepler emprega a força magnética exercida pelo corpo central, o Sol, e, principalmente, considera os corpos planetários (inclusive a Terra) como sendo de mesma natureza física que o Sol, eles são corpos magnéticos. Assim, com essas duas coisas, ele pode dizer que as oscilações do raio vetor que representam as distâncias do corpo solar magnético com o corpo planetário magnético dão-se pelo motivo de que a força que é exercida pelo Sol atrai o planeta para si, mas pela inércia do planeta (tendência a manter-se em repouso), esse procura reter a ação solar. O resultado é claro: conforme o planeta está próximo ao Sol, a sua força de

<sup>59</sup> “De Martis motu scribam clarius. (...) Distantiae a Sole non ut in circulo perfecto, sed ut in Ovali, cujus haec tandem post infinitos labores descriptio inventa est. (...) Nec aliter fieri potuit, nisi naturalibus causis investigatis: quae sunt hujusmodi. Solis corpus est circulariter magneticum et convertitur in suo spacio, transferens orbem virtutis suae. (...) Planetarum corpora contra, seipsis apta sunt ad quiescendum in quocunque mundi loco collocantur. Itaque ut a Sole moveantur contentione opus est, inde fit ut remoti a Sole lentius incitentur propinqui velocius, quod est, Eccentrium super centro aequalitatis moveri aequaliter. Jam quilibet globus planetarum rursus statuendus est magneticus vel quasi (...) testari observationes, planetam librari, hoc est circa apsidas Epicycli tardum, in mediis locis velocem in hac sua libratione fieri; cum tamen in raptu circa Solem semel tantum fiat tardissimus in aphelio, semel velocissimus in perihelio. Interim vero librationis semidiameter superior longiori tempore perficitur, quam aequalis semidiameter inferior; quia virtus magnetica ipsius etiam planetae remissius agit, cum longe distat a Sole.”

resistência (a sua inércia) é menor, a ação do Sol é maior e a sua velocidade, conseqüentemente, é maior, pois procura ir mais rapidamente para o corpo cognato (o Sol); por outro lado, o processo é inverso quando o planeta se afasta do Sol, pois a sua força de resistência é maior, e a sua velocidade é menor.

O que está por detrás disso é que é significativo, e possui um peso maior do que os resultados aos quais Kepler chegou, pois determinaram uma modificação na parte epistemológica da astronomia: a possibilidade de matematizar essas relações. Velocidades, tempos e distâncias eram vistas pelos gregos como magnitudes incomensuráveis, não sendo tratadas em conjunto. Na astronomia da época de Kepler<sup>60</sup>, o uso das matemáticas era restrito à composição de artifícios que procuravam representar a órbita de uma forma inteligível (pelo axioma platônico ou pelo equante ptolomaico), sendo que a única “lei” que poderia obter-se era a relativa a determinação das distâncias angulares dos planetas, que apresentavam as variações dos tempos de percurso, mas não se relacionavam as alterações de velocidades e dos tempos em função das distâncias, dos raios vetores que unem os planetas ao Sol, ou dos planetas e do Sol em relação à Terra.

Com Kepler, as matemáticas obtêm um estatuto diferente, relacionado com os aspectos físicos. É a quantificação do cosmo por meio da procura de causas eficientes que são vistas como naturais, como escreve Koyré sobre a substituição da órbita circular pela oval, [Koyré, A, 1961, p. 258]:

“Assim a substituição da órbita circular pela órbita oval, é algo mais importante que a substituição de uma trajetória ou de uma ‘equação’ por outra: com efeito, com a órbita circular – quer seja com o auxílio de um movimento epicíclico, quer seja com o auxílio de um movimento de oscilação – seria impossível de realizar-se por meio de forças puramente naturais, implicando, necessariamente, a ação de uma alma ou inteligência planetária; a órbita oval que resulta da oscilação, conforme a lei do seno, do planeta sobre o seu raio vetor, oferece-nos a possibilidade, que veremos realizar-se, de dar uma explicação natural. Ora, é isso que Kepler sempre procurou: uma explicação física dos movimentos planetários, isto é, uma explicação que faz apelo às forças naturais (...) à exclusão de fatores espirituais.”

<sup>60</sup> Não é nossa intenção afirmar que as matemáticas não tinham uma grande significação na astronomia antiga e medieval. Isso seria completamente errôneo, visto que a astronomia era considerada uma ciência ligada às matemáticas. O que queremos dizer é que Kepler deu um outro significado para as matemáticas na

A explicação natural pretendida por Kepler desde o seu primeiro trabalho, o *Mysterium cosmographicum*, era a retirada de termos com significados ligados mais à psicologia do que à astronomia. A substituição de “almas” e “inteligências planetárias”, que não permitem a matematização dos movimentos planetários, por “força”, a qual é mais condizente com a matematização, corresponde a um passo importante na direção de uma explicação natural. Kepler substituiu *anima*, por *vis*, isto é, “alma” por “força” e não devemos considerar que se trata de uma mera substituição nominal. Isso nos esclarece Dijksterhuis. Segundo ele [Dijksterhuis, E.J., 1986, p. 310]:

“Isso [sobre as palavras *anima* (alma) e *vis* (força)] parece não ser mais do que a substituição de uma palavra por outra, mas as duas palavras apresentam algumas visões diferentes. Ao ler-se *vis* no lugar de *anima* pode abandonar-se a visão animista em favor de uma interpretação mecanicista. (...) Em outro sentido, a mudança é mais significativa. Quando se procede a atribuir os movimentos dos planetas a uma força no lugar de uma alma, temos como resultado que podemos considerá-los (os planetas) como corpos inanimados, de modo que eles estão sujeitos às leis da mecânica aplicadas a tais corpos.”

Ou seja, para Dijksterhuis, o uso de *vis* em vez de *anima* trouxe uma mudança na forma de se operar e entender a astronomia. Esta deixa de tratar os seus objetos como desprovidos de realidade ontológica e, também, permite que as causas dos movimentos sejam vistas sob a ótica das suas quantidades<sup>61</sup>, retirando, segundo os objetivos keplerianos, a posição instrumentalista, instaurando em seu lugar um procedimento de decidibilidade entre as hipóteses astronômicas, pois o uso de *vis* permite considerar os corpos celestes como corpos naturais, sujeitos ao estudo por um modelo mecanicista, e não psicológico, como era dado pelo uso de *anima*, pela tradição.

O capítulo LVI da *Astronomia nova* postula que os planetas perfazem um movimento de oscilação no raio vetor que os une ao Sol, de maneira a termos um guia para

---

astronomia, ao procurar quantificar os componentes que estão presentes nos movimentos planetários, as velocidades, tempos e distâncias.

<sup>61</sup> Como veremos no capítulo deste trabalho relativo à epistemologia e à metodologia keplerianas, as mudanças que o conceito de força trouxe implicam diretamente no entendimento dos conceitos de “hipótese”

a determinação das variações nas distâncias. Porém, Kepler ainda estava ligado ao epiciclo. Notou que o diâmetro do epiciclo fictício sofria alterações, as oscilações, que faz o planeta alterar freqüentemente as suas distâncias ao corpo solar. O problema era que Kepler ainda usava o epiciclo como um instrumento, pois sabia que ele era uma ficção, um artifício que deveria, logo que tivesse em mãos uma explicação ligada a um componente físico, substituí-lo. E isso aconteceu pela aplicação da força à elipse. Novamente, temos uma carta que explicita esse passo. Kepler escreveu a Fabricius, em 11 de outubro de 1605, relatando o porque de admitir a elipse como a forma da órbita de Marte – [Kepler, J. G. W. XV, p. 247 - 248]:

“Vou agora dizer-vos os progressos que tenho feito acerca do meu planeta Marte. Como vi que, pela admissão de uma trajetória perfeitamente circular, as distâncias (de Marte ao Sol) são muito grandes, e nessas mesmas medidas onde, para minha elipse (auxiliar), que difere muito pouco da oval, elas são muito pequenas, eu tirei, muito justamente, a seguinte conclusão: o círculo e a elipse são figuras geométricas de mesmo gênero; elas pecam igualmente, mas em sentidos contrários, contra a verdade; conseqüentemente, a verdade se encontra no meio. Ora, entre duas figuras elípticas não se pode encontrar nada além de uma outra elipse. (...) Essa é a verdade. Vós, entretanto, comentais que eu deveria livrar-me dessas alucinações e procurar uma nova fonte (...) Porém, eu me rendo à verdade descoberta.”<sup>62</sup>

São as variações nas distâncias que determinaram a figura real da órbita do planeta Marte. O uso da elipse auxiliar foi um dos componentes responsáveis pela ruptura com o epiciclo, pois com isso teríamos as possibilidades teóricas de poder falar da realidade dos movimentos planetários.

O capítulo LVII é uma síntese das especulações sobre força e a aplicação desta como a causa dos movimentos planetários ocorrerem tais como são detectados pelos dados

---

e “causalidade”, o que implicou numa ruptura com os padrões aceitos pela astronomia no início do século XVII.

<sup>62</sup> “Quae hactenus in meo Marte profecerim accipies. Cum viderem distantias ex perfecto circulo eccentrico extractas pene tantum peccare in excessu, tam quoad seipsas, et earum effectum in prosthaphaeresibus orbis annui, quam quoad aequationes Eccentri: quantum Ellipsis mea (quae perparum ab ovali differt) quam tibi in numeris praescripsi peccabat in defectu: rectissime fuissem argumentatus in hunc modum. Circulus et Ellipsis sunt ex eodem figurarum genere, et peccant aequaliter in diuersa, ergo veritas consistit in medio, et figuras Ellipticas mediat non nisi Ellipsis. (...) Hic inquam veritas ipsa est. At vide quomodo ego interea rursus hallucinatus et in nouum laborem coniectus fuerim. (...) certus est de re aliqua.”

de Brahe. Quando do início do capítulo, Kepler sabia que a órbita não é circular e nem perfaz movimentos uniformes entre arcos e tempos, mas é, na verdade, uma espécie de oval que se achata nos lados (nas longitudes); e, além disso, ocorrem movimentos de libração (oscilação) no raio vetor que une o planeta ao Sol. A questão que se apresenta nesse momento é saber o que gera essa oscilação e como ela funciona.

A resposta a essa questão é, obviamente, a força exercida pelo Sol no planeta. Se Kepler tivesse ficado restrito a apenas formular essa questão, poder-se-ia, de fato, admitir que a força kepleriana está presa à tradição mágica ou astrológica, ou de que ele apenas operou uma mudança nominal: *anima* por *vis*, mas não foi isso que ele fez – e nem poderia fazer, pois os critérios por ele adotados, o de construir a astronomia por meio de princípios físicos, o impediria de agir dessa forma. Kepler procurou estipular a força como a causa física dos movimentos planetários e, a partir dela, quantificar (no sentido kepleriano de obter leis gerais, via a linguagem matemática, geométrica), as relações que ocorrem nos fenômenos. Vamos deixar que Kepler nos exponha tal procedimento [Kepler, J., G.W., III, p. 348]:

“(…) visto que temos uma maneira natural de medir essas librações, as suas causas também deverão ser naturais; isto é, elas se dão via alguma faculdade natural, ou melhor, corporal, e não pela mente planetária.<sup>63</sup>”

Para a compreensão dessas palavras de Kepler, devemos associá-las à sua metafísica<sup>64</sup>. Já no *Mysterium cosmographicum*, Kepler associa matéria e forma, de maneira que tudo que é material tem uma forma; forma está no domínio da geometria, de maneira que qualquer forma tem, em potência, a possibilidade de ser transformada numa linguagem geométrica (mediante linhas, ângulos, figuras sólidas etc). Ora, Kepler vê a quantificação, isto é, a geometrização como natural (o Universo foi criado segundo uma estrutura harmônica, que nada mais é do que uma estrutura inteligível), sendo assim, como temos as possibilidades de quantificar, ou seja, dar inteligibilidade, os movimentos oscilatórios que ocorrem nos raios vetores que unem os planetas (no caso, Marte) ao Sol, a sua causa também pode ser natural. O que é importante é que Kepler, ao admitir que os

<sup>63</sup> “(…). Cum igitur mensura librationis hujus, digitum ad modum naturalem intendat: causa quoque naturalis erit; nempe non mens Planetæ, sed naturalis, aut forte, corporalis aliqua facultas.”

movimentos podem ser vistos como quantificáveis, abriu as vias para se poder falar de causas naturais.

Mas Kepler não se contentou apenas com isso, procurava provas, razões físicas para a consideração dos movimentos planetários fora do contexto da tradição. Força, visto que ela é natural, deve ter uma explicação natural, ou melhor, física. Nesse momento Kepler se utiliza do *De magneto* de Gilbert.

A utilização do magnetismo é feita por intermédio de uma analogia posta por Kepler para aproximar-se da explicação de como o Sol age nos planetas<sup>65</sup>. A analogia refere-se a um barco no meio da ação de correntezas que fazem movimentos de turbilhão, ou melhor, redemoinhos: o barco, com um remador em seu interior, sofre a ação do centro do redemoinho, procurando fugir dessa ação; a analogia está em que o Sol é o centro do redemoinho, e os planetas representam o barco [Kepler, J., G. W., III, p. 349]. Kepler considerou falha essa analogia [Kepler, J., G. W., III, p. 349], pela razão que a ação do rio é material, ou melhor, observável, enquanto que a ação do Sol nos planetas, apesar de natural e física, é inobservável [Kepler, J., G. W., III, p. 349 – 350]. Assim, a ação do Sol, a força exercida por ele nos planetas e que tem como efeito os movimentos dos mesmos, é um “inobservável”<sup>66</sup>. O magnetismo também é um inobservável. Segundo o próprio Gilbert, o magnetismo age assim [Gilbert, W. 1958, pp. 121 – 122.]:

<sup>64</sup> A qual trataremos no capítulo sobre o conceito de harmonia.

<sup>65</sup> O entendimento da união entre física e matemática em Kepler se dá quando unimos os conceitos de força e harmonia. Como veremos no próximo capítulo, os arquétipos (representados pela harmonia absoluta kepleriana) unem-se ao mundo físico, isto é, existe uma relação entre harmonia e física, tal como nos escreve Martens, [Martens, R., 1999, p. 389] “(...) visto que a estrutura física causal é uma representação direta e completa dos arquétipos, se nós conhecermos os modelos arquétipos, nós conheceremos a estrutura do mundo físico (...) Sob essa base, os arquétipos, embora não físicos, têm um significado físico.” Em outras palavras, a estrutura harmônica do universo (que para Kepler é matemática e racional) determina as ações físicas entre os corpos. Assim, o objetivo da astronomia passa de adequar os fenômenos ao axioma platônico para a de representar os aspectos físicos (os movimentos) na estrutura harmônica, obtendo-se, com tal tarefa, leis que expressam as mudanças que ocorrem no mundo fenomênico. Conferir também Costabel, [Costabel, P., 1975b].

<sup>66</sup> Trataremos do estatuto de força como um inobservável no capítulo quarto, referente à epistemologia e metodologia keplerianas. No momento, apenas adiantamos que o conceito de força segue mais a linha de um conceito voltado a determinar características que podem ser testadas e que determinem prognósticos sobre os fenômenos que os envolvem, no caso da força kepleriana, os fenômenos são os movimentos planetários. Se estivermos certos sobre isso, pensamos que o conceito de força kepleriano deve ser visto como outros conceitos científicos, inobserváveis, como o átomo, por exemplo, mas não apenas como um conceito da tradição mágica ou astrológica. Kepler em nenhum momento utiliza força para determinar as influências dessa nos comportamentos humanos ou sociais, ele a usa para determinar ocorrências físicas, tais como o fenômeno das marés e, principalmente, os movimentos dos planetas. Por outro lado, o conceito de força não se refere às causas últimas, isto é, razões pelas quais Deus criou forças para condicionar os movimentos planetários; no limite, podemos afirmar que as forças de Kepler se restringem a descrever de uma forma realista o que ocorre,

“A união de corpos que estão separados um do outro, e que são naturalmente parecidos, atraem-se por um outro grupo de movimentos, se eles forem livres para moverem-se. A terrela envia suas forças para fora em todas as direções, segundo as suas energias e qualidades. Mas se o ferro ou outro corpo magnético de tamanho sutil cair sob sua esfera de influências, eles são atraídos; todavia, próximo a isso está o ímã com a maior força com a qual ele nasceu. Tais corpos tendem para o ímã, e nem para o centro e nem para os seus centros: eles apenas fazem como seus pólos, isto é, quando aquilo que é atraído e o ímã estão em ângulos retos. Mas nos intervalos entre eles existem linhas oblíquas (...) Nos pólos as linhas perfazem ângulos retos. Próximo das partes do círculo equinocial, a maior obliquidade dos corpos magnéticos atrai, mas as partes mais próximas aos pólos atraem mais diretamente; nos próprios pólos a atração está em linhas retas. Todo ímã semelhante, seja esférico ou oblongo, tem o mesmo modo de revolver para os pólos do mundo; mas apenas foram feitos experimentos com oblongos (...). Assim, o ímã e a Terra se conformam com os movimentos magnéticos.”

Para Gilbert, as forças magnéticas têm uma maior intensidade nos pólos, sendo que essa diminui nas partes equatoriais. Kepler utilizou o que Gilbert fez para os ímãs e para a própria Terra, nos movimentos dos planetas [Kepler, J., G. W., III, p. 350]. O Sol, um grande magneto, atrai a Terra e os planetas, de modo que há uma variação na intensidade de ação. Kepler adiciona a variação nas distâncias, o que lhe permite postular que a ação do Sol diminui conforme as distâncias aumentam, e se fortalece quando as distâncias diminuem, gerando uma velocidade maior e tempo menor quando o planeta está próximo ao Sol (pois este o está atraindo), e uma velocidade menor e tempo maior quando o planeta está se afastando do Sol (pois o planeta está saindo da força de ação mais intensa do Sol).

Desse modo, como é possível matematizar essas relações, os movimentos planetários, é possível determinar uma causa natural, retirando-se, dessa forma, o recurso às inteligências plantárias, faculdades animais, forças animais, e outros termos a isso assemelhados, como ele nos diz, após finalizar as suas investigações [Kepler, J., G. W., III, p. 364]:

---

de maneira que temos uma descrição de como força pode agir nos planetas e determinar leis que expressem prognósticos, mas não a explicação do por que ela assim o faz; para Kepler explicar isso compete somente a

“Finalmente, em nenhum desses casos vistos, a mente, através de suas faculdades animais, as quais agiriam sobre a constante direção do eixo magnético, tem a condição de inclinar o eixo na continuação dos séculos. Mas se em nenhum desses casos isso ocorre, nem mesmo a idéia geral de mente pode ocorrer, então nos contentemos com a natureza, a qual está em conformidade com todos os outros efeitos.”<sup>67</sup>

A astronomia não precisa do recurso da mente planetária, e nem dos seus derivados como a força animal. A natureza pode, por si só, segundo Kepler, pela ação exercida segundo o conceito de força como um agente inobservável, magnética, dar conta dos movimentos planetários, determinando as suas relações (velocidades e tempos em função das variações nas distâncias entre o Sol e os planetas) na forma de leis matemáticas.

Esquemáticamente, a prova dada por Kepler<sup>68</sup>, segundo Koyré, é, pela figura abaixo:

“Para determinar a posição de Marte em relação ao Sol, Kepler começa traçando a linha das apsides e o círculo excêntrico que Marte teria percorrido se sua órbita fosse circular (mas que de fato ele não percorre); nesse caso, Marte, encontrando-se num momento dado no ponto M, estaria à distância MS do Sol. Ora, nós sabemos que isso não é o caso, e que essas distâncias devem ser encurtadas e diminuídas pelo valor da oscilação efetuada pelo planeta sobre o diâmetro de seu epiciclo (fictício) (...) Ele estará, portanto, na distância SM1 (e não na distância SM) do Sol. Ora, entretanto, onde se encontra Marte? Kepler estima que ele deve demorar-se sobre o raio do círculo excêntrico (CM), portanto, no ponto M2, de modo que  $SM1 = SM2$ . “As observações não confirmaram seu raciocínio, Marte se encontraria no ponto M3, à direita da posição calculada (...) não se tem nenhuma razão para afirmar que o planeta se encontraria sobre o raio (fictício) do círculo excêntrico que ele não percorre.”

---

Deus.

<sup>67</sup> “Denique neutra harum causarum valente, habeat mens animali instructa facultate, quae praeest constanti directioni axis magnetici, hoc etiam munus inclinandi ejus, successu seculorum. At nec ulla harum causarum nec adeo mente in universum stante, acquiescamus in natura: quae cum alia omnia expedita dedit.”

<sup>68</sup> Não iremos apresentar a prova tal como é dada na *Astronomia nova*, no capítulo LIX por ser extremamente longa. Para detalhes ver a minha dissertação de mestrado [Tossato, C. R., 1993]. Apresentaremos um esboço retirado de Koyré, [Koyré, A., 1961, pp. 262 – 263].

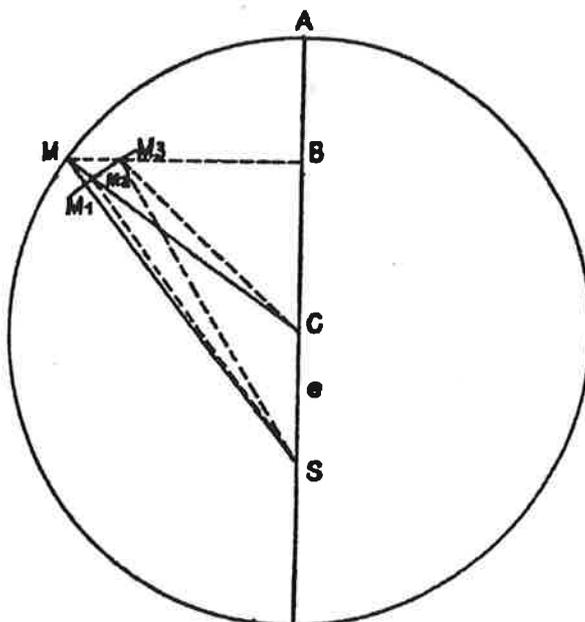


Figura 4: a primeira lei de Kepler

Ou seja, o planeta não percorreria um trajeto tendo como centro o ponto C, do círculo excêntrico, pois ele não faz movimentos sob o epiciclo, que é fictício, mas sob um ponto físico, que é o centro S, do sistema de movimentos, o Sol. Kepler, portanto mostra que as oscilações são dadas em função do Sol, corroborada essa idéia pelos dados observacionais, que apresentam o planeta localizando-se no ponto M3 e não em M2, representando um movimento elíptico, e não circular.

Após isso, Kepler chega à primeira lei, e reconhece, subsequentemente a hipótese das superfícies como uma lei, a segunda. A força natural do Sol é o elemento físico que indica o fato do planeta percorrer movimentos oscilatórios, segundo [Kepler, J., G. W., III, p. 366]:

“Oh, quanto ridículo me senti! Eu pensava que a oscilação sobre o diâmetro não poderia ser gerada pela elipse. Foi como uma pequena revelação para mim, quando percebi que a oscilação pode gerar uma elipse. Isso ficará mais claro no capítulo seguinte, quando será demonstrado, ao mesmo tempo, através da concordância dos

argumentos com os princípios físicos e com as experiências (...) que nenhuma figura pode ser dada ao planeta seguir a não ser as perfeitamente elípticas.”<sup>69</sup>

Nos capítulos finais da quarta parte da *Astronomia nova*, Kepler demonstra geometricamente a forma elíptica e a lei das áreas [Kepler, J., G. W., III, pp. 367 – 381]. O seu trabalho, de uma certa forma, chegou ao fim e os seus objetivos: melhorar a astronomia, seja na parte prática, seja na teórica, determinando as causas físicas dos movimentos planetários, foram obtidos, não plenamente – isso só será feito subsequentemente –, mas as bases, as mudanças de enfoque, foram realizadas.

#### 1.4. O desenvolvimento histórico do conceito de força<sup>70</sup>

O conceito de força kepleriano representou uma modificação significativa tanto na sua aplicação em astronomia quanto na própria compreensão do sentido de “força” como um conceito apto e importante a ser usado nas ciências. Com Kepler, “força” adquiriu uma conotação que auxiliou no processo de matematização dos movimentos planetários, bem como no uso desse termo para o desenvolvimento das teorias mecanicistas. A mecânica celeste, termo empregado pela primeira vez por Laplace, utiliza força num sentido que foi iniciado pelas pesquisas de Kepler, sem as quais poderia ter sido muito difícil o desenvolvimento para a idéia de um mundo gerado por princípios mecanicistas mediante a admissão de uma gravitação universal.

Os significados do conceito de força foram diversos e variados ao longo da história do desenvolvimento do conhecimento humano. Das concepções iniciais - as quais podemos dizer que estavam num estágio pré-científico -, onde vemos força como relacionada a

<sup>69</sup> “O me ridiculum! perinde quae libratio in diametro, non possit esse via ad ellipsin. Itaque non parvo mihi constitit ista notitia, juxta librationem consistere ellipsin, ut sequenti capite patescet: ubi simul etiam demonstrabitur, nullam Planetarum relinqui figuram Orbitae, praeterquam perfecte ellipticam; conspirantibus rationibus, a principiis Physicis, derivatis, cum experientia observationum. (...)”

<sup>70</sup> Não pretendemos apresentar uma história detalhada do desenvolvimento do conceito de força, algo que mereceria um trabalho isolado, por ser um assunto muito importante e pouco estudado pelos especialistas sobre a formação da ciência moderna; de fato, a única obra que nós conseguimos obter acerca desse assunto, de uma forma especializada, é a de Max Jammer *Concepts of force*, [Jammer, M., 1957], a qual faz um relato interessante sobre as mudanças que esse conceito sofreu ao longo da história. Para os nossos propósitos, apresentaremos as etapas que são relevantes para podermos entender o sentido que o conceito de força kepleriano obteve, principalmente no que se refere à possibilidade de força, para Kepler, servir num contexto mecanicista e de se poder matematizar os fenômenos via a ação causal.

características retiradas da experiência cotidiana, até o processo de conceituação, no qual os significados se referem a tentativas de explicar o que está subjacente aos fenômenos observados, ocorreram possibilidades diversas de se entender força; o sentido dado por Kepler, que podemos dizer que se aproxima de uma conotação científica, operou uma espécie de mudança de enfoque nos significados que poderiam ser dados à força: essa deixou de ser, ou pôde deixar de ser, um conceito preso às conotações psicológicas e mágicas, e passou a expressar um contexto mecânico, no qual as mudanças, como no caso da pesquisa de Kepler, os movimentos planetários têm a possibilidade de serem analisados e entendidos por meio da ação causal do corpo solar como fonte de emissão de forças, que fazem os planetas moverem-se tais como são observados. Esquemáticamente, até chegarmos ao sentido dado por Kepler, podemos afirmar que força teve as seguintes conotações:

- 1) “força” vista como expressão de certas características físicas, tais como “força humana”, significando o poder que os homens, animais ou coisas, têm para operar mudanças em outras coisas. Esse contexto é retirado da experiência cotidiana, na qual podemos observar que os homens têm ou não têm forças, condições para carregar, puxar, empurrar, mover, lançar, etc, objetos ou coisas;
- 2) “força” associada à mitologia e religião, onde é empregada como referindo-se principalmente às ações morais, às possibilidades que certas entidades (seja um mito ou uma divindade) têm para corrigir e castigar determinados atos da conduta humana. Esse sentido é relacionado à justiça, como meio de coibir atitudes que possam ser prejudiciais ao Estado ou a uma coletividade;
- 3) “força” num contexto filosófico, influenciado pelos filósofos gregos, no qual temos a idéia de contato entre corpos, em um sentido aplicado à matéria, seja no significado dado por Empédocles, de uma ação atrativa, mas num contexto psicológico, seja no sentido utilizado por Platão, relacionado à alma do mundo;
- 4) “força” no contexto da mecânica aristotélica, na qual é vista como contato, ação por contato, mas não à distância. Nesse significado, força aplica-se a mundos distintos, por meio da separação entre o mundo terrestre, no qual temos as ações de puxar ou empurrar, e o mundo celeste, onde temos a ação de contatos entre esferas e a ação de inteligências planetárias;

- 5) “força” relacionada a uma interpretação mágica e astrológica, onde vemos a aplicação de termos como “simpatia”, e a possível conotação de “ação à distância” como relacionada a faculdades ocultas;
- 6) “força” no contexto kepleriano.

Por esses estágios, notamos que os diversos significados puderam, e podem, ser empregados de acordo com as intenções que se desejam satisfazer. Assim, podemos interpretar “força” como própria às ações da força física, ou como força de um Estado para poder elaborar, executar e aplicar as leis; ou força no sentido de “forças ocultas”, relacionada à magia, ou, ainda, num sentido próximo à ciência, como um conceito que visa a compreensão dos seus objetos de pesquisa.

Kepler visou dar à força um sentido preciso, eliminando, o mais que possível, significados que poderiam levar a entender a ação solar sobre os planetas num contexto que não fosse apto de testes. Mesmo não obtendo resultados tão frutíferos, tais como obteve a mecânica celeste de Newton, o conceito de força kepleriano procurou delimitar o seu campo de trabalho, dando à força um refinamento conceitual que lhe permitiu tratar daquilo que é inobservável nos movimentos planetários. Força na astronomia kepleriana está relacionada, antes de tudo, a uma interpretação causal: para explicarmos e descrevermos os movimentos dos planetas da maneira mais condizente possível com os dados que nós temos, devemos postular entidades (inobserváveis) acerca da natureza desses movimentos, de modo a garantir as possibilidades objetivas para a determinação das suas causas, fornecendo um elemento que permite a elaboração de leis, (que podem ser entendidas como expressões matemáticas das regularidades que se apresentam nos fenômenos); neste sentido, força adquire uma função específica, a de ser o elemento que permite unir o fenômeno (os movimentos tais como são observados), com a necessidade de matematização desses fenômenos.

Seguindo essa via de interpretação do conceito de força, vemos que o refinamento dado por Kepler a ele visou delimitar o seu significado sob o ponto de vista epistemológico. Poderemos entender isso pela compreensão do significado dado à força por Kepler em relação aos diversos significados que ela teve ao longo da história, resumidos nos seis itens apontados acima.

Pela história do desenvolvimento do conceito de força, notamos que os sentidos originais dados à força são relacionados às experiências do dia a dia. Força associa-se a “poder”, “esforço”, “potencialidade física”, seja humana, animal ou das coisas naturais, poder para realizar tarefas, associada ao trabalho físico, como nos escreve Jammer, [Jammer, M., 1957, p. 17]:

“Claramente, “força”, “vigor”, “esforço”, “potência” e “trabalho” eram sinônimos, justamente como são interpretados hoje em dia na linguagem ordinária não sofisticada. A injeção das nossas experiências pessoais no meio externo, que é uma característica do estágio animístico do desenvolvimento intelectual do nosso gênero, levou a uma vasta generalização do conceito de força.”

O sentido de força era associado apenas ao contexto da linguagem do cotidiano, implicando que esse primeiro sentido estava ligado a um estágio anterior à ciência. Força tinha um caráter muito geral.

O segundo estágio que pode ser atribuído ao conceito de força refere-se à conotação mitológica e religiosa. Ainda relacionada a uma interpretação pré-científica, e também pré-filosófica, força era vista como a manifestação do poder que um mito tem; poder esse capaz de alterar a existência humana, seja para melhor, seja para pior. Força significava a possibilidade de um mito ordenar o caos presente na natureza e nas relações sociais; assim, notamos um caráter moral, uma postura que se pode interpretar como judiciária, não humana, mas de entidades, na qual o poder humano de resolver problemas não era considerado, mas sim de acordo com o poder que o mito tem sobre as ações da natureza e dos homens. Uma atitude passiva antes de tudo.

Esse modo de compreensão permitiu, porém, ordenar o mundo de uma forma próxima a uma cosmologia e a uma espécie de física, na qual os fenômenos, em especial os naturais, poderiam ser descritos e explicados segundo a vontade, o poder, das entidades mitológicas ou religiosas. O mundo começou a ser hierarquizado, possibilitando um nível diferente de conotação sobre força, assim [Jammer, M., 1957, p. 18]:

“Com a progressiva organização das antigas sociedades numa civilização urbana, o conceito de força, de uma visão fantasiosa, mudou para a idéia de uma hierarquia sistematizada de forças na natureza; eventualmente, ‘força’ foi entendida como a

personificação de um espírito ou um deus de irresistível poder. Semelhantes personificações tinham características das antigas mitologias as quais, como o único corpo sistemático de pensamento nesse tempo, era não apenas uma cosmologia, mas também a ‘física’ do estágio pré-científico.”

O mito explicava os fenômenos naturais, da astronomia e da física. Carecendo de uma postura ligada a uma investigação sistematizada das ciências, a qual só foi dada por Aristóteles [Aristóteles, *Segundos analíticos*], o mito tinha o estatuto de ordenador do cosmo e do mundo físico; força, nesse sentido, procurou dar ordem ao caos, aos elementos do universo.

Após esse estágio mitológico e religioso, o conceito de força, muito influenciado pela filosofia grega, passou a ter significados mais próximos, e que também muito influenciaram, a uma conotação científica. Os mais importantes pensadores que contribuíram para o desenvolvimento das discussões sobre o significado de força foram Empédocles, Platão e Aristóteles<sup>71</sup>. Com esses autores, muitas das discussões subseqüentes – que se encontrariam presentes na época em que Kepler desenvolveu a sua teoria dos movimentos planetários alicerçada em forças físicas centrais - foram levantadas e problematizadas, aumentando significativamente as diversas possibilidades para se entender força.

De uma forma geral, os estudos dos filósofos gregos sobre a constituição do mundo e da matéria abriram portas importantes para o refinamento do conceito de força. Esses estudos foram relevantes, pois a) admitiram o intelecto como apto a gerar explicações sobre a mudança, retirando a primazia do pensamento mitológico como modo básico para se compreender o mundo; b) trouxeram para discussão a idéia de que a matéria pode conter uma espécie de poder para atrair outra matéria.

As cosmologias elaboradas pelos filósofos gregos, com a exceção, talvez, de Aristóteles, continham em suas formulações muitas possibilidades de serem associadas a uma visão mitológica. As primeiras tentativas de derivar explicações sobre o mundo físico - dos movimentos dos corpos terrestres e dos corpos celestes - desvinculadas de uma tradição

---

<sup>71</sup> Diversos outros filósofos, tais como Tales, Anaxímenes, Anaxágoras, Parmênides etc., também discursaram acerca de força, mas não nos remeteremos a eles, pois nos concentraremos apenas nos pensadores mais importantes para a problemática do conceito de força. Maiores informações sobre os filósofos não tratados aqui, ver Jammer, [Jammer, M., 1957, pp. 25 – 53].

mítica, como é natural ocorrer num processo de mudança de forma de pensamento, trouxeram em seu bojo diversos elementos ainda ligados ao mito. Porém, apesar dessa influência da mitologia, o conceito de força tal como foi visto na Grécia Antiga representou uma modificação em relação às concepções tradicionais de força (como, principalmente, força provinda do mito), deslocando o centro de gravidade para a tentativa de explicação pelas faculdades humanas de conhecimento; a razão humana foi vista como apta a poder derivar teorias que dão conta da mudança.

Dois pontos são extremamente importantes na contribuição dos filósofos gregos, já presentes em Empédocles e também tratados por outros filósofos que se seguiram a ele: a idéia de força como agindo em determinadas substâncias corporais, e a idéia de força como ação à distância ou força atrativa, as quais, sob diversas roupagens, estiveram presentes nas teorias astronômicas da Idade Média e no início do século XVII. Essas posturas originaram-se da tentativa de compreender como a matéria pode mudar, obter formas distintas da matéria bruta, transformando-se em configurações outras que a original.

Para Empédocles, o mundo é composto por quatro elementos: água, terra, fogo e ar, e as suas misturas, sendo que o amor e o ódio são duas espécies de forças que têm como funções unir ou separar esses elementos; assim, quando ocorre a união, temos uma espécie de força (amor) responsável pela aproximação dos elementos, pela suas misturas, enquanto que o ódio, em contrapartida, desfaz a união e leva os elementos, os corpos, a se separarem. É bem sabido que Empédocles foi um médico, e os seus estudos sobre fisiologia devem ter tido fortíssima influência na derivação da sua teoria dos quatro elementos e do amor como força atrativa; desse modo, a formulação da idéia de amor como força pode ter “nascido” na tentativa de dar inteligibilidade ao caos que se apresenta a nossos sentidos pelas mudanças que ocorrem na matéria [Jammer, M., 1957, p. 27]:

“Como seria natural para o fundador de uma escola médica, Empédocles derivou a física do universo a partir da fisiologia do corpo. Se o princípio de Empédocles de amor pode ser observado como uma antiga formulação de atração física, sendo a função do amor a de produção da união, então o conceito de força atrativa tem sua origem na fisiologia.”

O amor visto como uma espécie de força atrativa, capaz de atrair corpos à distância. Empédocles, obviamente, não determinou de que modo ocorre essa atração, apenas a postulou, com o intuito de derivar uma teoria que desse conta das mudanças que ocorrem entre os corpos e neles isoladamente. A teoria de Empédocles mescla aspectos psicológicos ligados ao mito, ao amor ou ao ódio, com a idéia de processo, tentando determinar a mudança a partir dos conceitos de atração e repulsão. Porém, as antigas idéias de que força seria apenas uma característica física ou uma espécie de poder que se encontra não nos humanos, mas em entidades mitológicas, sofreram uma mudança significativa; de um modo geral, o sentido de força foi ampliado, atraindo para o seu escopo fenômenos que antes seriam explicados apenas pela visão cosmogônica.

Com Platão, o conceito de força adquire uma conotação importante. No seu pensamento sobre força, encontra-se a idéia da existência de uma alma do mundo e uma alma da matéria, ou das matérias.

Mediante a constituição do mundo e da matéria, alicerçada na divisão entre o mundo sensível e o mundo inteligível, Platão constrói a sua metafísica; nessa o ser é visto como aquele que é capaz de ter poder [Platão, 1983, p. 168]:

“(...) o que naturalmente traz em si um poder qualquer ou para agir sobre não importa o quê, ou para sofrer a ação, por menor que seja, do agente mais insignificante, e não por uma única vez, é um ser real; pois afirmo, como definição capaz de definir os seres, que eles não são senão um poder.”

O sentido da palavra “poder” é dado pela alma, seja do mundo ou da matéria [Platão, 1952b, 49d]. Ligado à filosofia platônica das formas eternas, o poder refere-se ao auto-movimento da alma, a imortalidade do ser da matéria. Cada matéria tem a sua forma eterna, essa serve como “modelo” para explicar o mundo sensível [Jammer, M., 1957, p. 30]:

“A concepção platônica de força como alguma coisa intrínseca à matéria explica-se porque a matéria tem uma alma, de acordo com a sua visão de que o mundo mutável é composto de um universal para os singulares o ‘isto’, suscetível de muitos ‘modos’ diferenciados; em princípio é uma substância ou um *substratum* e um receptáculo universal o qual se manifesta através de forças e formas como diferentes aspectos do

‘isto’ atual.(...) As diferenciações atuais e particulares de um ser são aqui realizadas através da atividade de forças, emanadas a partir da alma do mundo.(...) A origem última de todas as forças da natureza, segundo essa interpretação, liga-se à alma oculta do mundo.”

A força é vista como a emanção de poderes que se encontram nas formas eternas da matéria, sendo que, pela participação, a matéria sensível é vista como apta a ter poder. Alguns elementos dessa concepção platônica são básicos para se compreender a astronomia e o conceito de força de Kepler, bem como algumas das principais críticas levantadas contra esse conceito. Como veremos mais à frente, o pensamento kepleriano foi muito influenciado pelo platonismo e neo-platonismo, determinando muito do seu trabalho. Em Platão, nós temos mais um modelo ideal sobre a constituição do mundo, do que propriamente uma pesquisa ligada ao mundo dos fenômenos; não se pode dizer que Platão tratou dos problemas práticos em astronomia, ou em qualquer outra ciência de sua época; mas a idéia de que a realidade se encontra nas formas perfeitas, que se encontram além daquilo que nós notamos pelos sentidos [Platão, 1952, Livros VI e VII], forneceu a Kepler, junto com o pitagorismo, os elementos para ele elaborar a sua metafísica, alicerçada no seu conceito de harmonia celeste.

Se Platão forneceu às ciências uma metafísica sobre o conceito de força, entendido como algo distinto da matéria, visto mais como um componente intelectual, Aristóteles, por outro lado, desenvolve o conceito de força como algo pertencente à matéria. Para o estagirita, força pode ser entendida como uma espécie de contato, como pertencente às ações responsáveis pelos movimentos, assim ele escreve no *De caelo*, [Aristóteles, *De caelo*, III, 2, 201b 18 - 21]:

“ A Natureza tem uma causa do movimento na própria coisa, força como causa em coisas diferentes, ou na própria coisa vista como diferente dela. Todo movimento é ou natural ou violento, e a força acelera o movimento natural (ex. numa pedra na descendente), e é a única causa do violento [não-natural].”

O conceito de força aristotélico está ligado, sem dúvida, à sua distinção dos movimentos em natural e violento e, também à sua teoria dos quatro elementos. Força pode ser vista como a ação por contato que faz o móvel sofrer o movimento: se a causa está no

próprio móvel, como no caso do movimento natural (a queda de uma pedra, por exemplo), então força pode ser vista como algo instrínscico à matéria (é a força que impulsiona a pedra, no caso, a ir em direção ao centro, ao seu lugar natural); por outro lado, se ocorre um movimento violento, onde se têm causas externas – como o arremesso de um objeto –, a força será a resultante da ação por contato: puxão ou empurrão (“empurrar”, “puxar”, “rodar”, “atirar”, são exemplos de movimentos violentos; em contrapartida, o movimento de queda é natural, não tem causa externa) [Aristóteles, *Física*, VII, 2, 243b; Jammer, M., 1957, p. 36], no caso do exemplo, é o último.

A concepção aristotélica de movimentos natural ou violento une-se à sua teoria dos quatro elementos, os mesmos de Empédocles, criando uma configuração do mundo como ordenado e com funcionamento distinto entre o mundo celeste e o terrestre. Para os movimentos que ocorrem no mundo terrestre, os quatro elementos, terra, água, fogo e ar, juntamente com a mistura entre eles, criam as camadas ou esferas, concêntricas hierarquizadas que condicionarão as ações dos corpos físicos. Primeiro, considerando-se no sentido descendente, isto é, da região supra-lunar para a sublunar, temos a camada do elemento fogo, a seguir, a do ar, a da água e, finalmente, a do elemento terra; as duas primeiras camadas pertencem aos elementos leves, e sua tendência será a de terem movimentos ascendentes, isto é, subirão para chegarem ao seu lugar natural; as duas últimas procuram o seu lugar natural descendendo, pois são elementos pesados [Aristóteles, *De caelo*, Livro II; Lindberg, D. C., 1992, pp. 248 – 254]. Assim, tendo-se essa teoria dos elementos e dos lugares naturais de cada um, juntamente com a teoria dos movimentos naturais ou violentos, um objeto terrestre quando arremessado sofre dois tipos de ação. Em primeiro lugar, quando arremessado, o objeto, uma pedra, por exemplo, recebe uma força (empurrão), do agente motor, que a levará até a camada do ar; quando finalizada essa primeira ação, a pedra, pela sua tendência interna, irá (ou no sentido aristotélico “procurará”) até a camada da terra, seu lugar natural. Na primeira ação a pedra sofreu um movimento violento, na segunda, ocorreu um movimento natural. A implicação dessas teorias aristotélicas é de que a força está sujeita ao meio, sofrendo a resistência do mesmo. Se um objeto sofre a resistência da camada do ar, por exemplo, que tem uma densidade menor que a da água, a resistência será menor, pois a força no ar age mais fortemente que na água. Dessa maneira, o conceito de força aristotélico está ligado diretamente à

hierarquização do cosmo; a força é proporcional ao meio e ao objeto (ao seu peso). Nessa teoria não há lugar para ação à distância, pois não pode existir o vazio – pois se esse existisse, segundo Aristóteles, não haveria resistência do meio, o que levaria a uma velocidade instantânea - o que é impossível pela concepção das teorias dos quatro elementos e dos movimentos naturais e violentos - de modo que toda ação, pelo menos a violenta, entre um objeto a outro, tem que ser feita por contato.

A teoria dos quatro elementos levou a considerar os movimentos celestes como distintos dos terrestres<sup>72</sup>. No mundo celeste não estão presentes os quatro elementos, mas apenas um quinto elemento, o éter, que não implica qualquer tipo de resistência, e nem há uma alteração de forças. O que ocorre nos céus é completamente distinto do que ocorre na Terra. Lá apenas temos corpos simples, indestrutíveis e eternos, de maneira que apenas corpos com essas categorias podem ser postos na discussão, segundo Aristóteles, sobre os dois mundos [Aristóteles, *De caelo*, II, 6, 288<sup>a</sup>27 – 288b-8]:

“Tudo que é movido é movido por alguma coisa, portanto, as irregularidades dos movimentos devem proceder ou do movente ou a partir do corpo movido ou a partir de ambos. Se o movente não age com velocidade constante, ou se o corpo muda em vez de permanecer constante, ou se ambos alteram, então nada pode impedir os movimentos dos objetos de serem irregulares. Mas nenhuma dessas hipóteses pode ser aplicada aos céus; pois os corpos móveis dos movimentos foram demonstrados ser primários, simples, não-gerados, indestrutíveis (...) apenas o que é primário pode mover o primário, o que é simples, o simples, o que é indestrutível e não-gerado, o que é indestrutível e não gerado.”

Nos céus, de uma forma distinta da Terra, os movimentos são simples, primários e somente locais. Isso implica que a concepção de força no mundo celeste é distinta da concepção aplicada para força nos movimentos terrestres. Mas, se assim é, o que gera movimentos nos céus? O que faz os planetas percorrerem trajetórias irregulares ao longo do zodíaco? Qual o papel da força neste contexto? Qualquer resposta que se levante gerará problemas, visto que a mecânica aristotélica é mais desenvolvida para os fenômenos

<sup>72</sup> Não é apenas a teoria dos quatro elementos que levou a essa distinção. O problema é mais sensível, pois necessita também da concepção metafísica aristotélica de que nos movimentos celestes só podem ocorrer movimentos circulares, os únicos eternos (conferir *Física*, livro VIII). Isso será discutido no capítulo referente à cosmologia kepleriana.

terrestres do que para os celestes. Aristóteles indica que há um primeiro motor [Aristóteles, *Física*, Livro VIII] responsável por manter o movimento das esferas concêntricas que contêm as órbitas dos planetas, do Sol, da Lua e das estrelas fixas. Mas, a teoria das esferas concêntricas – exposta primeiramente por Eudoxo e Calippos – desenvolvida por Aristóteles indica que o primeiro motor dá o movimento inicial numa determinada direção, não dando qualquer tipo de explicação física para a continuação dos movimentos. Ross resume assim a questão [Ross, D., 1987, p. 105]:

“Contudo, os movimentos próprios do Sol, da Lua e dos planetas envolvem a rotação das esferas em direções diferentes das do primeiro céu, e este movimento explica-se pela ação, não de Deus, mas de um agente motor distinto de cada esfera – as “inteligências” dos escolásticos. (...) As inteligências devem ser inferiores ao primeiro motor, mas a sua relação atual com Deus é deixada na obscuridade, da mesma forma que o seu modo de operar nas esferas. Como são seres incorpóreos, presumivelmente, agem também não como agentes físicos mas como objetos do desejo.”

Ou seja, o que move as esferas e apresenta os planetas e astros movimentando-se são, no limite, “inteligências” que se apresentam em cada astro, não necessitando de nenhum recurso de ação à distância. Aristóteles, contudo, não é muito claro sobre a aceitação ou não de “inteligências planetárias”. As únicas passagens, apontadas por Ross, sobre isso são:

“Portanto, [sobre o que gera os movimentos dos corpos celestes] é de sua natureza ocupar qualquer lugar, e nem o tempo age nele; não existe qualquer mudança em qualquer das coisas as quais se ligam além dos movimentos externos; eles continuam através da sua inteira duração, inalterável e não modificada, vivendo o melhor como o maior dos vivos auto-suficientes.”<sup>73</sup>

Ou

“Mas visto que o que é movido deve ser movido por algo, e o primeiro motor deve ser não movido, e o movimento eterno deve ser produzido por alguma coisa eterna e

o movimento singular por algo singular, e visto que o movimento espacial simples do universo, o qual dissemos que o primeiro movimento imóvel produziu, são os outros movimentos espaciais de todos os planetas, os quais são eternos<sup>74</sup>. (...), cada um desses movimentos deve ser causado por uma substância tanto imóvel em si quanto eterna. Pois a natureza da substância é eterna justamente por ser essa espécie de substância, o movente é eterno e anterior ao movido, e o que é anterior à substância deve ser uma substância. Evidentemente, então, devem ser substâncias as quais são de mesmo número como os movimentos das estrelas, e eternas por natureza, e em si, imóveis, e sem magnitudes.”<sup>75</sup>

Cada uma dessas passagens indica que os movimentos dos corpos celestes são dados por algo que é eterno, vive por si, e está imóvel. A sugestão de que são as “inteligências planetárias” as responsáveis pelos movimentos dos astros parece-nos um recurso para dar conta das causas dos movimentos planetários dentro do contexto da mecânica aristotélica, sem, contudo, representar, de fato, a opinião de Aristóteles, podendo ser uma postura adotada pelos seus interpretes. De qualquer forma, até Brahe e Kepler a idéia de que os planetas são dotados de características próprias que os levam a mover-se prevaleceu em astronomia.

Após Aristóteles, o conceito de força tornou-se um recurso que serviu a interesses de diversos ramos do saber humano. A sua abrangência de significados permitiu o seu uso para justificar vários tipos de teorias. A astrologia, o ocultismo e outras artes divinatórias o utilizaram para salientar os princípios adotados de que há uma relação entre as partes com o todo; isto é, a magia procurou, no conceito de força, as razões para sustentar que ocorrem relações de atração entre as coisas singulares com uma ordem cósmica universal. A força associa-se à idéia de ação à distância, principalmente com a conotação de “simpatia”.

As origens dessa visão de força, como simpatia, parecem estar relacionadas com as filosofias estoicas e neoplatônicas [Jammer, M., 1957, pp. 43 – 44]. Para o estoicismo, tanto o agente quanto o paciente estão relacionados em uma atividade única, denominada de “doutrina da unidade cósmica”, de modo que a *sympatheia*, termo por eles cunhado, age

<sup>73</sup> Aristóteles, *De caelo*, I, 9, 279<sup>a</sup>18-22.

<sup>74</sup> Em *Física*, livro VIII, Aristóteles discute os movimentos planetários como circulares e uniformes, por serem esses os princípios que correspondem às exigências de movimentos eternos, por não terem contrários, distintos do movimento em linha reta, que admitem contrários.

<sup>75</sup> Aristóteles, *Metafísica*, XII, 8, 1073<sup>a</sup>26-39.

por meio da noção de *pneuma*, que foi interpretada pela escola neoplatônica como “alma”, *pysché*. A noção de “simpatia” permitiu a introdução de uma espécie de fluido espiritual que procurava atrair os corpos materiais mediante a ação à distância, sendo que há, nessa postura, a mescla entre matéria e alma: a alma como agente, através da emanção de desejos e poderes, condicionando as relações entre os corpos materiais, que são os pacientes na ação.

A tradição latina interpretou essa noção de simpatia como *vis* ou *virtus*, possibilitando a mistura de interpretações mágicas e astrológicas com as da ciência natural, como nos esclarece Jammer [Jammer, M., 1957, p. 45]:

“O uso não crítico de *vis*, por parte de Plínio, correspondente à *dynamis* grega, para a designação da física, química e medicina como forças ocultas é parcialmente responsável pela obscuridade dos seus escritos, os quais aparecem como uma mistura peculiar de ciência natural e superstição. Poderes ocultos foram indiscriminadamente observados como forças físicas e forças físicas foram vistas como mágicas em sua essência.”

O leque de interpretações dado pela associação de força com simpatia foi dos mais variados e foi aplicado à física, à astronomia, à química, à medicina etc., e também à magia, à astrologia, à alquimia, ao misticismo etc.

O problema foi sensível no que concerne às causas dos movimentos planetários. Se Aristóteles admitiu que os próprios corpos celestes, como vimos, têm a capacidade interna de condicionar os seus movimentos, mediante uma espécie de “inteligência planetária”, tal idéia serviu como suporte para as artes mágicas e astrológicas criarem teorias que unem os movimentos planetários com a idéia de atração e influência sobre os fenômenos terrestres. Isso foi possível graças à abertura de significados propiciada pelo uso do conceito de força; num estágio em que força não era vista como um elemento apto a quantificar a matéria, algo que foi procurado e obtido, num sentido inicial, por Kepler, mas como a emanção de poderes sobre os homens e os acontecimentos do mundo, a idéia de que os planetas têm em si as condições para gerar os seus próprios movimentos, significou uma premissa forte para a justificação de teorias sobre as influências dos corpos celestes nos terrestres. A concepção mágica da natureza contém uma noção de “causalidade”, na qual existe uma espécie de

relação causal entre os acontecimentos do mundo celeste com o terrestre, o primeiro influencia o segundo; Kepler irá adotar essa concepção causal, mas operará uma mudança de enfoque significativo ao trazer as causas para o reino das forças eficientes, isto é, causas semelhantes às encontradas nos artefatos mecânicos (como a balança e a alavanca).

Porém, a questão não estava resolvida, pois os problemas gerados pela idéia de “inteligências planetárias” suscitaram perguntas como a seguinte: como se une a inteligência com o corpo celeste? Ou ainda, como apresenta Jammer [Jammer, M., 1957, pp. 51 – 52]:

“O que é mais importante para os nossos objetivos, muito discutido em toda a Idade Média, era saber como se dá a união dos corpos celestes com as inteligências que foram admitidas. Pois foi geralmente estabelecido que os corpos celestes podem ser considerados como animados apenas no sentido de um contato virtual do motor intelectual com o objeto movido. As inteligências não estavam unidas com os corpos da mesma forma que a alma está unida formalmente a um corpo na execução de numerosas funções, ou, para usar um exemplo muito mencionado por Giacomo Zabarella no seu *Comentário ao De anima*, a inteligência não era inerente ao corpo celestial, como é a figura de um navio ao próprio navio – um navio sem a figura de um navio é um ser inimaginável – mas a relação entre a inteligência e o corpo celeste é melhor observada como a de um piloto com o seu navio.”

A alma está unida ao corpo e determina-lhe as ações, as suas deliberações etc. Para a Idade Média seria inconcebível admitir um corpo sem alma. Mas o mesmo poderia se dar com os corpos celestes? Seriam os planetas dotados de uma alma que lhes determinaria os caminhos? (nisso está algumas das diferenças entre Kepler e a astrologia, pois o primeiro não aceita a idéia de “alma”, substituindo-a por uma explicação baseada em “forças centrais”, mais próxima a um contexto natural e físico).

A astrologia utilizou o conceito de força associado à simpatia e ação à distância, que expressa a idéia de uma influência causal dos corpos celestes no mundo terrestre, isto é, nos acontecimentos naturais e humanos. Essa é, pensamos, uma das principais razões pelas quais ocorreram muitas confusões dos comentadores acerca da utilização do conceito de força por parte de Kepler. Não se deve, pensamos, considerar que a postulação kepleriana de que o Sol exerce forças que levam os planetas a percorrerem movimentos tais como nós

observamos é a expressão, somente, da tradição astrológica de sua época. Na realidade, Kepler procurou alterar elementos dessa tradição. Kepler utilizou a noção de “causalidade”, em que ocorrem influências nos corpos celestes nos terrestres, mas mudou o enfoque dessa noção causal, que deixou de ser uma expressão mágica e passou a ser uma manifestação mecânica (a ação do Sol nos planetas dá-se por uma ação física, uma força física natural).

É comum considerar que a astrologia inseriu muitos elementos irracionais<sup>76</sup> em seus trabalhos, e isso, por si só, representa que a astrologia subverteu o sentido que força deveria ter para a astronomia, como nos diz Jammer [Jammer, M., 1957, p.54]:

“(…) é com a peculiar concepção de força da astrologia, ‘virtude celestial’, que se introduz o elemento irracional em seus objetos e a coloca como uma pseudociência, tornando inacessível a demonstração matemática e a verificação experimental.”

E como consequência, os movimentos planetários, considerados como circulares e uniformes, isto é, cíclicos, influenciariam e determinariam os acontecimentos do mundo inferior, o sublunar, como ele afirma [Jammer, M., 1957, p. 56]:

“(…) Entretanto, acerca dos movimentos circulares e periódicos, os movimentos cíclicos de ascensão e queda também tomavam lugar no mundo sublunar, causado pelos movimentos circulares dos corpos celestes. Assim, nessa visão, as essências celestes exerciam uma influência reconhecível sobre toda mudança, e, por isso, o mundo inferior estava unido com o superior.”

---

<sup>76</sup> De fato, como nos diz Rossi, a astrologia realizou uma mistura de elementos, considerando que os astros são dotados de características humanas. Segundo ele [Rossi, P., 1992, p. 36], temos que “a astrologia não constituiu apenas, nem predominantemente, uma visão física do Universo: nasceu no terreno de uma mistura híbrida de ‘religião’ e de ‘ciência’, de uma total ‘humanização’ do cosmos, de uma extensão a todo o universo dos comportamentos e das emoções do homem. Para a visão que a astrologia tem do mundo, as estrelas não são apenas ‘corpos’ movidos por ‘forças’, mas seres animados e vivos, dotados de sexo e de caráter, capazes de risos e de lágrimas, de ódio e de amor. 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.”; consultar também Rossi, [Rossi, P. 2001]. Neste sentido, segundo Rossi, a astrologia não construiu uma teoria explicativa, mas elaborou um conjunto de “explicações” voltado mais para satisfazer a fantasia e a imaginação, do que dar provas racionais sobre aquilo que ela admite sobre o mundo celeste.

Ou seja, o mundo superior (céus) influenciaria o mundo inferior (Terra), pela ação de uma força à distância, propagada pelos movimentos dos astros, em seus movimentos circulares e periódicos.

Porém, a interpretação de Jammer é problemática, pois ela considera a astrologia como uma pseudociência, e o faz adotando um critério positivista – isto é, ele tem uma concepção de ciência que permite discriminar no plano histórico o que é e o que não é ciência, mas sob o ponto de vista da recusa de padrões metafísicos. Mas Jammer não contemplou que as influências da magia, alquimia e astrologia deram-se no plano da mudança sobre a noção de causalidade. Kepler, ao adotar a noção de que há uma força agindo do Sol nos planetas, e essa idéia pode ter sido dada pela tradição mágico-astrológica, não colocou elementos irracionais nas ciências, mas limpou o terreno para se considerar as causas como causas eficientes, físicas. Existe, com a admissão de que o Sol exerce uma influência física (força) nos planetas, o germe para retirar os mecanismos aristotélicos e ptolomaicos da astronomia e cosmologia, pois admitindo-se a noção de ação à distância, pode-se tratar as causas dos movimentos planetários como ações independentes das maquinarias aristotélicas (esferas encaixadas) e dos artifícios matemáticos de Ptolomeu (equantes, excêntricos, epiciclos e deferentes). Em outras palavras, a noção de “causa” como ação à distância utilizada por Kepler não é a noção de “causas” no sentido aristotélico (como um conjunto de causas formais, materiais, eficientes e finais), mas apenas causa eficiente; por outro lado, também traz para a astronomia a necessidade de tratar das causas físicas dos movimentos planetários, algo que a astronomia computacional tinha abolido.

Na verdade, podemos dizer que a astrologia e a astronomia kepleriana podem utilizar-se do conceito de força, mas em sentidos distintos. As diferenças entre a astrologia e a astronomia de Kepler, acerca da utilização do conceito de força, podem ser resumidas da seguinte forma: a) a astrologia considera que as ações dos astros sobre os objetos (ou homens) se dá por uma ação causal necessária na natureza, mas alicerçada na idéia de uma influência não muito precisa (qualidades, virtudes, poderes etc) enquanto que a astronomia kepleriana afirma que a ação causal do Sol é uma espécie de força física, magnética, isto é, a noção de força kepleriana aponta para um componente natural específico; b) a ação à distância da astrologia não é algo que pode ser matematizada – não se matematiza, por exemplo, o quanto um planeta exerce de influência sobre algo -, enquanto que, em Kepler,

força, apesar de não ter uma expressão definida e nem ser uma expressão matemática, é um elemento que pretendia explicar as variações de velocidades e tempos em função do aumento ou da diminuição das distâncias dos planetas ao centro (isto é, Kepler postulou força física para explicar as relações matemáticas que ele encontrou nas regularidades observadas nos movimentos planetários; neste sentido, força é um componente natural para explicar fenômenos naturais, os movimentos); c) em astrologia não é possível a realização de testes, pois o que se diz sobre força é muito vago, com Kepler, por outro lado, a teoria dos movimentos planetários por ele desenvolvida, alicerçada no conceito de força central, elaborou tabelas astronômicas (as Rudolfinas) bem mais satisfatórias que as anteriores.

Essas diferenças nos auxiliam a compreender que o uso dado por Kepler à força representa uma postura racional em relação ao significado de força, retirando os aspectos vagos que estavam presentes nas interpretações astrológicas. É nesse trabalho que notamos o refinamento conceitual dado à força.

Na Idade Média foram feitas algumas pesquisas interessantes para o desenvolvimento do conceito de força. Apesar da utilização não crítica desse conceito pelos adeptos da magia ou da astrologia, vários pensadores procuraram entender força num sentido mais próximo às ciências. Dentre esses, Roger Bacon é um dos mais importantes.

Roger Bacon foi um dos primeiros, se não o primeiro, a buscar um tratamento matemático para força. Apesar de ser um autor interessado em astrologia, ele concebeu o cosmo como um *plenum*, no qual ocorrem transmissões de forças, de *species*, pelo meio (para Roger Bacon ação à distância era algo inconcebível), nos pacientes. O interessante disso era que Bacon procurou determinar proposições geométricas para expressar essas transmissões, segundo ele<sup>77</sup>:

“Em primeiro lugar, procuro demonstrar uma proposição geométrica com respeito às causas eficientes. Pois toda causa eficiente age por suas próprias forças (...) Essa força é chamada semelhança, imagem, espécie e por muitos outros nomes, e ela é produzida por substâncias (...) por substâncias corporais. Substâncias as produzem mais do que os acidentes, e a substância espiritual do que a corporal. Essas espécies causam todas as ações no mundo.”

<sup>77</sup> Roger Bacon, *The opus maius*, retirado de Jammer, [Jammer, M, 1957, p. 59].

Roger Bacon preocupa-se com as causas eficientes, isto é, com o que produz os movimentos ou as ações. Para ele, força está relacionada a essa causa, agindo através do meio etéreo. Sua principal contribuição está na procura da geometrização dessa relação entre força e movimento, que se dá por uma multiplicação das espécies (pois essas multiplicações se referem à ângulos, linhas e figuras), o que gera não uma ação à distância, mas movimentos pela propagação das espécies pelo meio.

A postura de Roger Bacon contra a idéia de ação à distância espelha, de uma certa forma, a visão negativa que alguns pensadores tinham sobre isso. De fato, a admissão de forças atrativas - com exceção da astrologia, que, como vimos, não se preocupava tanto com a veracidade dos seus princípios ou com a consistência dos seus modelos explicativos - , era um obstáculo elevado para os físicos na elaboração de modelos físicos sobre as causas dos movimentos celestes; a ação à distância, as forças atrativas, entravam em conflito direto com a mecânica e astronomia aristotélica, pois feriam a teoria dos quatro elementos e a teoria dos movimentos naturais ou violentos. Em primeiro lugar, porque forças atrativas implicavam uma contradição com a suposição de que os pesos dos corpos estão em conformidade com as regiões de cada elemento, isto é, se ocorre uma espécie de atração, essa atração deverá estar acima da última camada dos elementos terrestres, que é a do fogo, que é menos pesado que o elemento que rege a região anterior, o ar, que é menos que a água, que por sua vez é menos pesado que o elemento terra [Jammer, M., 1957, p. 64]; se é assim, como o corpo que é mais pesado na região do fogo se torna menos pesado conforme passa de uma região à outra, que espécie de atração teremos? Uma atração que muda conforme se passa de camada a camada? Um outro obstáculo era relacionado com a resistência do meio. Se a atração é o que leva um corpo a mover-se, então um corpo com massa e peso maior que um outro poderá levá-lo a mover-se mais lentamente que o menor, algo que contradiz a suposição aristotélica de que o movimento se dá segundo a relação entre peso e resistência do meio [Jammer, M., 1957, p. 64] (nessa relação, para Aristóteles, um corpo mais pesado deverá mover-se mais rapidamente que um menos pesado, pois ele “vence” a resistência do meio de uma forma mais competente que um de peso menor, que sofre mais a resistência do meio).

Desta maneira, parte das críticas contra uma possível explicação dos movimentos planetários com base na suposição de forças atrativas estava alicerçada na filosofia

aristotélica. O trabalho de Kepler foi, antes de tudo, o de “limpar o terreno”, tarefa necessária para poder admitir com plausibilidade forças atrativas provenientes do corpo central, o Sol, e, a partir dessas, erigir um modelo explicativo e descritivo dos movimentos planetários. O peso do aristotelismo no final do século XVI e início do XVII era muito significativo; da mesma forma que Galileu teve que compor um quadro conceitual expressivo para dar plausibilidade para o copernicanismo, ao tratar dos movimentos dos corpos terrestres, Kepler, por sua vez, passou pelas mesmas dificuldades no que concerne aos movimentos planetários. Seu trabalho foi dirigido para a elaboração de novos conceitos, ou melhor, para o refinamento de conceitos, tal como força, eliminando as dificuldades – tão expressivas, pois a ação à distância, como vimos, era vista mais como um recurso ligado às faculdades ocultas, do que uma nova expressão de causalidade.

Os intérpretes de Aristóteles, tão acostumados a considerar a visão do estagirita como a expressão da verdade dos fenômenos do mundo físico e astronômico, colocaram muitas dificuldades para a aceitação da idéia de ação à distância. De uma certa forma, essa postura sempre se mostrou como “correta” e aceita pela maioria da comunidade científica, levando muitos pensadores a construir os seus modelos de mundo – e o caso mais claro é o de Descartes, para o qual o mundo é um *plenum*, aonde os movimentos se dão, no limite, por contatos e choques, suprimindo da sua filosofia mecanicista qualquer recurso a forças atrativas. De fato, o mecanicismo cartesiano, assim como Galileu, negava a idéia de ação à distância por essa trazer noções de matéria ativa. Aceitar que o Sol age à distância nos planetas é considerar que há uma espécie de poderes, virtudes ou qualidades ativas no Sol, enquanto que os cartesianos consideram a matéria como inerte. Kepler nunca se desvencilhou completamente da idéia de uma ação de forças como ativa, por isso, considera-se força como “força animal”, mas a noção de força em Kepler aponta para um recurso natural. Força kepleriana é algo natural, assim como é natural a ação da força empregada no cabo de uma alavanca, que a faz levantar pesos.

Após Roger Bacon não ocorreu nenhum avanço importante no refinamento do conceito de força. Porém, diversas críticas se iniciaram contra a física de Aristóteles, especialmente as provindas da escola que advogou a teoria do impetus. Sobre os movimentos planetários, Buridan [Jammer, M., 1957, p. 69 – 70 e Évora, F. R., 1993], um dos principais expoentes da teoria do impetus, considerou que uma espécie de virtude

celeste permeia todo o espaço, dizendo que, em vez da idéia de inteligências planetárias, Deus, no ato da criação do Universo, comunicou às esferas um impetus, semelhante ao arremesso de um objeto. De fato, o recurso a Deus fez-se presente em muitas formas de conceber as causas dos movimentos planetários e dos astros, ou, se não é Deus o causador do movimento, pelo menos ele é o que “deu” o impulso inicial. Acerca disso é interessante o que diz Nicolau de Cusa<sup>78</sup>:

“Muitos de vocês atribuem movimento ao globo. Mas essa esfera não é movida diretamente por Deus, o criador, nem pelo espírito de Deus (...). Entretanto, é [Deus] quem inicia o movimento, mediante um impulso dado.”

Com o copernicancismo, novas possibilidades puderam ser levantadas para a compreensão do conceito de força, e de ação à distância, ligadas a uma postura científica. De uma certa forma, a proposta da nova organização dos planetas ao redor do Sol suscitou novas críticas à ciência estabelecida, tanto à filosofia natural de Aristóteles quanto à astronomia matemática de Polomeu. O árduo trabalho de muitos pensadores pós Copérnico representou as necessidades de construção de um novo arsenal conceitual para dar conta dos problemas, tanto científicos quanto filosóficos, que a centralidade do Sol e a mobilidade da Terra trouxeram, e, por esse trabalho, tornou-se urgente superar a organização tradicional da física e da astronômica.

Se o conceito de força, o qual, como vimos, estava ligado mais à postura astrológica do que científica (astronômica), então, para dar plausibilidade ao uso desse conceito pelas ciências, fazia-se necessário um trabalho de refinamento conceitual, pois a idéia desenvolvida pela tradição astrológica determinava que a ação dos astros nos comportamentos dos objetos, e homens, do mundo terrestre dava-se por uma espécie de “atração”, mas uma atração sem o respaldo de um conjunto explicativo e descritivo alicerçado em modelos elaborados segundo a racionalidade científica, isto é, sem o respaldo das matemáticas e dos testes empíricos.

Nesse sentido, o trabalho desenvolvido por Kepler para dar sustentabilidade ao conceito de força insere-se no seu projeto de pesquisa: o de elaborar as bases racionais para as ciências, em especial, para a astronomia.

---

<sup>78</sup> Nicolau de Cusa, *Dialogorum in ludo globi*, retirado de Jammer, [Jammer, M., 1957, p. 71].

Nessa via de compreensão, o conceito de força kepleriano constitui-se como um elemento integrador. A postulação do Sol, como a causa eficiente dos movimentos planetários, tem uma dupla função que, caso adequadamente satisfeitas, representa a possibilidade de fornecer um critério de unidade para a astronomia. Em primeiro lugar, a de ser uma causa física dos movimentos e, para tanto, devia estar inserida num conjunto conceitual explicativo e descritivo que permitisse dar conta tanto dos aspectos práticos envolvidos – isto é, resolver os problemas técnicos e práticos que se apresentam (elaboração de tabelas astronômicas, resolução das anomalias etc.) -, quanto dos aspectos teóricos presentes – isto é, essa causa física deve responder aos problemas que as premissas copernicanas, admitidas por Kepler, levantavam: como não se pode observar os movimentos da Terra e nem a centralidade do Sol diretamente, faz-se necessário um trabalho de “construção intelectual”, no qual os dados que são obtidos (as variações de velocidades e tempos em função do aumento ou diminuição das distâncias dos planetas ao Sol, por exemplo) devem ser compostos num modelo que expresse esses dados matematicamente, em forma de leis gerais, e suscetíveis de testes empíricos. Em segundo lugar, o conceito de força deve fornecer uma garantia de que, de fato, ocorrem forças centrais no mundo celeste<sup>79</sup>; o conceito de força não é um simples instrumento de trabalho, mas uma expressão, tal como entendia Kepler, da realidade do mundo celeste. Os movimentos dos planetas não se dão por acaso, mas devem seguir certas leis da natureza (que no caso são as três leis de Kepler), por uma ação que foi criada por Deus para que tenhamos regularidades nos acontecimentos do Universo.

Em suma, o conceito de força kepleriano acaba por afastar as conotações ligadas a faculdades ocultas<sup>80</sup>, dando-lhe uma roupagem a ser utilizada de uma forma promissora para a astronomia, tanto prática quanto teórica.

---

<sup>79</sup> Essa segunda função, que expressa o realismo kepleriano, só pode ser corretamente entendida quando unida ao critério de que o mundo celeste é necessariamente regular e constante, isto é, quando se considera o conceito de “harmonia celeste”, que trataremos no capítulo segundo desta tese. Para Kepler, o mundo é harmônico por uma necessidade, e não pela vontade de Deus; essa necessidade corresponde aos critérios de racionalidade, ou de razão suficiente, de modo que Deus, quando criou o mundo, o fez segundo critérios racionais, isto é, mediante proporcionalidades, de maneira que as regularidades encontradas nos movimentos dos planetas não são frutos do acaso ou da vontade de Deus, mas são necessárias para que o mundo seja, exista. Trataremos da relação entre os conceitos de força e de harmonia de uma forma mais detalhada na parte final deste trabalho.

<sup>80</sup> Devemos deixar claro que o conceito de força não visava ser a explicação última dos movimentos celestes, mas sim procurou erigir uma explicação alicerçada naquilo que os sentidos e a razão poderiam levantar. As causas últimas, isto é, qual a razão do conceito de força podem ser sugeridas, mas não defendidas em sua

Isso fica mais claro quando lemos uma carta de Kepler a seu amigo Fabrício, de primeiro de agosto de 1607, logo após Kepler ter descoberto as suas duas primeiras leis. Kepler, nessa carta, responde a uma série de objeções que seu amigo levantou contra as mudanças por ele introduzidas na astronomia. Na carta de Fabrício a Kepler, que contém essas objeções, datada de 20/01/1607, ele apresenta os motivos para considerar a forma elíptica de Kepler como uma alucinação. Para Fabrício, abandonar a circularidade e a uniformidade é um verdadeiro absurdo, pois a astronomia sempre admitiu que os céus são esféricos, que as órbitas são esféricas e os corpos celestes também o são. O princípio da circularidade é o único que permite conjugar esses corpos esféricos. Fabrício sugere a Kepler fazer a composição da órbita elíptica de Marte mediante a utilização de movimentos circulares e uniformes, ou compostos desses, preservando o axioma platônico, isto é, Fabrício pede a Kepler compor os movimentos de Marte mediante a utilização dos artifícios geométricos construídos pela astronomia presa ao princípio de circularidade e uniformidade, gerando, através deles, a forma elíptica.

De fato, mediante os artifícios geométricos utilizados pela astronomia antiga e medieval, podia-se construir qualquer forma orbital, qualquer figura geométrica, inclusive a própria forma elíptica. Porém, e esse é o ponto mais importante, o que Fabrício não nota é que Kepler não quer e não pode construir uma astronomia vinculada à interpretação instrumentalista, mas, ao contrário, ele quer e deve descrever os movimentos sob o ponto de vista realista, de modo que se Kepler aceitasse a composição dos movimentos de Marte por meio da circularidade e da uniformidade, mesmo que gerando uma forma elíptica, ele estaria sustentando a visão de que os movimentos observados nos percursos dos planetas não são produzidos pela ação do Sol, isto é, os movimentos planetários não têm uma causa física. Assim, ele afirma na carta<sup>82</sup>:

“Mas vós dizeis que os elementos fundamentais pelos quais esses movimentos se realizam, notadamente os círculos, atêm-se ao movimento uniforme. Isto eu vos concedo. Mas esses movimentos não concordam com os fenômenos. Além disso, segundo a minha teoria, os elementos fundamentais pelos quais é produzido o

---

tese, notaremos que a astronomia física de Kepler procurou eliminar essa distinção. As leis dos movimentos planetários, alicerçadas em causas físicas, visaram ser a expressão da realidade física e, ao mesmo tempo, obter dados, posicionamentos planetários, de uma forma mais competente da que era feita no início do século dezessete.

movimento do planeta são igualmente constantes. A diferença encontra-se no fato que vós empregais círculos e eu, forças corporais. Em suma, a rotação perfeitamente regular do corpo do Sol é constante para mim<sup>82</sup>; constante a revolução das *espécies* imateriais, magnéticas do Sol; constante a ação dessa *espécie* ou força motriz pela qual o planeta [encontra-se] a uma distância determinada; constante a força magnética que aproxima ou afasta o corpo do Sol dos planetas, segundo a medida do ângulo que o eixo do planeta forma com a direção [raio-vetor] ao Sol. E se o planeta passa de um grau de força a outro, isso se efetua de uma maneira excelente, conforme as admissões fundamentais.

“Mas, se dizeis que não é duvidoso que os movimentos se efetuem sobre círculos perfeito, [eu repondo] que, para os movimentos compostos, isto é, para os movimentos reais, isso é falso. Com efeito, segundo Copérnico eles se efetuem, como eu já disse, sobre uma trajetória inchada nos lados; segundo Ptolomeu e Brahe, sobre espirais. Quando falais de movimentos compostos, falais de coisas que não podem ser pensadas, e que, na realidade, não existem. Pois nada acompanha os circuitos do céu além dos corpos dos planetas. Não existe nenhum orbe, nenhum epiciclo; como deveis saber, pois sois iniciado na astronomia tchiconiana. Ora, se nós temos como admissão básica que nada disso leva (esferas de cristais e epiciclos) o planeta a mover-se, então pode-se colocar a seguinte questão: qual é a linha traçada pelo trajeto desse corpo? Eu repondo, não mais sob uma forma hipotética, mas alicerçado num saber alcançado por demonstrações geométricas, que a trajetória do corpo será oval...A simplicidade da Natureza não deve ser medida pela nossa imaginação.”

A resposta de Kepler a Fabrício, como vimos por essa citação, representa a tomada de decisão de não tratar a astronomia, ou melhor, a formulação de hipóteses astronômicas, sem relacioná-las aos aspectos físicos envolvidos na procura da forma real da órbita dos planetas. Isso garante, entre outras coisas, as possibilidades de fazer ciência sobre a dinâmica, isto é, não apenas uma ciência descritiva, mas uma ciência que se preocupa com as causas dos movimentos planetários; a força kepleriana é algo, como ele diz, “constante”, isto é, a ação da força exercida pelo Sol nos planetas pode ser medida<sup>84</sup>, de maneira que os

<sup>82</sup> Carta retirada de Koyré, [Koyré, A., 1961, p. 265].

<sup>83</sup> Isto é, o eixo do Sol move-se numa velocidade constante, algo admitido por Kepler para poder sustentar que o corpo solar age de uma maneira uniforme nos planetas ao longo de todo o trajeto desses ao redor dele, do Sol.

<sup>84</sup> É claro que Kepler não conseguiu medir a intensidade da força exercida pelo Sol nos planetas e nem determinou uma lei que expresse e descreva tal coisa, mas ele apontou o caminho para Newton. O

movimentos, tais como são detectados pelas observações astronômicas, se dão pelas variações nas distâncias. Ou seja, Kepler descobriu uma invariante para uma possível solução do problema da causa dos movimentos dos planetas. Neste sentido, quando ele afirma na parte final da carta que não mais sustenta hipoteticamente, mas por demonstrações geométricas, que a trajetória não é circular, mas oval, é que ele chegou a uma certeza na astronomia - dada pelas observações astronômicas e pela admissão de que os movimentos planetários devem ser entendidos sob o contexto físico e dinâmico, e não meramente instrumentalista - a de que os corpos físicos dos planetas não se movem tal como pensava e acreditava a tradição astronômica, mas que se movem de acordo com o que os dados e a razão podem determinar.

A astronomia anterior a Kepler, presa ao axioma platônico, poderia, sem afetar os seus fundamentos, construir modelos descritivos de movimentos que adequassem os dados observacionais ao princípio de movimentos circulares e uniformes, gerando, sem qualquer consideração às causas físicas desses movimentos, uma curva de forma elíptica. Isso é o que pedia Fabrícious a Kepler, pois, se Kepler agisse dessa forma, a astronomia não se veria abalada; a astronomia não necessitaria reformular os seus princípios, admitidos desde a época de Platão e Aristóteles, princípios esses que influenciaram os trabalhos de Ptolomeu, que determinaram as tabelas de posicionamentos dos planetas em toda a Idade Média, e, até mesmo, Copérnico, Tycho Brahe e Galileu, entre outros, nunca abandonaram a crença de que os movimentos celestes são circulares e uniformes.

Contudo, essa última carta apresentada revela que Kepler não se rendeu aos apelos de Fabrícious. Kepler não procurou salvar o axioma dos movimentos celestes circulares e uniformes. Na medida em que tal princípio se demonstrou insuficiente para obter a verdadeira forma da órbita do planeta Marte - pois a circularidade e a uniformidade não corroboraram a postulação da centralidade do Sol para a derivação dos movimentos - Kepler o substituiu por uma outra hipótese, a de que a órbita é simples, isto é, é percorrida por um movimento que não é composto.

Quando se postulam causas físicas para a obtenção da realidade do que ocorre nos céus, como no caso dos movimentos dos planetas e da sua forma orbital, deve-se partir de elementos reais, e não fictícios para a execução de tal determinação. Neste sentido, para

---

fundamental é a idéia kepleriana de que o corpo solar, o corpo físico, não é apenas um ser divino ou mítico,

Kepler, a lei da forma elíptica é, antes de tudo, a procura da expressão da realidade do mundo supra-lunar, pois ela permite, por um lado, corroborar os dados observacionais e, por outro lado, talvez mais importante, tratar a astronomia sob o enfoque físico, independentemente de seguir-se ou não um conceito teórico dado *a priori*, como é o caso da visão instrumentalista defendida por Fabrícious.

Finalizando, o conceito de força é um componente necessário para os trabalhos de astronomia de Kepler. Necessário, não apenas no sentido de traçar o caminho pelo qual Newton enveredará para obter a sua teoria da gravitação universal, mas, principalmente, o conceito de força postulado por Kepler expressa a necessidade de reformulação teórica da ciência astronômica do início do século XVII.

## Capítulo 2. O Conceito de Harmonia

### 2.1. Introdução

Como vimos no capítulo anterior, o conceito kepleriano de força tem sua máxima expressão na estipulação das razões físicas que levam os planetas a moverem-se tal como mostram os dados observacionais. O conceito de força isoladamente, porém, é apenas uma das faces da metafísica kepleriana. Somente a postulação de uma força central não é suficiente para garantir a justificação das leis dos movimentos planetários; faz-se necessário também o conceito de harmonia celeste; conceito esse que visa, fundamentalmente, garantir que a utilização da força magnética exercida pelo Sol nos planetas esteja alicerçada num espaço organizado adequadamente para tanto. Em outras palavras, o conceito de força só pode, segundo o modo kepleriano de construir as bases teóricas da astronomia, ser aplicado num espaço no qual o Sol ocupa a posição – não apenas geométrica, mas principalmente física – central, e, desse modo, o conceito de harmonia visa garantir a possibilidade de matematização (no sentido de obtenção de regularidades) do cosmo.

Se o conceito de força foi uma modificação progressiva<sup>1</sup> nas propostas originais do copernicanismo – pois, lembremos que no sistema copernicano não há a suposição de uma dinâmica celeste –, o conceito de harmonia, no entanto, está diretamente ligado às propostas

---

<sup>1</sup> O sentido de “progressivo” será tratado no capítulo quarto desta tese. No momento, podemos dizer que o conceito de força foi progressivo no sentido de que, por meio de sua postulação, chegou-se a uma mudança drástica de tratamento na astronomia, pois tal conceito levou à necessidade de considerar-se elementos não

de Copérnico. Como procuraremos apresentar neste capítulo, a harmonia celeste kepleriana se alicerça no espaço copernicano, na organização do cosmo que coloca o Sol no centro e atribui movimentos à Terra.

Vamos apreciar duas opiniões acerca dos objetivos básicos de Kepler em relação à astronomia. A primeira é oferecida por Dreyer, que diz [Dreyer, J. L. E., 1953, p. 373]:

“Kepler tinha como objetivo, e toda a sua vida foi dedicada a alcançá-lo, encontrar uma lei que sujeitasse todos os membros do sistema solar conjuntamente, observando a distribuição das suas órbitas no espaço e dos seus movimentos, de modo que, conhecendo essa lei, poderia ser-lhe possível computar todas as particularidades de qualquer planeta, desde que os elementos de sua órbita fossem conhecidos.”

A segunda, que especifica um pouco mais esses objetivos, é dada por Koyré, que afirma [Koyré, A., 1961, pp. 128 e 133]:

“Kepler insiste sobre o caráter sistemático, explicativo e racional [do copernicanismo] (...) Kepler procura corretamente passar da ‘astronomia’, quer dizer, do estudo puramente calculatório dos fenômenos celestes, à ‘física e à cosmografia’, isto é, ao estudo da realidade.”

Essas duas passagens mostram dois aspectos básicos do pensamento kepleriano. O primeiro deixa claro que Kepler tinha como objetivo tratar a astronomia mediante bases racionais, isto é, é possível falar racionalmente do mundo celeste, implicando na procura de leis que se remetam aos aspectos envolvidos nos fenômenos supra-lunares. O segundo, garante que o copernicanismo é o sistema astronômico que permite falar racionalmente do mundo celeste, de maneira a construirmos conhecimentos de fato astronômicos, isto é, remetidos à sua realidade.

A astronomia kepleriana é alicerçada no sistema copernicano, o que lhe permitiu tratar de questões que se apresentam quando consideramos o mundo sob a ótica da mobilidade da Terra e centralidade do Sol, que se remetem às regularidades presentes nos

---

aceitos no programa astronômico na época de Kepler (tais como as considerações dinâmicas), acarretando uma modificação epistemológica.

fenômenos celestes. Neste sentido, o conceito de harmonia torna-se um componente básico para a elaboração de uma astronomia racional que trata do mundo real dos movimentos planetários.

O conceito de harmonia encontra-se presente em quase todas as obras astronômicas de Kepler. Desde o seu primeiro trabalho significativo em astronomia, o *Mysterium cosmographicum*, de 1596, passando pela obra que mais trata disso e no qual Kepler obteve a lei harmônica, a *Harmonia do mundo*, de 1618, até a sua obra mais madura nessa ciência, o *Epítome da astronomia copernicana*, editado entre 1618 a 1621, a questão da existência de uma estrutura harmônica subjacente aos fenômenos do mundo celeste<sup>2</sup> mostra-se como uma das principais preocupações de Kepler para fundamentar a derivação e explicação dos movimentos dos planetas.

O conceito de harmonia não nasceu pronto na mente de Kepler. Pode-se dizer que a procura das relações constantes entre os movimentos planetários, que é, no limite, o cerne da postulação de que o universo é harmônico, foi admitida, revista e refinada, até ficar com a sua roupagem final exposta no livro IV do *Epítome*, obra na qual o conceito de harmonia juntamente com o de força mostra como se pode construir uma astronomia que diga respeito aos constituintes materiais dos corpos planetários (sua densidade, seu volume etc.) relacionando esses aspectos físicos num espaço geométrico, dado pelas hipóteses heliocêntricas, de forma a determinar as regularidades obtidas pelas velocidades e tempos de percurso em função das distâncias dos planetas ao Sol; isto é, a harmonia representa a possibilidade de conjugar as velocidades, tempos e distâncias num espaço regular. Porém, o que nos interessará neste momento não é a exposição final do *Epítome*<sup>3</sup>, mas os desenvolvimentos do conceito de harmonia celeste tais como foram feitos na obra o *Mysterium cosmographicum*, até a determinação da terceira lei, apresentada no livro V da *Harmonia do mundo*, para podermos, a partir disso, visualizar as modificações operadas por Kepler entre essas duas obras.

Essas duas obras mostram características interessantes para a compreensão do pensamento de Kepler. À primeira vista, pode parecer que esses trabalhos não tratam de

---

<sup>2</sup> A expressão “estrutura harmônica subjacente aos fenômenos do mundo celeste” foi dada pela primeira vez por Burt, [Burt, E., 1983].

<sup>3</sup> Trataremos disso no capítulo 3 da tese, no qual analisaremos a relação entre o conceito de força e harmonia conjuntamente, de modo a podermos compreender o papel desses conceitos para a obtenção de um modelo mecanicista para a astronomia.

assuntos ligados diretamente à astronomia por se remeterem a assuntos que não pertencem a essa ciência, tais como, principalmente, a suposição de que o universo foi construído mediante a inscrição e circunscrição dos cinco sólidos perfeitos, derivados pela geometria euclidiana (*Elementos*, Livro XIII, prop. 18, corolário), nas esferas dos seis planetas conhecidos na época de Kepler, que é, lembremos, a hipótese central do *Mysterium cosmographicum*, ou de que há uma música celeste, representada pelos sons que os planetas emitem durante os seus trajetos ao redor do Sol, que expõem a idéia central da *Harmonia do mundo*. Vistas dessa forma, essas duas obras são representantes mais da imaginação criadora de Kepler do que fruto de uma investigação científica, pois a harmonia, contida tanto em uma obra quanto em outra, é considerada como não pertencente ao campo da investigação astronômica.

Porém, tanto a obra de 1596 quanto a de 1618 apresentam elementos que podem fornecer outras formas de entendimento do que é harmonia para Kepler. O conceito de harmonia, assim como o de força, representa, se não a expressão da realidade dos movimentos celestes, a possibilidade de tratar o sistema copernicano como uma expressão da realidade dos movimentos planetários, justamente pelo caráter de sistematicidade e unidade da representação matemática desses movimentos. O conceito de harmonia insere-se no programa de pesquisa de Kepler para construir uma astronomia que elabore um discurso sobre a realidade do mundo cósmico. Longe de ser um conceito ligado diretamente à imaginação, ou à fantasia e desejo, o conceito de harmonia torna-se necessário para a obtenção das leis dos movimentos planetários, quando analisado em relação aos problemas enfrentados por Kepler. A astronomia da época de Kepler, carente ainda da síntese newtoniana representada pela teoria da gravitação universal, refletia uma série de problemas que hoje já não têm mais sentido. Esses problemas foram suscitados pelas postulações heliocêntricas, que trouxeram elementos que não tinham significatividade quando vistos pela ótica do geocentrismo. Nesse sentido, o conceito de harmonia, como um componente metafísico kepleriano, deve ser visto pela ótica das modificações trazidas na organização do espaço celeste pelo copernicanismo, da qual falaremos a seguir.

## 2.2. As hipóteses de Copérnico

A obra de Nicolau Copérnico, *As Revoluções dos orbes celestes*, de 1543, trouxe ao mundo, como já é bem conhecida, a proposta de que a nossa Terra não é o centro do universo, como se acreditava desde a antiguidade, e nem está estática, mas move-se com três tipos de movimentos naturais [Copérnico, N., 1984, cap. XI]: o de rotação sobre o seu eixo num período de 24 horas, movimento esse que produz o dia e a noite; o movimento de translação, responsável pelo trajeto da Terra ao longo do zodíaco, num período de 1 ano; e o movimento cíclico dos equinócios ao longo da eclíptica, com duração de 25.800 anos, chamado de “precessão dos equinócios”. Fora isso, Copérnico posicionou no centro do sistema de movimentos no Sol. Essas propostas, que, em sua forma original, foram vistas como hipóteses, representaram mudanças tanto no âmbito estrito da astronomia quanto da cultura em geral. O impacto do copernicanismo, contudo, não foi sentido na sua maneira mais radical ao longo da segunda metade do dezesseis, mas suscitou e reformulou todos os desenvolvimentos subseqüentes na astronomia e nas ciências mecânicas.

A primeira apresentação dessas hipóteses deu-se na pequena obra de Copérnico, escrita em torno de 1510 e circulada entre amigos do astrônomo, intitulada *Commentariolus: pequeno comentário de Nicolau Copérnico sobre suas próprias hipóteses acerca dos movimentos celestes*. Nesse pequeno tratado, Copérnico apresenta, sem desenvolver, os principais tópicos, ou hipóteses, sobre os movimentos do mundo supra-lunar. Copérnico lista sete exigências, a saber [Copérnico, N., 1984, pp. 103 – 105]:

“**Primeira:** não existe um centro único de todos os orbes celestes ou esferas.

“**Segunda:** o centro da Terra não é o centro do mundo, mas apenas o da gravidade e do orbe lunar.

“**Terceira:** 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.

“**Quarta:** a razão entre a distância do Sol à Terra e à altura do firmamento é menor do que a razão entre o raio da Terra e a sua distância ao Sol; e com muito mais razão esta é insensível confrontada com a altura do firmamento.

“**Quinta:** qualquer movimento aparente no firmamento, não pertence a ele, mas à Terra. Assim a Terra, com os elementos adjacentes, gira em torno dos seus pólos

invariáveis em um movimento rápido, ficando permanentemente imóveis o firmamento e o último céu.

“**Sexta:** 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.

“**Sétima:** 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.”

Essas exigências estipularam coisas interessantes para a astronomia da metade do dezesseis. A primeira elimina as esferas homocêntricas, e neste sentido Copérnico irá nos livros II a VI do *De revolutionibus*, tratar os movimentos por meio de excêntricos com epiciclos; a segunda, retira a Terra do centro do mundo e a terceira posiciona o Sol perto do centro do mundo e determina o movimento de translação da Terra (essa terceira exigência auxiliou a subtrair o caráter físico do sistema original de Copérnico, pois a colocação do Sol perto do centro do mundo permite a suposição de um centro matemático, e não físico); a quarta objetiva dotar o sistema de movimentos (o mundo celeste) de uma grande imensidade, para dar conta das paralaxes estelares; a quinta determina os movimentos de rotação da Terra e da precessão dos equinócios; a sexta repete que a Terra é dotada de movimentos e, finalmente, a sétima elimina os movimentos retrógrados aparentes dos movimentos dos planetas.

O *Commentariolus*, porém, apenas apresentou as principais hipóteses de Copérnico, não houve um tratamento astronômico para a derivação de posicionamentos planetários de um modo mais preciso do que feito pelos modelos geocêntricos. Foi com o *De revolutionibus* que as propostas copernicanas puderam ser apreciadas de uma forma mais próxima aos problemas técnicos da astronomia dessa época.

A obra de 1543 é composta de seis livros. O primeiro livro (até o capítulo XI) pode ser lido como um tratado de cosmologia. As sete exigências do *Commentariolus* voltam a ser postas e são desenvolvidas. Os três primeiros capítulos desse primeiro livro determinam, por argumentos empíricos, que o Universo e a Terra são esféricos e que a Terra forma com a água que a ela pertence um globo. No capítulo IV, Copérnico adere ao axioma de movimentos circulares e uniformes; no quinto, atribui o movimento circular à Terra e considera como plausível determinar o movimento de rotação para a Terra; no sexto

capítulo, o astrônomo polonês trata da imensidade dos céus, para dar conta do problema das paralaxes estelares; o sétimo e o oitavo capítulos tratam dos argumentos tradicionais contra os movimentos da Terra, e a refutação dos mesmos; para Copérnico os movimentos da Terra podem ser vistos como naturais e não como violentos, pois o movimento violento atribuído às suposições heliocêntricas era a principal crítica levantada contra a suposição da Terra dotada de movimentos; os capítulos IX, X e XI do primeiro livro do *De revolutionibus* apresentam o sistema copernicano no seu caráter cosmológico final. Apresenta-se a organização do mundo segundo esta ótica: Sol ao centro, Mercúrio perfazendo um movimento de translação em 80 dias, Vênus em 9 meses, a Terra em um ano, Marte em 2 anos, Júpiter com 12 anos, Saturno em 30 anos, e finalmente, a esfera imóvel das fixas [Copérnico, N., 1984, p. 52]. O principal argumento de Copérnico para compor o cosmo dessa maneira está na possibilidade dessa organização resolver problemas da astronomia dessa época, sendo os principais: a retrogradação, a falta de uniformidade no brilho dos planetas (pois os planetas não apresentavam uma constância nos seus brilhos, o que implicava numa alteração de suas distâncias em relação à Terra durante os seus percursos ao longo do zodíaco).

Se o primeiro livro do *De revolutionibus* foi, num certo sentido, cosmológico, o restante do mesmo (livros II a VI) insere-se plenamente no uso habitual da astronomia do dezesseis, o de compor artificios geométricos para adequar os movimentos observados ao axioma dos movimentos circulares e uniformes. De fato, a parte propriamente cosmológica corresponde a apenas 4% do livro todo, sendo 96% destinados à parte computacional [Gingerich, O., 1975c, p. 102 e 1993, p. 34]. Os livros II a IV tratam dos movimentos da lua e dos planetas, mas sem nenhuma consideração à problemática física que foi delineada no início da obra. O principal motivo pelo qual Copérnico teve que se restringir a um tratamento cinemático na maior parte da obra foi o seu apego ao axioma platônico. Dotar a Terra de movimentos e posicionar o Sol ao centro foi suficiente para resolver o problema dos movimentos retrógrados – do qual falaremos mais abaixo – mas, apenas essas postulações, juntamente com o respeito ao axioma da circularidade e uniformidade, não permitiram o abandono do uso dos artificios geométricos para o tratamento dos movimentos dos planetas no seu todo. A resolução da primeira desigualdade – relativa à não uniformidade entre arcos e tempos de percurso, constatada principalmente pela

alteração na intensidade dos brilhos refletidos pelos planetas – não poderia ser salva apenas com as hipóteses originais de Copérnico; seria necessário um passo a mais, um passo epistemológico: o abandono do axioma platônico e a entrada de considerações físicas para a resolução dos problemas envolvidos na determinação das órbitas planetárias. De qualquer forma, apesar desse procedimento “híbrido”<sup>4</sup> entre cosmologia e astronomia, as propostas copernicanas determinaram novos caminhos para se pensar o cosmo, novas maneiras de se poder pesquisar de um modo distinto da forma tradicional de ver a astronomia<sup>5</sup>. Isso, de um certo modo, prende-se à visão tradicional da astronomia do século dezesseis. Tanto Ptolomeu quanto Copérnico trataram os problemas técnicos da astronomia com base nos mesmos padrões metodológicos e epistemológicos<sup>6</sup>: o método foi em ambos o de “salvar as aparências”, procurando a obtenção dos melhores posicionamentos planetários para a elaboração de tabelas as mais precisas possíveis<sup>7</sup>; epistemologicamente, Copérnico e Ptolomeu seguiram os mesmos caminhos, o de adequar os dados observacionais à crença da circularidade e uniformidade<sup>8</sup>. Em síntese, em relação à astronomia, os trabalhos dos dois podem ser visto tal como caracteriza Gingerich, que afirma [Gingerich, O, 1993, p. 171]:

<sup>4</sup> Na realidade, o que Copérnico fez foi semelhante ao que Ptolomeu fez em astronomia. O primeiro livro do *Almagesto*, trata de pontos cosmológicos, importados da filosofia natural de Aristóteles, ficando reservado, nos doze livros restantes, a um trabalho apenas cinemático, isto é, geométrico, entre a procura de obtenção dos movimentos planetários através do uso de artifícios geométricos, sem considerações físicas. Acerca disso, ver mais a frente neste trabalho, no terceiro capítulo, a astronomia de Ptolomeu.

<sup>5</sup> A questão sobre o que motivou Copérnico a mudar as hipóteses centrais da astronomia é algo de difícil discussão e tratamento, a qual não iremos tratar no presente trabalho. Alguns comentadores, como Ravetz, [Ravetz, J. E., 1966], admitem que Copérnico estava interessado na reformulação do calendário, que, na sua época, apresentava muitas incongruências entre o ano solar e o mês lunar; sob uma ótica diferente, Curtiz Wilson, [Wilson, C., 1975], considera razões técnicas, tal como a da precessão dos equinócios.

<sup>6</sup> Não queremos dizer com isso que o heliocentrismo tem o mesmo estatuto, epistemológico e metodológico, que o geocentrismo, pois o que marca a distinção entre os dois é justamente esses critérios; somente estamos ressaltando que o heliocentrismo de Copérnico, ou o modo pelo qual Copérnico tratou a astronomia, não permitiria uma ruptura com a metodologia e epistemologia da astronomia tradicional. Esse trabalho foi realizado principalmente por Kepler e Galileu ao desenvolverem as hipóteses heliocêntricas.

<sup>7</sup> Um tema importante que deve ser especificado é relativo à equivalência entre os modelos ptolomaicos e o sistema copernicano. À primeira vista poderia parecer que ambos são equivalentes geometricamente, como Hall, [Hall, R., 1983, cap. II] afirma. Por outro lado, Hanson, [Hanson, N. R., 1985, pp. 223 – 261] faz uma extensa argumentação para mostrar que a equivalência em questão não é geométrica, pois a geometria de ambos, pelo fato das hipóteses serem distintas, não chegam aos mesmos resultados, mas observacional. De fato, tanto os modelos ptolomaicos quanto o sistema copernicano tinham a mesma equivalência observacional, cerca de 10' de margem de erro.

<sup>8</sup> É bem verdade que Ptolomeu rompeu com o axioma platônico ao postular o equante, mas, no limite, essa ruptura representou o abandono da procura das causas físicas, mas não rompeu com a procura de órbitas circulares e uniformes a partir de um ponto fictício. Voltaremos a isso no próximo capítulo desta tese, quando falarmos da cosmologia de Kepler.

“A partir das suas próprias observações planetárias, ele [Copérnico] apenas modificou fragilmente as excentricidades de Ptolomeu e as linhas das apsides, e ele melhorou um pouco as meias longitudes, alguma coisa como dar uma melhoria às peças de um relógio, quando o mecanismo todo está com problemas.”

Ou seja, tanto Ptolomeu quanto Copérnico, sob o ponto de vista restrito à astronomia computacional, apresentavam os mesmos problemas, e isso porque as hipóteses copernicanas ligavam-se ao apego incontestado ao axioma platônico e na insuficiência dessas hipóteses para tratar dos aspectos físicos e dinâmicos<sup>9</sup>. Mas se é assim, qual o verdadeiro valor do copernicanismo para o desenvolvimento da astronomia, operada por Kepler e Galileu? Está justamente na cosmologia. São as novas propostas cosmológicas de Copérnico que permitiram os trabalhos subsequentes na astronomia (tais como o desenvolvimento de uma nova física, distinta da aristotélica, e de uma astronomia física) [Krafft, F., 1975 e 1975b].

A compreensão do caráter das hipóteses copernicanas, pelo fato dessas apresentarem uma cosmologia distinta da utilizada pelos geocentristas e, ao mesmo tempo, restringirem-se a um tratamento cinemático, apresenta um duplo movimento de interpretação. Por um lado, pelo ponto de vista eminentemente técnico, astronômico, as hipóteses copernicanas apresentam controvérsias quanto ao seu estatuto epistemológico. Como dissemos acima, o apego ao axioma platônico por parte de Copérnico e, por essa razão, a necessidade de tratar os movimentos planetários por meio dos artifícios geométricos da tradição restringiu uma melhoria no que concerne às questões astronômicas. Mas, por outro lado, quando consideramos o copernicanismo a partir do prisma cosmológico, o tratamento, ou a abertura, suscitado pelas hipóteses de centralidade do Sol e

---

<sup>9</sup> Isso fica claro quando vemos o papel do Sol no sistema de Copérnico em relação ao Sol na astronomia física de Kepler; para o último, como vimos no capítulo anterior, o Sol não apenas ocupa o centro físico do mundo como também é a fonte motriz de movimentos. Para Copérnico, além do corpo físico do Sol não ser propriamente o centro do sistema de movimentos, a sua função é mais arquitetônica do que fonte de movimentos, pois ele nos diz sobre o Sol, [Copérnico, N., 1984, cap. 1, pp. 52 – 53]: “No meio de todos encontra-se o Sol. Ora quem haveria de colocar neste templo, belo entre os mais belos, um tal luzeiro em qualquer outro lugar melhor donde ele pode alumiar todas as coisas ao mesmo tempo? Na verdade, não sem razão, foi ele chamado o farol do mundo por uns e por outros a sua mente, chegando alguns a chamar-lhe o seu Governador.” É bem verdade que Kepler também utilizou metáforas sobre o Sol, principalmente as relativas à Santíssima Trindade; mas, por outro lado, o astrônomo alemão sai da retórica e procurou dotar o Sol como um componente dinâmico, procurando justificar os movimentos planetários observados por meio da hipótese da ação do Sol como o responsável pelos planetas perfazerem relações entre tempos, velocidades em função das suas distâncias aos planetas.

dos movimentos da Terra possibilitaram tratar o cosmo sob o ponto de vista de um sistema. Acerca disso, Copérnico é explícito, quando nos diz no prefácio, dedicado ao Papa Paulo III, de sua principal obra [Copérnico, N., 1984, p. 7 - 8]:

“(…) É que em primeiro lugar eles [os adeptos dos modelos ptolomaicos] se encontram de tal maneira inseguros quanto aos movimentos do Sol e da Lua que nem a duração regular do ano corrente são capazes de explicar e formular.

“(…) E em segundo lugar, ao determinarem os movimentos das esferas do Universo e dos cinco planetas não usam até dos mesmos princípios e premissas que nas demonstrações dos movimentos e revoluções aparentes. Com efeito, uns apenas se servem de círculos concêntricos e outros de círculos excêntricos e de epiciclos com os quais, porém, não atingem completamente o que pretendem (...) Também não conseguiram descobrir ou concluir a partir desses círculos um fato de mais interesse, ou seja, a forma do Universo e a justa simetria das suas partes, mas aconteceu-lhes como a alguém que fosse buscar a diferentes pés, cabeças e outros membros, perfeitamente apresentados, sem dúvida, mas sem formarem um corpo uno, e sem qualquer espécie de correspondência mútua entre si, de tal maneira que resultaria deles mais um monstro do que um homem.”

A imagem forte de “um monstro” para a organização geocêntrica dos antigos não deve ser vista apenas como um recurso lingüístico para a persuasão sobre a superioridade da organização heliocêntrica. O sentido de “monstro”, quando comparado ao “corpo humano” (que implicitamente representa as novas propostas de Copérnico) é elucidativo, pois sintetiza a falta de unidade dos modelos geocêntricos. Os modelos que seguiam o estipulado pelo axioma platônico e que admitiam a centralidade da Terra e o movimento do Sol viram-se obrigados a representar com modelos particulares os movimentos de cada planeta, sem relacioná-los ao conjunto, isto é, ao sistema no seu todo. Nesse sentido, os movimentos, digamos, de Vênus, eram estudados, esquematicamente, a partir das seguintes etapas: coletar as observações dos movimentos desse planeta ao longo da eclíptica; anotar os pontos em que esses movimentos não se apresentam como circulares e uniformes (ou seja, quando o planeta apresenta, por exemplo, retrogradação ou variações nas suas velocidades); a tentativa de reconstrução das anomalias segundo os artifícios (excêntricos, deferente, epiciclos e equantes, etc.) com o intuito de, isoladamente (para cada anomalia), compor (representar) os movimentos como circulares e uniformes ou compostos dos

mesmos; assim, tínhamos uma representação para os movimentos retrógrados e outra para os movimentos não uniformes; e, principalmente, isso tudo apenas para Vênus, pois não havia (e nem haveria razão para supor tal coisa em tal maquinaria) relação alguma dos movimentos de Vênus com Marte, Mercúrio, Júpiter etc. Assim, segundo a imagem do “monstro”, usada por Copérnico no prefácio, cada representação dos movimentos de um planeta específico, pode ser os “pés”, as “mãos”, a “cabeça”, as “pernas” etc., mas sem que essas partes tenham relação alguma entre si (no caso do sistema de movimentos planetários, dos planetas entre si), e com o todo (o sistema inteiro).

Com as novas hipóteses heliocêntricas, por outro lado, temos a possibilidade de criar um corpo organizado. Posicionar o Sol no centro e dotar a Terra de movimentos permitem, logo de saída, dar conta da segunda irregularidade, a do movimento de retrogradação. Isso fica claro quando analisamos a figura abaixo<sup>10</sup>.

---

<sup>10</sup> Figura extraída de Hanson, [Hanson, N. R., 1985, p. 206].

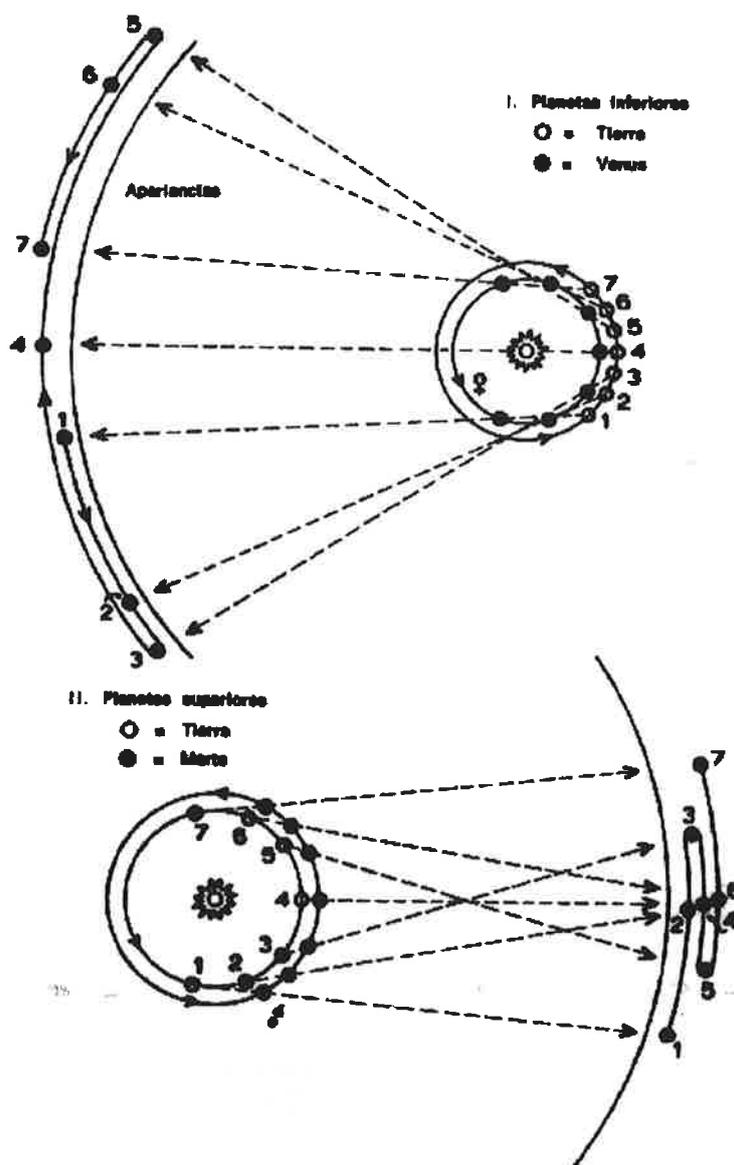


Figura 5: os movimentos aparentemente retrógrados e as suas resoluções realistas

A figura mostra os movimentos aparentes de retrogradação para os planetas inferiores (Mercúrio e Vênus) na parte superior, e para os planetas superiores (Marte, Júpiter e Saturno), na parte inferior da figura. Pela ótica geocêntrica, ocorre retrogradação (quando, nos planetas inferiores, Vênus, como no exemplo, perfaz um movimento para a frente, pára no ponto 3, volta, pára novamente no ponto 5, e retorna ao seu movimento

inicial até o ponto 7. Para Marte, o planeta superior analisado pela figura, as retrogradações são menores) porque isso é fruto da suposição de que a Terra está no centro, o que gera a aparência de que esses movimentos são retrógrados. Com a colocação do Sol no centro e dos movimentos da Terra, não temos mais retrogradações, mas a relatividade entre os movimentos da Terra com os planetas e com as alterações nas distâncias entre esses planetas.

O que é fundamental nisso é que Copérnico pôde: 1) representar sob o ponto de vista realista os movimentos de retrogradação, mostrando que não ocorre retrogradação, mas variações nas velocidades e distâncias dos planetas entre si; 2) como fruto disso, Copérnico trata essa questão pela ótica da unidade, isto é, da integração e relação dos planetas entre si e com o todo [Lacey, H. M., 1979]. Porém, Copérnico, quando tratou da primeira irregularidade, viu-se, principalmente pelo seu apego ao axioma platônico, obrigado a utilizar os mesmos expedientes da astronomia de sua época (excêntricos, epiciclos e deferentes)<sup>11</sup>.

Tanto as hipóteses de centralidade da Terra e movimento do Sol de Ptolomeu quanto as de centralidade do Sol e movimentos da Terra de Copérnico tinham concepções distintas da ordem cósmica. Nos modelos ptolomaicos não entravam em consideração certas preocupações que fazem parte do sistema copernicano, como no caso da integração e relação dos movimentos num sistema harmonioso entre partes e todo. Representar os movimentos segundo o modo ptolomaico, ou geocêntrico, representava uma postura distinta da de representar os movimentos pela postura heliocêntrica, pois os problemas envolvidos eram de naturezas distintas.

A diferença entre o geocentrismo e o heliocentrismo estava que nos modelos geocêntricos não era necessário o tratamento de questões referentes à interligação dos movimentos dos vários planetas entre si, mas no heliocentrismo, por seu lado, tais problemas vêm à tona e tornam-se fundamentais para a sua justificação; é justamente com a organização do espaço tal como postulou Copérnico que a astronomia pôde adquirir uma roupagem mais próxima às necessidades exigidas pela dinâmica.

---

<sup>11</sup> Alguns comentadores, como Cohen, [Cohen, I. B., 1985], não notam que a importância de Copérnico está na cosmologia, e não somente na astronomia. Sobre a importância da cosmologia de Copérnico para a cosmologia e para o próprio Kepler, consultar Costabel, [Costabel, P., 1975]; Hayli, [Hayli, A., 1975]; Krafft, [Krafft, F., 1975] e Stahlman, [Stahlman, W. D., 1975].

As questões harmônicas<sup>12</sup> em astronomia, tais como foram tratadas e desenvolvidas por Kepler, adquirem significado quando se postula o Sol central, e os movimentos da Terra, e é justamente nesse aspecto que o conceito de harmonia mostrar-se-á necessário para a justificação do copernicanismo. Dessa maneira, o conceito de harmonia, quando visto como um elemento básico para a defesa do copernicanismo, torna-se importante para o desenvolvimento e justificação da postura heliocêntrica em astronomia.

O espaço heliocêntrico foi fundamental para Kepler poder desenvolver a sua astronomia e cosmologia. Como veremos, no restante do capítulo, os desenvolvimentos do conceito de harmonia celeste se deram porque existe um espaço homogêneo que fornece as possibilidades de relacionar os movimentos dos planetas entre si e com todo o sistema. A idéia de unidade subjacente às propostas copernicanas abriu as portas para Kepler poder elaborar uma parte considerável de sua metafísica. Visto que o espaço heliocêntrico é apto a poder falar da realidade dos fenômenos celestes – pois, agora podemos considerar os corpos planetários como físicos e estipular as suas relações, que são matemáticas (isto é, o copernicanismo permitiu a Kepler tratar a astronomia por meio da noção de “causalidade”), a astronomia pôde aumentar o seu campo de atuação.

### **2.3. A Harmonia no *Mysterium cosmographicum***

O copernicanismo forneceu a Kepler as condições básicas para desenvolver seu conceito de harmonia; essas condições são, principalmente, a de sistematicidade e a unidade da representação matemática dos movimentos planetários. O copernicanismo, como procuramos mostrar na seção anterior, organiza os corpos num espaço distinto do espaço geocêntrico; as disposições dos corpos celestes expressam pontencialmente, segundo a ótica copernicana, as possíveis relações entre os componentes reais que subjazem aos movimentos planetários. Neste sentido, considerar que o Sol está no centro e a Terra se move ao seu redor da mesma forma que se movem os outros planetas é fornecer uma cosmologia que sistematiza os elementos (astros e planetas) num corpo organizado, numa unidade, de maneira que, com isso, temos três ganhos básicos para serem explorados:

---

<sup>12</sup> O que queremos dizer com isso não é que nos modelos geocêntricos não se procuravam regularidades, mas não era necessário conjugar os movimentos dos planetas entre si, as regularidades eram dadas nos modelos de cada planeta isoladamente.

1) não é necessário restringir-se a modelos isolados, como era o caso dos modelos ptolomaicos, mas pode-se integrar os movimentos de todos os planetas – que é a melhor expressão da sistematicidade que subjaz às propostas copernicanas; 2) é possível, com esse tratamento, considerar os componentes físicos envolvidos nos movimentos planetários; 3) a sistematicidade e unidade trazidas pelo copernicanismo podem ser representadas matematicamente, de modo a descobrir-se as leis dos movimentos planetários. Esses três itens foram desenvolvidos pelo conceito de harmonia kepleriano; da obra de 1596, o *Mysterium cosmographicum*, até a de 1618, a *Harmonia do mundo*, o conceito de harmonia procurou expressar a sistematização e unidade presentes nas hipóteses de Copérnico.

Quando lemos o *Mysterium cosmographicum*, encontramos elementos básicos para a compreensão do conceito de harmonia, desenvolvido nas obras que se seguirão. Muitas coisas dessa obra são vistas como pertencentes a possíveis ligações de Kepler com as tradições do misticismo ou da astrologia. Por outro lado, contudo, podemos encontrar nessa mesma obra elementos que não podem ser vistos como ligados exclusivamente a essas tradições herméticas, mas que pertencem à forma impar pela qual Kepler construiu a sua astronomia e cosmologia num corpo integrado e que, principalmente, expressam elementos de racionalidade. Não queremos dizer com isso que não há nessa obra elementos ligados à tradição astrológica ou mística. Existem, e muitos, principalmente no uso de termos tais como “simpatia”, “corpos parentes” etc., mas o que desejamos salientar é que, no interior do procedimento kepleriano para a astronomia, principalmente o relativo às três leis dos movimentos planetários, esses termos sofrem uma modificação, deixando de ter um caráter eminentemente hermético. Em outras palavras, podemos dizer que Kepler operou uma mudança conceitual nos termos utilizados pela astrologia.

Logo no primeiro capítulo dessa obra, após ter apresentado no prefácio ao leitor as primeiras idéias que o levaram a admitir que o universo foi criado pela inscrição e circunscrição dos sólidos regulares nas esferas das órbitas dos planetas, Kepler apresenta alguns critérios epistemológicos<sup>13</sup> que o levaram a considerar o copernicanismo como superior ao modelo ptolomaico. Segundo ele [Kepler, J., G. W., I, pp. 14 – 15]:

---

<sup>13</sup> Na realidade, os critérios que Kepler apresenta no primeiro capítulo do *Mysterium cosmographicum*, que objetivam mostrar a superioridade do heliocentrismo sobre o geocentrismo, já eram conhecidos desde a antigüidade, tais como a concordância com as observações e a simplicidade que uma teoria tem sobre outra. O que é relevante com Kepler é a estipulação do critério acerca das causas dos movimentos planetários, algo não comum na astronomia de sua época.

“Sobre esse assunto, então, não fiquei prevenido por qualquer escrúpulo religioso sobre a consistência do que Copérnico diz em sua teoria. Minha confiabilidade em Copérnico foi estabelecida primeiramente pela magnífica concordância de tudo que é observado nos céus com a sua teoria, visto que ele não apenas derivou os movimentos passados os quais foram obtidos desde as mais remotas observações da antiguidade, mas também prediz movimentos futuros, não de fato com uma grande certeza, mas com mais certeza que Ptolomeu, Alfonso e o restante. Entretanto, o que é mais importante do que tudo isso é que, para as coisas que os outros deram como milagres, apenas Copérnico magnificamente deu razões, e removeu as causas dos milagres, as quais não são causas conhecidas.”<sup>14</sup>

Podemos notar vários pontos interessantes nessa passagem do livro de 1596. Temos critérios para a aceitação do copernicanismo, tanto pela concordância com as observações, determinando as dos movimentos já observados, quanto dos que se darão. Mas, de uma certa forma, procurar alicerçar a aceitação das hipóteses heliocêntricas na correspondência com os fatos, com as observações, não é algo frutífero, pois a sua certeza não é conclusiva. Apenas o caráter empírico não garante a escolha de teorias astronômicas. Em outras palavras, a concordância com as observações não é critério suficiente para a aceitação do sistema de Copérnico como superior aos modelos de Ptolomeu. Faz-se necessário, como diz Kepler, investigar em que sentido, tanto uma teoria quanto outra, dão conta da explicação dos movimentos planetários. Dessa investigação, Kepler erigirá a sua defesa do copernicanismo (*Mysterium cosmographicum*, cap. 1), por ele remover a referência a causas milagrosas que seriam responsáveis pelos planetas moverem-se em torno do Sol da maneira pela qual nós os observamos. Para Kepler, os movimentos dão-se de modo regular - no sentido de que são determinados por suas leis - pela ação física do Sol nos planetas, ou seja, pela força exercida por esse astro nos corpos planetários, mas, como veremos mais à frente, o papel da harmonia torna-se primordial, pois ela ensejará a postulação de que os

---

<sup>14</sup> “Cum igitur hac in parte nulla religione impedirer, quo minus Copernicum, si consentanea diceret, audirem: primam fidem mihi fecit illa pulcherrima omnium, quae in coelo apparent, cum placitis Copernici consensio: ut qui non solum motus praeteritos ex ultima antiquitate repetitos demonstraret, sed etiam futuris antea, non quidem certissime, sed tamen longe certius, quam Ptolemaeus, Alphosus, et caeteri, diceret. Illud autem longe maius, quod quae ex aliis mirati discimus, eorum solus Copernicus pulcherrime rationem reddit, causamque admirationis, quae ignoratio causarum, tollit.”

movimentos podem se dar por meio de uma ação física, que implica na regularidade dos movimentos.

A cosmologia kepleriana exposta no *Mysterium cosmographicum* é o alicerce de toda a sua concepção sobre o cosmo; as suas obras subseqüentes desenvolveram e refinaram conceitos sobre a constituição cósmica elaborada em 1596, enriquecendo o seu conteúdo, mas a base metafísica, tão importante para a elaboração da teoria kepleriana dos movimentos planetários, já encontra-se presente no *Mysterium cosmographicum*. Isso fica evidente quando lemos o capítulo II dessa obra, no qual Kepler trata da constituição do cosmo sob o ponto de vista da possibilidade de conhecê-lo por meio de uma análise quantitativa da matéria. Assim, afirma Kepler [Kepler, J. G. W., I, p. 23]:

“Foi a matéria que Deus criou no começo de tudo, e se nós conhecermos a definição de matéria, ficará claro a nós porque ele a criou antes de todas as outras coisas. Eu penso que Deus tinha em mente a quantidade. Para realizar o seus objetivos, ele dotou a matéria de todas as coisas que fazem a sua essência; e a quantidade é a forma da matéria, enquanto corpo, e a fonte da sua definição.”<sup>15</sup>

O mundo celeste kepleriano tem como constituinte básico a matéria, da qual podemos extrair a sua forma, apta a ser entendida pelo entendimento humano via a quantidade, ou seja, no universo celeste de Kepler, a matéria presente - que pode ser vista como os planetas, o Sol, e os movimentos como fruto da ação do último nos primeiros e, subseqüentemente, no *Epítome* (Livro IV), como os constituintes físicos da matéria dos corpos planetários, tais como volume, densidade etc. - é um constituinte acessível ao entendimento humano por podermos obter a sua linguagem, que é a das quantidades, da aritmética e da geometria. Se tivermos conhecimento da forma da matéria - que no limite é a forma das figuras geométricas, que podem ser inteligíveis ao intelecto humano -, teremos a possibilidade de traduzir, de descrever, os movimentos planetários. Todo o trabalho seguinte de Kepler, a obtenção da lei da forma elíptica, da lei das áreas e da lei harmônica é, fundamentalmente, a tradução dos movimentos observados numa linguagem universal

<sup>15</sup> “Corpus erat it, quod initio Deus creavit: cuius definitionem si habeamus, existimo mediocriter clarum fore, cur initio corpus non aliam rem Deus creaverit. Dico quantitatem Deo fuisse propositam: ad quam obtinendam omnibus opus fuit, quae ad corporis essentiam pertinent: ut ita quantitas corporis, quatenus corpus, quaedam forma. Definitionisque origo sit.”

que os quantifica, que traduz os fenômenos, os movimentos considerados irregulares pela astronomia presa ao axioma platônico, numa linguagem matemática que exprime as regularidades que existem além do alcance da visão. O universo de Kepler é, tal como o de Galileu, escrito em linguagem matemática, o que lhe permite investigar e descrever a estrutura dada pelo Criador ao mundo celeste, [Kepler, J. G. W., p. 24]:

“Agora vejamos de que modo o melhor dos Criadores usou essas quantidades [formas geométricas] na estrutura do universo; (...) e poderemos pesquisar [via essa estrutura] tanto as antigas e as novas hipóteses, e lhes atribuamos o resultado, em poder do qual se acha aquela coisa.”<sup>16</sup>

Se temos em nosso poder os caracteres para descrever o universo, que no caso para Kepler são dados pela linguagem matemática, podemos investigar as hipóteses que se levantam acerca da estrutura correta do universo<sup>17</sup>, implicando que se pode analisar e testar tanto os modelos de Ptolomeu quanto o sistema de Copérnico. Nesse sentido, apenas a concordância com as observações, como dissemos acima, não fornece um critério suficiente para escolher entre Ptolomeu e Copérnico, ou mesmo entre esses e Brahe; faz-se necessário, segundo Kepler (como, por exemplo, *Astronomia nova*, segunda parte), utilizar uma linguagem que permita a escolha das hipóteses, uma forma de se obter a tradução do que ocorre nos céus de modo que as teorias apresentadas tenham um componente que lhes seja comum; deve-se ter um guia para testes seguros para a escolha. Em outras palavras, a astronomia que começa a ser desenhada por Kepler em 1596 já expressa, sem desenvolver ainda, as potencialidades conceituais suscitadas pelo copernicanismo: para a compreensão do cosmo heliocêntrico, faz-se necessário utilizar os dados empíricos, que no caso da astronomia são dos dados de observação, como dependentes da teoria à qual esses pertencem; apenas os dados observacionais, por si só, não garantem a compreensão do

<sup>16</sup> “Videamus modo, equomodo creator optimus has quantitates in mundi fabrica adhibuerit (...) ut illud postea, cum in Antiquis, tum in nouis hypothesis quaeramus, eique palmam tribuamus, penes quem illud reperietur.”

<sup>17</sup> Como veremos no capítulo quarto desta tese, dedicado aos aspectos epistemológicos e metodológicos da astronomia kepleriana, a possibilidade do intelecto humano obter a verdade do mundo celeste com base na linguagem geométrica permite, entre outras coisas, tratar das hipóteses astronômicas de um modo distinto da forma que era utilizada pela astronomia anterior a de Kepler. As hipóteses passam a ser expressões do mundo físico, que pode ser quantificado, e não são mais vistas como expedientes para adequar os movimentos planetários observados ao axioma de circularidade e uniformidade.

universo copernicano – na verdade, refuta-os; os dados observacionais só são garantidos quando eles são interpretados à luz dos conceitos (que para Kepler serão os de força e harmonia) que são construídos para dar inteligibilidade aos fenômenos<sup>18</sup>. Nesse sentido, a astronomia e a cosmologia kepleriana dependem da sua metafísica, dos seus conceitos de força e harmonia, algo que extrapola o reino da observação.

A estrutura celeste elaborada por Kepler no *Mysterium cosmographicum* constitui na inscrição e circunscrição dos cinco sólidos perfeitos (cubo, tetraedro, dodecaedro, octaedro e icosaedro) nas órbitas dos seis planetas conhecidos em sua época (Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter e Saturno), de maneira que todos os vértices de cada sólido “tocassem” as esferas de cada uma das órbitas. O desenvolvimento é feito nos capítulos III a VIII. Segundo Kepler, o seu primeiro modelo descritivo se estabelece da seguinte forma [Kepler, J., G. W., I, p. 13]:

“(…) A terra está no círculo que serve de medida para todo o trabalho. Construir um dodecaedro ao redor dela. O círculo envolvendo-o deve ser o de Marte. Ao redor de Marte construir um tetraedro. O círculo que o envolve deve ser o de Júpiter. Ao redor desse, construir um cubo. O círculo envolvendo-o deve ser o de Saturno. Depois, construir um icosaedro dentro da órbita da Terra. O círculo inscrito nele é o de Vênus. Dentro da esfera de Vênus construir um octaedro. O círculo inscrito nele deve ser o de Mercúrio. Assim, pode-se ter a explicação do porque do número de planetas existentes.”<sup>19</sup>

A figura que contém essa estrutura cósmica é a seguinte:

<sup>18</sup> Abrantes [Abrantes, P., 1998, p. 55], escreve “(...) o que se observa num quadro experimental é o resultado de uma exploração – via de regra guiada por uma hipótese ou teoria – em que o experimentador intervém causando, produzindo ou gerando fenômenos que seriam inobserváveis sem ‘artifício’, ou seja, em condições normalmente presentes na natureza. (...) A observação sempre envolve uma atividade cognitiva do sujeito, que orienta sua atenção para certos aspectos do fenômeno, ou certo domínios de fenômenos, em função de seus interesses, expectativas, pressupostos teóricos etc.” No caso de Kepler, os dados observacionais devem ser tratados tendo as hipóteses copernicanas como pressuposto teórico e, além disso, as suas teses metafísicas de harmonia e dinâmica; sem essas admissões – que estão fora do âmbito puramente empírico – não há como entender a construção astronômica e cosmológica elaborada para a justificação do mundo heliocêntrico.

<sup>19</sup> “Terrae est Circulus mensor omnium: Illi circumscribe Dodecaedron: Circulus hoc comprehendens erit mars. Marti circumscribe tetraedron: Circulus hoc comprehendens erit Iupiter. Ioui circumscribe Cubum: Circulus hunc comprehendens erit Saturnus. Iam terrae inscribe Icosaedron: illi inscriptus Circulus erit Venus. Veneri inscribe Octaedron: Illi inscriptus Circulus erit Mercurius. Habes rationem numeri planetarum.”

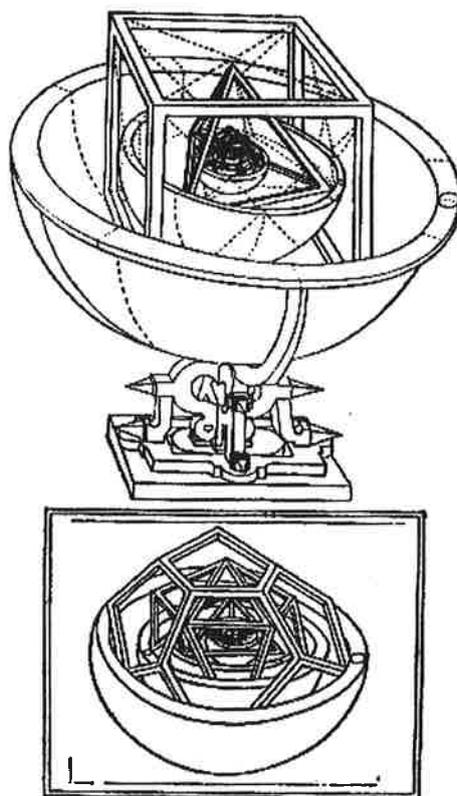


Figura 6: o modelo kepleriano dos sólidos perfeitos.  
Os cinco sólidos perfeitos estão inscritos e circunscritos nas esferas das órbitas dos seis planetas<sup>20</sup>

Porém, não iremos deter-nos nos aspectos técnicos desse desenvolvimento<sup>21</sup>, algo que foge aos nossos propósitos e, principalmente, não é o conteúdo básico contido na obra de 1596 para a obtenção das leis dos movimentos planetários.

Na realidade, assim agimos porque a inscrição e circunscrição dos cinco sólidos nas órbitas das esferas dos planetas como a representação da realidade do mundo celeste não foi o ponto principal do *Mysterium cosmographicum*, apesar de muitas interpretações acerca da obra de Kepler assim o considerarem, como Abetti, [Abetti, G., 1975]. Uma prova, não conclusiva, que pode indicar a função da hipótese dos sólidos perfeitos está na origem da

<sup>20</sup> Figura extraída de Kepler, [Kepler, J., G. W., I].

<sup>21</sup> Para o leitor interessado na maneira pela qual Kepler inscreve e circunscribe os sólidos nas esferas, existem várias referências, em especial Koyré, [Koyré, A., 1961] e Simon, [Simon, G., 1979].

utilização dessa hipótese: Kepler a utilizou para obter as razões do por que existem apenas seis planetas (admitindo-se o copernicanismo); o tamanho do mundo celeste; e por que os movimentos se dão da forma na qual os observamos, segundo Kepler [Kepler, J., G. W., I, p. 9]:

“Existem três coisas em particular que eu persistentemente persigo as razões pelas quais elas são de tais modos e não de outros: o número [dos planetas], o tamanho e o movimento dos círculos. O meu desafio deve muito à esplêndida harmonia entre as coisas que estão em repouso, o Sol, as estrelas fixas e o espaço intermediário, idênticos ao Pai, ao Filho e ao Espírito Santo.”<sup>22</sup>

Isto é, as preocupações básicas de Kepler são as de, conforme a passagem exposta acima, determinar a estrutura harmônica do mundo e o por que essa estrutura é dessa forma, sendo que a hipótese dos sólidos perfeitos é uma tentativa, isto é, apenas uma hipótese, para se obter tal estrutura. O que é básico é a crença de que o universo é harmônico.

Podemos ver a hipótese dos sólidos perfeitos, desse modo, como sendo, diferentemente do que se acredita às vezes, apenas como uma hipótese de trabalho, ou um argumento por analogia, para afirmar que o cosmo é de fato harmônico<sup>23</sup>. Segundo as palavras de Kepler acerca do uso dos sólidos perfeitos em astronomia [Kepler, J., G. W. I, pp. 34 – 35]:

“Terei novamente os físicos contra mim agora, porque eu deduzi as propriedades naturais dos planetas a partir de coisas imateriais e figuras matemáticas, e, além disso, porque ousei investigar as origens dos círculos por seções imaginariamente. Procuo responder do seguinte modo: que Deus, o criador, visto que ele tinha em mente (...) atribuir possibilidades [para se dar conta dos movimentos planetários] e autorizou o círculo [para representá-los]. E visto que Ele nada fez sem absoluta

<sup>22</sup> “Et tria potissimum erant, quorum ego causas, cur ita, non aliter essent, pertinaciter quaerebam, Numeros, Quantitas, et Motus Orbium. Ut hoc auderem effecit illa pulchra quiescentium harmonia, Solis, fixarum et intermedii, cum Deo Patre, et Filio et S. Spiritu.”

<sup>23</sup> Isso ficará mais claro adiante, quando vimos a harmonia na obra *Harmonia do mundo*, na qual a admissão por parte de Kepler de que o mundo contém uma estrutura harmônica musical é vista como uma analogia para a compreensão da verdadeira estrutura harmônica presente no mundo.

razão, e nada existe exceto por seu desejo, então digam-me os meus adversários que outras razões Deus tinha, se nada existe exceto pela quantidade?”<sup>24</sup>

As palavras de Kepler acima devem ser analisadas mais detidamente. De fato, elas não afirmam de um modo conclusivo que não existem sólidos no mundo supra-lunar, mas a sua aplicação pode levar a uma tal interpretação. Considerando que a quantidade é a expressão da forma da matéria, de maneira a ser possível quantificar os fenômenos que ocorrem no mundo celeste, podemos descrever corretamente as modificações nos percursos siderais dos planetas, as figuras matemáticas são utilizadas para dar inteligibilidade aos movimentos planetários. Se o objetivo básico de Kepler é representar a estrutura harmônica presente no mundo celeste, utilizando-se, para tanto, da redução da matéria à sua forma, quantificando-a, então podemos dizer que é plausível o uso de figuras sólidas como artificios instrumentais para a quantificação do cosmo. A metafísica kepleriana considera o círculo, tal como está na citação acima, a figura mais perfeita de todas, e, ainda estamos nas admissões metafísicas de Kepler, se Deus dotou o universo com uma forma circular, então o intelecto humano, por poder representar e pensar o círculo e as secções que se podem fazer nele, pode representar matematicamente o universo<sup>25</sup>. Dessa maneira, pode ser plausível pensarmos os sólidos perfeitos como uma analogia.

Neste sentido, o que é real para Kepler é a estrutura harmônica que subjaz aos fenômenos celestes; é real a existência de regularidades em tais fenômenos. Mas, por outro lado, a hipótese dos sólidos perfeitos pode ser vista como um procedimento, e talvez preso aos artificios da astronomia instrumentalista de sua época, para obter-se a representação dessa estrutura harmônica real.

<sup>24</sup> “Infestos in his capitibus habeo physicos, propterea, quod naturales planetarum proprietates ex rubis immaterialibus et figuris mathematicis deduxi, porro vero etiam ex nuda imaginatione sectionum quarundam origines circularum inuestigare audeam. His paucis responsum volo: quod Creator Deus, cum mens sit, et quae vult faciat, (...) et designandis circulis ad res vel sine materia vel imaginatione constantes respiciat. Et cum nihil velit ille, nisi summa cum ratione, nihilque praeter eius voluntatem extiterit: dicant igitur Aduersarii, quatenus aliae rationes Deo fuerint aptandarum virium, etc. cum praeter quantitates nihil esset?”

<sup>25</sup> Não podemos esquecer que em 1596 Kepler não tinha ainda elaborado nenhuma das suas leis dos movimentos planetários, o que implica que ele não conhecia a órbita elíptica; daí o seu apego ao círculo, como, aliás, era o respeito de qualquer astrônomo ou cosmólogo dessa época por essa figura. O que é interessante nisso, é que Kepler, quando descobriu a forma elíptica das órbitas dos planetas, não a rejeitou em benefício do círculo. Daí podermos extrair o respeito kepleriano pela procura da verdade física, juntamente com a procura da expressão matemática dessa realidade.

Kepler procurou, com a hipótese dos sólidos perfeitos, duas coisas: testá-la e, se fosse corroborada, obter as distâncias dos planetas ao Sol. Assim, ele nos diz no capítulo XIII do *Mysterium cosmographicum* [Kepler, J. G. W. I, p. 43]:

“(...)Vamos agora considerar as distâncias entre as esferas astronômicas e as suas derivações geométricas: se elas não concordarem, todo este trabalho foi uma ilusão.”<sup>26</sup>

O uso dos sólidos perfeitos torna-se, como dissemos, um procedimento analógico para conjugar as distâncias dos planetas ao centro de movimentos, o Sol real. Como os sólidos são figuras geométricas, pode-se, por eles, investigar as relações entre os componentes físicos dos movimentos planetários, tal como a alteração nas distâncias. Kepler chegou a resultados que se aproximavam dos obtidos por Copérnico, mas que não o satisfizeram plenamente, pois, em relação à determinação de tabelas sobre os movimentos planetários, concordar com os resultados obtidos pelo sistema de Copérnico não representava muito, visto que a precisão entre as tabelas baseadas nas hipóteses copernicanas e as hipóteses geocêntricas era praticamente a mesma.

Porém, o tratamento dado por Kepler trouxe algo muito importante para o desenvolvimento do seu trabalho, relativo à necessidade de tratar a astronomia a partir de princípios físicos.

A hipótese dos sólidos perfeitos tinha como uma de suas principais funções auxiliar na obtenção das distâncias dos planetas ao Sol e entre si. Os modelos geocêntricos, em especial os de Ptolomeu, determinavam as distâncias através das alterações angulares dos arcos de percurso. Com Copérnico, de uma outra forma, pode-se calcular as distâncias dos planetas mediante os raios vetores que se podem obter nos movimentos ao longo do espaço. O problema era que Copérnico utilizava-se do princípio da circularidade e uniformidade, aceitando, portanto, que os tempos de percurso (de um arco de circunferência, por exemplo) são proporcionais às distâncias do planeta ao centro de movimentos; isso acarretava em velocidades idênticas para cada percurso, o que de fato não ocorre. Kepler não aceitou, subsequente, na *Astronomia nova* e na *Harmonia do mundo*, a relação simples entre

<sup>26</sup> “(...) Transeamus modo ad orbium Astronomiae et demonstrationes Geometricas: quae nisi consentiant, procul dubio omnem praecedentem operam luserimus.”

distância e tempo, de modo que se fez necessário investigar as mudanças de velocidades, que no fundo retira dos movimentos a adequação à uniformidade. Acerca disso, escreve Koyré [Koyré, A, 1961, p. 151]:

“(…) Mas o princípio em questão [a proporcionalidade entre distância e tempo] é incompleto, e a explicação proposta, que implica que os planetas se movem com velocidades (orbitais) iguais e que, portanto, as forças motrizes que os movem são iguais, não corresponde aos fatos: os tempos de revolução não são simplesmente proporcionais às distâncias, mas se afastam muito.(…) De onde se segue que não são somente as distâncias a percorrer que variam com o afastamento do centro, mas também as velocidades com as quais eles [planetas] percorrem.”

Isto é, o componente velocidade é de capital importância para a obtenção da teoria dos movimentos planetários. Kepler desenvolverá a sua astronomia tendo em vista a procura da determinação das relações que ocorrem de fato no mundo celeste, de maneira que as alterações nos percursos de movimentos ocasionadas pela ação solar nos planetas implicam as variações nas suas velocidades. Os resultados mais significativos sobre as relações entre tempos, distâncias e velocidades dos planetas, serão obtidos na *Harmonia do mundo*.

#### **2.4. A Harmonia vista na *Harmonia do mundo***

Em 1618, após ter descoberto as suas duas primeiras leis dos movimentos planetários, Kepler publica o seu livro *Harmonia do mundo*, no qual apresenta a terceira lei, a lei harmônica, e desenvolve o conceito de harmonia na forma mais significativa, quando ele obtém o estatuto de elemento operacionalizador dos constituintes físicos dos movimentos planetários, dispostos no espaço dado pelo copernicanismo.

A *Harmonia do mundo* é uma das obras astronômicas mais difíceis de Kepler – talvez só suplantada em grau de dificuldade pela *Astronomia nova*. A sua importância é vista principalmente por apresentar a terceira lei e, também, por ser uma obra voltada para aspectos astrológicos e místicos. O interesse dado tanto por especialistas na história da astronomia quanto pelos filósofos da ciência por esse trabalho de 1618 é menor que o dado

à *Astronomia nova*, implicando poucos estudos acerca do seu conteúdo por parte dos comentadores de Kepler e da ciência moderna<sup>27</sup>, descaracterizando-a em alguns aspectos relevantes para a compreensão do papel da harmonia na obtenção das leis.

A obra é composta de cinco partes. As três primeiras, que não nos interessarão neste trabalho, dão conta dos princípios da composição harmônica do mundo, analisando os aspectos geométricos envolvidos nas figuras sólidas e suas relações. Na verdade, o ponto básico contido nessas três primeiras partes refere-se à estipulação da tese metafísica central kepleriana de que o mundo, e em especial o mundo celeste, tem uma estrutura harmônica subjacente aos seus fenômenos e, principalmente, essa estrutura pode ser conhecida pelo intelecto humano. Kepler retoma e esmiúça, no início da primeira parte da *Harmonia do mundo*, as suas teses metafísicas que foram esboçadas no *Mysterium cosmographicum*, que procuraram argumentar que o mundo pode ser conhecido por meio das suas quantidades, isto é, o projeto que, como vimos, procura obter a forma da matéria por meio da transformação dessa em figuras geométricas. Para tanto, as quantidades devem ser entendidas a partir da decomposição da matéria nos componentes (linhas, quadrados, etc) que podem ser entendidos pelo intelecto humano, quando do uso da linguagem geométrica. Há um processo de transformação da matéria na sua forma, e essa é compreendida pelo intelecto mediante as figuras que compõem as formas geométricas. Assim, ele nos diz na oitava definição exposta no primeiro livro<sup>28</sup> [Kepler, J. G. W., VI, pp. 21- 22]:

“Uma quantidade é dita ser conhecível se ela é ou medida imediatamente pelo seu diâmetro [de um círculo], como uma linha; ou pelos seus quadrados, se é uma superfície; ou a quantidade em questão é o mínimo formado das quantidades por alguma conexão geométrica definida; todavia, em algumas séries de operações longas, as últimas dependem do diâmetro ou de seus quadrados.”<sup>29</sup>

<sup>27</sup> De fato, a maioria dos comentadores dedica-se à *Astronomia nova*, analisando os procedimentos de descoberta da lei elíptica e da lei das áreas, tal como Koyré, [Koyré A., 1961]; Dreyer, [Dreyer, E. J. L., 1953] e Simon, [Simon, G., 1979], entre os mais importantes. Apenas Caspar, [Caspar, M., 1959], procura trabalhar o conceito de harmonia de uma forma mais detida.

<sup>28</sup> As demonstrações contidas na *Harmonia do mundo* seguem o modelo euclidiano de demonstração a partir de princípios gerais ou previamente aceitos, como definições axiomas e postulados, ou de provas ou teoremas demonstrados anteriormente.

<sup>29</sup> “Scibile dicitur, quod vel ipsum per se immediate est mensurabile per diametrum, si línea; vel per ejus quadratum, si superficies: vel quod formatur ad minimum ex talibus quantitibus, certa et geometrica ratione, quae quantumcunque longa serie, tandem tamen a Diametro, ejusve quadrato dependeant.”

Isto é, as figuras, as formas que a matéria pode obter, ou são vistas como linhas ou como superfícies; se são linhas, elas podem ser deduzidas pelo diâmetro de um círculo; se são superfícies, pelo quadrado do diâmetro. Obviamente que existe uma complexidade para se chegar a essas medidas, o que leva Kepler a estipular os graus de conhecimento, que são: 1) quando a linha é igual ao diâmetro ou uma área é igual ao quadrado do diâmetro; 2) quando a linha ou área é igual a algum número das partes do diâmetro ou dos seus quadrados; 3) quando a linha não pode ser expressa em extensão, mas seus quadrados podem ser expressos; 4) as quantidades que não podem ser expressas (linhas e quadrados), mas se pode transformar os quadrados em figuras que podem ser expressas [Kepler, J., G. W., VI, pp. 22 – 24, def. XII, XIII, XIV e XV].

Em suma, temos esquematicamente um universo abstraído em figuras geométricas, sendo as mais simples o círculo e a linha, de maneira que, segundo a crença kepleriana, a matéria (e podemos entender matéria, como no caso dos movimentos planetários, como os corpos celestes e as suas relações, os movimentos integrados num todo) pode ser decomposta em figuras que expressem ou a linha, ou o círculo, ou o quadrado da linha, ou, num caso limite, uma figura incomensurável, mas que pode ser transformada numa figura comensurável. A partir dessa estrutura, que apresentamos em suas linhas gerais, Kepler passa a derivar aplicações da harmonia, obtendo, nas partes finais do livro, os principais resultados dessas aplicações na astronomia<sup>30</sup>.

As quarta e quinta partes tratam da harmonia naquilo que pode ser relacionado diretamente com a derivação da terceira lei dos movimentos planetários, pois essas partes trabalham com a relação entre o mundo harmônico - a estrutura do mundo astronômico que fornece as possibilidades para considerarmos as relações entre os componentes dos movimentos planetários - e o sujeito de conhecimento, que é munido de categorias de pensamento aptas a expressar a estrutura harmônica do mundo (quarta parte); e a derivação da terceira lei, que é fruto da necessidade do mundo quando visto em função da harmonia (quinta parte), assuntos dos quais iremos tratar.

---

<sup>30</sup> Como dissemos, não nos deteremos nos conteúdos dos livros I, II e III da *Harmonia do mundo*, mas apenas nas partes ligadas diretamente à astronomia. No livro II, Kepler trata da congruência das figuras regulares; no III, das origens das proporções harmônicas e das diferenças das coisas relacionadas à melodia, isto é, trata da música. Na quarta parte, da qual trataremos da parte referente à teoria do conhecimento de Kepler, é vista a astrologia. Para um apanhado inicial dos conteúdos das partes I, II e III, conferir Martens [Martens, R., 2000, pp. 112 – 142].

#### **2.4.1. A teoria do conhecimento kepleriana: a teoria da percepção como garantia para a descoberta das relações harmônicas no mundo celeste**

A quarta parte da *Harmonia do mundo* apresenta aquilo que podemos denominar como a teoria do conhecimento de Kepler, alicerçada na sua, se assim também podemos chamar, teoria da percepção, assuntos que são pouco tratados dentro do processo de obtenção das leis dos movimentos planetários. O caráter desenhado nessa teoria da percepção é o de garantir duas coisas básicas para a sustentação da teoria dos movimentos planetários de Kepler: primeiro, que o mundo celeste é, em sua estrutura, harmônico, isto é, dar provas razoavelmente seguras de que o mundo celeste contém uma organização tal que os movimentos dos planetas, quando vistos a partir dos seus aspectos físicos e dinâmicos, são guiados por uma relação de necessidade e universalidade a moverem-se tal como são observados, de modo a retirar o acaso ou a indeterminação na procura das causas de tais movimentos; segundo, fornecer uma explicação sobre a relação entre o mundo e o sujeito que conhece esse mundo, de modo a alicerçar a possibilidade do intelecto humano, mediante as suas faculdades de conhecimento, expressar a estrutura harmônica subjacente ao mundo celeste, em outras palavras, argumentar no sentido de afirmar que o intelecto humano pode expressar a harmonia cósmica. Kepler obterá como principal resultado a garantia de que as percepções harmônicas experienciadas pelos sentidos, podem ser vistas, mediante a sua análise pelo intelecto humano, como componentes da verdadeira harmonia, uma harmonia universal, expressão da estrutura real do mundo. Para tanto, ele deverá mostrar como se pode passar das informações obtidas pelos sentidos para a idéia de harmonia universal.

Esse projeto que se apresenta na quarta parte da *Harmonia do mundo* é uma condição necessária para o desenvolvimento, na quinta parte, das questões referentes à astronomia. Kepler utilizará os resultados sobre a percepção, e a sua passagem para a verdadeira harmonia, que é dada pelas idéias puras contidas na alma humana, como alicerce para a derivação das relações harmônicas do mundo celeste.

Kepler distingue dois tipos de harmonia que estão presentes no mundo: uma sensível, como ele mesmo a chama, e outra absoluta (secreta) e pura, que está presente

tanto no mundo das coisas quanto no intelecto humano. Segundo Kepler [Kepler, J., G. W. VI, p. 211]:

“(...) uma coisa é a harmonia sensível ou análoga a ela, outra é a harmonia secreta e pura, unida às coisas sensíveis; aquelas são numerosas tanto pela maneira de ser dos objetos, pelas suas diferenças, quanto pela razão de ser do indivíduo; mas a harmonia pura encontra-se afastada das coisas sensíveis e é única e a mesma de qualquer modo que seja vista.”<sup>31</sup>

Temos, a partir disso, dois modos de considerar a harmonia: um relativo às coisas sensíveis e aos sujeitos que as percebem, que pode gerar muitas formas de se entender harmonia; outro, referente à admissão de que há uma estrutura harmônica que é comum a todas as formas de ver a harmonia, isto é, existe uma harmonia pura, ou absoluta, que não cai na relatividade gerada pela harmonia sensível.

Kepler também considera que cada tipo de harmonia (sensível ou absoluta) tem os seus arquétipos correspondentes. Na sensível, os arquétipos podem ser vistos como as paixões que as guiam, enquanto que na absoluta, são as idéias, ou noções eternas, presentes na própria natureza das coisas.

Essa divisão mostra claramente o platonismo de Kepler<sup>32</sup>. A harmonia real, que se sobrepõe a qualquer consideração individual, que se mantém e é a mesma em qualquer tempo e situação que se ponha, é dada pela harmonia que vai além daquilo que os sentidos nos podem dar, e a maneira do homem poder conhecê-la é alicerçada na linguagem das matemáticas, das idéias sobre entidades geométricas e aritméticas que são, para Kepler, princípios postos na alma humana, idênticos aos princípios do mundo físico real.

O elemento básico que está presente na harmonia, tanto sensível quanto absoluta, é o de relação. Será a partir desse elemento que Kepler poderá elaborar a teoria de que é na harmonia absoluta que se encontra a estrutura real do mundo [Kepler, J., G. W. VI, p. 212]:

“(...) toda relação não se apresenta sem o pensamento (...) Portanto, o que é verdadeiro para os objetos da relação deve ser suposto mais especialmente para os

<sup>31</sup> “Aliud enim est Harmonia sensibilis, vel ei analoga, aliud Harmonia secreta et pura a rebus sensilibus: illae multae sunt, tam ratione subjectorum, specie differentium, quam ratione individuorum; at sincera Harmonia et a subjectis sensilibus secreta, in qualibet specie una est et eadem”

objetos da harmonia, que consiste nas proporções e nas contagens das partes iguais da quantidade (...). Certamente, a Harmonia é uma coisa única, os termos sensíveis, fora dela, ou longe da alma, não são coisas unas e não podem ser unidos, a não ser no íntimo da alma.”<sup>33</sup>

Cabe à alma, ou ao intelecto, obter a Harmonia absoluta, retirando a incompreensibilidade gerada pelas coisas sensíveis. É mediante a relação entre as coisas, ou os elementos primários, que a alma poderá chegar à verdade.

Para Kepler, as experiências sensíveis mostram os elementos misturados; os sons, por exemplo, apresentam-se todos formando um corpo só, mas incompreensível quanto à sua estrutura. Não podemos, mediante os sentidos, obter a estrutura real que subjaz à mistura que se apresenta quando sentimos um fenômeno, dado o caráter passional que está presente no âmbito da harmonia sensível, que vê, escuta, cheira, etc., mediante a vontade, o desejo e as paixões, criando uma espécie de “harmonia pessoal”. A razão disso está em que as faculdades dos sentidos humanos não são aptas a comparar e quantificar as relações que se sobrepõem à matéria; os sentidos podem perceber apenas a parte material, mas a forma, que é o elemento que pode ser quantificado, não é do domínio do sensível.

Mas a alma pode passar da incompreensibilidade gerada pelas coisas vistas pelo ângulo do sensível, quando abandona o conhecimento por meio da matéria e passa a procurar a forma. Já tínhamos visto que, no *Mysterium cosmographicum*, Kepler procurou obter, por meio da hipótese dos sólidos perfeitos, a estrutura real do mundo celeste pela análise da forma desse mundo, pois é a forma que pode quantificar a matéria. Esse projeto é estendido na *Harmonia do mundo*; a análise das relações entre a forma de se ver as coisas tanto pela ótica da harmonia sensível quanto pela da harmonia absoluta é tentar encontrar a maneira de relacionar os componentes que fazem parte da estrutura real do mundo celeste, utilizando, para tanto, da linguagem matemática. Como vimos, também, no primeiro livro da *Harmonia do mundo*, existem quatro níveis de inteligibilidade, os quais servem para expressar as diversas formas geométricas que a matéria pode ter; neste sentido, a aplicação desses níveis se dá quando o intelecto considera os fenômenos, decompondo a matéria nas

<sup>32</sup> Sobre o platonismo kepleriano consultar Fleckenstein, [Fleckenstein, J, 1975] e Haase, [Haase, R., 1975b].

<sup>33</sup> “(...) et in genere relatio omnis, sine Mente nihil est (...) Quod igitur in genere de ordine, deque relatione verum est; id multo maxime subsumendum de Harmonia, quae in proportione consistit, inque numeratione

formas que lhe correspondem; segundo Kepler, acerca dos limites do mundo sensível e do mundo do pensamento, temos [Kepler, J., G. W., VI, p 216 - 217]:

“(…) Com efeito, existe uma diferença muito clara entre a harmonia pura e a harmonia sensível ou concreta, porque na pura os termos existem a partir dos gêneros matemáticos do círculo e do arco formados por um modo determinado (...); nas harmonias sensíveis, não existe necessariamente esta formação espacial; com efeito, elas podem ser ou linhas retas ou quantidades sensíveis formadas a partir de exemplos fiéis de sua harmonia arquetípica.

“(…) Acredito que somente uma coisa deve ser considerada; devem ser distinguidos entre as próprias espécies matemáticas, o círculo e seu arco e as suas comparações; porque se as próprias espécies ou termos devem ser postos na alma, sem recepção, a Harmonia que se encontra entre essas partes deverá estar localizada no pensamento, de maneira que nada de sua essência se encontre fora dele, porque sua essência consiste em alguma ação da mente a respeito daquela.”<sup>34</sup>

A harmonia sensível está presa aos seus arquétipos; ela, para Kepler, não é gerada pelo pensamento, mas por outros modos de considerar os objetos, modos esses alicerçados nas sensações. Em contrapartida, a harmonia absoluta trabalha com entidades matemáticas, com noções comuns, que não dependem da recepção dos objetos por meio das faculdades dos sentidos. Parece-nos que Kepler quer alicerçar o conhecimento das regularidades que se encontram no mundo, no caso o mundo astronômico, nas categorias de pensamento que tratam de elementos que podem ser analisados de uma forma objetiva, sem o recurso a entidades desprovidas de considerações universais. Em outras palavras, é via a matematização do mundo celeste, mediante a decomposição das figuras geométricas, que se pode falar da realidade de tal mundo, pois, como Kepler quer falar do mundo real, sendo que esse mundo é complexo, composto de relações e correlações entre as partes com o todo

---

partium quantitatis aequalium (...) Nimirum Harmonia est res una, termini sensilis foris extra Animam non sunt res una, nec uspiam nisi intus in anima possunt adunari.”

<sup>34</sup> “Nam in hoc ipso clarissimum apparet discrimem inter puram Harmoniam, et Harmoniam sensilem seu concretam; quod in pura termini sunt ex mathematicis generibus, Circulo et Arcu, certo modo formati. (...) in sensilibus vero Harmoniis non est opus hac speciali formatione, possunt enim esse vel rectae lineae, vel aliter figuratae quantitates sensiles; dummodo sint hujus archetypicae sua Harmoniae fida exemplaria (...) Unum tantum praemittendum censeo; distinguendum esse inter species ipsas mathematicas, Circulum, et Arcum ejus, interque comparisonem eorum: et hoc ideo; quia si species ipsae, ceu termini, collocandae sunt intus in anima sine receptione; multo magis Harmonia, quae est inter illa partes, in mente collocanda erit, ut non

(tal como se mostram os movimentos dos planetas quando analisados segundo o copernicanismo), a linguagem geométrica é a melhor forma de considerar essas relações.

O mundo, quando considerado pela ótica do sensível, não é apto a ser entendido em toda a sua complexidade, mas quando visto através do pensamento, que abstrai as informações não relevantes para a obtenção do conhecimento, mantendo como primário as relações entre entidades que se apresentam como necessárias e universais, podemos entender todas as suas relações e regularidades. Desse modo, a ciência torna-se, para Kepler, o ato de comparar, analisar e obter regularidades que se mantêm independentemente de qualquer causa que se possa colocar, pois, como o mundo tem uma estrutura geométrica, a análise das figuras que o compõem nos dá a base para o conhecimento [Kepler, J., G. W., VI, p. 223]:

“Com efeito, a diferença específica das figuras harmônicas que decompõem os círculos, pela qual sua essência é explicada, como parte de sua definição, é que faz que essas figuras sejam conhecidas. Mas verdadeiramente que conhecimento é possível para a ciência sem a mente? Eu não direi que uma coisa pode ser quando a própria ciência da coisa não é; pois a ciência consiste na comparação, como, por exemplo, o lado da figura é igual ao raio. Então, a igualdade que está no pensamento, sobretudo nas coisas que estão isoladas do lugar, não podem ser compreendidas, e nós cairemos nos argumentos levantados pela harmonia sensível.”<sup>35</sup>

Cabe à ciência, desse modo, abstrair, analisar e comparar as figuras que estão no mundo; mas não no mundo sensível, mas no mundo do pensamento. Desse modo, a cosmologia kepleriana procura garantir que a estrutura do mundo celeste é geométrica, composta de figuras geométricas que podem ser analisadas mediante as suas formas e permitirem, desse modo, a sua quantificação, que é a maneira de descrevê-las. Mas essas figuras não são percebidas pelas faculdades sensíveis, mas pelo pensamento que, sendo

---

*habeat essentiam suam extra illam, quippe cum ejus essentia consistat in actione aliqua mentis circa species illa.”*

<sup>35</sup> *Figurarum enim quae Harmonicum arcum circuli rescindunt, differentia specifica, qua ut parte definitionis, explicatur earum essentia, est ista, quod oportet illas esse scibiles. Jam vero quae scibilitas sine Mente, scientiae capace? Neque dixeris, rem esse posse, ut scientia ipsa rei non sit: Nam scientia consistit in comparatione, ut cum latus figurae est aequale Semidiametro. Jam aequalitas quae sit sine mente, praesertim*

apto a compreender e “visualizar” a estrutura geométrica do mundo, pode expressá-lo. Obviamente, o mundo não é composto de figuras geométricas materiais, mas de figuras geométricas que se encontram subjacentes aos fenômenos celestes. Porém, Kepler precisa argumentar em que sentido o pensamento humano pode compreender a estrutura geométrica que está no mundo, em que sentido podemos afirmar que o intelecto humano pode pensar o mundo celeste. A resposta kepleriana alicerça-se no seu inatismo. O homem contém princípios inatos que representam a estrutura geométrica do mundo [Kepler, J., G. W., VI, p. 223]:

“(…) Para o pensamento, certamente humano, e para as outras almas, a quantidade é conhecida a partir do instinto, embora se abandone toda sensação no que diz respeito a isso, ele compreende por si mesmo a linha reta, o intervalo igual desde um ponto, ele representa a si mesmo um círculo através dessas coisas. (...) A geometria é coeterna ao pensamento divino, antes mesmo do nascimento das coisas. (O próprio Deus, o que pois está em Deus que não seja o próprio Deus).”<sup>36</sup>

Sendo a estrutura do mundo geométrica, dada por Deus antes de criar as coisas materiais, o homem, criado à semelhança com Deus, contém em seu pensamento a estrutura que pode representar o mundo na sua parte geométrica; o pensamento humano contém princípios inatos que lhe permite conhecer as coisas independentemente das informações geradas pelos objetos nas faculdades sensíveis. O homem não conhece o círculo e as suas propriedades pela visão, mas pela sua estrutura de pensamento que lhe foi dada já no seu nascimento. Acerca da harmonia arquetípica do pensamento, os paradigmas para conhecer o mundo celeste encontram-se no pensamento humano antes mesmo de conhecer qualquer coisa sensível [Kepler, J., G. W., VI, p. 225]:

“Mas a harmonia arquetípica não necessita de nada, porque os termos estão presentes na alma, nascidos com ela, e é a mais forte característica da alma e, portanto, a

---

*in ilis, quae loco seclusa sunt, id intelligi non potest: revolvimurque ad argumentum jam supra pro Harmonijs etiam sensibilibus allatum.”*

<sup>36</sup> “ (...) *Mente quippe humanae caeterisque Animis ex instinctu nota est quantitas, etiamsi ad hoc omni sensu destitutor: illa seipsa lineam rectam, ipsa intervallum aequale ab uno Puncto intelligit, ipsa per haec sibi circulum imaginatur. (...) Geometria ante rerum ortum Menti divinae coeterna. Deus ipse (quid enim in Deo, quod non sit Ipse Deus).*”

própria alma; eles não são a imagem do seu paradigma, mas são os próprios paradigmas.”<sup>37</sup>

Se a alma contém os princípios necessários para conhecer o mundo celeste – mundo esse, recordemos, visto a partir da realidade dos fenômenos que lhe pertencem - então a ciência da astronomia pode ser alicerçada, as suas bases podem ser postas. A intenção de Kepler sempre foi a de fundamentar a astronomia num discurso que diga respeito à sua realidade. O seu projeto inicial, exposto no *Mysterium cosmographicum*, de determinar as explicações suficientes acerca do comportamento real dos movimentos dos planetas, obtém um progresso satisfatório ao analisar as relações que se apresentam em tais movimentos sob a ótica da harmonia presente no mundo celeste. Não devemos entender, contudo, que as idéias inatas apregoadas por Kepler expressam uma realidade transcendente ao mundo sensível. O platonismo kepleriano funciona no nível metafísico, que estabelece a existência de uma estrutura matemática subjacente aos movimentos planetários; a realidade física deve ser entendida com base nessa estrutura, isto é, os dados observacionais, como no caso da astronomia, devem ser admitidos e analisados no interior da estrutura matemática do mundo celeste. O copernicanismo não pode ser analisado apenas pela utilização dos dados, mas esses devem ser compreendidos em função do primeiro. Se Kepler fosse um platônico convicto e ortodoxo, então ele não poderia construir uma astronomia que procurasse expressar a realidade física dos movimentos celestes; para Platão, a matéria é imperfeita, sendo apenas as idéias, as formas dessas, que podem determinar a verdade essencial. Kepler, por outro lado, não retira da matéria (entendida no caso como os corpos celestes e os movimentos tais como são observados) a sua importância no processo de conhecimento. O que existe, na realidade, são dois níveis de compreensão sob a matéria; no nível metafísico ela não é determinante, pois são os arquétipos da harmonia absoluta (as idéias inatas) que determinam a estrutura real do mundo celeste; em contrapartida, o intelecto humano não percebe de uma forma imediata essa estrutura, devendo “fazer ciência”, isto é, analisar sob o ponto de vista científico os dados (e nesse nível os dados empíricos são básicos) e conjugá-los aos cânones da harmonia absoluta. Em outros termos, nós temos uma ciência que opera tanto com uma parte metafísica quanto com uma parte empírica,

<sup>37</sup> “(...) Harmoniae Archetypali neutra re est opus, cum termini antea sint in anima praesentes, ei congenitae, ipsaque adeo Anima; nec imago sint veri sui Paradigmati, sed ipsum suum veluti Paradigma.”

sendo as duas partes necessárias (e isoladamente não seriam suficientes) para o processo de conhecimento. Não se pode justificar a harmonia apenas com os dados observacionais, assim como não se compreendem as observações astronômicas sem a admissão de uma estrutura harmônica que está subjacente a eles<sup>38</sup>.

Uma questão que se apresenta quando consideramos a teoria de Kepler sobre os princípios inatos presentes no pensamento humano refere-se, fundamentalmente, a como a alma pode perceber as proporções entre as figuras geométricas, isto é, uma coisa é garantir que existem princípios inatos que fazem o pensamento distinguir as figuras geométricas e as suas formas, outra é determinar as suas proporcionalidades, uma operação que apresenta um grau de dificuldade maior que a anterior.

A resposta de Kepler para essa questão é dizer que a faculdade que determina as proporções é a mesma que determina as formas das figuras, isto é, a alma, ou o pensamento

---

<sup>38</sup> A questão sobre o platonismo kepleriano é complexa. Não podemos simplesmente dizer que Kepler foi um platônico ortodoxo, visto que Kepler recusou o axioma dos movimentos circulares e uniformes, pois esse se mostrou insatisfatório para ser usado em astronomia, principalmente por não corresponder às observações de Brahe e nem às exigências físicas adotadas por Kepler na astronomia (tal como vimos no capítulo anterior). Neste sentido, que espécie de platonismo Kepler seguiu? Uma resposta à esta pergunta deve englobar, ao nosso ver, a possibilidade de matematização da matéria, do mundo real, e não se restringir ao mundo das idéias platônicas. Cassirer, [Cassirer, E., 2001] nos esboça uma resposta admirável. O platonismo kepleriano, segundo esse autor, passa diretamente pela renovação dada por Nicolau de Cusa. O universo, visto como algo em que o espírito humano passa a expressá-lo de acordo com a sua liberdade de pensar, é entendido como um ser real em que os seus componentes (os planetas, o Sol etc.) são seres materiais que devem ser representados (ou expressados) de acordo com a linguagem que é comum ao espírito do homem, as matemáticas. Assim, temos o espinhoso problema de considerar a matéria celeste como apta a ser matematizável, mas sem, contudo, ter o mesmo estatuto dado a ela por Aristóteles. Neste sentido, o universo como entendido por Aristóteles, no qual a noção de lugar expressa o continente que contém o contido (isto é, uma noção que necessita de uma concepção de espaço que abstrai a substancialidade dos seus seres, e os considera como entidades de um sistema e de uma função) precisa ser substituída por uma noção que abstrai a matéria, “Diante dessa concepção geral, uma das tarefas mais essenciais da filosofia e da matemática do Renascimento consistiu em criarem, passo a passo, as condições para um novo conceito de espaço: substituir o espaço-agregado pelo espaço-sistema, o espaço como substrato pelo espaço como função. O espaço precisava ser despido, por assim dizer, da sua materialidade, da sua natureza substancial; ele precisava ser descoberto como uma estrutura linear ideal, livre.” [Cassirer, E., 2001, p. 295]. Com Kepler, essa noção de espaço-sistema e espaço-função adquire um significado expressivo. As possibilidades de se poder falar do mundo físico dos céus passam pela necessidade de mudar o estatuto dos seres que compõem esses céus e a noção de lugar que a eles pode se aplicar. O copernicanismo, entendido como um sistema, permite considerar os aspectos físicos contidos nos movimentos dos planetas (suas velocidades, tempos e distâncias) de forma a se entender esses aspectos como “funções”, e não de acordo com a sua natureza substancial. O que está envolvido é, parecidos, a adoção do modelo platônico de se entender os fenômenos como necessitando serem contemplados pelas idéias abstratas, mas, contudo, sem a obrigação de ver a matéria como algo imperfeito. A matéria não é imperfeita, para Kepler, mas deve, segundo a sua teoria das percepções, ser entendida de acordo com as idéias inatas (idéias matemáticas) que o entendimento contém. Em outras palavras, Kepler procura matematizar, via o seu conceito de harmonia, o mundo físico dos céus, mas sem considerá-lo como um mundo com o mesmo estatuto ontológico aristotélico, pois o mundo celeste quando visto sob o ponto de vista físico e real não deve

humano, superior às faculdades da sensação e imaginação: “Portantò, a faculdade que pesquisa as razões harmônicas é a mesma que é feita pelo pensamento, quer dizer, a parte superior da alma humana.” [Kepler, J., G. W., VI, p. 224].

Mas a alma humana percebe algumas coisas que são postas pela harmonia sensível, o homem é passivo, ele percebe certas relações pelos sentidos, e essas podem influenciar os resultados finais de suas pesquisas. Assim Kepler esforça-se por retirar as influências negativas que o mundo sensível teria na explicação da maneira pela qual o homem conhece o mundo exterior, admitindo apenas o que é positivo. Inicialmente, procura mostrar que a alma, ao receber as informações do mundo sensível, representada pela harmonia sensível, percebe as coisas de uma forma obscura; e que servem como intermediários para a parte superior da alma (que é o pensamento) poder analisá-las e conhecê-las corretamente, [Kepler, J., G. W., VI, p. 227]:

“Contudo, essas percepções das Harmonias nas faculdades inferiores da alma são deselegantes e obscuras, e materiais, de uma certa forma, e levam-nos à ignorância; com efeito, elas não sabem o que percebem, porque nós não conseguimos, quando vemos alguma coisa, entender o que vemos. (...) e sobre esse ponto, elas não distinguem a proporção pelos termos ou por seus objetos (...) e que elas não distinguem as diversas harmonias que existem entre elas, e isso porque elas não as conhecem.”<sup>39</sup>

Disso, podemos concluir que as informações geradas pelas faculdades sensíveis de conhecimento não determinam resultados satisfatórios para a compreensão das proporcionalidades existentes no mundo.

Para Kepler, as proporcionalidades são dadas pela própria estrutura harmônica do mundo celeste, de modo que o pensamento humano, que contém as noções primárias para a derivação e compreensão das figuras que estão presentes em tal mundo, também é o responsável pela obtenção das proporcionalidades existentes. Esquematicamente, o processo é o seguinte:

---

ser visto em relação à sua natureza substancial, mas em relação a suas funções físicas dentro de um sistema ordenado.

<sup>39</sup> “Est tamen obtusa et obscura haec Harmoniarum perceptio in facultatibus Animae inferioribus, et quodammodo materialis, et sub nube quasi ignorantiae: nec enim sciunt se percipere; ut cum videntes aliquid,

As coisas do mundo	- faculdades dos sentidos	- faculdade superior
Geram informações	captam essas informações	(mente) transforma em
	(harmonia sensível, confusa)	linguagem própria
		(harmonia absoluta)

É um processo de transformação dos dados obtidos pelos sentidos, de maneira a revesti-los de uma linguagem apropriada. Com isso, Kepler procurou dar sustentabilidade à defesa do pensamento humano poder expressar a harmonia que se encontra nos fenômenos celestes, isto é, extrair as regularidades que se encontram nos fenômenos que, quando são observados, apresentam-se como complexos, abstraindo todos os elementos não relevantes, considerando, apenas, as figuras e os movimentos gerados<sup>40</sup>.

Mediante essa teoria do conhecimento, Kepler poderá, na quinta parte da *Harmonia do mundo*, obter a terceira lei dos movimentos dos planetas, assunto do qual trataremos a seguir.

#### 2.4.2 O conceito de Harmonia e a obtenção da terceira lei dos movimentos planetários

Se, na quarta parte da *Harmonia do mundo*, Kepler tratou da relação entre a estrutura harmônica subjacente aos fenômenos celestes e a estrutura do pensamento humano, de modo a justificar a possibilidade do intelecto expressar as relações harmônicas reais dos movimentos planetários, na quinta parte, ele trata de questões eminentemente astronômicas, aplicando os resultados obtidos na quarta parte aos problemas próprios para a determinação das proporcionalidades que ocorrem de fato no mundo cósmico. O projeto inicial do *Mysterium cosmographicum*, de obter as leis que expressam as relações entre os tempos de percursos dos planetas e as distâncias desses ao centro de movimentos, obtém êxito com a terceira lei dos movimentos planetários, que determina a proporcionalidade,

---

non tamen animadvertimus, nos id videre. (...) Adeo neque distinguunt proportionem a Terminis seu subjecto suo (...) nec plane distinguunt inter se diversas Harmonias; tantum n. quod sint.”

<sup>40</sup> Obviamente, só o conceito de harmonia não dá conta de uma série de problemas envolvidos na explicação e descrição dos movimentos planetários, tal como a causa motriz que leva os planetas a percorrerem movimentos da maneira como são observados, que, para Kepler, são gerados pela ação da força central. Trataremos dessa relação entre força e harmonia no capítulo terceiro deste trabalho.

entre dois ou mais planetas quaisquer, entre os cubos das distâncias ao Sol e os quadrados dos tempos de revolução.

Para a obtenção desta terceira lei, o papel do conceito de harmonia é de fundamental importância, pois nele se encontram os elementos necessários para poder manipular os componentes dos movimentos (velocidades, tempos e distâncias) num espaço apto a tratá-los tanto como relacionados entre si quanto com o todo.

A terceira lei de Kepler, juntamente com as duas primeiras, representou uma mudança de enfoque em relação ao tratamento astronômico de sua época. Essa renovação diz respeito principalmente a uma mudança de mentalidade quanto às questões epistemológicas e metodológicas. A compreensão da importância da terceira lei de Kepler está na maneira que a astronomia deve pensar os seus objetos: esses deixam de ser símbolos desconexos, voltados a obterem modelos isolados, mais relacionados aos aspectos míticos e astrológicos, e passam a ser vistos como expressões objetivas, aptas a serem tratadas pelos critérios científicos. Segundo Cassirer, na sua obra *Antropologia filosófica*, o papel de Kepler na astronomia tem o seguinte valor [Cassirer, E., 1963, p. 81):

“(...)A astronomia não pôde surgir senão de uma forma mítica e mágica, em forma de astrologia. Conservou este caráter durante milhares de anos e, em certo sentido, prevaleceu todavia nos primeiros séculos de nossa própria época, na cultura do Renascimento. Kepler, o verdadeiro fundador de nossa astronomia científica, teve que debater-se durante toda a sua vida com esse problema. Mas esse último passo teve que ser realizado. A astronomia sucede a astrologia e o espaço geométrico ocupa o lugar do espaço mítico e mágico.”

Mudar a forma de pensar os fenômenos celestes, alicerçados no simbolismo mítico e mágico, tal como era feito pela astrologia, dando um novo espaço para a compreensão desses fenômenos, o espaço geometrizado, sem qualidades no qual se consideram apenas os elementos básicos para a derivação de conhecimentos sobre a realidade do que ocorre nos céus, torna-se uma das principais contribuições do pensamento de Kepler para a astronomia de sua época, impregnada de considerações pouco condizentes com as novas necessidades da ciência.

O conceito de harmonia kepleriano é adequado para ser utilizado no novo espaço astronômico. O caráter da harmonia não é relativo às visões mágicas ou astrológicas, mas à operacionalidade dos componentes do mundo celeste. Os corpos astronômicos deixam de serem vistos como “divindades”, ou como dotados de características qualitativas, e passam a ser entidades físicas, sujeitas ao tratamento objetivo da geometria. O conceito de harmonia dotou a astronomia de elementos suficientemente objetivos para tratar os seus fenômenos sob a ótica da ciência.

Quando iniciamos a leitura da quinta parte da *Harmonia do mundo*, podemos ser levados a considerar que Kepler se conduziu, na procura das relações harmônicas existentes no mundo supralunar, por razões ligadas a uma espécie de “numerologia cósmica”. De fato, nos dois capítulos iniciais, vemos expressões do tipo: “números divinos”, “números masculinos ou femininos” (acerca das características dos cinco sólidos perfeitos, os quais ele utiliza na quinta parte, mas substituindo-os pelas relações musicais), “relações entre números de uma mesma família” etc. Não é de se estranhar, portanto, que muitos comentadores tenham visto em Kepler um defensor da filosofia ocultista.

Porém, quando notamos o procedimento por ele adotado subsequente, vemos que a utilização de tais expressões pode ser desconsiderada, isto é, a operacionalidade do conceito de harmonia na derivação da terceira lei não se utiliza de qualquer conotação não científica que se possa levantar.

Quando Kepler inicia de fato a procura das relações harmônicas na quinta parte, procurando, para tanto, os princípios básicos para uma astronomia celeste que contemple as relações harmônicas, ele nos coloca a seguinte afirmação sobre os sistemas ptolomaico e copernicano em astronomia [Kepler, J., G. W., VI, pp. 296 - 297]:

“Inicialmente, que os leitores fiquem sabendo isto, que as hipóteses astronômicas antigas de Ptolomeu, pela maneira em que elas foram explicadas nas teorias de Peurbach, e nos outros autores de *epitomes*, devem ser totalmente substituídas por essas considerações, e rejeitadas pelo espírito: e, com efeito, elas não tratam nem da verdadeira disposição dos corpos do mundo e nem do governo dos movimentos.

“Em seu lugar, e não pode ser feito de outra forma, considero unicamente a opinião de Copérnico acerca dos objetos do mundo, (...) assim certamente, o círculo da Terra foi delimitado por Copérnico, pelo movimento real dos corpos.”<sup>41</sup>

Temos duas teses básicas de Kepler para a sua constituição cosmológica: o sistema de Ptolomeu não fornece condições para determinar a estrutura do mundo celeste e, conseqüentemente, ele é inadequado para elaborar considerações harmônicas sobre tal estrutura, tal como Kepler entende harmonia; e, também, que o sistema copernicano é o único que expressa a estrutura harmônica do mundo celeste.

Para mostrar a constituição verdadeira do mundo, Kepler investiga treze pontos básicos, ou treze resultados a que se chega quando se considera a procura dos movimentos planetários não restrita a uma cinemática celeste, mas quando se procura alicerçar a astronomia na harmonia e na realidade.

O primeiro é a admissão de que o Sol está no centro do sistema de movimentos e a Terra gira ao seu redor. Isto é, as hipóteses copernicanas mostram-se como reais e são a base para o desenvolvimento de qualquer conhecimento em astronomia.

O segundo é afirmar que os planetas movem-se de uma forma que se afasta do círculo e da uniformidade, isto é, que os movimentos são, de fato, excêntricos, de modo a termos uma alteração nas distâncias dos planetas ao Sol, mostrando-se estes ora mais próximos, ora mais afastados do Sol [Kepler, J., G. W., VI, p. 297]:

“Em segundo lugar, e de modo certo, que todos os planetas são excêntricos, isto é, que faz que eles modifiquem as suas distâncias desde o Sol, de maneira que, numa parte os círculos estão mais afastados do Sol, na parte oposta eles se encaminham em direção ao Sol.”<sup>42</sup>

O terceiro ponto é a postulação dos cinco sólidos perfeitos inscritos e circunscritos nas seis órbitas dos planetas. Kepler os considera aqui, mas irá substituí-los pela analogia

<sup>41</sup> “Initio sciant hoc lectores, Hypotheses astronomicas antiquas Ptolemaei, quemadmodum illae sunt explicatae in Theoriis Purbachii, caeterisque Epitomarum scriptoribus, penitus esse removendas ab hac consideratione, exque animo ejiciendas: non tradunt namque veram et Corporum mundi dispositionem, et Motuum politiam. In earum locum, etsi facere aliter non possum, quin Copernici de mundo sententiam unice et substituum (...) sic etiam hic, Copernico quidem Tellus circulum metatur, motu sui corporis reali.”

<sup>42</sup> “Secundo, certum et hoc est, Planetas omnes fieri eccentricos, id est, mutare intervalla sua a Sole, sic ut una parte circulli fiant a Sole remotissimi, in opposita proxime Solem veniant.”

com a escala musical. A intenção de Kepler é obter uma estrutura que represente a harmonia que há nos movimentos planetários.

O quarto ponto é um dos mais importantes. Ele mostra que, para a determinação das proporcionalidades existentes entre as órbitas dos planetas, não é possível a utilização, somente, da hipótese dos sólidos perfeitos, devendo-se, junto a ela, considerar uma outra espécie de modelo para a obtenção das razões entre as distâncias e tempos de percurso. Isso se dá pelo fato das excentricidades não se adequarem ao modelo exposto pela hipótese dos sólidos perfeitos e, principalmente, pela aceitação incontestável de que nos movimentos planetários ocorrem modificações nos intervalos (arcos de percurso) em relação aos tempos, de maneira que as relações entre os tempos e as distâncias relativas entre dois planetas quaisquer devem ser obtidas mediante um expediente mais abrangente que o oferecido pelos sólidos perfeitos [Kepler, J., G. W., VI, p. 299]:

“É visível que neste assunto as proporções devem ser feitas todas a partir dos intervalos regulares computados do Sol, e não apenas pelas figuras regulares;(...); E, certamente, pode-se deduzir que todos os planetas modificam as suas distâncias em períodos determinados de tempos, de tal maneira que cada um deles tem, em relação ao Sol, duas distâncias importante, a saber: a máxima e a mínima; desse fato, a comparação das distâncias de cada planeta ao Sol pode ser feita de uma maneira quádrupla, isto é, seja colocando-os em relação às suas distâncias máximas, seja em relação às suas distâncias mínimas, ou seja ainda às suas distâncias entre si ; assim as comparações dos caminhos dos planetas, dois a dois, são feitas pelo número de vinte, o que é oposto as cinco figuras apenas.”<sup>43</sup>

Podemos extrair duas conseqüências importantes dessa passagem. A primeira refere-se à necessidade de computar os movimentos a partir do Sol real, algo já feito por Kepler nas suas obras anteriores. A segunda é de que o modelo dos sólidos perfeitos não é adequado, necessitando de um novo modelo para extrair as relações harmônicas do mundo celeste, pois ele não possibilita expressar as diversas variações que ocorrem nas distâncias

<sup>43</sup> “Ex qua se patet, proportiones ipsissimas intervallorum Planetariorum a Sole, ex solis figuris Regularibus desumptas non esse (...) Et portuit sane hoc ipsum colligi vel ex eo, quod Planetæ omnes intervalla per certas temporum periodos mutant: sic, ut unusquisque duo habet insignia intervalla a Sole, Maximum et Minimum; daturque inter binos Planetas comparatio intervallorum a Sole quadruplex, vel maximorum, vel minimorum, vel contrariorum remotissimorum inter se, vel proximorum: ita fiunt binorum et binorum vicinorum planetarum comparationes numero viginti: cum e contrario, figuræ solidæ solum quinque sint.”

dos planetas em relação ao Sol e entre si, quando comparadas em relação aos tempos utilizados para tais percursos. Com isso, temos a defesa de que tanto a hipótese dos sólidos perfeitos quanto a utilização da escala musical (que será utilizada por Kepler para substituir os sólidos) são instrumentos matemáticos para o intelecto humano poder entender e expressar as relações harmônicas que existem no mundo supra-lunar. Podemos dizer que os modelos estão no nível do instrumentalismo kepleriano, dado pelo caráter dos seus argumentos por analogias, pois eles não necessitam ser verdadeiros ou falsos – o que aliás eles não têm motivo para assim serem considerados, visto que eles não são entidades reais – mas procedimentos para auxiliarem na descoberta da estrutura harmônica que está subjacente aos fenômenos celestes. O que é básico, é que o que é real é a estrutura harmônica, os modelos servem para o intelecto humano entender essa estrutura.

O quinto ponto é um relato dos resultados obtidos por Kepler em astronomia nas suas obras anteriores, principalmente a *Astronomia nova*. Os principais resultados referem-se às suas duas primeiras leis (lei da forma elíptica e lei das áreas), e outros importantes fatores que contribuem para a determinação dos movimentos planetários sob a ótica de uma astronomia física e dinâmica. Com isso, Kepler poderá, mais à frente, desenvolver a sua defesa da astronomia como uma ciência que deve ser vista mediante as relações que de fato ocorrem nos céus e, principalmente, argumentar e provar que essas relações são aptas a serem matematizadas, isto é, obter as regularidades que se dão no mundo celeste. [Kepler, J., G. W., VI, P. 300].

O sexto ponto é a apresentação da lei das distâncias, uma lei errônea que surgiu na *Astronomia nova*, que determinava a proporcionalidade entre as distâncias, no afélio e periélio, e as velocidades.

O sétimo ponto é a prova de que os movimentos aparentemente retrógrados ocorrem pela relatividade entre as distâncias e as velocidades entre dois planetas em relação ao Sol. Na verdade, a retrogradação aparente só ocorre quando vista pela ótica dos modelos geocêntricos, que posicionam a Terra no centro de movimentos. Com as hipóteses copernicanas, a resolução do problema da retrogradação aparente é resolvida como consequência direta de posicionar o Sol no centro e dotar a Terra de movimentos, assim como os outros planetas.

Antes de apresentarmos o oitavo ponto, devemos fazer uma recapitulação do procedimento de Kepler até esse momento, pois, nesse oitavo ponto, apresenta-se a terceira lei dos movimentos planetários.

Como vimos, Kepler abandona a suposição de que a estrutura harmônica do mundo celeste pode ser dada pelos sólidos perfeitos, pela sua insuficiência em obter as verdadeiras proporcionalidades. Koyré nos diz que tal abandono foi necessário pelo motivo dos sólidos remeterem-se a um mundo estático e não em movimento, segundo ele [Koyré, A, 1961, p. 329]:

“(…)Mas, de fato, isso é [hipótese dos sólidos perfeitos] uma concepção puramente geométrica da estrutura do mundo que se mostra insuficiente; e não somente porque ele se utiliza de corpos regulares como modelo. Ela é muito estática. Ela é conveniente para um mundo em repouso; e não para um mundo em movimento.”

Isto é, os sólidos não são aptos pois não expressam a realidade do mundo celeste, realidade essa que é essencialmente dinâmica, mas expressam uma estrutura puramente geométrica do mundo. Neste sentido, a necessidade de um novo modelo se faz sentir para poder expressar as alterações constatadas pelas observações dos movimentos planetários. Vista por esse ângulo, podemos entender a utilização dos resultados obtidos na *Astronomia nova*, que, relembremos, foram obtidos graças à admissão dos dados observacionais de Brahe e das postulações de Kepler de que os movimentos devem ser compostos com o Sol real, e não o Sol mediano, e da utilização do conceito de força. Aliado a isso, está a procura de determinação das regularidades dos fenômenos celestes mediante a correlação entre as velocidades, tempos e distâncias de dois planetas quaisquer entre si.

O oitavo ponto traz a terceira lei. A passagem em que ela está, apesar de longa, merece ser transcrita integralmente, assim, escreve Kepler [Kepler, J, G. W., VI, pp. 301 – 302]:

“Oitavo, tratamos até aqui das diversas alterações nos arcos de um só planeta. Agora, iremos tratar dos movimentos comparados de dois planetas em conjunto. Devemos notar as definições dos termos que serão utilizados. Nomearemos o periélio [do planeta] de superior, e o afélio de as apsides inferiores mais próximas, não impedindo que elas retornem a uma região do mundo, não na mesma, mas nas

diversas e fortemente opostas, nos movimentos extremos, compreendendo a mais lenta e a mais rápida de todo o circuito planetário. Nomeamos convergentes extremos ou conversas aqueles que estão nas duas apsides [dos planetas comparados] mais próximas, a saber, ao periélio do planeta superior e ao afélio do inferior; divergentes ou diversas, aqueles que estão nas apsides opostas, a saber, o afélio do [planeta] superior e o periélio do inferior. Portanto, lembrando uma parte do meu *Mysterium cosmographicum*, surgido há 22 anos, porque ela não é ainda evidente, deve ser apresentada em seu lugar. Com efeito, os intervalos verificáveis das órbitas foram obtidos pelos dados de Brahe, e eu continuei o trabalho por um tempo considerável; enfim a proporção verdadeira dos tempos periódicos com a proporção das órbitas foi obtida.

E se me for pedido o momento preciso em que eu a alcancei, digo que ela foi descoberta em 8 de março do ano de mil seiscentos e dezoito, mediante muitos cálculos e erros; depois, em 15 de março, retomei-a e uma nova inspiração me apareceu, retirando os terrores de meu pensamento, dando-me, em seu lugar, aprovação e confiança, e o meu trabalho de dezessete anos com as observações de Brahe, e de certas meditações, acomodaram-se, como num sonho, num mesmo lugar, que eu acredito poder apresentá-la como certa. O que é muito seguro e exato é que a proporção que há entre os tempos periódicos de dois planetas quaisquer é dada positivamente como uma vez e meia ( $3/2$ ) a proporção das distâncias medianas, isto é, as próprias órbitas; contudo, eu apresento um caso aqui, que a média aritmética entre dois raios de áreas elípticas é um pouco mais longo que o diâmetro. E, tomando o período da Terra, que é um ano, e o período de Saturno, de trinta anos, pela terceira parte da proporção, que são as razões cúbicas, com os quadrados dessa proporção, as razões cúbicas, sendo elevadas ao quadrado, produzem [para os dois planetas] os mesmos números, as proporções muito certas dos intervalos medianos da Terra e de Saturno desde o Sol. Com efeito, a razão cúbica de 1 é 1, e seu quadrado é 1. E a razão cúbica de 30 é maior que 3, portanto o seu quadrado é maior que 9. A distância mediana de Saturno é um pouco mais que 9 vezes a distância mediana da Terra ao Sol.<sup>44</sup>

<sup>44</sup> “Octavo hactenus egimus de diversis moris vel arcibus unius et ejusdem Planetæ. Jam etiam de binorum Planetarum motibus inter se comparatis agendum. Ubi nota definitionem Terminorum, qui sunt nobis futuri necessarii. *Apsidas próximas* duorum planetarum dicemus Perihelium superioris, et Aphelium inferioris: non obstante, quod illæ vergunt in plagam Mundi, non eandem, sed diversas, et forte contrarias. *Motus extremus*, intellige, tardissimum et velocissimum totius circuitus Planetarii. *Convergentes extremos seu Conversos*, qui sunt in binorum Apsidibus proximis, scilicet in Perihelio superioris, et Aphelio inferioris; *Divergentes vel Diversos*, qui in Apsidibus oppositis, scilicet Aphelio superioris et Perihelio inferioris. Rursum igitur hic aliqua pars mei Mysterii Cosmographici, suspensa ante 22. annos, quia nondum liquebat, absolvenda, et huc inferenda est. Inventis enim veris Orbium intervallis, per observationes Brahei, plurimi temporis labore continuo; tandem, tandem, genuina proportio Temporum periodicorum ad proportionem Orbium - - sera

E aqui temos a terceira lei, não como a conhecemos hoje, que determina que os cubos das distâncias de dois planetas quaisquer ao Sol são proporcionais aos quadrados dos tempos de percurso, mas apresentada tal como Kepler a obteve, comparando os dados dos movimentos de dois planetas quaisquer, tais como as suas posições nas apsides e as variações nas suas órbitas. Kepler comparou as relações constantes entre os tempos de percursos e as distâncias dos planetas, mostrando que há uma constância entre esses tempos e distâncias, quando comparadas em função das variações nas velocidades dos planetas.

Saber como Kepler chegou a essa terceira lei é algo extremamente difícil<sup>45</sup>, pois, ao contrário da *Astronomia nova*, na qual todo o processo, incluindo erros e acertos, está presente para o julgamento do leitor, na *Harmonia do mundo*, não temos o relato completo do processo, de modo que se faz necessário reconstruirmos os procedimentos keplerianos para obtermos as vias mais significativas para sabermos qual foi o processo de descoberta da terceira lei. Porém, podemos dizer que os aspectos físicos e harmônicos são de capital importância para o processo. O fato, já constatado em 1609, de que os planetas se movem em órbitas elípticas, obtidas pela admissão de que os planetas são conduzidos pela força exercida pelo Sol, mostra-se, quando o relacionamos ao conceito de harmonia celeste, extremamente relevante para a compreensão da terceira lei como parte integrante e necessária da organização cósmica que se apresenta ao homem. Em outras palavras, a

---

*quidem respexit inertem, Respexit tamen et longo post tempore venit; eaque si temporis articulus petis. 8. Mart. hujus anni millesimi sexcentissimi decimi octavi animo concepta, sed infoeliciter ad calculos vocata, eoque pro falsa rejecta, denique 15. Maji reversa, novo capto impetu, expugnavit Mentis meae tenebras; tanta comprobatione et laboris mei septendecennalis in Observationibus Braheanis, et meditationis hujus, in unum conspirantium; ut somniare me, et praesumere quaesitum inter principia, primo crederem. Sed res est certissima exactissimaque, quod proportio quae est inter binorum quorumcumque Planetarum tempora periodica, sit praecise sesquialtera proportionis mediarum distantiarum, id est Orbium ipsorum; attento tamen hoc, quod médium arithmeticum inter utranque diametrum ellipticae Orbitae sit paulo minus longiore diametro. Itaque si quis ex periodo, verbi causa Telluris, quae est annus unus, et ex Periodo Saturni, triginta annorum, sumpserit tertiam proportionis partem; id est, radices cubicas, et hujus proportionis duplum fecerit, radicibus quadrate multiplicatis, is habet in prodeuntibus numeris intervallorum Terrae et Saturni a Sole mediorum, proportionem justissimam. Nam cubica radix de 1. est 1. ejus quadratum 1. Et cubica radix de 30. est major quam 3. ejus igitur quadratum majus quam 9. Et Saturnus mediocriter distans a Sole, paulo altior est noncuplo mediocrist distantiae Telluris a Sole."*

<sup>45</sup> Existe uma diversidade de opiniões sobre como foi obtida a terceira lei. Cohen, [Cohen, I. B., 1967, pp. 148 – 152] acha que a obtenção deu-se simplesmente por tentativas, isto é, por Kepler ir aplicando relações quadradas e cúbicas aos números até obter a relação; Gingerich, [Gingerich, O, 1975, pp. 261 – 268 e 1975b, pp. 595 – 602], defende que as relações harmônicas expressas na terceira lei foram dadas por considerações físicas, isto é, Kepler, sabendo que existe uma espécie de relação entre as distâncias dos planetas com o aumento ou a diminuição da força exercida pelo Sol nos planetas, pode chegar a terceira lei. Particularmente, concordamos com a opinião do último.

admissão kepleriana de que o Sol é o responsável físico pelos movimentos planetários, incipiente para poder deduzir apenas por ela uma mecânica celeste, torna-se um ponto altamente necessário para a derivação da lei harmônica.

O que nós temos em mãos, quando Kepler chega à terceira lei, são os resultados da *Astronomia nova*, e a admissão de que existem relações constantes no mundo celeste, que podem ser obtidas pelo intelecto humano, dada a correlação que existe entre a estrutura harmônica celeste e a estrutura do pensamento humano, que pode expressar essa estrutura cósmica. Temos, ainda, a aceitação do sistema copernicano como o espaço celeste apto a expressar a estrutura celeste harmônica, pois em tal espaço os corpos e fenômenos (movimentos) podem ser geometrizados, destacando-se os aspectos relacionados às figuras que se formam através desses fenômenos. Tendo esses elementos em seu poder, Kepler pôde construir a sua cosmologia, voltada a detectar as relações harmônicas no universo.

Os pontos desenvolvidos após a estipulação da lei harmônica (9 a 13) referem-se a relações que podem ser obtidas mediante a análise geométrica dos corpos celestes, sem, contudo, influenciarem no processo de formulação de tal lei.

Kepler não teve qualquer dúvida acerca da verdade e da realidade da lei harmônica. Sua certeza repousou fundamentalmente na necessidade da proporção entre tempos e distâncias entre os planetas quando relacionamos essa proporção necessária aos conceitos de força e harmonia. O universo não pôde ter sido criado ao acaso: se os movimentos se dão tais como são observados daqui da Terra - garantido-se a certeza das observações, segundo Kepler, pela certeza dos dados de Brahe - e se, também, devemos atribuir os movimentos não a artificios fictícios, mas a centros físicos e reais de movimentos, tal como foi garantido pelas investigações sobre o planeta Marte, expostas na *Astronomia nova*; e, ainda, se os movimentos se apresentam a nós como contendo certas regularidades, que garantem a admissão de que o mundo celeste tem uma estrutura que contém os elementos necessários para designar essas constâncias, de maneira a podermos erigir teorias que se remetam à realidade do que ocorre nos fenômenos celestes; e, finalmente, se o heliocentrismo pode fornecer o espaço geométrico necessário para expressar as regularidade dos movimentos planetários, então, temos todos os elementos necessários para garantir a verdade da lei harmônica, pois, a proporcionalidade entre os cubos das distâncias de dois ou mais planetas com os quadrados de seus tempos periódicos sai como uma

conseqüência da organização dos corpos no espaço quando relacionamos tal organização à posição central do Sol em relação a esses planetas, ou seja, se o universo tivesse uma outra constituição que não a heliocêntrica, de modo que fosse ou a Terra ou outro planeta qualquer o centro físico de movimentos, de maneira a não se poder exercer qualquer ação sobre os outros corpos, os movimentos não poderiam se dar tal como observamos e nem, principalmente, teríamos quaisquer possibilidades de determinar as regularidades advindas da estrutura harmônica do universo – que, no limite, implicaria a impossibilidade de termos qualquer estrutura harmônica.

### 2.4.3. A analogia da escala musical

No restante do livro V (caps. 5 a 10) da *Harmonia do mundo*, Kepler tentou expor o seu modelo de harmonia celeste por meio de uma analogia com a harmonia das escalas musicais<sup>46</sup>. Para compreendermos essa analogia, devemos relembrar que a hipótese dos sólidos perfeitos<sup>47</sup> sozinha não foi suficiente para poder determinar todas as alterações (velocidades, tempos e distâncias medianas) nos movimentos planetários, devendo-se, além dela, admitir um outro modelo. Tal modelo é dado pela escala musical. Visto que as distâncias mudam, faz-se necessário uma “harmonia dinâmica”, isto é, um modelo que expresse as mudanças, os movimentos – o dos sólidos perfeitos seria adequado para um mundo estático, mas não dinâmico.

Como as distâncias se alteram, existindo distâncias maiores (no afélio) e menores (no periélio), e alterações sucessivas nas longitudes medianas (sendo que Kepler já tem a terceira lei para poder determinar as distâncias medianas), o trabalho que se apresenta é o de tentar representar a estrutura harmônica dessas diversas alterações, que no caso é preenchida pela escala musical. Segundo a tabela abaixo [Kepler, J., G. W. VI, p. 312;

<sup>46</sup> Do mesmo modo que não desenvolvemos em detalhes a analogia dos sólidos perfeitos, mas apenas apontamos os seus principais pontos, também não entraremos nos detalhes sobre a elaboração da analogia das escalas musicais para o mundo celeste, isso porque, como já dissemos, não são os desenvolvimentos técnicos que se apresentam como relevantes para a compreensão da harmonia para Kepler, mas o que ele entende por harmonia. Para melhores detalhes sobre os desenvolvimentos da analogia da escala musical conferir Dreyer, [Dreyer, E. J., 1953, pp. 405 – 409]; Martens, [Martens, R., 2000, pp. 120 – 137] e Koyré, [Koyré, A, 1961, pp. 328 – 345].

<sup>47</sup> Ver pp. 35 e 36 mais acima neste capítulo.

Dreyer, J. L. E., 1953, p. 406], nós temos a aplicação dos dados e das velocidades angulares (velocidades heliocêntricas no afélio e no periélio) em relação à escala musical:

Divergent Interval	Convergent Interval	Compass
$\frac{a}{b} = \frac{1}{3}$	$\frac{b}{c} = \frac{1}{2}$	$\flat \left\{ \begin{array}{l} 1' 46'' a \\ 2' 15'' b \end{array} \right\} \frac{1' 48''}{2' 15''} = \frac{4}{5}, \text{ major third}$
$\frac{c}{d} = \frac{1}{8}$	$\frac{d}{e} = \frac{5}{24}$	$\natural \left\{ \begin{array}{l} 4' 30'' c \\ 5' 30'' d \end{array} \right\} \frac{4' 35''}{5' 30''} = \frac{5}{8}, \text{ minor third}$
$\frac{e}{f} = \frac{5}{12}$	$\frac{f}{g} = \frac{2}{3}$	$\sharp \left\{ \begin{array}{l} 25' 14'' e \\ 38' 1'' f \end{array} \right\} \frac{25' 21''}{38' 1''} = \frac{2}{3}, \text{ fifth}$
$\frac{g}{h} = \frac{3}{5}$	$\frac{h}{i} = \frac{5}{8}$	$\flat \left\{ \begin{array}{l} 57' 3'' g \\ 61' 18'' h \end{array} \right\} \frac{57' 28''}{61' 18''} = \frac{15}{16}, \text{ semitone}$
$\frac{i}{m} = \frac{1}{4}$	$\frac{k}{l} = \frac{3}{5}$	$\natural \left\{ \begin{array}{l} 94' 50'' i \\ 97' 37'' k \end{array} \right\} \frac{94' 50''}{98' 47''} = \frac{24}{25}, \text{ diesis}$
		$\sharp \left\{ \begin{array}{l} 164' 0'' l \\ 384' 0'' m \end{array} \right\} \frac{164' 0''}{394' 0''} = \frac{5}{12}, \text{ octave with minor third}$

Figura 7: tabela da relação entre as velocidades angulares e a escala musical

A velocidade angular heliocêntrica, representada em segundos, é dada pelo número de vibrações do tom; como a velocidade do planeta se altera, o tom também se altera, sendo determinado pela excentricidade. Para as longitudes medianas é utilizada a terceira lei, que, relacionando tempos e distâncias, determina as alterações.

O trabalho agora é o de obter a harmonia, isto é, as consonâncias. Em primeiro lugar para um planeta sozinho, relacionando os seus tons; a seguir, para dois planetas quaisquer, relacionando os seus tons; e o terceiro, para os seis planetas em conjunto. A partir disso, Kepler estipulou a seguinte escala musical, os sons dos seis planetas [Kepler, J., G. W., VI, p. 322]:



Figura 8: a harmonia musical cósmica kepleriana

Esses sons expressam dados sobre as órbitas dos planetas – sua excentricidade, distâncias medianas, posição no afélio e no periélio. Dreyer [Dreyer, E. J. L., 1953, p. 409] destacou os valores obtidos por essa analogia com as posições das observações de Brahe:

	From Harmony		From Tycho's Observations		Semidiam. of sphere inscr. in	
	Aphelion	Perihelion	Aphelion	Perihelion		
Saturn	10118	8994	10052	8968	Cube	5194
Jupiter	5464	4948	5451	4949	Tetrah.	1649
Mars	1661	1384	1665	1382	Dodecah.	1100
Earth	1017	983	1018	982	Icosah.	781
Venus	726	716	729	719	Octah.	413
Mercury	476	308	470	307	Square in dia.	338

Figura 9: comparação entre a analogia da escala musical com os dados astronômicos de Brahe

O que é importante notarmos é que a analogia das escalas musicais é somente uma analogia; sobre isso, Kepler é explícito [Kepler, J., G. W., VI, p. 311]:

“(...) agora, não existem sons no céu, e nem existe um movimento tão turbulento que provoque o ruído da aura celeste pelo atrito.”<sup>48</sup>

O que isso significa? Significa que a escala musical é apenas uma analogia – como era a hipótese dos sólidos perfeitos. Uma analogia que procura relacionar os componentes físicos do mundo celeste entre si. Não há no mundo real uma música das esferas ou sólidos perfeitos. O que existe é uma estrutura harmônica, que garante que os aspectos físicos e reais podem ser relacionados e, a partir dessas relações, obtermos leis acerca dos fenômenos. Ou seja, temos a matematização do mundo físico (astronômico), que, a partir da unidade e sistematização fornecidas pelas hipóteses copernicanas, relaciona os aspectos dinâmicos (o universo centrado no Sol como fonte motriz de movimentos). Não há nesse universo kepleriano considerações sobre as qualidades dos planetas ou dos céus, mas relações matemáticas.

O que nós temos é uma aplicação dos arquétipos keplerianos (a sua harmonia absoluta) que têm uma contraparte na racionalidade humana (dada pelas noções comuns). Os fenômenos, os movimentos planetários, foram analisados decompondo os seus componentes (velocidades, tempos e variabilidade nas distâncias) de modo a se poder expressá-los por meio da estrutura harmônica real do mundo. Assim, visto que para Kepler o universo, na sua realidade, é harmônico e físico, os conceitos de força e de harmonia são expressões dessa realidade e os modelos construídos; escala musical, sólidos perfeitos, ação da força central do Sol, semelhante ao magnetismo, são modos (ou simplesmente, modelos) para expressar a realidade.

---

<sup>48</sup> “(...) Jam soni in coello nulli existunt, nec tam turbulentus est motus; ut ex attritu aerae coelestis eliciatur stridor.”

## 2.5. Kepler e Galileu: a defesa do copernicanismo mediante a unidade e matematização do mundo físico

Kepler e Galileu foram os primeiros nomes de peso a defenderem, sem provas conclusivas para tanto, o copernicanismo. Kepler, como vimos, no que respeita aos aspectos eminentemente astronômicos e cosmológicos, procurou mostrar que os movimentos celestes podem ser explicados e descritos realisticamente quando vistos sob a ótica dos movimentos da Terra e centralidade do Sol, concentrando-se a sua análise nos movimentos de translação, e os seus principais argumentos para isso alicerçam-se nas suas teses metafísicas de matematização do cosmo (expressa pela existência de uma estrutura harmônica subjacente aos fenômenos) e nas suas teses dinâmicas (existência de uma força motriz emanada pelo Sol nos planetas); Galileu, por sua vez, procurou dar, principalmente na sua obra *Diálogo concernentes aos dois máximos sistemas de mundo: ptolomaico e copernicano*, provas para a plausibilidade física das hipóteses de Copérnico, tratando mais detidamente da resolução dos tradicionais problemas envolvidos na admissão dos movimentos da Terra. Mas tanto um quanto outro tiveram uma mesma linha para a suas defesas do copernicanismo: a possibilidade que esse sistema tem de permitir matematizar o mundo físico e o caráter de unidade que ele traz.

A defesa do mundo heliocêntrico por parte de Galileu obtém força quando esse descobriu com o auxílio do telescópio que 1) a Lua não é uma esfera lisa e polida como se acreditava, mas que contém um relevo irregular, com colinas, vales e montanhas, tal como a Terra; 2) que Vênus apresenta fases, o que é um argumento a favor do copernicanismo por mostrar as variações nas distâncias entre ele e a Terra ao longo do zodíaco; 3) a observação das manchas solares; 4) a observação dos satélites do planeta Júpiter. Essas descobertas, apresentadas na obra de 1610, *O mensageiro das estrelas*, permitiram a Galileu desenvolver o copernicanismo sob o ponto de vista da plausibilidade realista; assim, escreve Galileu a Benedetto Castelli, sobre a possibilidade de se falar do real em astronomia<sup>49</sup>:

---

<sup>49</sup> Carta de Galileu a Benedetto Castelli de 21/12/1613, retirada de Nascimento, [Nascimento, C. A., 1988, p. 21].

“Mas, se essas pessoas acreditam realmente possuir o verdadeiro sentido de determinada passagem da Escritura e, por conseqüência, se acreditam seguras de possuir a absoluta verdade da questão que pretendem debater, que me digam então, sinceramente, se elas julgam que aquele que defende a verdade em uma discussão natural tem grande vantagem sobre o outro a quem se atribui a defesa do falso. Sei que me responderão que sim: que aquele que sustém a parte verdadeira poderá ter mil demonstrações irrefutáveis e mil experiências em seu favor, e que o outro não pode apresentar senão sofismas, paralogismos e falácias.”

Sob esse enfoque temos a posição de que, numa discussão sobre um assunto da filosofia natural (isto é, da física e da astronomia), não é o peso da autoridade, mas sim as experiências e as demonstrações que determinam os argumentos a favor de uma determinada tese. Esse princípio metodológico (demonstrações necessárias e experiências) constitui a base para a defesa dos movimentos da Terra por parte de Galileu. Como Kepler, Galileu não pôde se apegar ao “dado puro”, mas teve que reinterpretar os dados de acordo com a ótica copernicana e, a partir disso, demonstrar que não se cai em problemas quando se considera a Terra em movimento. Acerca disso, Galileu é explícito quando diz no *Diálogo*, terceira jornada [Galileu, 2001, p. 413]:

“(…) mas aquelas experiências, que contrariam abertamente o movimento anual, são de uma aversão tanto mais aparente, que (volto a dizer) não posso encontrar limite para a minha admiração de como tenha podido, em Aristarco e Copérnico, a razão fazer tanta violência aos sentidos, que contra estes ela se tenha tornado soberana de sua credulidade.”

Isto é, os dados das observações telescópicas, sozinhos, têm pouco peso, mas quando vistos em confluência com a razão, eles adquirem significado<sup>50</sup>. Sendo assim, a epistemologia de Galileu alicerça-se nos dados observacionais (ou experiência), por um

<sup>50</sup> Mariconda, [Galileu, 2001, nota 64 da terceira jornada, p. 749], escreve acerca disso “(…) por maior que seja a importância que Galileu atribui ao resultado das observações telescópicas, ele está longe de conferir-lhes um valor em si mesmas e de equipará-las à elaboração teórica produzida pela razão. Por outro lado, isso não corresponde à afirmação pura e simples do poder da razão em atingir *a priori* a verdade, mas expressa a consciência da complexidade da relação entre teoria e observação, já que a efetivação desta última pressupõe um trabalho constante de elaboração interpretativa no qual intervém a razão.” Ou seja, observações e teorias (razão) perfazem um todo, no qual existe a relação constante entre os dados que devem ser analisados segundo a teoria e, também, que a teoria somente é capaz de obter a verdade com o auxílio dos dados de observação. Há uma inter relação.

lado, e na teoria (demonstrações necessárias), por outro, de modo que a teoria deverá garantir que os fenômenos sejam descritos matematicamente, isto é, garantir uma demonstração necessária. A matemática tem para Galileu o mesmo peso que tem para Kepler, isto é, ela permite compreender e descrever o mundo físico, retirando a dicotomia tradicional entre realidade física e realidade matemática, garantindo que à matéria podem ser aplicado os padrões das quantidades, acerca disso é ilustrativo o que Mariconda explicita [Galileu, G., 2001, nota 140 da segunda jornada, pp. 697 – 698]:

“(…) uma mudança radical na concepção de matéria que, na filosofia natural tradicional, é pensada como impedimento à realização das formas geométricas abstratas e perfeitas. Fonte de imperfeição, de contingência e irregularidade, a matéria – seja para Aristóteles, seja para Platão – interdita a obtenção de um plano verdadeiramente perfeito e de uma esfera verdadeiramente perfeita. A concepção galileana de matéria é inteiramente outra e, logo no início do *Discorsi*, Galileu a explicita: ‘considerando que suponho que a matéria é inalterável, ou seja, sempre a mesma, é evidente que dela, como de toda afecção eterna e necessária, podem-se produzir demonstrações não menos rigorosas que as demonstrações matemáticas’. (….) A matemática não é, para Galileu, uma espécie de introdução ou de prolegômeno para as demais ciências ou, em particular, para a filosofia natural, mas é a própria linguagem da ciência à qual se deve sujeitar a filosofia natural. O programa de Galileu completa, nesse sentido, a subversão da classificação tradicional das ciências iniciada por Copérnico.”

Como vimos, para Kepler, a matéria pode ser quantificada, quando se extrai a sua forma geométrica; com Galileu, temos um procedimento semelhante, no qual a matéria não é vista mais como um impedimento à aplicação das matemáticas nos seus estudos, mas como apta a ser expressa pela linguagem das matemáticas, derivando-se, com isso, demonstrações necessárias. Em outras palavras, tanto Kepler quanto Galileu não vêem a matéria sob o ponto de vista qualitativo, mas quantitativo. Retiram-se os impedimentos (que na linguagem galileana são as qualidades secundárias) e consideram-se apenas as qualidades primárias (que subsistem independentemente da subjetividade); com isso, temos os meios e os mecanismos para poder demonstrar os fenômenos físicos a partir do modelo dado pelas demonstrações matemáticas. E, como consequência disso, tanto o mundo terrestre quanto o celeste podem ser vistos sob a mesma ótica, isto é, temos as condições

metafísicas e epistemológicas para não considerar as divisões entre os dois mundos, tal como acreditava a tradição presa ao aristotelismo, mas ambos estão sujeitos às mesmas leis, pois em ambos os mundos o que temos são a matéria e a linguagem matemática para expressá-las.

Isso é o desenvolvimento do copernicanismo. Como procuramos apresentar ao longo deste capítulo, as hipóteses de centralidade do Sol e de movimento da Terra trouxeram as condições metafísicas para se poder pensar o cosmo sob o ponto de vista da matematização do mesmo. Tanto na astronomia quanto na cosmologia tradicionais, as matemáticas não eram admitidas como aptas a expressarem a realidade física, pois, visto que a tradição apoiava-se plenamente na teoria das qualidades de Aristóteles, e, visto também, que, para Platão, a matéria era imperfeita, elas, as matemáticas, restringiram-se a serem simples instrumentos para, como no caso da astronomia, adequar os fenômenos ao axioma de movimentos circulares e uniformes. Com Copérnico, Galileu e Kepler, temos uma mudança metafísica, na qual o estatuto das matemáticas passa a ser o de expressar realisticamente os fenômenos físicos (sejam terrestres, sejam celestes); e isso pelo fato de termos uma unidade e uma sistematicidade geradas pela representação matemática. Ao integrar os movimentos planetários num todo organizado e sistematizado, o copernicanismo determinou as condições básicas para se gerar tanto uma física terrestre matemática (como no caso de Galileu), quanto uma astronomia física matemática (como no caso de Kepler<sup>51</sup>), o que demonstra o poder que o copernicanismo tem para gerar novas condições, metafísicas e epistemológicas, para o tratamento da física e da astronomia.

Quando relacionamos Kepler e Galileu como representantes do desenvolvimento do papel renovador das matemáticas aplicadas ao mundo físico suscitado pelas hipóteses de Copérnico, estamos, na realidade, destacando o novo enfoque metafísico que se operou nas ciências físicas e astronômicas no início do século XVII. O copernicanismo não foi, como

---

<sup>51</sup> É bem verdade que o papel de Kepler, nesse processo de matematização do mundo físico, é visto como menor em relação a Galileu, pois, para o último não se associa qualquer conotação mágica ou mítica para a quantificação da matéria, enquanto que Kepler é visto como defendendo um animismo como intrínscio à matéria, principalmente pela adoção de forças; porém, podemos dizer que, independentemente de ser ou não um animista, Kepler pôde quantificar a matéria celeste, pois o que é válido nos seus resultados são as relações entre os componentes físicos envolvidos nos movimentos planetários (os corpos celestes e as suas velocidades, tempos e distâncias entre si e ao Sol). O que queremos dizer é que os resultados descritivos aos quais Kepler chegou independem de qualquer crença animista, mas apenas da crença metafísica de que o cosmo é ordenado matematicamente, tal como acreditavam Copérnico e Galileu. Voltaremos a isso no capítulo cinco deste texto.

vimos acima, apenas uma nova proposta voltada a “salvar as aparências”, no sentido de determinar melhores condições – ou de serem mais simples - para a obtenção dos posicionamentos planetários; mais do que isso, o copernicanismo representou uma guinada cosmológica sensível; a partir do caráter de sistematicidade e de unidade da representação matemática: 1) a astronomia e a cosmologia puderam se vistas como integradas, isto é, não há mais distinção, como era até Kepler, entre uma astronomia presa às predições, mas sem determinar boas explicações, com uma cosmologia voltada a dar explicações, mas sem obter boas predições; 2) como não há mais distinção entre mundo celeste e mundo terrestre, as teorias podem ser tratadas sob a ótica da unidade epistemológica e, como consequência disso, não temos mais metodologias distintas: podemos tratar o mundo celeste nos mesmos moldes que o terrestre.

Veremos a seguir, no capítulo três, como Kepler integrou, por meio do copernicanismo, astronomia e cosmologia e, após isso, no capítulo quatro, como a astronomia obteve um novo estatuto epistemológico e metodológico.

## **Capítulo 3. A cosmologia kepleriana: união entre predição e explicação**

### **3.1 Introdução**

Nos dois capítulos anteriores, vimos como Kepler obteve as suas três leis dos movimentos planetários. Procuramos mostrar que as leis da forma elíptica, das áreas e a harmônica constituíram-se como expressões matemáticas das regularidades que ocorrem nos movimentos planetários. Destacamos as principais etapas envolvidas nos processos de aquisição dessas leis, dessa nova forma do saber astronômico desenhada por Kepler, tais como o uso dos dados observacionais de Tycho Brahe como condutor para o teste das hipóteses astronômicas; a elaboração de hipóteses de trabalho – como a hipótese vicária, a hipótese da elipse auxiliar, da lei das distâncias etc – como fases necessárias para a descoberta das leis; o procedimento impar de Kepler ao testar as diversas hipóteses acerca da forma física da órbita do planeta Marte – especialmente tratando o axioma dos movimentos circulares e uniformes como uma simples hipótese. Aliado ao uso desses elementos, mostramos como os conceitos de força e harmonia têm funções básicas dentro desses processos, não sendo, como muitas vezes são considerados, meras hipóteses desprovidas de conteúdo racional e científico (os quais poderiam ser vistos como conceitos presos à tradição mágico-astrológica, ou como elementos que expressariam apenas os anseios religiosos de Kepler), mas como conceitos ligados diretamente ao trabalho

astronômico kepleriano. Isto é, tentamos mostrar que os conceitos de força e harmonia podem ser interpretados como elementos que têm uma função necessária dentro dos processos de obtenção das leis, sem os quais dificilmente Kepler conseguiria chegar aos seus resultados positivos, às suas leis dos movimentos planetários.

Os conceitos de força e harmonia representam o centro da metafísica kepleriana; metafísica essa que não pode ser retirada da maneira de conceber e entender o que é o saber científico e astronômico para Kepler, pois ela influenciou as concepções acerca do que é ciência (o que é astronomia, no caso) e acerca do que é um método astronômico para Kepler. Se assim o fizermos, se desconsiderarmos a metafísica kepleriana, a compreensão do seu pensamento fica comprometida, pois ficaremos apenas com os seus resultados finais, sem visualizar o que de fato foi relevante para os trabalhos de Kepler: a sua reformulação drástica dos aspectos epistemológicos e metodológicos na astronomia do século XVII. Se desconsiderarmos os conceitos de força e harmonia, ou se os entendermos como conceitos secundários no interior da epistemologia e metodologia keplerianas, não poderemos, talvez, entender como a astronomia tornou-se uma ciência física e, principalmente, não entenderemos de uma forma completa como Kepler tornou-se um personagem que liga a organização do mundo celeste proposta por Copérnico à elaboração da mecânica celeste estipulada por Newton, pois com a maneira kepleriana de tratar a astronomia temos dois grandes ganhos para essa ciência, a saber, a) elementos para justificar que o sistema copernicano pode constituir-se como um programa de pesquisa progressivo, suplantando os modelos ptolomaicos e de Brahe, bem como de toda uma tradição de pesquisa, presa ao geocentrismo; b) com Kepler a astronomia necessariamente passou a tratar dos aspectos físicos e dinâmicos que se apresentam na problemática que envolve os movimentos planetários<sup>1</sup>. Em outros termos, o papel de Kepler dentro da história da astronomia - dentro da sua história em relação aos seus desenvolvimentos epistemológicos e metodológicos - fica eclipsado, se não entendermos os significados operacionais de força e harmonia.

Os resultados dos dois capítulos anteriores isoladamente, porém, não nos ajudam a compreender na sua totalidade as funções de força e harmonia. Essas pertencem à metafísica kepleriana, como dissemos, e formam um conjunto, um corpo no qual podemos

---

<sup>1</sup> Esses dois pontos serão discutidos no capítulo seguinte, quando tratarmos da epistemologia e da metodologia keplerianas para a constituição do saber astronômico.

integrar as suas partes (os movimentos de cada planeta) em relação ao todo (o sistema de movimentos). Neste sentido, pretendemos neste terceiro capítulo apresentar a cosmologia kepleriana, de modo a podermos apreciar como os conceitos de força e harmonia formam o centro dessa cosmologia e o modo como tal trabalho pretendeu dar conta de um dos principais problemas da astronomia do início do século XVII: a distinção entre a astronomia meramente voltada para a predição, expressa principalmente pelos modelos ptolomaicos, os quais não visavam estabelecer explicações sobre o mundo celeste, e a cosmologia aristotélica, vinculada à procura de explicações, mas sem obter, em contrapartida, resultados práticos satisfatórios. Se a astronomia e a cosmologia nesse período não eram incompatíveis, elas, contudo, não permitiam suas unificações num saber que integraria tanto predições quanto explicações. Dessa maneira, Kepler insere-se como um pensador que visará, antes de qualquer coisa, a integrar as predições astronômicas com as explicações cosmológicas<sup>2</sup>.

A situação gerada pela distinção entre uma astronomia meramente voltada à predição e uma cosmologia<sup>3</sup> restrita a fornecer explicações pouco relacionadas às predições provinha desde a astronomia grega, passando por todo o período medieval. Na realidade, esse era um problema central da astronomia, que refletia a falta de bases epistemológicas e metodológicas seguras para o tratamento acerca dos movimentos celestes, em especial os planetários. Apesar de ter sido usada como um lugar comum a idéia de que a cosmologia aristotélica casava-se perfeitamente com a astronomia ptolomaica, gerando um sistema integrado, o que se via na prática astronômica era algo distinto disso. O suposto casamento expressava mais os desejos e anseios filosóficos, religiosos e culturais do que propriamente astronômicos. A cosmologia aristotélica era “distinta” da astronomia ptolomaica, e isso com a anuência de ambas as partes. O casamento era apenas no papel. Na realidade, essa

---

<sup>2</sup> Esse problema não aparece dentro da história da astronomia como algo central. De fato, o problema aparece como mitigado, sendo visto, muitas vezes, como secundário. Porém, consideramos que, para termos uma visualização satisfatória do papel de Kepler na astronomia do dezessete, principalmente em relação aos seus objetivos centrais expostos na *Astronomia nova*: determinar as bases teóricas e práticas da astronomia, é central a compreensão da distinção entre astronomia preditiva e cosmologia explicativa, pela razão, tal como pretendemos mostrar, de que essa distinção apoiava-se na crença em um universo heterogêneo, que levou ao uso incontestável, tanto por parte dos astrônomos quanto por parte dos cosmólogos, do axioma de movimentos circulares e uniformes. Foi apenas com essa quebra que a astronomia pôde ser vista como uma ciência física, e a utilização das matemáticas obteve um campo distinto do que era aplicado pela tradição da época de Kepler.

<sup>3</sup> Veremos, ao longo deste capítulo, os principais pontos acerca da distinção entre a astronomia preditiva e a cosmologia explicativa.

distinção foi muitas vezes atenuada pela cultura antiga e medieval, que viram que tanto a astronomia preditiva quanto a cosmologia explicativa serviam para determinar condições práticas e intelectuais para a compreensão do mundo, de maneira que, mesmo com problemas, elas serviam para a satisfação de determinados objetivos.

Essa situação perdurou por muito tempo; tempo suficiente para se considerar que, apesar dos problemas que se apresentavam, pouca coisa poderia ser feita, pois, de uma certa forma, podia-se “costurar” os problemas práticos que surgiam através de modificações, principalmente na parte cinemática, na parte referente à astronomia computacional. A maioria dos pensadores (senão todos) desde Aristóteles, Eudoxo e Ptolomeu, até Copérnico, Brahe e Galileu, incluindo na lista toda a tradição de astrônomos matemáticos árabes, viveram esse casamento problemático e as suas propostas foram vinculadas - mesmo que não na sua totalidade, pois muitos não aceitaram a cosmologia aristotélica ou a astronomia ptolomaica - à aceitação de que mesmo sendo uma união com problemas, não se sabia como separar o cosmo aristotélico da astronomia ptolomaica, ou, melhor ainda, elaborar uma cosmologia distinta da de Aristóteles ou uma astronomia sem os problemas físicos da de Ptolomeu.

Em linhas gerais, essa distinção deu-se fundamentalmente pela crença grega num cosmo heterogêneo, no qual o axioma platônico, do qual falaremos mais adiante, era a expressão racional para tratar os movimentos celestes num quadro cosmológico que separa Terra e céus. Fazia parte da mentalidade grega e medieval que os movimentos dos corpos celestes são perfeitos e, por serem perfeitos, devem ser circulares e uniformes, e essa crença assentou-se tão firmemente que os pensadores antigos e medievais a consideraram como intocável.

Dentro desse contexto surge Kepler que, aceitando incontestavelmente a nova proposta heliocêntrica de Copérnico, notou que a admissão da centralidade do Sol e os movimentos da Terra continham no seu interior as possibilidades para resolver os problemas práticos astronômicos (obter melhores dados e posicionamentos dos movimentos dos planetas), bem como reformular drasticamente, ou, como considerava Kepler, estipular as bases teóricas da astronomia [Kepler, J., G. W., III, introdução].

Para uma compreensão dessa reforma pretendida por Kepler temos que sair dos limites das suas obras que elaboraram e estipularam as suas três leis (a *Astronomia nova* e a

*Harmonia do mundo*), pois essas apresentam partes da reforma kepleriana, e devemos, também, considerar a sua obra mais madura em astronomia e cosmologia, a *Epítome da astronomia copernicana*, na qual é apresentado o cosmo kepleriano, o que nos permitirá contemplar o uso de força e harmonia integradas num sistema organizado que visou, antes de tudo, dotar a astronomia de bases seguras e confiáveis.

O que veremos a seguir é uma apresentação da distinção entre a astronomia e a cosmologia que perdurou até o início do século XVII, bem como a resolução dada por Kepler a essa distinção mediante a apresentação do que ele entende por astronomia e por cosmologia no *Epítome*. Com isso poderemos, talvez, apreciar mais claramente a importância de Kepler para a astronomia.

### 3.2. A distinção entre a astronomia ptolomaica e a cosmologia aristotélica

A astronomia tomou forma<sup>4</sup> como uma ciência sistematizada com os gregos antigos. Antes disso, o que se tinha era um grande número de boas observações, um catálogo razoável de posições das estrelas e dos planetas, dado principalmente pelos babilônicos, assírios, egípcios e chineses. Essas observações foram coligidas com a intenção de melhorar as condições da vida do dia a dia, fundamentalmente com a elaboração de um calendário competente para se saber qual é a melhor época de plantio e de colheita; esses povos associaram o uso das matemáticas para a obtenção das observações astronômicas; contudo, as intenções eram imbuídas de conotações religiosas e míticas, o que descaracterizou essa astronomia como um conhecimento sistematizado<sup>5</sup>. Com os gregos

---

<sup>4</sup> Não pretendemos fazer uma história da astronomia até a época de Kepler, pois isso extrapolaria os objetivos do nosso trabalho. Destacaremos apenas os principais elementos acerca da dicotomia entre Aristóteles e Ptolomeu. Deixaremos, portanto, muitos pontos sem serem discutidos, mas que são importantes para a compreensão da formação da astronomia no século XVII como uma astronomia física.

<sup>5</sup> Conferir Dreyer, [Dreyer, E. J., 1953, cap. 1]; Pannekoek, [Pannekoek, A., 1989, pp. 19 –94]; Pedersen, [Pedersen, O., 1993, pp. 1 – 9]; Cohen & Drabkin, [Cohen, M. R. & Drabkin, I. E., 1984] e Motz & Weaver, [Motz, L. & Weaver, J. H., 1995]. Lindberg, [Lindberg, D. C., 1992, p. 16] caracteriza as funções da astronomia no período anterior aos gregos, “Uma das áreas que os babilônios aplicaram as suas técnicas matemáticas foi a astronomia. As estrelas foram objeto de investigação e especulação há muito tempo. Antigos escritos, com mais de 4.000 anos, apresentam o caráter da astronomia. Existiram diversas razões para a investigação dos céus. Uma foi a agricultura, pois pareceu óbvio, mesmo por simples observações, que as estações eram a causa para se determinar o tempo de plantio e de colheita, pois isso correspondia aos movimentos do Sol e às posições de certas estrelas e constelações em relação ao Sol. Uma segunda razão foi religiosa, pois os céus, especialmente o Sol e a Lua, foram usualmente associados com divindades. Uma terceira foi astrológica. E uma quarta foi em relação aos calendários.”

antigos, iniciam-se as investigações epistemológicas e metodológicas sobre a astronomia. Começa-se a investigar qual o estatuto epistemológico e qual a melhor forma de se obter conhecimentos sobre as estrelas, os planetas, os movimentos desses etc. Os babilônios, os egípcios, os fenícios, entre outros, tinham aplicado as matemáticas na tentativa de descrever o que se apresenta nos céus, mas os gregos procuraram sistematizar, obter um corpo de conhecimentos que procurariam tanto descrever como explicar porque o que se observa se dá por um modo determinado.

Nessa procura, surgiram diversas tentativas de explicações sobre o cosmo, para se saber qual é a sua natureza, como se constitui. Surgiram os primeiros cosmólogos<sup>6</sup>, pensadores que visavam abandonar as explicações religiosas e míticas, buscando uma ou várias explicações sobre o cosmo sob o ponto de vista físico e racional. Alguns, como Tales, disseram que o cosmo é basicamente água, outros, como Anaxímenes, que é terra. Os pitagóricos se aventuraram a descrever o cosmo como uma estrutura matemática que seria expresso através dos números. Enfim, vários tipos de explicações surgiram. Mas, além dessas explicações cosmológicas, após um considerável ganho nas obtenções de dados astronômicos, a astronomia grega passou a pensar num problema que marcou profundamente todo o seu desenvolvimento enquanto ciência.

Um dos problemas centrais da astronomia antiga e medieval, para não dizer o mais importante, nos foi dado por Platão. Esse filósofo lançou aos astrônomos de sua época até Kepler o desafio de obter a melhor descrição possível dos movimentos planetários, mas com a condição de que as irregularidades que são observadas nesses movimentos – isto é, os movimentos planetários não se apresentam pelas observações como circulares e

---

<sup>6</sup> A palavra “cosmologia” tem sua origem na tentativa de explicação racional do cosmo; ela deve ser distinguida da palavra “cosmogonia”, que é uma narrativa acerca da geração do cosmo. Assim, são duas maneiras de se pensar o cosmo. Originariamente, esses termos significam [retirada de Chauí, M, 2002, pp. 503 – 504]; “*Kósmo*: Bom ordenamento de coisas e pessoas; boa ordem, arranjo conveniente e adequado; disciplina, organização do cerimonial religioso; organização do estado; ordem estabelecida; princípio ordenador e regulador das coisas ; ordem do mundo e, por extensão, mundo. Inicialmente esta palavra indica a ação dos seres em conformidade com um comportamento estabelecido; a seguir, significa a ação humana organizadora que produz uma ordem nas coisas ou nas instituições; por extensão, refere-se à ordem e organização da natureza ou do mundo.”; “*Kosmogonia*: Palavra composta cujo primeiro elemento é *Kósmos* e o segundo é *gonia*. *Kosmogonia* é a narrativa da origem do *Kósmos* através das relações sexuais entre os deuses ou os elementos naturais enquanto forças vitais que engendram ou procriam todos os seres”, por outro lado, temos “*Kosmologia*: Palavra composta por *Kósmos* e um segundo elemento *logía*, derivado de *logos*. *Kosmologia* é a explicação racional sobre a origem e ordem do mundo natural ou natureza, sobre as causas das transformações, geração e perecimento de todos os seres.”. Vemos, com esses significados, que os cosmólogos procuraram obter uma explicação racional do mundo, abandonando, o mais que pudessem, conotações míticas.

uniformes, tal como as estrelas se apresentam, mas desviam dessas pela inconstância com a circularidade (segunda irregularidade) e pelas variações de brilho (primeira irregularidade) - sejam corrigidas através da aceitação incontestada de que os movimentos são circulares e uniformes, ou compostos de movimentos circulares e uniformes. Na verdade, Platão emprega a sua concepção de mundo, em que as coisas materiais (os movimentos observados) devem, por serem cópias imperfeitas, participar dos verdadeiros movimentos, isto é, das formas verdadeiras (circularidade e uniformidade), que só podem ser visualizadas pela razão, pelas idéias, assim, existe uma mistura entre os domínios do material e do espiritual [Aiton, E. J., 1981, p. 79]. Assim, como ficou conhecido na história do pensamento ocidental, temos a seguinte estipulação do axioma platônico sobre os movimentos planetários, que subseqüentemente converteu-se no método de “salvar as aparências”:

“Platão admite, em princípio, que os corpos celestes se movem com um movimento circular, uniforme e constantemente regular; ele coloca então este problema aos matemáticos: quais são os movimentos circulares, uniformes e perfeitamente regulares que convém tomar como hipótese, a fim de poder salvar as aparências apresentadas pelos planetas”.<sup>7</sup>

A origem dessa abordagem<sup>8</sup> centrada na aceitação incontestável da circularidade e uniformidade é algo que remonta à própria maneira pela qual os pensadores gregos antigos viam o cosmo. O axioma platônico liga-se diretamente aos anseios dos gregos em dar

<sup>7</sup> Conferir Simplício, *Aristotelis quattuor libros de caelo commentaria*, livro 2, comentários 43 e 46, retirado de Duhem, [Duhem, P., 1984, p. 7].

<sup>8</sup> Na realidade, Platão nunca escreveu claramente a estipulação do axioma da circularidade e uniformidade. O que nós temos sobre isso, além da passagem de Simplício acima, chegou até nós por Sosígenes, no seu *Comentário ao “de caelo” de Aristóteles*, o qual afirma que Platão lançou o desafio aos astrônomos para que esses encontrassem quais são os movimentos circulares e uniformes dos planetas ou compostos de circularidade e uniformidade. O que temos do próprio Platão sobre a constituição dos céus está no *Timeu*, 36b, que afirma: “Que movimentos temos que supor para dar conta dos movimentos aparentes dos planetas (...). O criador dividiu longitudinalmente a totalidade da sua composição, deixando-as cruzadas como a letra ‘X’. Continuando, dobrou-as em círculos e as conectou consigo mesmas, umas com as outras, de maneira que as suas extremidades intersectaram-se no ponto oposto. Fez que o círculo externo [o equador terrestre] girasse pelo lado de um paralelogramo até a direita e o círculo interno [zodiacal], pela diagonal, até a esquerda (...) dividiu o círculo interno em seis partes, formando assim sete círculos desiguais, ordenados por intervalos duplos e triplos (...) fez que esses círculos se movessem uns em direção contrárias aos outros, três com velocidades iguais (Sol, Mercúrio e Vênus) e os demais com velocidades desiguais entre si ou com os três primeiros, se bem que em proporção fixa às suas velocidades.” Temos, então, por essa passagem, que Platão se preocupou da questão da inteligibilidade e ordenação do cosmo, entendendo-o como composto de círculos com velocidades uniformes.

inteligibilidade aos fenômenos celestes. Entretanto, ele está intimamente ligado às concepções gregas de “natureza” e de “lugar natural”. A circularidade e a uniformidade expressavam tanto o que as observações e o bom senso determinavam quanto à forma pela qual foi concebido o mundo, segundo a ótica do geocentrismo.

Quanto aos fatos, os movimentos dos planetas eram assemelhados aos movimentos das estrelas. Estas sempre apresentavam uma constância em seus movimentos: sempre foram circulares e uniformes – pois não se viam alterações em seus brilhos e nem alterações em suas distâncias angulares<sup>9</sup>. Assim, nos planetas, apesar de serem corpos errantes, também deveriam os seus movimentos ser expressos segundo a circularidade e a uniformidade de suas órbitas. Além disso – e talvez o principal fator para a aceitação do axioma platônico – os gregos sempre se inclinaram a aceitar que é a Terra o centro do cosmo, e não outro corpo celeste<sup>10</sup>. Os fatos assim determinavam; aceitar que a Terra se move era cair nos “absurdos” observacionais que isso acarretaria<sup>11</sup>, pois nós não observamos os movimentos de nosso planeta e, se caso ele se move, então teríamos que explicar por que os corpos que não estão presos a ele não são lançados ao céu e, também, o por que de quando deixamos cair um objeto de uma torre, por exemplo, esse objeto cai próximo à base da torre. Além desses argumentos, teríamos que explicar o por que não observamos as paralaxes estelares<sup>12</sup>. Assim, tal como nos expõe Hanson, a não aceitação por parte dos gregos do movimento terrestre foi que [Hanson, N. R. 1985, p. 29]:

“(…) à maioria dos pensadores do período parecia completamente razoável concluir que a Terra não gira em torno de seu eixo, mas que são os ligeiros, etéreos e rutilantes céus que giram à nossa volta. Não cabe dúvida de que, nesse contexto, essa é a hipótese mais bem fundamentada, a mais simples (ou seja, a menos comprometedora) e a mais racional. Nossas cabeças científicas mais capazes

<sup>9</sup> Conferir Pannekoek, [Pannekoek, A., 1989, caps 1 e 10] e Verdet, [Verdet, J. P., 1991, cap. 5].

<sup>10</sup> Vários astrônomos gregos, entre eles, Filolau, Hicetas, Hieráclides e, o mais famoso, Aristarco de Samos, consideraram que a Terra era dotada de algum tipo de movimento, de rotação ou de translação, ou dos dois. Conferir Dreyer, [Dreyer, J. L. E., 1953, caps. I e II] e Hanson, [Hanson, N. R. 1985, pp. 27 – 43].

<sup>11</sup> Os problemas que surgem quando se admitem os movimentos da Terra são extremamente complexos, pois ferem as observações, isto é, as observações, por si só, não nos remetem para a aceitação, ou pelo menos a plausibilidade, da Terra se mover. Somente Galileu pôde, de uma forma satisfatória, responder a esses argumentos contra a mobilidade da Terra. Conferir Galileu [Galileu, G., 2001, segunda jornada].

<sup>12</sup> O argumento da não observação de paralaxes estelares foi, em termos estritamente astronômicos, o principal problema para a não aceitação do movimento de translação da Terra. Mesmo com Copérnico, Galileu, Kepler e Newton esse obstáculo não foi suplantado, só o foi com Bessel, em 1838, que observou a primeira paralaxe estelar, a do astro Cygni 61.

alcançariam em grande medida as mesmas conclusões geostáticas e geocêntricas, se se trasladassem para o ano 400 antes de Cristo, e se tivessem unicamente os dados que tinham os gregos (...).”

ou, [Hanson, N. R. 1985., p. 32]:

“(...) Para alguns deles (dos filósofos gregos antigos), não é que a idéia de uma Terra rodando e girando fracassasse na hora de encaixar os fatos, senão que semelhante hipótese resulta fundamentalmente insustentável, porque contradiz os conceitos de “natureza” e “lugar natural”. Em outras palavras, a própria noção de movimento terrestre resulta ser inteiramente absurda, dadas as matrizes conceituais então em uso por esses (...).”

Um universo empiricamente mais racional era, portanto, para os gregos, aquele centralizado na Terra estática. Por outro lado, a forma pela qual os gregos conceberam as idéias de natureza e de lugar natural, que pertencem ao escopo conceitual, e não apenas empírico, também estava baseada na centralidade da Terra, sendo que essas idéias estão na base do axioma platônico.

Para os gregos, era empírica e conceitualmente mais razoável admitir a centralidade e a estabilidade da Terra e, assim, a Terra está em seu lugar natural, que é o centro do mundo que gira ao seu redor ocupando também o seu lugar natural que são as esferas celestes; desse modo, os movimentos da Terra são retos para cima e para baixo, enquanto que os movimentos dos céus são circulares e uniformes. Os movimentos celestes, em suas aparentes irregularidades, puderam ser racionalmente analisados e compreendidos a partir da exigência do axioma platônico que seria como um guia para os estudos da cosmologia e da astronomia – ainda vistas como um corpo único –, que passaram a procurar uma expressão sobre os fenômenos celestes que, diferentemente do contexto dos primeiros cosmólogos, uniam-se às necessidades de explicações desses fenômenos. Isto é, a procura de dar inteligibilidade aos movimentos irregulares dos céus pretendida pelo axioma condicionou os trabalhos dos cosmólogos na elaboração dos seus modelos explicativos; para os gregos, após Platão, existe um único *explicans*, capaz de dar conta das problemáticas astronômicas dos céus, em especial dos movimentos dos corpos planetários, de forma que apenas uma explicação seria possível, que expressaria racionalmente tanto os

fatos quanto as necessidades de explicações físicas, assim, [Hanson, N. R., 1985, pp. 51 – 52]:

“(…) anteriormente, os cosmólogos podiam especular com absoluta liberdade acerca da arquitetura do universo. Agora (após o axioma platônico) os matemáticos e filósofos estavam obrigados a buscar um único *explicans* capaz de harmonizar as observações dos planetas e das estrelas, estabelecendo suas relações mecânicas numa ordem muito inteligível.”

O pensamento grego levou a astronomia a procurar dados observacionais e posicionamentos dos planetas seguros e confiáveis conjuntamente com explicações, físicas e racionais, sobre os céus. Nesse sentido, a astronomia grega já se distinguia como uma ciência voltada tanto para a parte prática quanto teórica.

Com o axioma platônico e a forte aceitação de que a Terra está estática no centro de movimentos, a astronomia grega estava preparada para os trabalhos de Eudoxo e Aristóteles, que forneceram, em conjunto, a primeira maquinaria cosmológica e astronômica, que procurou expressar a realidade tanto física quanto matemática dos movimentos planetários.

### 3.2.1 Eudoxo e Aristóteles: a constituição da cosmologia antiga e medieval

A astronomia matemática de Eudoxo (e, numa escala menor, Calippos) e o desenvolvimento físico dessa dada por Aristóteles constituem aquilo que podemos chamar de primeira tentativa de adequar os dados observacionais astronômicos – isto é, a parte prática da astronomia – com a necessidade de explicação física dos céus, tendo em vista o axioma platônico como condicionante dessas explicações. Eudoxo desenvolveu a parte matemática dessa maquinaria, encaixando os planetas em esferas concêntricas, enquanto que Aristóteles, descontente com o tratamento eminentemente matemático de Eudoxo, tratou essas esferas sob o contexto físico e real.

Eudoxo pertenceu à Academia de Platão e foi um dos maiores matemáticos gregos. A ele devemos, entre outras coisas, o livro quinto dos *Elementos* de Euclides. As suas preocupações em astronomia têm uma estreita relação com o axioma platônico. Seguindo

as exigências de compor os movimentos dos corpos celestes, em especial os movimentos anômalos dos planetas, mediante o círculo e o movimento uniforme, Eudoxo elaborou modelos para cada planeta isoladamente; esses modelos tinham como fundamento esferas concêntricas que, mediante os encaixes de quatro esferas, procuravam descrever os movimentos e resolver as anomalias de cada planeta. O que temos sobre a teoria de Eudoxo nos vem de Aristóteles, que nos diz [Aristóteles, *Metafísica*, A, 1073 b-1074<sup>a</sup>]:

“Eudoxo supunha que os movimentos do Sol ou da Lua envolvem, em cada caso, três esferas, das quais a primeira é a esfera das estrelas fixas; e a segunda move-se em um círculo que percorre o centro do zodíaco, e a terceira em um círculo que está inclinado em relação à largura do zodíaco; mas o círculo no qual a Lua se move está inclinado em um ângulo maior do que aquele em que se move o Sol. Além disso, os movimentos dos planetas envolvem quatro esferas para cada caso; as duas primeiras são as mesmas duas primeiras apontadas acima (pois a esfera das estrelas fixas é aquela que move todas as outras esferas, e a que está situada abaixo, que tem seu movimento em um círculo que bissecta o zodíaco, é comum a todas), mas os pólos da terceira esfera de cada planeta estão em um círculo que bissecta o zodíaco, e o movimento da quarta esfera está em um círculo que está inclinado segundo um ângulo dado em relação ao equador da terceira esfera, sendo distintos os pólos da terceira esfera para cada um dos outros planetas, porém os de Vênus e Mercúrio são os mesmos.”

Esses modelos eudoxianos visavam dar inteligibilidade para os movimentos do Sol, da Lua e dos planetas. Para o Sol e para a Lua, três esferas eram suficientes [Verdet, J. P., 1991, pp. 38 – 40] (para as estrelas fixas, apenas uma esfera) para representar os seus movimentos anuais e diários, pois a primeira esfera, a das estrelas fixas, gira de leste para oeste, fazendo o dia de cada astro (Sol, Lua e planetas têm a mesma duração), a segunda esfera gira de oeste para leste ao redor de um eixo perpendicular à eclíptica, de maneira que isso determina a duração com a qual cada astro percorre a eclíptica. Até aqui, os movimentos das estrelas fixas, do Sol e da Lua não apresentam problemas; mas, quando se trata dos planetas, faz-se necessário o uso de mais esferas. Assim, a terceira e a quarta esferas visam “salvar as aparências” dos movimentos anômalos de cada planeta e, também, para representar as estações: como os pólos da terceira esfera bissectam o zodíaco, e o

movimento da quarta esfera se faz em relação ao da terceira, pode-se, segundo Eudoxo, representar as anomalias quando cada planeta está em oposição ou conjunção<sup>13</sup>.

Como conseqüências epistemológicas dessas esferas encaixadas temos principalmente que cada modelo servia para um planeta específico, não se podendo tratar de todos sistematicamente, isto é, os modelos eram funcionais apenas enquanto representação dos movimentos de um planeta isolado. Neste sentido, como nos diz Hanson [Hanson, N. R., 1985, p. 62], isso não era nem uma cosmologia e nem uma astronomia, mas um produto imaginário voltado apenas para os objetivos de representar os movimentos dos astros celestes racionalmente, sem se preocupar se as esferas eram reais ou não, de que matéria elas eram feitas, ou quais as distâncias entre elas. Para Eudoxo, não havia sentido em se preocupar com o estatuto ontológico das esferas; elas não tinham função cosmológica, mas apenas procuravam determinar, em meio ao caos visto pelas observações dos astros e dos planetas, modelos de inteligibilidade para poder ordenar racionalmente (isto é, para Eudoxo, matematicamente) o cosmo, tal como nos resume Hanson [Hanson, N.R. 1985, p. 73]:

“(...) Seus inventos geométricos revelavam que em princípio os devaneios dos planetas podiam acomodar-se em um esquema inteligível do universo, que a razão grega exigia que fosse geocêntrico, geostático e composto de movimentos circulares. Havia seguido o ideal grego, que é o que importava. (...)”

Sendo Eudoxo um matemático, ele viu o cosmo como, podemos dizer, um problema geométrico, no qual teria que resolver, admitindo-se certos princípios, irregularidades segundo um padrão racional pré-estabelecido. Assim, os movimentos retrógrados e não uniformes dos planetas – que eram as principais anomalias admitidas nesse período – foram resolvidos por meio de modelos matemáticos, com nenhuma relação com os aspectos físicos dos planetas.

Aristóteles, por outro lado, viu o universo de uma forma distinta da de Eudoxo. Se o segundo não considerou a realidade das esferas concêntricas, o primeiro teve a preocupação de dotar essas de realidade ontológica. Aristóteles não era um matemático, e pensou o

<sup>13</sup> Na realidade, os modelos eudoxianos são muito complexos. Para uma melhor compreensão de toda essa maquinaria, conferir Hanson, [Hanson, N. R. 1985, pp. 55 – 75]; Dreyer, [Dreyer, J. L. E., 1953, pp. 87 – 107] e Pedersen, [Pedersen, O., 1996, pp. 63 – 69].

mundo celeste pela realidade física. Não haveria sentido algum, pensava o estagirita, em compor movimentos mediante centros ou esferas imaginárias, sem respaldo físico. Visto que sua preocupação era não apenas a de representar satisfatoriamente as anomalias, mas determinar explicações sobre os movimentos celestes, Aristóteles foi obrigado a aumentar o número das esferas de Eudoxo. Assim, ele nos escreve [Aristóteles, *Metafísica*, A, 1074 a 1 – 14]:

“Mas faz-se necessário, se todas as esferas combinadas objetivam explicar os fatos observados, que para cada um dos planetas sejam acrescentadas outras esferas (poucas além das já designadas) as quais interagem com as já mencionadas e devolve a mesma posição à esfera externa do astro que em cada caso está situado abaixo do astro em questão; pois apenas desse modo podem as forças em questão produzir o movimento observado das esferas. Visto desse modo, as esferas que pertencem aos movimentos dos planetas são oito para Saturno e Júpiter e vinte e cinco para os demais, enquanto que de todos esses apenas os relacionados com os movimentos dos planetas situados nas posições mais baixas não necessitam ser neutralizados; as esferas que neutralizam os dos planetas externos são seis e as esferas que neutralizam os dos planetas seguintes são dezesseis. Assim, o número de todas as esferas, tanto das que movem os planetas quanto das que neutralizam esses são cinqüenta e cinco.”

Aristóteles aumenta o número de esferas de Eudoxo. Enquanto que para Eudoxo vinte e sete esferas eram suficientes para descrever os movimentos do universo, Aristóteles, para poder falar fisicamente dos céus, aumenta esse número para cinqüenta e cinco<sup>14</sup>. O aumento no número de esferas foi uma consequência da entrada das discussões físicas nos modelos de esferas e, também, da tentativa de integração dos movimentos em um sistema.

De fato, Aristóteles trata os céus sob o ponto de vista mecânico, entendendo as esferas como materiais, de maneira a termos um sistema em que os movimentos celestes, e em especial os planetários, são os resultados das transmissões de contatos de uma esfera à outra [Hanson, N. R., 1985, pp. 99]. Para fazer tal máquina celeste, Aristóteles admite a

---

<sup>14</sup> Existe uma grande discussão sobre o número de esferas na cosmologia aristotélica, se o sistema poderia ser constituído de quarenta e nove, sessenta e um ou sessenta e seis esferas. Para melhores informações sobre esse assunto, conferir Hanson, [Hanson, N. R., 1985, pp. 81 – 104].

estrutura celeste como distinta da terrestre, e isso basicamente por serem os corpos terrestres de natureza distinta dos corpos celestes.

O mundo celeste aristotélico é distinto do mundo terrestre, mas vistos um e outro em conjunto, temos uma estrutura hierarquizada. O principal elemento para a distinção entre esses dois mundos é dado pelo estatuto dos movimentos: no mundo terrestre, o movimento que prevalece é o retilíneo enquanto que no celeste é o circular. Aristóteles considera que esses movimentos (retilíneos ou circulares) prevalecem de acordo com a noção de “lugares”. Assim, no reino terrestre, temos a ação dos elementos terra, água, fogo e ar, e os seus compostos, de acordo com as camadas que eles se encontram – os elementos mais leves tendem a subir, e os elementos mais pesados a descer, ir para o centro (os corpos tendem para os seus lugares naturais) - sendo que, para haver movimento, é necessário que haja o movimento para os contrários, isto é, para haver geração e corrupção (para que as coisas se movam para ou mudem para alguma outra coisa) algo tem que se transformar em coisas distintas; sendo assim, o movimento retilíneo é o mais propício a esse mundo das mudanças. Porém, quando passamos ao mundo celeste, temos [Aristóteles, *De caelo*, I, 269<sup>a</sup>13 –32]:

“(…) Suponhamos agora que um corpo que se move em um círculo seja do fogo (elemento) ou de algum dos outros quatro elementos, então, seu movimento natural deve ser contrário ao circular. Mas uma coisa pode ter apenas um contrário, e o contrário de ascendente é o descendente, e vice e versa. Suponha, por outro lado, que esse corpo que está se movendo em um círculo contrário à sua própria natureza é algo diferente dos elementos, aqui deve haver algum outro movimento que é natural para ele. Mas isso é impossível: pois se os movimentos são ascendentes, o corpo deverá ser fogo ou ar, se descendente, água ou terra.

“Além disso, o movimento circular é primário. Aquilo que é completo, é anterior em natureza ao que é incompleto, e o círculo é uma figura completa, sendo que nenhuma linha reta pode ser dessa maneira (...). Ora, se a) um movimento que é anterior a outro é o movimento de um corpo anterior em natureza; b) movimento circular é anterior ao retilíneo; c) o movimento retilíneo é o movimento dos corpos simples (e.g. o fogo move em linha reta para cima, e a os corpos terrestres movem-se para baixo, em direção ao centro), logo, o movimento circular deve ser necessariamente o movimento dos corpos simples (...). Dessas premissas segue-se

assim, claramente, que existem substâncias físicas além das quatro do nosso mundo sublunar, e que elas são mais divinas e também mais anteriores que essas.”

Aqui temos um dos principais argumentos aristotélicos<sup>15</sup> para mostrar a divisão dos mundos de acordo com a natureza dos movimentos que os regem. Os quatro elementos funcionam no mundo terrestre e são “guiados” pelo movimento retilíneo; em contrapartida, no mundo celeste – não sujeito às mudanças do mundo terrestre - temos o movimento circular como o movimento anterior, completo e mais perfeito. Assim o movimento circular é o movimento adequado aos corpos celestes – vistos como corpos divinos. Dessa maneira, Aristóteles, aceitando que o movimento circular e uniforme pertence aos céus, procurou explicar os mecanismos dos movimentos planetários por meio das esferas concêntricas. Essas esferas tinham como objetivo “salvar as aparências”, no mesmo sentido de Eudoxo, mas agora elas têm uma espécie de realidade física, que retira o caráter imaginário das de Eudoxo. Aristóteles fala dos céus, suas esferas não são abstrações feitas pelos matemáticos para dar conta de problemas de posicionamentos planetários, mas procuram explicar a problemática desses movimentos.

Sendo esferas físicas, esferas de cristais, Aristóteles tinha que dar conta das causas dos movimentos. Como vimos no capítulo sobre o conceito de força nesta tese, a tradição dotou os planetas de “inteligências”, ou “almas”, ou “mentes divinas” que os fariam percorrer os movimentos pelas esferas. Porém, para determinar a causa motriz (o que impulsiona os movimentos das próprias esferas), Aristóteles determinou que essa fonte está localizada na última esfera, que ficou conhecido como “primeiro motor” [Aristóteles, *Física*, Livro VIII, cap. 10].

Aristóteles mudou o enfoque epistemológico que tinham as esferas matemáticas de Eudoxo, e, conseqüentemente, influenciou, mesmo sem pretender, a metodologia instrumentalista que foi adotada subseqüentemente aos trabalhos de Ptolomeu. Aristóteles distinguiu os corpos pelas suas naturezas – os da Terra por estarem sujeitos à geração e à corrupção, e os celestes por serem corpos eternos, perfeitos e imutáveis -, o que leva a adotar métodos distintos para cada estudo [Aristóteles, *Física*, 193b – 194b]: para os fenômenos terrestres, é ao físico a que devemos remeter-nos, pois esse considera os corpos

<sup>15</sup> Outro argumento que segue a mesma linha é dado em *Física*, livro VIII, cap. VIII, 264<sup>a</sup>8 – 265<sup>a</sup>27.

como físicos, procurando entender e explicar como ocorrem as mudanças; por outro lado, os astrônomos devem admitir os princípios físicos dos corpos celestes e restringirem-se a mostrar a melhor ordenação do cosmo, as distâncias entre os corpos, a previsão de eclipses, conjunções e oposições etc., mas sem discutir acerca da sua constituição física. Sendo assim, a astronomia deve ser uma ciência híbrida: por um lado, aceita os princípios físicos necessários para o estudo dos céus, mas sem investigar, ela mesma, esses princípios (tais como causa, força motriz etc); por outro lado, utiliza-se das matemáticas, particularmente da aritmética e da geometria, para obter as melhores computações possíveis [Duhem, P., 1984, p. 20; Dijksterhuis, E. J., 1986, p. 61 – 68; Hanson, N. R., 1985, p. 100; Dreyer, J. L. E., 1953, pp. 108 – 122].

A visão aristotélica entre mundos distintos determinou uma distinção entre hipóteses matemáticas, utilizadas pelos astrônomos, e explicações físicas (acerca da obtenção das causas), tratadas pelos físicos. Com isso temos, resumindo, um tratamento cosmológico e não meramente calculatório, como era com Eudoxo - pois Aristóteles considera que os corpos celestes têm uma realidade, são seres físicos e não imaginações. Mas, por outro lado, Aristóteles restringiu a função do astrônomo: esse passou a procurar melhores dados e não lhe caberia discutir a realidade dos fenômenos celestes.

Aristóteles determinou uma genuína explicação cosmológica. Apesar de falsa, ela procurou, seguindo o ideal grego, dar inteligibilidade aos movimentos aparentes dos céus. Essa cosmologia guiou-se por uma metafísica – alicerçada principalmente nas concepções de lugar e da perfeição do círculo - que, no desenvolvimento da tradição da astronomia computacional, mostrou-se inadequada para a resolução de problemas práticos. Na realidade, o cosmo hierarquizado aristotélico serviu para corresponder a ideais, sejam eles religiosos ou culturais, mas desgastou-se quanto às predições, pois as esferas sólidas encaixadas umas nas outras se mostraram inadequadas para a astronomia, algo que, como veremos na próxima parte, Ptolomeu rompeu, mas, com essa ruptura, abriu as portas para, subsequente, mostrar a falsidade da cosmologia centrada no geocentrismo e na circularidade e uniformidade.

### 3.2.2 Ptolomeu: as bases da tradição astronômica computacional

Se a cosmologia aristotélica forneceu uma explicação cosmológica racional, ela se viu, por outro lado, com muitas dificuldades para dar conta de problemas genuinamente astronômicos. Os modelos eudoxianos de esferas encaixadas mostraram-se inadequados para representar as órbitas irregulares dos planetas (principalmente para os seus movimentos retrógrados e as variações nos brilhos dos mesmos, em especial Vênus). As conseqüências eram sentidas principalmente nas necessidades práticas daqueles que se utilizavam dos conhecimentos astronômicos dessa época. Hanson resume a situação na época em que Ptolomeu desenvolveu os seus trabalhos em astronomia, a saber [Hanson, N. R., 1985, p. 113]:

“Ensaio infrutíferos haviam multiplicado as intenções de explicar a maquinaria celeste em grande escala, enquanto que os problemas diários dos navegantes, agricultores e sacerdotes ficavam sem resolver. A grande cosmologia aristotélica poderia ter feito os homens se sentirem bem, acalentando as dúvidas sobre os mecanismos dos céus, mas não podia satisfazer o náufrago, encalhado por falta de um mapa celeste. Não podia satisfazer o agricultor, que enfrentava a perda da colheita por ter sido plantada demasiado tarde. Também os cobradores de impostos necessitavam de um calendário para planejar o uso das rendas. Além disso, os sacerdotes não permitiam erros na determinação das épocas de suas festas e cerimônias religiosas: as celebrações do dia da páscoa deviam cair no dia da páscoa. Em todas essas questões práticas, os cosmólogos filosóficos, os explicadores, eram de pouca serventia.”

Ou seja, apesar de elegante e de satisfazer as necessidades intelectuais sobre os céus, a cosmologia aristotélica não servia para quase nada no que concerne aos problemas práticos. E isso se explica fundamentalmente por ser uma astronomia inadequada. Porém, as questões práticas pediam providências; a urgência para a resolução dos seus problemas implicava numa tomada de posição mais próxima da realidade prática. O que tivemos foi o abandono de questões metafísicas para a tentativa de resolução de problemas. A tradição astronômica ptolomaica tem suas origens nessas necessidades.

Se os cosmólogos não dão respostas satisfatórias para as necessidades dos homens comuns, então são os matemáticos, pouco interessados nas explicações físicas do universo celeste, que devem entrar novamente em cena. Toda uma tradição, desenvolvida fundamentalmente por Apolônio, Hiparco e Arquimedes<sup>16</sup>, e sintetizada por Ptolomeu, forneceu um arsenal matemático voltado para representar satisfatoriamente os movimentos planetários e determinar, com o menor grau possível de erro, os posicionamentos dos planetas. O resultado dessa atitude foi que os fenômenos celestes, para serem salvos, devem ser vistos não mais sob o prisma de esferas encaixadas, mas como esferas que conduzem os artifícios matemáticos do epiciclo, do deferente do equante etc., que, mediante os seus empregos, forneceram dados astronômicos mais seguros.

Antes de termos o uso do equante ptolomaico, a astronomia cinemática utilizava-se do epiciclo com deferente ou o excêntrico. Esses dois procedimentos mostravam equivalências observacionais, isto é, para um mesmo fenômeno físico, dois modelos matemáticos distintos salvavam igualmente as aparências. O excêntrico, esquematicamente, deslocava o centro posicionado na Terra real para um centro matemático (fictício), conjugando os dados de acordo com o axioma de movimentos circulares e uniformes; o epiciclo com deferente, por sua vez, conjugavam os movimentos pelo axioma, mas sem deslocar o centro da Terra, esse era dado pelo deferente, sendo que o epiciclo, que girava em torno do deferente, é que corrigiria as “escapadas” do planeta, tanto da circularidade quanto da uniformidade [Durhan, F. & Purrington, R. D., 1989, p. 81]. Isso fica claro pela figura abaixo:

---

<sup>16</sup> Os desenvolvimentos em relação aos artifícios matemáticos antes de Ptolomeu referiram-se ao epiciclo com deferente e o excêntrico. Esses dois procedimentos mostraram que, a partir de hipóteses matemáticas distintas, podia-se salvar igualmente as aparências, de maneira a termos dois modelos matemáticos equivalentes que representavam o fenômeno. O problema maior era que o fenômeno físico é apenas um, sendo assim, qual é a hipótese que representa o fenômeno nos seus aspectos físicos? Pois é impossível que os dois sejam fisicamente verdadeiros [Aiton, E. J., 1981, p. 80]. Assim, a origem da distinção entre astronomia preditiva e cosmologia explicativa alicerça-se na elaboração de modelos matemáticos observacionalmente equivalentes, mas que são incompatíveis com explicações físicas.

## EL ORBE EN ÓRBITA

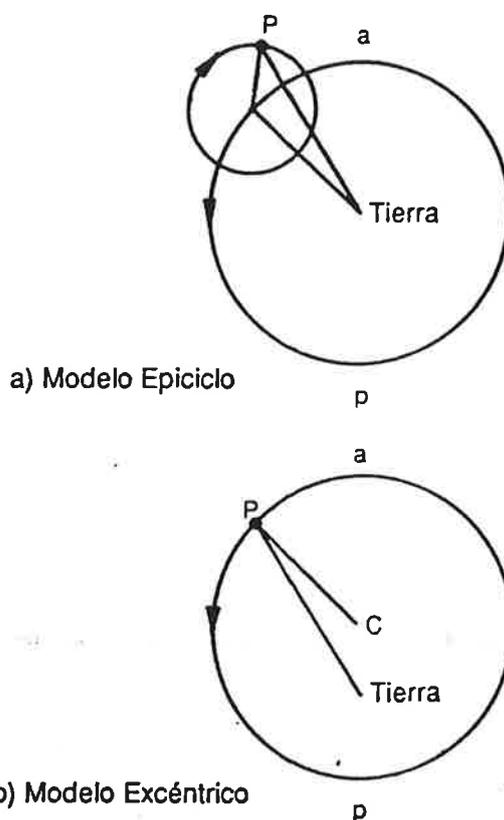


Figura 10: modelo com epiciclo e modelo excêntrico<sup>17</sup>

Na realidade, os artificios deveriam apenas ser fieis aos fatos e ao axioma platônico. A precisão observacional era o principal incentivo para a construção desses expedientes geométricos, pouca teoria – apenas as hipóteses concernentes ao centro de movimentos, por exemplo – era envolvida em tais procedimentos.

<sup>17</sup> Figura extraída de Durham & Purington, [Durham, F. & Purington, R., 1989, p. 81].

Os resultados do uso desses artificios foram fundamentais para a melhoria na astronomia preditiva. Obtendo melhores observações, a astronomia pôde diminuir a falta de resultados práticos que a cosmologia e astronomia aristotélica-eudoxiana vinha avolumando.

A prática astronômica foi se desenvolvendo à medida que os artificios geométricos foram também se desenvolvendo, e, cada vez mais, as questões cosmológicas (explicações) foram colocadas em segundo plano. As técnicas do epiciclo e deferente, originariamente criada por Apolônio, auxiliaram na determinação dos posicionamentos planetários. Essas técnicas aceitaram o axioma platônico – todos os movimentos são circulares e uniformes ou compostos por essas -, e procuraram compor os movimentos mediante a “correção” das desigualdades; assim, esses artificios visavam corrigir os movimentos anômalos mediante o manuseio dos próprios artificios. De fato, com o epiciclo e deferente podia-se representar qualquer tipo de órbita<sup>18</sup>, graças à combinação desses com as longitudes, ou em relação à eclíptica etc; podia-se aumentar ou diminuir o número de epiciclos utilizados para compor a órbita de um determinado planeta, descrevendo os movimentos retrógrados e não uniformes. Visto que os epiciclos podiam mover-se livremente pelo deferente (bastando para tanto apenas variar as velocidades e distâncias dos planetas no epiciclo em relação ao deferente), qualquer tipo de órbita, com qualquer forma, podia ser representada: podia-se representar uma órbita circular (que era o principal objetivo dos astrônomos), ovalada, triangular, elíptica e até mesmo quadrada. Qualquer princípio que fosse admitido – por exemplo, se o axioma platônico determinasse que as órbitas são quadradas com movimentos uniformes -, seria representado pelas técnicas do epiciclo com deferente, ou, de uma forma mais forte, como nos diz Hanson “Não há curva bilateralmente simétrica nem excentricamente periódica utilizada em qualquer ramo da astrofísica e da astronomia observacional de hoje em dia que não se possa traçar suavemente como movimentos resultantes de um ponto que gira em uma constelação de epiciclos (finito em número) que

---

<sup>18</sup> Não iremos detalhar a aplicação das técnicas de usos do epiciclo com deferente, ou com o excêntrico, ou mesmo do uso do equante ptolomaico, algo extremamente complexo. Para maiores informações sobre essas técnicas, conferir Dreyer, [Dreyer, J. L. E., 1953, pp. 149 – 207]; Cohen, [Cohen, I. B., 1976, pp. 32 –40]; Crombie, [Crombie, A. C., 1987]; Evans, [Evans, J., 1984, pp. 193 – 213]; Crowe, [Crowe, M. J., 1990]; Pannekoek, [Pannekoek, A., 1989, pp. 133 – 1440]; Dijksterhuis, [Dijksterhuis, E. J., 1986, pp. 54 – 68]; Kuhn, [Kuhn, T., 1957]; Heath, [Heath, T., 1981]; Neugebauer, [Neugebauer, O, 1983]; Mourão, [Mourão, R. R. F., 1995]; Russo, [Russo, F., 1990]; Van Halden, [Van Halden, A., 1986] e Pedersen, [Pedersen, O, 1993, pp. 59 – 88].

fazem suas revoluções sobre um deferente fixo” [Hanson, N. R. 1985, p. 127]. Dessa maneira, a matemática grega forneceu um arsenal – que, guardadas as devidas proporções, pode ser comparado ao cálculo do século XVII – suficientemente poderoso para dar conta da descrição cinemática dos movimentos planetários e, principalmente, salvaguardar o axioma platônico, isto é, manter o princípio de inteligibilidade tão importante para a mente e cultura dos gregos. As figuras abaixo ilustram como as técnicas do epiciclo com deferente tinham as condições necessárias para representar matematicamente qualquer órbita que se desejasse<sup>19</sup>

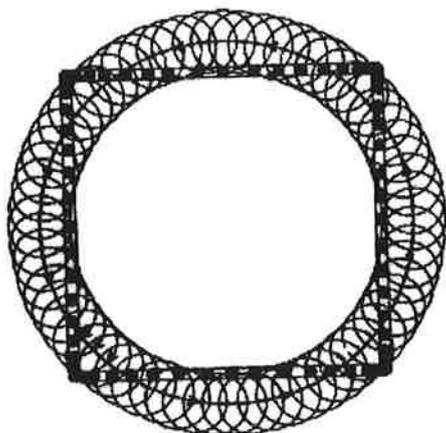


Figura 11: órbita quadrada gerada  
Através de epiciclos

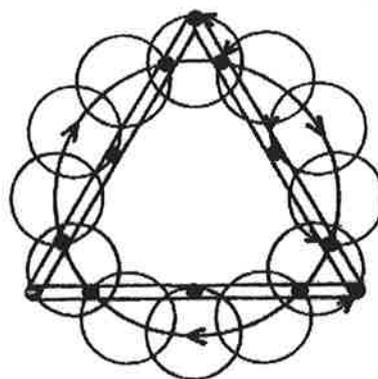


Figura 12: órbita triangular  
gerada por epiciclos

<sup>19</sup> Figuras extraídas de Hanson [Hanson, N. R., 1985, pp. 120 – 126].

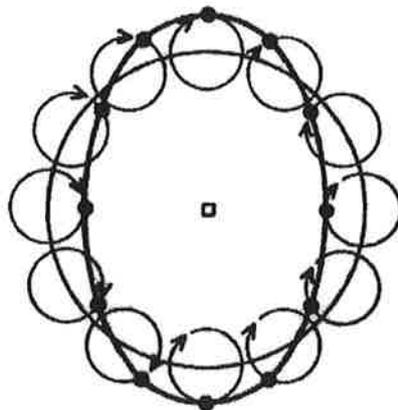


Figura 13  
Órbita elíptica gerada por epiciclos.

Na realidade, qualquer tipo de órbita elíptica poderia ser gerada, com qualquer excentricidade, até mesmo a que foi obtida por Kepler no *Astronomia Nova*, mediante os resultados dos dados observacionais de Brahe, pois os movimentos em epiciclos permitiam construir qualquer movimento em forma elíptica, conforme nos mostram as figuras abaixo:

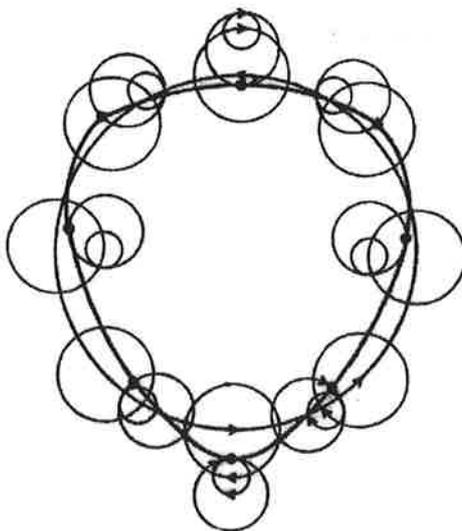


Figura 14  
Órbita oval de Kepler gerada  
por epiciclos



Figura 15: a geração de uma infinidade de elipses a partir de epiciclos.

Paulatinamente o interesse por explicações foi diminuindo, mas não abandonado de todo, o que implicou em dois programas paralelos de pesquisa: um voltado para a predição, utilizando-se os princípios físicos necessários do outro, mas sem discuti-los. De fato, Aristóteles já tinha apresentado que o trabalho do astrônomo difere do trabalho do físico; e essa distinção foi se consolidando, entrando nas mentes dos astrônomos como algo “natural” a ser seguido. Assim, expõe Hanson, a relação entre astronomia e cosmologia [Hanson, N. R. 1985, p. 137]:

“A resposta é que a necessidade de explicação total (e especulação cosmológica) do antigo filósofo natural não estava completamente abandonada nos preditores Apolônio, Hiparco e Ptolomeu. As especulações explicativas estavam proibidas em suas astronomia estritamente formais; mas, correndo paralelas aos desenvolvimentos matemáticos em astronomia, as investigações cosmológicas continuavam, embora subjulgadas. Amiúde, constituíam tarefas laterais, extra-profissionais, das mesmas pessoas que haviam-na expulsada da astronomia de computação. Hoje em dia, os físicos que proclamam que seus cálculos ‘sérios’ estão livres de ‘mera filosofia e metodologia’ colocam, contudo, em seus prefácios, introduções e conclusões com as mais comuns filosofias e as menos críticas e mais triviais metodologias.”

A astronomia de predição estava voltada para a prática – e, assim, tinha pouco interesse cosmológico e explicativo; enquanto os cosmólogos satisfaziam as necessidades intelectuais e culturais para a compreensão do mundo, mas sem preocupação com o rigor e a certeza nas predições. Nesse contexto, aparece Cláudio Ptolomeu, o melhor e mais importante astrônomo do mundo grego e medieval. Ptolomeu é um exemplo claro de astrônomo voltado para a predição e que, ao mesmo tempo, aceita inexoravelmente os princípios da filosofia natural como base da sua astronomia eminentemente cinemática. A própria estrutura do *Almagesto*, sua principal obra em astronomia e que serviu de base para os astrônomos até os trabalhos de Copérnico, é montada para apresentar os princípios físicos (cosmológicos) necessários (no livro I) como justificção cosmológica de sua parte preditiva e, depois, no restante de toda a obra (nos outros 12 livros), não entram mais em discussão<sup>20</sup>. Assim, os princípios básicos pelos quais Ptolomeu se guia são [Ptolomeu, 1952, p. 7]:

“E assim, de uma forma geral, podemos estabelecer que os céus são esféricos e se movem esfericamente; que a Terra, enquanto figura, é sensivelmente esférica quando nós a tomamos como um todo; em posição liga-se em linhas retas no meio dos céus, semelhante a um centro geométrico; em magnitude e distância, tem a razão de um ponto com respeito a esfera das estrelas fixas, não tendo em si nenhum movimento local.”

Isto é, a Terra está no centro do mundo, o centro físico de movimentos, estática e os planetas e o Sol giram ao seu redor. Quanto ao tratamento preditivo, Ptolomeu aceitou a teoria matemática do epiciclo e deferente, pois [Ptolomeu, 1952, pp. 86 – 87]:

“Visto que agora devemos explicar a irregularidade aparente do Sol, devemos assumir primeiramente e de uma forma geral que os movimentos dos planetas na direção contrária aos movimentos dos céus são todos regulares e circulares por natureza, semelhantes ao movimento do Universo na outra direção. Isto é, as linhas

---

<sup>20</sup> É bem verdade que Ptolomeu escreveu uma obra posterior, intitulada *As hipóteses astronômicas* que procuraram tratar dos aspectos físicos (cosmológicos) necessários para o desenvolvimento das hipóteses astronômicas; mas a obra que marcou a tradição de astrônomos foi o *Almagesto*, obra que serve mais para a resolução de problemas astronômicos de predição.

retas, concebidas como girando as estrelas sobre seus círculos, cortam em tempos iguais os ângulos em arcos iguais da circunferência ao centro de cada uma; a sua aparente irregularidade resulta das posições e arranjos dos círculos sobre suas esferas, pelos quais elas produzem esses movimentos, mas nada afeta, em realidade, a natureza das suas imutabilidades, em observação a suposta desordem de suas aparências.

“Mas a causa dessa aparência irregular pode ser resolvida por meio de duas hipóteses primárias simples. Pois se seu movimento é considerado com respeito a um círculo no plano da eclíptica, concêntrico com o cosmo, de modo que os nossos olhos estão no centro, então é necessário supor que eles fazem seus movimentos regulares ou ao longo de círculos não concêntricos com o cosmo, ou ao longo de círculos concêntricos; não com esse simplesmente, mas com outros círculos sobre eles, chamados de epiciclos. Pois, segundo as nossas hipóteses, deverá ser possível para o planeta passar aparentemente, em períodos iguais de tempos, através de arcos desiguais do círculo eclíptico, o qual é concêntrico com o cosmo.”

Apesar de longa, essa passagem do *Almagesto*, é importante para a compreensão do seu método em astronomia, pois ela traz elementos básicos para a compreensão da ruptura que Kepler operará na metodologia astronômica do início do século XVII. Em primeiro lugar, Ptolomeu assume o axioma como algo natural (primeiro parágrafo da citação), sendo que os corpos celestes se movem por esferas, o que leva a considerar as irregularidades como “aparências”. Para resolvê-las, deve-se utilizar o método do astrônomo, o que foi esboçado a seguir (segundo parágrafo), que é o uso dos artificios geométricos – do excêntrico, do epiciclo com deferente.

Temos, então, um exemplo relevante da maneira pela qual a astronomia foi vista até Copérnico e Kepler. Sendo natural, o axioma platônico nunca foi contestado (apesar de, como veremos abaixo, Ptolomeu ter “modificado” o seu caráter), e, visto que à astronomia computacional não era reservada falar sobre os aspectos físicos e explicativos, as supostas irregularidades deveriam ser resolvidas por meio da aplicação sistemática dos artificios matemáticos. A aceitação incontestável do axioma platônico e a ruptura com a parte explicativa eram as principais marcas na forma de se pensar a astronomia.

Ptolomeu separou mais ainda a astronomia da cosmologia ao postular o equante. Esse artifício geométrico<sup>21</sup> tinha como principal função determinar ângulos iguais em tempos iguais, isto é, dar conta da primeira desigualdade (a não observação de movimentos uniformes entre arcos de circunferências e seus tempos a serem empregados). O problema maior foi que o equante não fazia mais movimento pelo centro do deferente, mas sobre um centro fictício, isto é, geométrico. Com isso, a astronomia deu mais um passo para a separação com os aspectos explicativos e físicos<sup>22</sup>.

Na realidade, a astronomia computacional de Ptolomeu, sendo a sua maior expressão o uso do equante, representou o ápice dos desenvolvimentos matemáticos elaborados pelos geômetras gregos para representar inteligivelmente (isto é, racionalmente) os movimentos celestes. O que contava eram os aspectos técnicos, os artifícios como meios matemáticos para representar os movimentos planetários de uma forma ordenada e clara para o astrônomo. As técnicas objetivavam obter um procedimento de cálculo para conseguir deduzir, com base nos dados observacionais, os movimentos e testá-los pelos mesmos. A importância de Ptolomeu para a astronomia computacional é resumida por Pedersen, segundo o qual Ptolomeu é importante por três razões [Pedersen, O, 1996, p. 86]:

“Primeiro, ele concluiu com sucesso o objetivo dos astrônomos gregos, visto que Platão lhes pediu para criarem teorias planetárias fundadas sobre os movimentos circulares e uniformes. A introdução do equante foi, verdadeiramente, uma mudança no princípio original, mas isto ficou escondido, e foi facilmente negligenciado pelos detalhes técnicos dos vários modelos<sup>23</sup>. A seguir, foi considerado que as teorias ptolomaicas concordavam suficientemente com as observações para serem aceitas pelos astrônomos práticos, embora as variações do diâmetro aparente da Lua

<sup>21</sup> Para uma compreensão detalhada do uso do equante conferir Evans, [Evans, J., 1984, pp. 193 – 213].

<sup>22</sup> Koyré nos indica [Koyré, A., 1982, p. 85] que, com Ptolomeu, temos a separação entre a astronomia física e astronomia matemática, segundo ele “Isso foi uma coisa muito grave, pois abandonando o princípio do movimento circular e uniforme, abandonava-se a explicação física dos fenômenos. É a partir de Ptolomeu, justamente, que encontramos uma ruptura entre a astronomia matemática e a astronomia física.” Mas, como vimos, a astronomia, por necessidades práticas, já vinha abandonando as explicações cosmológicas antes de Ptolomeu; esse apenas seguiu à risca os objetivos de descrever da maneira mais precisa possível os movimentos planetários.

<sup>23</sup> O que Pedersen quer dizer é que o equante retira o caráter da circularidade e uniformidade, mas o seu uso leva os epiciclos a perfazerem movimentos circulares e uniformes. Isso foi um problema que solapou os modelos ptolomaicos, sendo o principal motivo pelo qual Copérnico recusou os modelos de Ptolomeu. Os astrônomos árabes, como veremos a seguir, procuraram resolver o problema do uso do equante. Mas, de qualquer forma, o importante é que o equante, apesar de determinar uma variação nos movimentos, leva o epiciclo a perfazer movimentos circulares e uniformes.

mostraram que aperfeiçoamentos eram possíveis. Finalmente, Ptolomeu agrupou suas teorias numa forma hipotética dedutiva, podendo explicar como os parâmetros dos modelos foram deduzidos das observações e, também, serem testados por elas.”

As técnicas utilizadas e desenvolvidas por Ptolomeu representaram um ganho significativo para a astronomia computacional. Retirando os problemas associados à cosmologia, sua importância é fundamental para todo o desenvolvimento que se seguirá, entre os árabes e os astrônomos medievais, para a melhoria nas técnicas de observação e catálogo dos movimentos dos planetas. Em contrapartida, perdeu-se muito em termos de explicação, levando ao desinteresse dos astrônomos matemáticos por tal procura; poucas investigações sobre a dinâmica; pouca procura pela constituição física dos céus [Durhan, F. & Purrington, R. D., 1989, p. 78]:

“O interesse sobre a dinâmica, a explicação completa do movimento, nunca havia sido muito grande [para os gregos], e nos finais do século I A. C., as satisfações da observação e predição precisas haviam dados resultados que levaram quase ao abandono da dinâmica celeste (...) A separação entre a astronomia e a física solapou, por muito tempo, o único caminho para a explicação do mundo visível.”

Em síntese, a situação gerada pela necessidade prática de dotar a astronomia de condições de descrever competentemente os céus foi a de termos dois tipos de astronomia: uma preditiva, que determinava formalmente os posicionamentos, mas incapaz de erigir qualquer tipo de explicação e, por outro lado, uma astronomia explicativa, uma cosmologia, que procurava explicar o que ocorre nos céus, mas sem condições de prever e descrever adequadamente os movimentos planetários [Hanson, N. R., 1985, p. 144]. Essa situação perdurará por mais de 1500 anos, criando a ilusão de uma relação frutífera e correta, mas que trouxe os germes para a dissolução tanto do cosmo aristotélico quanto da astronomia ptolomaica.

### 3.2.3. A astronomia preditiva e a cosmologia explicativa antes de Copérnico e Kepler

Até chegarmos a Copérnico e Kepler, a astronomia e a cosmologia foram vistas como coisas distintas, mas que se conjugavam. Como dissemos, as questões práticas eram resolvidas pelos astrônomos e as questões menos urgentes, mas mais intelectuais, eram tratadas pelos cosmólogos. Ao longo do período que vai de Ptolomeu, século II, até Copérnico e Kepler, séculos XVI e XVII, ocorreram tentativas tanto para unir astronomia e cosmologia quanto para romper com a astronomia ptolomaica ou com a cosmologia aristotélica.

A partir do século XIII, as obras de Ptolomeu e Aristóteles, em sua maioria, foram traduzidas para o latim. A astronomia de predição de Ptolomeu logo serviu para os interesses práticos, enquanto que a cosmologia aristotélica dava explicações sobre a estrutura do mundo.

Essa distinção entre astronomia de predição e cosmologia explicativa trouxe problemas não apenas para a possibilidade de adequação da explicação física de Aristóteles com a astronomia matemática de Ptolomeu, ela implicou também, como já dissemos, nos métodos a serem empregados nos dois terrenos: explicativo ou realista para a cosmologia, e descritivo ou instrumentalista para a astronomia. O problema era que isso se tornou tão enraizado na constituição do saber científico, que tanto os cosmólogos quanto os astrônomos, em sua maioria, consideraram tal distinção como “natural”<sup>24</sup>, e os métodos empregados adquiriram suporte.

---

<sup>24</sup> Na realidade, as interpretações que advogam a tese da postura instrumentalista na astronomia e do realismo na física e cosmologia apóiam-se em Duhem e em Hanson, [Duhem, P., 1984 e Hanson, N. R., 1985]. Porém, alguns comentadores mais recentes consideram que os astrônomos medievais, quando procuravam modelos matemáticos para as predições, não desvinculavam a astronomia da realidade física; entre esses comentadores, temos Lindberg, que afirma [Lindberg, D. C., 1992, p. 262] “Ao analisarmos a astronomia medieval, notamos que ela permaneceu predominantemente como uma empresa matemática; a partir dos tempos romanos ela pertenceu ao quadrvium matemático, e ela nunca deixou de se associar às matemáticas. Mas nós devemos ser cautelosos ao assumir que essas metas matemáticas eram a expressão de um instrumentalismo matemático. Os astrônomos matemáticos medievais, como seus antigos antecessores, estavam interessados em modelos geométricos e em predições quantitativas, mas nenhum deles concluiu a partir disso que a astronomia poderia ser divorciada da realidade física. Segue-se que durante a Idade Média a astronomia e a cosmologia não estavam tendo uma distinção metodológica, mas apresentavam um contínuo metodológico”; Lindberg não nos diz qual foi esse contínuo metodológico. A interpretação de Lindberg, ao nosso ver, não contempla todo o problema. Ele se esquece, por exemplo, que os astrônomos árabes, influenciados pelos trabalhos aristotélicos, nunca aceitaram plenamente os modelos ptolomaicos, procurando, justamente, dar um suporte físico a eles. Além disso, e o que nos parece fundamental, é que Ptolomeu, mesmo aceitando, como dissemos acima, os princípios físicos da cosmologia aristotélica no livro I do *Almagesto*, trata, no restante da obra, a problemática

Para o mundo cristão, tanto uma quanto outra eram interessantes. A cosmologia aristotélica, adaptada ao mundo cristão, fornecia a estrutura hierarquizada necessária para expressar a arquitetura divina. A astronomia ptolomaica, por sua vez, era vista como um guia confiável para as questões de navegação, colheita, etc. Assim, tínhamos duas teorias que serviam a propósitos distintos (um prático, outro intelectual), utilizando-se de métodos e concepções filosóficas distintas (uma era instrumentalista, outra era realista) sobre o mesmo assunto (os céus, sua estrutura e movimentos). Tínhamos, então, sobre as questões celestes, ou uma descrição matemática – dando bons resultados práticos –, ou uma explicação física e cosmológica. Mas não as duas ao mesmo tempo. Não era possível a utilização da cosmologia aristotélica para determinar bons posicionamentos – pois ela era incompetente para tanto; e nem era possível utilizar a astronomia de predição de Ptolomeu para dar explicações sobre o cosmo – pois ela era eminentemente matemática, sem relação direta com o mundo físico.

Essa espécie de distinção foi muito atenuada quando se procuravam justificativas teológicas para as questões cosmológicas, pois era comum afirmar que os mundos eram distintos, e que a verdade sobre o mundo celeste, inacessível para os observadores situados na Terra, tinha que ser aceita por meio das Sagradas Escrituras, sendo que a obra cosmológica de Aristóteles expressava os anseios dessa igreja. Por outro lado, os problemas da astronomia computacional foram avolumando-se ao longo do tempo, o que levou a procura de uma melhor organização do cosmo que permitisse obter melhores dados e posicionamentos dos movimentos planetários.

De uma maneira geral<sup>25</sup>, o período que vai de Ptolomeu até Copérnico e Kepler, tanto a cosmologia quanto a astronomia puderam ser vistas, no limite, como duas tradições

---

dos movimentos planetários apenas sob a ótica das matemáticas. As palavras de Lindberg adquirem peso apenas para uma série de pensadores que, como veremos, procurara conjugar cosmologia com astronomia, mas a grande maioria dos astrônomos fazia suas predições com objetivos eminentemente práticos, sem se preocuparem com a verdade ou a falsidade das suas hipóteses.

<sup>25</sup> O período que vai de Ptolomeu até Copérnico e Kepler é muito extenso e contém muitos desenvolvimentos e questões acerca da aplicação dos modelos preditivos em astronomia e, também, os trabalhos sobre a cosmologia aristotélica. Não é nossa intenção, desse modo, fazer uma apresentação das diversas teorias que surgiram nesse período, algo que extrapolaria, e muito, os objetivos deste trabalho, devido à riqueza e complexidade envolvidas. Apresentaremos apenas algumas das principais diretrizes sobre o assunto, para podermos visualizar a distinção entre a cosmologia aristotélica e a astronomia de Ptolomeu. Para melhores informações sobre esse período, conferir Duhem, [Duhem, P., 1984]; Pannekoek, [Pannekoek, A., 1989, caps. 9 a 22]; Dreyer, [Dreyer, J. L. E., 1953]; Hanson, [Hanson, N. R., 1985]; Pedersen, [Pedersen, O., 1996]; Crombie, [Crombie, A., 1987] e Lindberg [Lindberg, D., 1992].

de pesquisa, senão incompatíveis, pelo menos conflituosas, pois não havia um ajuste adequado entre elas (dadas, como vimos, pela metodologia e metafísica a elas aplicadas). Proclus (século V da era cristã) considerou que, apesar dos artifícios ptolomaicos serem apenas ficções, eles eram suficientemente adequados para determinarem bons posicionamentos, o que lhes garantia uma aplicação suficiente em astronomia [Aiton, E. J., 1981, pp. 84 e 85; Duhem, P., 1984, p. 19]. Por outro lado, Sosígenes, defendeu a cosmologia aristotélica, de maneira a tentar adequar os epiciclos e excêntricos a essa explicação física, mas conseguindo apenas utilizá-los no contexto da obtenção de uma correta descrição cinemática. Sosígenes encarnou a visão tradicional da Idade Média de que as coisas dos céus são inacessíveis à mente humana, pois é o reino do divino, e que, sendo dessa maneira, devemos contentar-nos com a aproximação [Aiton, E. J., 1981, pp. 82 – 83]. Para Sosígenes, as esferas aristotélicas são sólidas, mas a sua essência, que é divina, não nos é dado contemplar, e que devemos, apenas, considerá-las como geométricas para podermos aproximar-nos um pouco melhor delas.

Essas duas posições (Proclus e Sosígenes) dão uma rápida noção da problemática da cosmologia e astronomia durante a Idade Média. Há uma explicação física (cosmologia), que de uma forma geral é representada pelo aristotelismo; mas a sua essência, isto é, a sua verdade, é inacessível à mente humana<sup>26</sup>, implicando numa espécie de “tentativa de aproximação da verdade”, e isso dado pelos artifícios geométricos. Essa concepção de um cosmo divino, inacessível em sua essência ao intelecto humano, perdurará até Copérnico e Kepler, e será a base para o prefácio de Osiander ao *De Revolutionibus* para defesa de que as hipóteses copernicanas são apenas propostas matemáticas para melhor auxiliar o trabalho cinemático do astrônomo, mas que não são nem verdadeiras nem falsas, visto que o intelecto humano é inapto a saber tal coisa. Kepler será um crítico radical dessa postura cosmológica.

Os desenvolvimentos que ocorreram no mundo muçulmano nos dão uma impressão satisfatória sobre os problemas entre cosmologia e predição. Tivemos tanto adeptos da astronomia ptolomaica quanto cosmólogos aristotélicos. Os problemas relativos ao uso do equante foram uma motivação para os astrônomos árabes procurarem aperfeiçoar a

---

<sup>26</sup> Essa interpretação foi dada por Duhem, [Duhem, P., 1984], que, apoiando-se em textos de autores medievais, como Geminus, mostrou que a noção de cosmo era algo mais próximo ao divino que à mente humana.

astronomia geocêntrica. A escola de Maragua foi um exemplo de tal trabalho. Visando salvaguardar o axioma da circularidade e uniformidade, Nasir al Din, Qutb al Din e Ibn al Shâtir, procuraram retirar o caráter de ponto móvel do equante ptolomaico, que leva a uma variação de velocidades, determinando, em seu lugar, um modelo em que as velocidades sejam constantes [Kennedy, E. S., 1966].

Por outro lado, os defensores da cosmologia aristotélica, especialmente Averroes e Maimonides, tematizaram os problemas da relação entre astronomia e cosmologia. O primeiro escreveu o seguinte<sup>27</sup>:

“É, portanto, necessário que o astrônomo construa um sistema astronômico tal que os movimentos celestes dele resultem e que não implique nenhuma impossibilidade do ponto de vista da física (...) Ptolomeu não conseguiu sustentar a astronomia sobre seus verdadeiros fundamentos (...) o epiciclo e o excêntrico são impossíveis. É, portanto, necessário desenvolver novas pesquisas sobre essa verdadeira astronomia, cujos fundamentos são princípios da física (...) na realidade, a astronomia hoje não existe; ela convém ao cálculo, mas não concorda com aquilo que é.”

Ou seja, não temos, segundo a citação acima, uma astronomia estabelecida, pois ela importa princípios da cosmologia, mas como os artifícios utilizados pela astronomia não têm respaldo físico, eles são apenas cálculos, sem realidade. De uma forma mais radical, Maimonides escreve<sup>28</sup>:

“Considere, conseqüentemente, como tudo isso é obscuro. Se aquilo que Aristóteles diz na ciência física é a verdade, não existe nem epiciclo nem excêntrico, e tudo gira em torno da Terra. Mas de onde viriam todos esses movimentos diversos dos planetas? Será possível de alguma maneira que o movimento seja perfeitamente circular e igual e que ao mesmo tempo ele corresponda aos fenômenos visíveis, a não ser explicando-o por uma das duas hipóteses ou por ambas ao mesmo tempo? Ainda mais, admitindo tudo o que Ptolomeu diz (...), os cálculos feitos de acordo com essas hipóteses não erram por um só minuto<sup>29</sup> (...) Como representar sem epiciclo o movimento retrógrado de um planeta, com seus outros movimentos? E

<sup>27</sup> Averroes, *Metaphysica*, livro 12, summa 2, cap. 4, comentário 45, extraído de Duhem, [Duhem, P., 1984, pp. 27 – 28].

<sup>28</sup> Maimonides, *Lê guide des égarés*, parte 2, capítulo 11, retirado de Duhem, [Duhem, P., 1984, p. 29 – 30].

<sup>29</sup> Isso é um exagero de Maimonides, os erros dos modelos de Ptolomeu chegavam a 10 minutos.

como, por outro lado, imaginar que exista no Céu um rolamento, um movimento em torno de um centro não físico? Esta é a perplexidade real.”

A citação acima resume bem a situação. Por um lado, temos uma astronomia que dá bons resultados, a ptolomaica, por outro, uma cosmologia que não corresponde a essa astronomia, a aristotélica. A questão, então, que se colocava era: como é possível uma astronomia que dá resultados razoáveis e, ao mesmo tempo, é incompatível com a física? A resposta para nós, nos dias de hoje, pode ser respondida, pois, a física não era correta (a aristotélica) e nem os artificios devem ser usados (pois foram substituídos por leis), mas para os pensadores do medievo essa resposta era impossível, visto que o quadro cultural e científico da época não autorizava essas respostas. Em outras palavras, esses problemas apontados por Maimonides provinham do empréstimo que a astronomia computacional pedia à cosmologia – isto é, a astronomia computacional usava o axioma da circularidade e uniformidade, que, por sua vez, só tinha sentido no quadro cosmológico desenvolvido por Aristóteles, fundamentado na separação ontológica entre céus e Terra.

A tradição ocidental passou pelos mesmos problemas, agravados pelas interpretações bíblicas, que viam no aristotelismo uma filosofia adequada a ser tratada por meio dos princípios expostos nas Sagradas Escrituras. Basicamente, o aristotelismo foi aceito após o século XIII, e a questão das causas dos movimentos planetários foi vista como a ação de inteligências ou almas planetárias que condicionariam esses movimentos<sup>30</sup>. Alguns autores objetivaram dar realidade física para os artificios do epiciclo, considerando-os como ligados às esferas sólidas, o maior problema era que, visto que o universo aristotélico é real, isto é, material, as esferas também devem sê-lo, e de uma maneira plena, sendo assim, os artificios não poderiam passar de uma esfera à outra sem interceptar as esferas.

Resumindo, antes de chegarmos a Copérnico e Kepler, a situação era a de conjugar a física aristotélica com a astronomia ptolomaica, mas com poucos resultados positivos. No século XVI, duas coisas foram importantes para a resolução dessa situação: o copernicanismo, que forneceu uma nova estrutura cósmica, que possibilitou o abandono da cosmologia e da física aristotélicas, por um lado, e, por outro, as observações de Tycho

---

<sup>30</sup> Ver seção sobre o histórico do conceito de força, no capítulo primeiro desta tese.

Brahe sobre a estrela nova de 1572 e do cometa de 1577, que forneceram provas empíricas contra a estrutura cósmica sobre a qual se apoiavam as esferas sólidas.

### 3.3. Copérnico e a nova proposta para a astronomia e cosmologia

Já vimos no capítulo anterior a importância do copernicanismo como sendo principalmente uma nova proposta cosmológica, e não apenas uma nova forma de construir a astronomia por meio da adoção do método de salvar as aparências. As hipóteses copernicanas abriram a possibilidade de construir uma física distinta da de Aristóteles e de negar os usos dos artifícios de Ptolomeu (Kepler e Galileu foram alguns dos personagens que trabalharam nesse aspecto). Porém, o apego ao axioma platônico reduziu a atuação de Copérnico nesse programa. Segundo ele, sobre o axioma platônico [Copérnico, N., 1990, p. 25]:

“O movimento dos corpos celestes é uniforme, perpétuo e circular ou composto de movimentos circulares.

“Depois do que foi dito anteriormente, referiremos que o movimento dos corpos celestes é circular. Com efeito, o movimento apropriado de uma esfera é uma rotação num círculo, reproduzindo a sua própria forma no próprio ato como corpo extremamente simples em que não se pode indicar princípio nem fim, nem distinguir-se um do outro, enquanto através dos mesmos, move-se a si mesma.”

Ou seja, Copérnico segue os princípios do axioma platônico incontestavelmente<sup>31</sup>: é função do astrônomo compor, por meio das observações astronômicas, os movimentos segundo o círculo e a uniformidade. Mas, Copérnico, mesmo aceitando o axioma, muda as hipóteses centrais: não mais a Terra como centro, mas o Sol [Copérnico, N., 1984, Livro I, cap. 5], e esse está estático e aquela se move. Isso poderia sugerir inicialmente que Copérnico abandonará a postura de apenas “salvar as aparências”, fornecendo uma explicação física sobre os céus. Nos livros restantes (II ao VI), porém, Copérnico utiliza-se dos mesmos expedientes da astronomia intrumentalista de sua época: uso de artifícios, em

<sup>31</sup> O peso do axioma platônico era tão grande em Copérnico que esse criticou a organização proposta no *Almagesto*, pelo uso do equante polomaico. Para Copérnico era inadmissível elaborar os movimento a partir de um ponto que não é físico. Conferir Copérnico, [Copérnico, N., 1990, livro IV, cap. II, p. 319].

especial o epiciclo com deferente, para expressar a órbita planetária como circular e uniforme.

Copérnico nunca declarou abertamente, distintamente do que fez Kepler, que a proposta heliocêntrica deve ser vista como uma cosmologia que procura expressar a realidade do mundo celeste. Mas podemos inferir com um grau plausível de certeza, que a sua proposta não era meramente cinemática – apesar do fato de que Copérnico não questionou o axioma platônico, o que o levou a utilizar-se de toda a maquinaria preditiva instrumentalista -, mas cosmológica.

De fato, na época em que Copérnico escreveu a sua obra principal, as discussões reinantes eram acerca da verdade ou não da existência das esferas de Aristóteles, e da importância preditiva da maquinaria ptolomaica. A situação foi resumida por Petrus Ramus, que, negando as esferas de Aristóteles, exigiu uma “astronomia sem hipóteses”, isto é, Ramus pediu uma astronomia construída diretamente pelas observações, sem as considerações cosmológicas, físicas, mas que se utilizasse de artifícios mais adequados, isto é, de círculos [Aiton, E. J., 1981, p. 102]. Foi nesse quadro que o copernicanismo apareceu, e suas propostas puderam, com Kepler, construir as exigências de Ramus, com a ressalva que ao invés da física de Aristóteles, iniciou-se a construção de uma nova física.

Mas, independentemente se Copérnico tinha ou não preocupações cosmológicas, as suas propostas forneceram as condições necessárias para Kepler poder discutir o estatuto epistemológico e metodológico da astronomia e da cosmologia, obtendo, como veremos a seguir, uma nova forma de determinar, numa única teoria, tanto predição quanto explicação.

Em suma, a situação epistemológica da astronomia e cosmologia nos finais do XVI era a de um estado no mínimo conflituoso. O problema central desse conflito foi o apego incontestável ao axioma platônico, suscitado pela crença num universo dividido entre Terra e céus. Foi apenas quando essa concepção de mundo deixou de imperar que a astronomia e a cosmologia puderam unir-se numa única teoria. Para poder falar da realidade do que ocorre nos céus, da mesma forma que podemos falar da realidade do que acontece no nosso mundo terrestre, foi necessário “desmistificar” os conceitos de movimentos circulares e uniformes; foi necessário considerar o espaço celeste como sendo de natureza idêntica à natureza do espaço terrestre (isto é, um espaço euclidiano), sem distinguir a natureza dos

movimentos de acordo com o lugar a que devem ser aplicados; os corpos celestes, por sua vez, tiveram que perder o valor de perfeitos e incorruptíveis; e, além do mais, e o ponto mais importante de todos, a fonte de movimentos teve que ser vista como uma causa física.

### **3.4. A cosmologia e astronomia kepleriana: união entre predição e explicação**

A forma ímpar pela qual Kepler construiu a sua astronomia, seja sob o ponto de vista de seus fundamentos empíricos, epistemológicos e metodológicos, seja pelo forte caráter metafísico presente na mesma, reflete os seus objetivos básicos: o de fornecer à astronomia condições teóricas suficientes para decidir acerca de qual sistema de mundo (ptolomaico, copernicano ou brahiano) corresponde de fato a realidade do mundo celeste, e, ao mesmo tempo, fornecer amplas condições para, através dessa tomada de decisão sobre qual é o verdadeiro sistema de mundo, melhorar a parte prática da astronomia, elaborando tabelas de posicionamentos planetários com um maior grau de precisão [Kepler, J., G. W., III, p. 20]. Na verdade, esses objetivos procuraram dar conta dos problemas entre a astronomia preditiva de Ptolomeu e a cosmologia explicativa de Aristóteles. Como vimos acima, a situação epistêmica da astronomia nos finais do século XVI condicionava-se à intranquilidade reinante entre os adeptos da cosmologia física aristotélica e os astrônomos práticos, seguidores em sua maioria das maquinarias preditivas desenvolvidas pelos matemáticos gregos, que teve como seu principal representante Cláudio Ptolomeu. Muitos notaram a impossibilidade de progresso<sup>32</sup> astronômico num terreno tão arenoso. Muitos tentaram resolver, mas os resultados que obtiveram ou eram presos às noções aristotélicas de esferas sólidas, ou, em contrapartida, tinham como suporte toda a parafernália presente na astronomia meramente prática de Ptolomeu, gerando mais modificações num sistema ou

---

<sup>32</sup> A noção de “progresso” será discutida mais detidamente no capítulo quatro desta tese. Pode parecer que a aplicação dessa noção para a astronomia do início do dezessete é mal empregada, principalmente pelo caráter científico que a astronomia tinha em relação aos outros campos do saber – a astronomia era a ciência mais progressiva que se tinha nesse período da história das ciências e do conhecimento humano, pois os seus resultados eram os mais significativos, superando os da medicina, ótica, biologia, etc., só perdendo para as matemáticas puras. Porém, apesar desses resultados positivos, a astronomia, assim como todas as outras ciências, não tinha elaborado de uma forma detida as suas bases epistemológicas e metodológicas. Nesse sentido, a astronomia do início do século XVII, mesmo a copernicana, tal como exposta pelo seu criador, ressentia-se principalmente de um conjunto explicativo que resolvesse, ou abandonasse como algo destituído de significação, problemas que vinham se avolumando desde os tempos de Platão e Aristóteles, tais como as anomalias presentes nos modelos sobre os movimentos dos planetas. Temos, assim, a idéia de um progresso teórico.

no outro, mas sem resolver de fato o conflito real. Kepler foi o primeiro a romper tanto com um quanto com outro, dotando a astronomia das condições necessárias para abandonar o plano da disputa.

Historicamente, podemos dizer que Kepler foi o primeiro astrônomo a fornecer um modelo astronômico que eliminou a controvérsia entre ptolomaicos e aristotélicos – Copérnico, como vimos anteriormente, propôs uma nova ordenação do mundo celeste, obtendo como principal resultado a resolução dos movimentos retrógrados, mostrando que, sob o ângulo realista (isto é, quando se dota a Terra de movimentos), esses movimentos são meras aparências; mas, em contrapartida, o seu apego incontestável aos valores do mundo antigo, tal como o respeito quase divino ao axioma platônico, impediram-no de romper com os artificios da astronomia computacional desenvolvida pela tradição grega-medieval, principalmente para a resolução das variações das distâncias planetárias (movimentos não uniformes entre arcos de circunferências e os seus respectivos tempos) propondo novos caminhos para a astronomia de sua época. E isso não por assumir uma posição em detrimento de outra, mas por modificar radicalmente tanto a cosmologia e a astronomia, implicando num abandono, senão completo pelo menos considerável, tanto da cosmologia aristotélica quanto da astronomia ptolomaica. Kepler instaurou uma cosmologia que permite ser explicativa, por um lado, ao trazer para discussões questões fundamentalmente físicas e dinâmicas e, por outro lado, ela é também a base para a elaboração de previsões mais satisfatórias que as obtidas pela tradição.

O peso histórico de Kepler para a astronomia encontra-se, com toda certeza, na quebra do axioma platônico. A ruptura com esse padrão regulador das hipóteses relativas aos movimentos planetários foi algo que podemos considerar como tão necessário para a fundamentação da astronomia moderna<sup>33</sup> quanto o foram as hipóteses heliocêntricas para essa mesma fundamentação. Neste sentido, podemos entender as contribuições keplerianas para a história da astronomia não apenas no que concerne a suas leis dos movimentos planetários; mais do que isso, a sua importância alicerça-se na ruptura com o axioma platônico e, como fruto dessa quebra, no abandono de uma série de questões que eram

---

<sup>33</sup> Como veremos no capítulo quarto desta tese, a ruptura com o axioma platônico não é algo secundário no processo de constituição e consolidação da ciência moderna. Isso não foi simplesmente um abandono metodológico, voltado mais para “salvar as aparências”, mas representou uma mudança de mentalidade acerca da possibilidade de falar do mundo celeste.

próprias da antiga constituição da imagem do mundo celeste – representadas principalmente pela controvérsia entre a astronomia ptolomaica e a cosmologia aristotélica – e para a consideração de novos problemas e questões. Após Kepler, podemos dizer que a astronomia abandonou a procura de resolução de vários problemas, bem como deixou de ser-lhe úteis muitos métodos de trabalho, pois já não tinha mais sentido procurar epiciclos, movimentos a partir do equante etc, quanto se tem em mãos uma teoria dos movimentos planetários, representada pelas três leis de Kepler, que fornece posicionamentos mais precisos e determina, ao mesmo tempo, um modelo explicativo, mesmo que errôneo, sobre as causas físicas desses movimentos<sup>34</sup>. Por outro lado, com Kepler a astronomia pôde tratar de questões que antes não tinham sentido ou não eram relevantes.

A renovação kepleriana pode ser entendida como uma reforma dos critérios racionais para a determinação dos movimentos planetários. Vamos apresentar essa reforma, destacando as suas linhas principais, para podermos notar em que sentido os trabalhos desenvolvidos por Kepler para a astronomia determinaram novos rumos para essa área do saber humano.

Kepler sempre foi consciente de que a astronomia tinha que modificar radicalmente a sua forma de obter conhecimentos. Para esse astrônomo as idéias ou as noções que eram utilizadas para expressar a astronomia eram deficientes, pois a representavam como um ser animado, um organismo divino, de maneira que seria até um sacrilégio querer erigir discursos sobre o universo celeste, um mundo considerado tão perfeito; para Kepler essa idéia sobre a astronomia era-lhe negativa, pois impedia uma representação mais condizente com a procura das causas e das suas possíveis leis. Em 10 de fevereiro de 1605, antes de obter os resultados que o transformaram num dos fundadores da astronomia moderna, Kepler escreve a Hohenburg, relatando alguns dos progressos que teve em relação aos seus estudos sobre o planeta Marte; mas o que é mais notório nessa carta é a imagem que Kepler faz da astronomia, algo não muito convencional nesse período. Segundo ele, sobre os seus estudos acerca do planeta Marte [Kepler, J., G.W. XV, p.146]:

---

<sup>34</sup> Obviamente, isso não foi notado de imediato pela comunidade astronômica, que viu nos trabalhos de Kepler um bom expediente para determinar, apenas, melhores posicionamentos astronômicos. Somente após Newton, surgem tentativas de analisar cuidadosamente a reformulação teórica operada por Kepler em astronomia e, mesmo assim, considerando-se tal reformulação como pertencente mais à tradição mágica do que referente a uma empreitada racional.

“(...) Explico todos os meus esforços, para que conste melhor de como cheguei primeiramente a esses caminhos. Indago muito sobre as causas físicas. A minha impressão é de que a máquina celeste [*caelestem machinam*] não é como um animal divino [*divini animalis*], mas como um relógio [*sed instar horologii*], no qual todas as variedades de movimentos se explicam por uma simplíssima força magnética corporal. Igual a um relógio em que todos os movimentos se formam via um peso simplíssimo. E ensino que a razão pode ser chamada de física por números e geometria. (...) Tycho negou os orbes: e agora ensino como é o novo modo de se entender os movimentos dos planetas sem orbes, e como se chegar às excentricidades.”<sup>35</sup>

A citação é muito reveladora. O universo é visto como uma “máquina celeste”, por analogia com o funcionamento de um relógio, de forma a representar os movimentos por meio da ação de uma força corporal e, além disso, expressar os movimentos mediante os números e relações da geometria. Por trás dessa visão do universo como uma máquina, esconde-se o projeto que pôde trazer para a astronomia as condições para ser tanto uma ciência preditiva quanto uma ciência que procura obter explicações físicas sobre os movimentos planetários.

Essa analogia com o relógio não é fortuita. Na época de Kepler, longe ainda da síntese newtoniana, o universo era, segundo a visão medieval, entendido mais como uma obra de Deus que deve ser contemplado nos seus aspectos divinos do que propriamente um objeto de estudos. Considerar que o universo celeste mantém um funcionamento análogo ao de um artefato mecânico, como um relógio, é considerar duas coisas: a) as suas partes podem ser decompostas de modo a sabermos como elas funcionam isoladamente e, também, em relação à máquina toda; num relógio, temos peças, engrenagens que mantêm um funcionamento para que a peça toda, o próprio relógio, marque as horas; assim, os planetas e o Sol podem ser vistos como “peças” em que, de acordo com o funcionamento de cada uma em relação às outras (um planeta qualquer em relação aos outros planetas), temos o funcionamento do todo, isto é, do universo kepleriano; b) sendo o universo uma

<sup>35</sup> “Explico omnes meos conatus, ut tanto melius constet, cur hanc potissimum viam inverim. Multus sum in causis physicis indagandis. Scopus meus hic est, ut Caelestem machinam dicam non esse instar divini animalis, sed instar horologii (qui horologium credit esse animatum, is gloriam artificis tribuit operi), ut in qua pene omnis motuum varietas ab una simplicissima vi magnetica corporali, uti in horologio motus omnes a simplicissimo pondere.. Et doceo hanc rationem physicam sub numeros et geometriam vocare (...) Tycho negavit orbes: ego jam doceo, quomodo moveantur planetae sine orbibus, quomodo contingat Eccentricitas.”

máquina idêntica ao relógio, podemos conhecer e descrever as suas partes em relação ao todo; em outros termos, o universo celeste pode ser conhecido pelo agente cognoscente. Longe de ser apenas um objeto de contemplação, o intelecto humano pode analisar e compreender o seu funcionamento.

Com essa modificação sobre a imagem do universo, Kepler pôde chegar as suas leis dos movimentos planetários, que apresentam, no seu processo de obtenção, essa nova forma de entender o cosmo.

Os trabalhos que contêm as leis de Kepler, a *Astronomia nova* e a *Harmonia do mundo*, desenvolveram o corpo teórico para a obtenção dessa nova forma de pensar a astronomia. Como vimos nos capítulos anteriores, as leis de Kepler supõem a admissão incontestada de que existem causas físicas presentes nos movimentos planetários; causas essas que são expressas pela ação do corpo central, o Sol, de maneira a podermos representar as regularidades que se apresentam nos movimentos planetários, eliminando, como consequência de tais coisas, os movimentos circulares e uniformes presentes na astronomia desde os gregos antigos e, como consequência, a utilização de todo o arsenal geométrico – deferentes, epiciclos, equantes etc, utilizado para a computação dos dados sobre os posicionamentos dos planetas. Vimos também que o conceito de harmonia estabelece o espaço celeste necessário, através da sua organização, na qual os movimentos dos planetas todos entre si perfazem um sistema integrado e unitário, para poder derivar leis sobre as regularidades que subjazem aos fenômenos celestes. Porém, esses dois conceitos, força e harmonia, apresentaram-se “de um modo separado”, se assim podemos dizer, sendo aplicado com mais ênfase, na *Astronomia nova*, o conceito de força, e na *Harmonia do mundo*, o conceito de harmonia. Dessa forma, uma leitura isolada de uma obra ou outra leva a, talvez, não se perceber a estreita relação entre esses dois conceitos. Analisadas isoladamente, as obras de 1609 e 1618 não contemplam plenamente as funções de força e harmonia dentro da nova proposta kepleriana para reformular tanto a parte teórica quanto prática da astronomia do início do século XVII.

Mas se essas obras apresentam, cada uma delas, apenas um lado da moeda, temos, em contrapartida, o livro IV do *Epítome da astronomia copernicana* - que nos apresenta a cosmologia de Kepler na sua forma mais desenvolvida -, onde temos o que ele de fato

entende por força e a sua principal defesa do sistema copernicano como o espaço cósmico real.

O *Epítome* é uma espécie de manual astronômico, contendo sete livros. Escrito com a intenção de esclarecer a astronomia copernicana (mas na realidade acaba apresentando a astronomia kepleriana) para os astrônomos que indagavam tanto sobre as hipóteses copernicanas quanto pelas inovações de Kepler [Caspar, M., 1993, pp. 293 – 294] (principalmente as relativas ao uso de recursos físicos e dinâmicos para descrever e explicar os movimentos dos planetas), a obra compõe-se de uma série de perguntas com as suas respectivas respostas.

O quarto livro da obra é o que nos interessará para tratarmos dos nossos objetivos. Nesse livro, Kepler expõe aquilo que se pode considerar como a sua cosmologia, de maneira que, por ele, podemos apreciar a organização do cosmo kepleriano (uma organização fundamentalmente copernicana), a aplicação do conceito de força como a verdadeira causa física dos movimentos planetários serem conformes as suas três leis e, principalmente, a estipulação de que o tratamento teórico do cosmo deve ser tanto explicativo quanto competente para obter predições precisas. Na realidade, o livro IV do *Epítome* é, conforme Kepler mesmo nos diz, um diálogo, uma espécie de contra-argumento à organização de mundo exposta por Aristóteles no *De caelo*, mostrando a impossibilidade de aplicação da cosmologia aristotélica quando se procura erigir a realidade do mundo celeste. Kepler assim fez, pois, lembremos, ele, quando escreveu o quarto livro, em 1619, já tinha rompido com o axioma da circularidade e uniformidade, estando livre, portando, de todo o compromisso que a tradição carregou por mais de 20 séculos. Assim, Kepler pôde escrever esse quarto livro fazendo a união entre astronomia e física, da mesma forma que Aristóteles tinha feito, mas sem os compromissos desse último.

Contemplemos o que Kepler nos escreve no prefácio ao quarto livro. [Kepler, J., 1995, p. 7]:

“(…) Primeiramente, retirei esses meios que estão na multiplicidade dos movimentos dos planetas singulares dos olhos da filosofia; assim, eu demonstro o seguinte: que o movimento de qualquer planeta não é uniforme através de todo o circuito – distintamente de Aristóteles que argumentou ao contrário nos capítulos VI e VII [no *De caelo*]; mas que na realidade o movimento aumenta ou diminui nos lugares e nos

seus períodos os quais são fixos e opostos um ao outro; e explico a causa eficiente ou instrumental desse aumento mediante a diminuição do intervalo entre o planeta e o Sol, no qual a fonte de movimento está (...) E eu tomo a minha solução pelos Arquétipos do cosmo harmônico: pois é impossível que o cosmo seja melhor do que ele é agora.(...).”<sup>36</sup>

Ou de uma forma mais específica quando estabelece os objetivos do livro IV [Kepler, J., G. W. VII, p. 257]:

“Como a astronomia tem duas finalidades básicas, a de salvar as aparências e a de contemplar a verdadeira forma do edifício do mundo. (...) sobre o primeiro fim, alguns princípios podem ser considerados e outros podem ser omitidos; entretanto, a segunda finalidade deve necessariamente ser corrigida.

“(…) Todavia não existem os pequenos círculos denominados de epiciclos, os quais, pelas suas conversões variariam os intervalos entre os planetas e o Sol, mas, na realidade, os próprios corpos dos planetas, por uma força inserida [*vi insite*] neles, levam a essas variações.

“(…) O livro quarto contém a própria física celeste, ou a forma e as proporções da fábrica do mundo e as causas verdadeiras dos movimentos. Essa deve ser a função primária do astrônomo.”<sup>37</sup>

Kepler estabelece duas coisas básicas na primeira citação: a primeira é que os movimentos não são uniformes (e, apesar de Kepler não citar, também não são circulares), distintamente do que admitia Aristóteles, de maneira que é válido, quando se rompe com o primado da circularidade e uniformidade das órbitas, a afirmação e a procura de que há uma causa motriz de movimentos, no centro do sistema (como vimos, para Aristóteles o

<sup>36</sup> “Ego vero eadem illa laudabili Philosophiae siti adductus, primum nebulas istas multiplicatis motuum in planetis singulis, ab oculis Astronomiae abstersi: deinde hoc demonstratum reddidi: Non aequabillem esse motum Planetae toto circuitu, quod ille cap. 6. et 7. contenderat: sed revera intendi et remittere; idque locis periodi statis, interque se oppositis; et causas intensionis efficientes seu instrumentales explicavi, diminutionem intervalli a Sole, und velut ex fonte, ille motus oritur. (...) sed atulli etiam dubitationis hujus maximae solutionem et discussionem non viliorem, sed omnino legitimam, ex Archetypo harmonici ornatus.”

<sup>37</sup> “Cum Astronomia duos fines habeat, salvare apparentis, et contemplari genuinam formam aedificij mundani (...). ad primum quidem finem, nom est opus omnibus hisce principijs; sed possunt aliqua mutari; aliqua omitti; secundum etiam necessario est emendandum.”; “Amplius, etsi planetae revera fiunt a Solis centro Excentrici: non sunt tamen aliqui circuli minutioris, Epicycli dicti, qui conversione sui varient haec intervalla Planetae et Solis; sed ipsa planetarum corpora vi insita praebent occasionem huic varitioni.”; “Continebit líber iste IV, ipsisimam physicam coelestem, seu formam et rationes operis mundani, causasque genuinas motuum. Et hoc erit illud primarium Astronomi munus.”

movimento circular e uniforme é natural, não implicando na procura de suas causas, pois é o movimento mais simples e mais perfeito de todos, implicando na não consideração do centro de movimentos como fonte da causa de movimentos, o que o fez deslocar a fonte de movimentos para o primeiro motor, um recurso mais metafísico do que propriamente físico); e, a segunda, o cosmo é fundamentalmente harmônico, estruturado de maneira racional.

Na segunda citação temos algo que é extremamente importante. O quarto livro apresenta a física celeste, tendo como principais características o fato de que há causas físicas e proporções nos movimentos planetários, sendo função primária do astrônomo procurar por elas. Isso é uma mudança radical nas funções do astrônomo, pois esse não deve ser apenas um coletor de dados para computar melhores posicionamentos dos planetas, mas deve, principalmente, tratar dos aspectos físicos reais. Essa mudança de enfoque sobre a função do astrônomo é básica para o desenvolvimento da astronomia. Como é garantido – garantia essa dada pelas próprias leis dos movimentos planetários – que não existem epiciclos, equantes etc, mas forças internas aos próprios corpos físicos dos planetas, o astrônomo deve ter como preocupação básica não a procura dos melhores posicionamentos dos planetas pelo método de “salvar as aparências”, pois esse método não é suficiente para a astronomia, mas, na realidade, deve procurar as causas físicas dos movimentos, de modo que, garantindo-se a obtenção da verdadeira estrutura física do mundo, o método correto para a resolução dos movimentos planetários se apresentará ao astrônomo.

O livro quatro dedica-se a dar conta tanto da verdadeira organização do mundo celeste quanto da determinação das causas dos movimentos planetários. Neste sentido, o livro divide-se em três partes: a primeira determina a estrutura do cosmo, destacando as suas principais partes, a localização do Sol, das estrelas fixas e das razões (proporções entre os corpos do mundo entre si); a segunda trata especificamente dos movimentos planetários, apresentando quais são os movimentos, quais são as verdadeiras causas, sobre o movimento de rotação do corpo central, o Sol, e as conseqüências desse movimento nos movimentos dos planetas, o movimento anual da Terra e os movimentos da Lua; a terceira parte trata das irregularidades reais dos planetas, estipulando as suas causas, as irregularidades em longitude, altitude e latitude, as irregularidades duplas da Lua.

Veremos os principais aspectos dessa discussão, com o objetivo de mostrar a maneira pela qual Kepler determina uma cosmologia distinta da de Aristóteles e uma astronomia diferente da de Ptolomeu, tratando tanto cosmologia quanto astronomia num corpo unificado.

Kepler inicialmente apresenta o que ele entende por estrutura cósmica. Eminentemente copernicano, o mundo de Kepler é fechado, com o Sol no centro, os planetas, inclusive a Terra e os cometas, girando ao seu redor, limitando-se até a esfera das fixas, ou, até onde a nossa visão ou objetos de investigação astronômica, como o telescópio, determinarem. Até esse ponto Kepler segue Copérnico à risca. O interessante, e original, sobre essa estrutura relaciona-se às propriedades do cosmos, que são, segundo Kepler as seguintes [Kepler, J., G. W., VII, pp. 259]:

“A perfeição do mundo consiste na luz, calor, movimentos e harmonia. Essas são análogas às faculdades da alma; luz ao sensitivo, calor para o vital ou natural, movimento para o animal e harmonia para o racional. (...) com respeito a todas as afecções do mundo, o Sol exerce a função de causa eficiente; a região das estrelas fixas delimita a forma do mundo, o que ele contém e o que o termina; e o espaço intermediário – que é o nosso objeto de discussão – deve estar em acordo com a natureza de cada afecção. Assim, de todos esses modos, o Sol é o principal corpo do mundo celeste.”<sup>38</sup>

O cosmo é limitado pela esfera das estrelas fixas, os planetas estão no seu interior e movem-se segundo as leis dos movimentos planetários e o Sol ocupa a posição central como causa eficiente. Onde está a originalidade dessa estrutura? Está em dois pontos: 1) Kepler relaciona a perfeição do mundo à luz, ao calor, aos movimentos e à harmonia, considerando-as análogas às coisas terrestres (a luz do mundo celeste corresponde aos objetos sensitivos; o calor à vida; os movimentos referem-se aos corpos animais e a harmonia à parte racional); com isso ele pôde considerar o cosmo não como um mundo distinto do nosso, mas como análogo a ele, de maneira que, a partir dessa analogia, ele teve

<sup>38</sup> “Mundi perfectio consistit in luce, calore, motu, et Harmonia motuum; quae sunt analogae facultatibus animae, lux sensitivae, calor vitali et naturali, motus animalis, Harmonia rationali. (...) Iam cum ad omnem affectionem tria necessario concurrant, causa a qua, subjectum in quo, et forma sub qua: Sol igitur per omnes dictas affectiones mundi, vicem sustinet efficientis, fixarum regio, vicem formantis, continentis, et terminantis; intermedium, vicem subjecti, pro natura cujusque affectionis. Omnibus igitur his modis Sol fit totius mundi corpus praecipuum.”

condições para entender os corpos celestes não como objetos de natureza distinta dos corpos terrestres, pois a luz do mundo celeste é emanada pelo Sol, refletindo-se nos planetas, semelhantemente à luz provinda de uma lanterna que ilumina um objeto, de modo que nós vemos sensitivamente a ação da luz do Sol refletida nos movimentos [Kepler, J., G. W., VII, p. 259]; o calor é relacionado à vida, ao princípio vital que é necessário para que um organismo ou um sistema gerado por forças se dê, de maneira que da mesma forma que um organismo precisa de uma fonte de energia para poder viver, os planetas, para poderem mover-se, precisam de uma fonte de forças [Kepler, J., G. W., VII, p. 259]; os movimentos são análogos aos animais, e, finalmente, a harmonia presente no mundo celeste pode ser compreendida pelo intelecto humano, que é capaz de expressar as relações harmônicas que estão subjacentes aos movimentos planetários [Kepler, J., G. W., VII, p. 259]<sup>39</sup>; 2) com essas analogias relativas aos fenômenos terrestres, Kepler pôde, ainda que não de uma forma completa, considerar o cosmo como uma máquina não sujeita às qualidades do mundo hierárquico aristotélico, pois, abstraindo as qualidades, o que nós temos no céu são matéria e movimento, pois, esse céu pode ser visto como uma máquina, limitada pelas estrelas fixas, contendo um motor central e as suas partes, as suas engrenagens e peças, movem-se de acordo com leis que determinam a harmonia que se apresenta nas regularidades dos movimentos planetários.

Podemos agora compreender o papel do Sol dentro dessa estrutura. Apesar de Kepler utilizar diversos argumentos para provar a dignidade do Sol como principal astro do seu sistema [Kepler, J., G. W., VII, pp. 261 – 263], as suas justificações mais fortes concernem à necessidade de que a fonte de movimento esteja localizada no centro do sistema, sendo o Sol o único corpo que pode preencher as condições para ser a causa eficiente dos movimentos. Kepler não aceitou o sistema copernicano apenas sob o ponto de vista da simplicidade que ele representa em relação ao ptolomaico, e nem apenas por ser apto a expressar os seus anseios religiosos ou padrões estéticos, mas, principalmente, pela necessidade de formar uma astronomia física, que, conseqüentemente, alicerçasse a astronomia em bases seguras, eliminando as controvérsias cinemáticas existentes.

---

<sup>39</sup> Conferir a *Harmonia do mundo*, parte 4, que mostra como o intelecto humano pode expressar a harmonia absoluta que é necessária para que haja os movimentos dos planetas. Ver capítulo dois desta tese.

Analisado por essa via, o Sol é o componente mais adequado para ser visto como o centro de movimentos.

A partir da colocação do Sol no centro, é possível determinar algumas características do cosmo copernicano [Kepler, J., G. W., VII, pp. 264 – 276]. Copérnico já tinha determinado a organização dos planetas e quais estão mais próximos e mais afastados do Sol e os seus períodos de translação. Kepler as segue, mas retira as conseqüências físicas e metodológicas que Copérnico não conseguiu extrair da sua proposta. O que Kepler procura, na quarta parte da sua obra de 1619, é levantar as provas para a justificação do heliocentrismo como o sistema verdadeiro do universo, destacando, para tanto, as vantagens que esse tem em relação aos modelos geocêntricos. Assim, segundo o nosso astrônomo, a superioridade do raciocínio de Copérnico, em relação ao dos antigos, está no seguintes [Kepler, J. G. W., VII, p. 265]:

“1. O raciocínio dos antigos é meramente provável, mas as demonstrações de Copérnico, extraídas a partir de seus princípios, apresentam-se por necessidade.

“2. Eles (os antigos) ensinam unicamente que não existe mais do que um planeta numa única esfera; Copérnico adiciona que as esferas vistas devem, pelas suas grandes distâncias, estar necessariamente acima de outras.

“3. Os antigos formaram um céu sobre outro, como as camadas de um muro, ou, para usar uma analogia mais próxima, como as cascas de uma cebola: os internos suportam os outros, pois eles pensavam que todos os intervalos tinham que estar ocupados por esferas e que a esfera mais elevada deve ser estabelecida de maneira que ela seja o produto de uma esfera inferior de quantidade conhecida, e que isso dever ter ao menos uma confirmação material. Copérnico, tendo medido através de suas observações os intervalos entre as esferas singulares, mostrou que existe uma grande distância entre duas esferas planetárias, o que mostra que é inacreditável que essas distâncias possam estar ocupadas com esferas. E assim, essa disposição retira da mente especulativa a necessidade de pensar a matéria (das esferas) e conduz a pensar a investigação sob a ótica da disposição formal ou arquetipa, referentes à maneira que as esferas são produzidas.

“4. Os antigos, com a sua estrutura material, foram forçados a produzir as partes do mundo planetário móvel muito maiores do que Copérnico com a sua disposição formal. Mas Copérnico, por outro lado, fez a região dos planetas móveis não muito larga, mas fez imensas a camada das estrelas fixas. Os antigos não a fizeram muito maior que a esfera de Saturno.

“5. Os antigos não explicam e nem confirmam como eles defendem a sua disposição celeste. Copérnico se firma principalmente por razões.”<sup>40</sup>

Isso é praticamente um resumo dos principais problemas enfrentados pela astronomia da época de Kepler. Pela ótica da distinção entre uma astronomia preditiva e uma cosmologia explicativa, podemos notar o quanto a cosmologia via-se com problemas que a afastavam da astronomia computacional, pois a falta de meios para resolver os problemas apresentados por Kepler na citação que se apresentou, levaram a procurar mais a resolução de problemas práticos do que a especulação teórica. O copernicanismo apresenta-se como solução para a falta de razões para a justificação de um determinado sistema (razão 1); as razões sobre as disposições das esferas (razão 2); a questão da constituição da estrutura do mundo celeste: o copernicanismo pode dar as razões, quando não admite mais um mundo estruturado em esferas sólidas, sobre a estrutura conceitual; ou seja, os antigos necessitavam – como vimos mais acima – de um universo no qual os movimentos planetários tinham como suporte a existência de esferas sólidas, materiais; porém, como Brahe demonstrou a impossibilidade de existência dessas esferas, foi necessário pensar o cosmo não sob a ótica da “matéria”, de um universo material, mas sim conceitual (razão 3); a questão das distâncias planetárias: enquanto o universo dos antigos restringia a distância das fixas, o copernicanismo a estende, alargando o espaço celeste (razão 4); e a questão das razões para a justificação das disposições celestes, os antigos não determinavam as suas razões, enquanto que copernicanismo pode fazer isso (razão 5).

Após ter apresentado a sua estrutura celeste, Kepler investiga as possibilidades que essa estrutura tem para dar conta de uma questão importante: a determinação das proporcionalidades entre as órbitas dos planetas entre si e em relação a todo o sistema

---

<sup>40</sup> “1. Veterum ratio probabilis saltem est, Copernici demonstratio ex suis orsa principijs, necessarium infert. 2. Illi hoc tantum docent, non esse plures uno planetas in una qualibet sphaera: Copernicus illud insuper addit, quantum quemlibet super alterum elevatum esse necesse sit. 3. Veteres igitur coelos sibi mutuo supraedificant, ut lateres in aliquo muro, aut, quod similius est, tunicae coeparum, interior exteriorem sustinet: rati spacia omnia explenda esse orbibus, et tantam statuendam esse sphaeram superiorem, quantam esse patitur sphaera inferior notae quantitatis: quae conformatio materialis saltem est: Copernicus ex ipsis observationibus spacia singulis sua metatus, tanta inter binos interesse ostendit, ut incredibile sit, illa orbibus impleri; itaque haec ejus dispositio urget mentem contemplatricem, ut spreta materia et contiguitate orbium, aspilret ad indagacionem formalis dispositionis seu archetypi ad quem facta sint intervalla. 4. Veteres sua structura materiali mundum planetarium seu mobilem conguntur majorem facere multis partibus, quam Copernicus sua dispositione formali: Copernicus contra mobilium regionem modice amplam, fixarum vero quiescentem immensam facit: quam veteres non multo majorem statuunt sphaera Saturni. 5. Veteres dispositionis suae rationem non, ut optant, explicant et comprobant: Copernicus in rationibus stat egregie.”

[Kepler, J., G. W., VII, pp. 267 – 289]. Quando Kepler redigiu o capítulo quatro do *Epítome*, ele já tinha em mãos a sua terceira lei dos movimentos planetários – a lei harmônica, que determina a proporcionalidade entre os cubos das distâncias entre dois planetas quaisquer com os quadrados dos tempos periódicos desses dois planetas, exposta na *Harmonia do mundo* -, de modo que essa lei serviu como suporte para a defesa do copernicanismo como o sistema que permite, mediante a admissão dos corpos reais - dos planetas integrados entre si e com o todo – determinar as proporções existentes nas distâncias planetárias. Em outras palavras, a terceira lei só tem significado quando a analisamos não em relação apenas a um planeta, mas quando integramos dois ou mais planetas. Nos modelos geocêntricos, a terceira lei não teria sentido, pois os modelos eram próprios para apenas um planeta – como vimos, cada planeta tinha o seu modelo, independentemente dos outros modelos.

No *Epítome*, Kepler se utiliza da terceira lei e extrai duas coisas básicas, que, apesar de errôneas, forneceram um modelo para a quantificação do espaço celeste. A primeira refere-se à determinação das dimensões dos corpos planetários mediante as proporcionalidades entre as suas distâncias. Kepler raciocinou que, como há uma proporcionalidade entre as distâncias e tempos periódicos, dada pela razão  $3/2$ , os corpos físicos dos planetas podem estar numa mesma proporção, de maneira que o corpo de Saturno, por exemplo, seria duas vezes maior que o da Terra [Kepler, J., G. W., VII, pp. 281 – 282]. A segunda trata da constituição do corpo planetário através do estudo da proporção existente entre as distâncias e tempos. Para Kepler, podemos saber qual é a densidade de um planeta mediante as suas distâncias e tempos em relação a um outro planeta. Assim, um planeta pode ser menos ou mais denso que um outro em razão dos tempos periódicos dos dois, se um planeta tem um tempo periódico maior que um outro planeta qualquer, ele será mais denso que esse [Kepler, J., G. W., VII, p. 283 – 284].

Claro que os resultados de Kepler estavam todos errados. Não se analisa a constituição material dos planetas em relação aos seus tempos de percurso e distâncias, mas em relação aos seus espectros luminosos. Mas o que é importante, salvo o desejo incontrolável de Kepler em obter uma estrutura totalmente matematizada, é o caminho que ele propõe para a astronomia. Relaciona a parte física do cosmo com as possibilidades de sua matematização. Assim escreve sobre isso [Kepler, J., G. W., VII, p. 285]:

“(...) portanto, se é permissível estabelecer uma coisa física em palavras matemáticas, os corpos móveis podem ser muito aptos a serem denominados de média proporcional entre o corpo que é fonte de movimentos e o corpo imóvel que limita o lugar.

“(...) assim, nada é mais provável do que admitir que geometricamente o semidiâmetro da região dos corpos móveis mostra-se ser a média proporcional entre o semidiâmetro do corpo solar e o semidiâmetro das esferas das estrelas fixas, assim como justamente o globo solar está para o sistema esférico de todos os planetas, assim esse sistema está para o corpo esférico de todo o universo, o qual é limitado pela região das estrelas fixas.<sup>41</sup>”

Temos aqui um tratamento matemático distinto do método de “salvar as aparências” da tradição astronômica. Eliminam-se os artifícios matemáticos dos antigos, e procura-se obter as proporcionalidades reais existentes nos elementos que constituem o mundo celeste. Neste sentido, Kepler vê o cosmo copernicano como uma caixa. Essa é limitada pelas estrelas fixas, tendo o Sol no seu centro e os planetas, vistos como peças móveis no interior e ligados ao centro pela força que esse exerce nos mesmos, movendo-se no interior da caixa. Tendo-se em mãos essa estrutura, a análise dos movimentos que ocorrem no interior dessa suposta caixa pode levar à descoberta das proporcionalidades geométricas, que são as leis de Kepler, que se apresentam nos movimentos observados por alguém no seu interior. Nessa representação, os elementos que estão no interior da caixa não se tornam - salvo o Sol que tem a função de ser o causador dos movimentos - superiores ou inferiores, nem estão numa região melhor ou pior, mas todos podem ser vistos como peças que compõem um mecanismo. Em outros termos, o mundo kepleriano é fechado, e esse mundo pode ser conhecido pela análise geométrica dos seus componentes, descobrindo como se relacionam as partes entre si e com o todo. O problema era obter a geometria celeste estando o observador e o teórico localizados no interior do sistema.

---

<sup>41</sup> “(...) igitur si rem physicam licet enunciare verbis Mathematicis, mobilia poterunt aptissime dici médium proportionale inter corpus, quod motus fons est, et inter corpus immobile, quod locum praestat. (...) nihil igitur verisimilius est quam ut etiam geometricè semidiameter regionis mobilium sit médium proportionale inter semidiametrum corporis Solis et semidiametrum sphaerae fixarum, ut sicut se habet globus Solis ad sphaericum systema planetarum omnium, sic hoc se habeat ad sphaericum totius mundi corpus, fixarum regione terminatum.”

Para a astronomia antiga, o cosmo não poderia ser pensado desse modo. Fazia sentido pensá-lo como finito, mas não como homogêneo. Para a astronomia e cosmologia tradicionais os planetas e os astros eram distintos dos elementos terrestres, e isso por que havia a crença num mundo hierarquizado em camadas, as mais perfeitas sendo as mais afastadas do centro, e a função das matemáticas na astronomia era obter estratégias para expressar essa perfeição. O círculo era aceito como a forma do movimento dos céus porque os céus são perfeitos, e são perfeitos porque estão em camadas distintas das camadas sublunares; ou seja, a perfeição era entendida como algo crescente, ia-se até o mais perfeito, passando-se pelo imperfeito e quase perfeito. Para Kepler, a perfeição é a própria estrutura cósmica, elaborada pelo Criador pela necessidade de dotar esse mundo de motivos racionais, e não pela sua hierarquização. A perfeição não está nas camadas, pois essas nem existem, mas nas relações que há entre as partes que compõem o todo.

Se os planetas são as médias geométricas que existem no céu, médias essas entre o centro, o Sol, e os limites, as fixas, então temos as condições matemáticas para pensar o cosmo sob a ótica da racionalidade.

Após tratar da constituição do mundo, que é a sua utilização de harmonia celeste, Kepler passa a discutir a questão mais delicada das causas dos movimentos planetários, onde se aplica o conceito de força magnética e, mediante isso, pretende explicar o comportamento dos movimentos com base nas informações observacionais. Na verdade, Kepler já tinha investigado, na *Astronomia nova*, quando da elaboração das suas duas primeiras leis dos movimentos planetários, a força como componente dinâmico explicativo dos movimentos do planeta Marte. Agora, na quarta parte do *Epítome*, ele generaliza a atuação de força para todos os planetas, transformando a sua astronomia num sistema, tal como sintetiza Koyré, quando escreve sobre o objetivo da quarta parte do *Epítome*, o qual é [Koyré, A, 1961, p. 285]:

(...) a elaboração de uma astronomia nova, isto é de uma física celeste, onde as leis, as descobertas, os estudos sobre os movimentos de Marte obtêm agora um valor geral, podendo ser aplicados a todos os planetas, sem exceção.

(...)A exposição do *Epítome* acentuará alguns pontos da física celeste; tratará com alguma precisão sobre determinados aspectos, completará alguns outros, simplificará e sistematizará a apresentação e a demonstração de alguns teoremas.”

A generalização pretendida por Kepler iniciara-se, no *Epítome*, quando da investigação da estrutura harmônica celeste, como vimos acima. Agora irá tratar das causas físicas que levam os planetas a moverem-se em torno do centro. Tendo-se garantido a estrutura geométrica do universo e, investigando os comportamentos dos elementos desse mesmo universo, pode-se generalizar as leis dos movimentos planetários.

Essa generalização pretendida por Kepler não se deu por meio da investigação dos movimentos de cada planeta em particular, generalizando, após isso, os resultados obtidos. Kepler não necessitava investigar o comportamento de cada planeta para justificar a sua astronomia. Se na *Astronomia nova* ele investigou os movimentos de um planeta específico, os movimentos de Marte, foi porque ele ainda estava no interior do processo de pesquisa da verdadeira forma orbital dos planetas. Mas agora, no *Epítome*, tendo em mãos os elementos necessários para a sua empreitada, a generalização dar-se-á mediante a necessidade de elaborar a teoria tanto em função da estrutura geométrica quanto em função dos aspectos físicos e dinâmicos envolvidos.

A investigação das causas dos movimentos dos planetas [Kepler, J., G. W., VII, pp. 292 – 326] segue o esquema de apresentar a opinião de Ptolomeu e Aristóteles sobre o tema, criticando-os em seguida:

Quanto a Ptolomeu<sup>42</sup>, Kepler não o critica tanto pelo fato de construir a sua astronomia tendo a Terra como centro, mas sim por ele (Ptolomeu) não aceitar que é possível construir hipóteses sobre os movimentos planetários que estejam relacionados aos aspectos físicos envolvidos em tais movimentos. Como vimos acima, para Ptolomeu não se pode determinar as hipóteses astronômicas com sendo do mesmo gênero que as hipóteses concernentes às coisas terrestres. A mente humana não pode contemplar as coisas divinas, de maneira que as hipóteses astronômicas são, no limite, meros símbolos matemáticos sem relação com a realidade do mundo astronômico – para Ptolomeu, sendo o mundo astronômico um mundo divino, não faz sentido o homem, com uma mente limitada, querer erigir hipóteses sobre a sua realidade; deve-se apenas elaborar hipóteses simples que nos forneçam condições para descrever satisfatoriamente os movimentos. Kepler critica

---

<sup>42</sup> Kepler elabora críticas astronômicas, filosóficas e teológicas a Ptolomeu. Iremos nos restringir apenas às críticas astronômicas, que são as mais importantes e relevantes de todas. Acerca das outras críticas, conferir Kepler, [Kepler, J., G. W., VII, pp. 292 - 293].

justamente essa falta de relação entre o mundo celeste e terrestre própria de Ptolomeu, assim ele nos diz [Kepler, J., G. W., VII, p. 292 – 293]:

“Mesmo se for verdadeiro por muitas razões que não podemos julgar os movimentos fáceis dos céus a partir das dificuldades dos movimentos elementares [terrestres], todavia, não se segue que, com respeito aos movimentos celestes, nada do terrestre pode ser comparado.

“ (...) Com observação à sua astronomia, ele [Ptolomeu] conduz todas as hipóteses pela suspeita da falsidade, tanto que ele admite a diversidade entre as coisas terrestres e celestes, a tal ponto que ele considera que pode errar em seus julgamentos sobre coisas que são geometricamente simples. Pois, se porque aos assuntos celestes a nossa razão sempre se utiliza de círculos, ela é simples no próprio céu; portanto, nos céus, os círculos não são mutuamente compostos para produzir um único movimento: o astrônomo supõe, assim, coisas falsas; e isso é o mais estranho, ele obtém coisas verdadeiras a partir de coisas falsas; e isso destrói, certamente, a honra da astronomia, a qual Aristóteles considera nos seus livros de metafísica que se deve ouvir ‘os astrônomos que julgam sobre a forma e a disposição através dos movimentos celestes’”.<sup>43</sup>

A citação mostra que, 1) é possível relacionar, pelo menos por comparação e analogia, os movimentos terrestres e celestes; 2) não considerar os aspectos físicos dos céus é violar os preceitos da cosmologia aristotélica segunda a qual os movimentos dos corpos celestes devem ser procurados nos seus aspectos reais e não meramente matemáticos, pois, se assim não for feito, a astronomia se verá como uma ciência que admite princípios que podem ser falsos e, por eles, extrair conclusões verdadeiras; algo que fere os princípios básicos da lógica e da epistemologia.

O que Kepler faz é apontar a distinção entre a astronomia preditiva com a cosmologia explicativa existente desde a época dos astrônomos gregos antigos. O que ele

---

<sup>43</sup> “Etsi verum est, non esse censendam facilitatem motuum coelestium, ex difficultate motuum elementarium, propter causas bene multas: nondum tamen sequitur, motuum coelestium nulla in terris exempla propinqua esse (...). Nam quod Astronomiam attinet, omnes omnino hypotheses in suspicionem falsitatis adducit, dum tantopere urget discrimen coelestium et terrestrium rerum, adeo ut etiam ratio ipsa errare ponatur in dijudicatione ejus quod geometricae simplex est. Nam si, quod rationi nostrae de coelo videtur compositum, componenti circulos, id in ipso coelo simplex est; in coelo igitur non sunt compositi invicem circuli ad unum motum effigiandum: falsum igitur supponit astronomus est, et quod summopere mirum, ex mere falsis verum elicit: Id vero est honorem astronomiae destruere, quem Aristoteles in libris *Metaphysicorum* asseruit, *audiendos existimans astronomos super forma et dispositione motibusque corporum coelestium.*”

procura em seguida é criticar o outro lado da distinção: a cosmologia aristotélica, de modo que, a partir da apresentação dos problemas dos dois lados, ele poderá, com a sua teoria dos movimentos planetários, dar uma possível solução à questão existente.

As críticas contra a cosmologia de Aristóteles baseiam-se na impossibilidade de aceitação da teoria aristotélica dos elementos, a qual separa o mundo terrestre do celeste, e na aceitação do princípio de movimentos circulares e uniformes por parte do estagirita, - que, na realidade, é o principal elemento que perpetuou a distinção entre a astronomia ptolomaica com a cosmologia aristotélica.

Kepler considera o cosmo aristotélico [Kepler, J., G. W., VII, pp. 293 – 297] como um encaixe de esferas que representam os movimentos circulares; essas esferas são sólidas, e se movem por contato, há uma espécie de arrastamento das esferas. Esses movimentos se dão pela transmissão da ação de uma esfera à outra, sendo que o impulso inicial é dado pelo primeiro motor, o que leva a admitir que a causa eficiente está nos limites do mundo.

Os argumentos de Kepler contra Aristóteles fundam-se na impossibilidade de existência de órbitas sólidas. Como não há órbitas sólidas, como Brahe provou, então não há necessidade da maquinaria de esferas proposta pela cosmologia aristotélica, o que abre as portas para a compreensão dos movimentos planetários e suas causas a partir de uma outra via: o deslocamento da causa motriz de movimentos da periferia para o centro.

Para Aristóteles, a fonte de movimentos está na periferia do mundo, no “primeiro motor”. Kepler inverte a estipulação aristotélica: o motor está no centro<sup>44</sup>, e os movimentos não necessitam mais serem vistos a partir da hierarquização do cosmo de acordo com os lugares que os corpos estariam ou procurariam se dirigir. Os movimentos podem ser explicados por uma força magnética provinda de um corpo físico que elimina ao mesmo tempo a suposição de órbitas sólidas e um motor na periferia dos movimentos. Assim, Kepler pôde escrever ao leitor da quarta parte do *Epítome* as seguintes afirmações [Kepler, J. G. W., VII., pp. 295 - 296]:

---

<sup>44</sup> Assim, podemos ver o quanto o Sol kepleriano é distinto do Sol copernicano. Para Copérnico, o Sol é o centro do mundo, ou melhor, o centro está nas suas proximidades, mas não é o centro físico e dinâmico de movimentos, o que enfraqueceu as possibilidades de Copérnico tratar dinamicamente os movimentos planetários, isto é, de obter as causas dos mesmos. Ao considerar o Sol como centro e motor, como causa motriz, Kepler pôde se desvinciliar do primeiro motor aristotélico e, conjuntamente, de qualquer tipo de explicação que nele se amparava, tais como as inteligências planetárias (como era comum com a escolástica) ou a existência de órbitas sólidas. Kepler determinou uma explicação mais abrangente que a aristotélica, pois mediante as forças centrais, foi possível romper com o primado do axioma platônico para os movimentos.

“Pois, primeiramente, a órbita de um planeta não é um círculo perfeito. Se a mente causasse a órbita, poder-se-ia dispor a órbita num círculo perfeito, pela beleza e perfeição da mente. Pelo contrário, a figura elíptica da rota do planeta e as leis dos movimentos causadas por tal figura é semelhante à natureza da balança ou de necessidades materiais, ao invés de concepções e determinações da mente, tal como apresentamos.

“(…) Pois aqui não há nenhuma questão de idéias intelectuais sobre um círculo, sendo que não existe nenhuma distinção entre grande ou pequeno, mas do trajeto real do planeta.”<sup>45</sup>

Essas palavras de Kepler são fundamentais, elas estipulam três coisas básicas: 1) os recursos a “mente”, “pensamento”, “inteligências planetárias” etc, as quais a tradição escolástica e o naturalismo renascentista se apoiavam, não são suficientes para compreender o cosmo sob o ponto de vista físico e da sua realidade, pois a órbita, de acordo com as investigações baseadas nos dados de Brahe e na admissão de que o cosmo deve e pode ser analisado sob o contexto físico, não é um círculo, mas move-se elipticamente (assim, caso a órbita fosse circular, então os recursos apontados poderiam descrevê-la, mas como ela não é, então esses recursos não podem ser considerados); 2) o recurso que deve ser utilizado é o análogo ao entendimento dos aparatos mecânicos, como a balança e a alavanca, isto é, pode-se explicar a órbita elíptica por meio de analogias com aparatos mecânicos, e, desse modo, entender que a órbita é elíptica porque há uma diminuição da quantidade de força aplicada pelo Sol nos planetas, quando esses estão em distâncias maiores, o que leva os planetas a se afastarem do círculo e se “achatarem” nas longitudes medianas; 3) visto que a órbita é elíptica, e não circular, deve-se ter uma explicação física (dinâmica) do porque o planeta faz uma órbita elíptica, e, nesse sentido, a explicação proposta por Kepler é de natureza mecânica, ou como ele diz “semelhante à natureza da balança ou de necessidades materiais”. Quando se tem a aceitação incontestável do axioma platônico, visto pela tradição como o estipulador de movimentos naturais, não há a

<sup>45</sup> “Nam primo; Planetae orbita non est perfectus circules; at si Mens hanc efficeret: ordinaret utique eam in perfectum circulum, cujus est mentalis pulchritude et perfectio. Ex adverso figura Elliptica itineris planetarii, legesque motuum, quibus talis efficitur figura, sapiunt potius naturam staterae seu necessitatem materialem, quam conceptum et destinationem mentis, ut infra patebit. (...) Nam de Idea circuli intellectuali hic non est sermo, in qua non est magni et parvi distinctio, sed de reali itinere planetae, quod praeter Ideam, habet etiam certam quantitatem.”

necessidade de procurar explicações do por que um planeta faz movimentos circulares, pois a circularidade é admitida, sem a necessidade de prová-la; mas, quando se diz que a órbita é elíptica, então deve-se explicar o motivo que leva o planeta a perfazer esse tipo de curva; nesse sentido, a explicação dada por Kepler é dos moldes mecânicos.

As órbitas não são circulares na realidade, mas sim, elípticas. Os movimentos do mundo celestes devem ser vistos não sob o prisma da mente, mas têm a natureza da balança ou de necessidades materiais, de modo que podemos considerar os aspectos materiais do céu. Não há distinções entre qualidades, mas considerações acerca do percurso real, tal como observamos, dos movimentos planetários.

A modificação dada por Kepler à cosmologia aristotélica não é superficial. De uma certa forma é uma ruptura com padrões prevaletentes há muito tempo, tanto na história da cosmologia quanto na da astronomia.

Ao pensar o cosmo sob a ótica não da primazia do axioma platônico, mas de acordo com o que pode de fato ocorrer com os movimentos planetários, Kepler pôde introduzir o conceito de “inércia” planetária nas suas discussões. Inércia vista como a resistência à ação do corpo central. Segundo Kepler, podemos entender a inércia planetária da seguinte maneira [Kepler, J., G. W., VII, p. 296]:

“Mesmo que um globo celeste não seja pesado do mesmo modo que entendemos que uma pedra sobre a Terra é dita ser pesada, (...); todavia, por razões materiais ele tem uma potência natural, ou capacidade de passar de lugar para lugar, e tem uma inércia natural para permanecer em repouso em todo lugar que é colocado sozinho. E, portanto, como ele pode ser movido fora de sua posição e repouso, é necessário que aja algum poder que seja mais vasto que sua matéria e seu corpo nu, e o qual possa retirá-lo de sua inércia natural.”<sup>46</sup>

Com essa concepção de inércia, temos duas coisas importantes: a primeira é que não estamos ainda na física inercial, pois esse princípio foi formulado por Descartes e Gassendi, e Newton só faz consolidar a física inercial que foi praticada por Galileu. A inércia, para

<sup>46</sup> “Etsi globus aliquis coelestis non est sic gravis, ut aliquod in Terrae saxum grave dicitur (...), habet tamen ratione suae materiae naturalem transeundi de loco in locum, habet naturalem inertiam seu quietem, qua quiescit in omni loco, ubi solitarius collocatur. Inde vero ex situ et quiete sua ut emoveatur, opus est ille potentia aliqua, quae sit amplius quippiam, quam sua materia et corpus nudum, quaeque inertiam hanc ejus naturalem vincat. Nam talis facultas jam supra naturae ingenium, formae soboles, aut vitae index.”

Kepler, é a tendência do corpo, no caso o planeta, a resistir à ação solar e, portanto, reconhece ainda confusamente o repouso como um dos estados dos corpos físicos. O princípio de inércia determina dois estados básicos da matéria: repouso e movimento retilíneo uniforme. Mas, em segundo lugar, não estamos mais num cosmo qualitativo. Um corpo planetário, tal como entende Kepler, pode ser visto como tendo a mesma natureza que um corpo terrestre<sup>47</sup>. Pode-se, com essa concepção, tratar os corpos celestes como corpos materiais, que sofrem ações e resistem a essas ações, da mesma maneira que podemos pensar os corpos terrestres, sofrendo ações e resistindo às mesmas. Mediante a sua concepção de inércia - mesmo que essa não tenha o caráter pela qual adquiriu status como um dos principais conceitos da física moderna - Kepler sai do cosmo aristotélico, pois não há mais sentido em pensar os movimentos planetários através da supremacia de esferas encaixadas uma nas outras e sofrendo ações externas. Pode-se reduzir os movimentos a um sistema integrado.

Até esse momento Kepler tinha, na quarta parte do *Epítome*, apresentado o que ele entende por causa dos movimentos planetários. Passa ele agora a investigar mais detidamente a função do Sol nesse processo [Kepler, J., G. W., VII, pp. 298 - 306]. Três são as características básicas do Sol: a de ser fonte de movimentos, através da força magnética que ele exerce nos corpos planetários; a de girar sobre o seu próprio eixo, para que a ação magnética não seja interrompida em nenhuma parte do trajeto do planeta ao redor do Sol; e a de ser o que mantém os movimentos planetários, o que conserva os movimentos.

Duas dessas funções, a de ser a fonte motriz e a de girar sobre seu próprio eixo, não apresentam problemas de compreensão, pois podem ser analisadas sob o ponto de vista eminentemente científico: o fato do Sol ser a fonte motriz, pode-se entendê-lo como um motor que age gerando movimentos, e o fato de girar sobre o seu próprio eixo, pode ser explicado através de observações - foi estabelecido por Galileu nas observações sobre as manchas solares.

---

<sup>47</sup> Na época em que Kepler redigiu o *Epítome*, os conhecimentos sobre a natureza física dos corpos celestes eram muito reduzidos. Praticamente só se tinham as observações feitas por Galileu com o telescópio, sobre as crateras da Lua, das fases de Vênus, das manchas solares, dos satélites de Júpiter etc, apresentadas no *Mensageiro das Estrelas*, de 1610. Com isso, temos que as informações sobre a natureza material dos planetas não eram suficientemente seguras para se afirmar que eles são de mesma natureza que os corpos terrestres.

Porém, o fato do Sol ser o responsável pela manutenção dos movimentos causa um certo mal estar, pois, segundo ele o Sol “não apenas se move girando pela onipotência do Criador, quando do início das coisas, mas ele também continua o movimento pela ação de uma alma motor” [Kepler, J., G. W., VII, p. 298]

Ora, nos parece que Kepler se utiliza do recurso a “almas”, tão criticado por ele na *Astronomia nova*, e abolido por ele da astronomia como um tipo de explicação não condizente e não produtivo. Na verdade, o uso de “uma alma motor” deve ser corretamente elucidado, para que não tenhamos dúvidas quanto ao sentido usado por Kepler.

O uso que Kepler faz de almas não se refere à causa motriz, pois essa causa é dada pela própria força magnética exercida pelo Sol nos planetas, de maneira que a postulação de que há uma força que age através do Sol nos planetas, levando esses a moverem-se em órbitas elípticas e de acordo com o que foi estipulado pela segunda e pela terceira leis é uma postulação suficiente para descrever os movimentos observados. Assim, o uso de forças como causa motriz não é, pensamos, problemático. Seria se Kepler utiliza-se da força como uma alma para explicar as causas últimas, como causas metafísicas que explicariam os objetivos finais do uso de força. Quanto a isso, Kepler se cala, pois o intelecto humano não é apto a determinar as vontades ou objetivos pelos quais Deus se guiou na criação desse universo movente.

Sendo assim, o uso de almas refere-se exclusivamente a uma postulação metafísica voltada para determinar algo que o intelecto humano ou as condições de conhecimento não são aptas a resolver, concernente, no caso, ao que leva os movimentos a se manterem, isto é, o que faz que a força magnética seja eterna. Descartes e Newton se viram com problemas semelhantes: Descartes com o problema sobre o que faz os movimentos serem contínuos, Newton com o problema sobre a natureza última da força gravitacional. O recurso a “almas” não compromete a estrutura científica admitida para se dar conta de determinados problemas, como, no caso de Kepler, os relativos aos movimentos planetários<sup>48</sup>.

Restringindo, desse modo, a problemática acerca dos movimentos planetários às causas físicas, ou eficientes, e o modo como essas causas levam os planetas a percorrerem movimentos que nos apresentam certas regularidades por meio das observações, Kepler

---

<sup>48</sup> Na realidade, muitas das críticas levantadas contra Kepler alicerçam-se no uso de força como almas, mas sem notarem, devidamente, o uso que ele determina para elas.

deslocou para a ação do Sol nos planetas a principal questão que o astrônomo deve tratar. No universo kepleriano, o Sol, agora visto como um corpo material, e não como um corpo divino, contém uma natureza material que pode ser conhecida pelo intelecto humano. Obviamente, não podemos “tocar” o Sol para saber como esse é constituído para sabermos como ele age nos movimentos planetários. Mas, podemos, de uma forma indireta, isto é, por analogias com outros corpos materiais que têm a capacidade de atrair e repelir outros corpos materiais, relacionar o corpo físico do Sol e as suas influências com outros corpos físicos, os planetas, igual ao ímã, um corpo material que tem a capacidade de atrair e repelir matéria.

Para Kepler, o Sol age semelhantemente a um ímã. Como dissemos no capítulo referente ao conceito de força, ele foi influenciado pelos trabalhos de Gilbert (*De magnet*), sobre o magnetismo, que lhe forneceu o modelo físico necessário para poder estudar o comportamento do Sol indiretamente. Kepler considerou o Sol como um corpo apto a atrair os planetas, semelhantemente ao ímã atraindo matéria, mas com a diferença de que, enquanto que a capacidade do ímã atrair encontra-se localizada numa parte de seu corpo, o corpo do Sol, por outro lado, é totalmente imantizado, isto é, o corpo todo do Sol pode atrair; assim, Kepler descreve a ação do Sol [Kepler, J., G. W., VII, p. 300]:

“Nos céus as coisas são arranjadas de alguma forma diferente. Pois o Sol possui a faculdade ativa e energética de atrair, repelir ou reter o planeta, mas não como o magneto faz, atuando apenas numa região, mas em todas as partes do corpo. E, dessa forma, é crível que o centro do corpo solar corresponde a uma extremidade ou região de um magneto, mas a superfície toda está para outra região do magneto. Portanto, nos corpos dos planetas, aquela parte ou extremidade a qual nos inícios das coisas e nas localizações primárias dos planetas estão indo para o Sol, são similares ao Sol e são atraídas por ele; mas as partes as quais estenderam-se distintamente do Sol para as estrelas fixas vêm a possuir a natureza da superfície do Sol; se elas mudam de posições em relação ao Sol, o Sol repelirá o planeta.”<sup>49</sup>

<sup>49</sup> “In coelo res paulo aliter est comparata. Sol enim non, ut Magnes, una plaga, sed omnibus sui corporis partibus, facultatem hanc activam et energeticam possidet attrahendi vel repellendi vel retinendi planetam. Itaque credibile est, centrum corporis Solaris respondere uni extremitati vel plagae magnetis, superficiem vero totam alteri magnetis plagae. Et in corporibus igitur planetarum, quae pars vel extremitas in primo rerum exortu inque prima collocatione planetae Solem spectabat, illa centro Solis cognata est, illa a Sole trahitur: quae vero a Sole versus fixas extensa erat, illa superficiei Solaris naturam est nacta, illa si ad Solem convertatur, Sol planetam a se repellit.”

O Sol tem o poder de atrair os planetas e repeli-los, mediante as variações nas suas distâncias. Todo o corpo do Sol é um grande magneto, que atrai um corpo (planeta) conforme esse entre na sua área de atração e, também, o repele quando ele sai dessa área, num movimento contínuo e ininterrupto, conforme a figura abaixo:

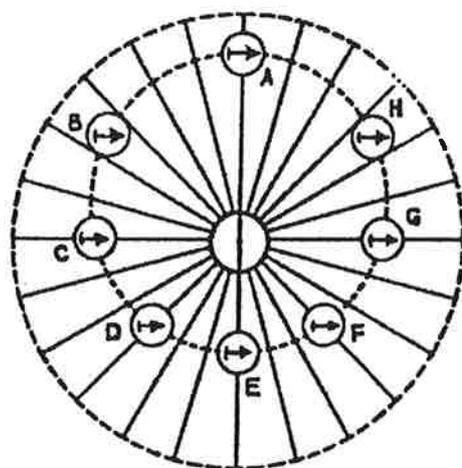


Figura 16: a ação do Sol nos planetas<sup>50</sup>

Mas o mais surpreendente é o que se segue após essa passagem, quando Kepler analisa a função do Sol quando esse gira sobre o seu próprio eixo [Kepler, J., G. W., VII, p. 301]:

“(…) devemos considerar no caso do Sol que, se ele não girasse sobre o seu próprio eixo, nenhum dos planetas primários poderia movimentar-se ao seu redor; mas uma parte do planeta poderia viajar para o Sol perpetuamente, a menos que ele fosse unido a ele por contacto; e as partes que estivessem atrás do Sol seriam repelidas para as estrelas fixas; mas os planetas que mostram os seus lados para o Sol poderiam fixar no seu lugar e permanecer imóveis. de modo que a força atrativa do Sol estaria em conflito com a repulsiva.

“(…) Mas, como foi dito, além da força do Sol existe também uma inércia natural nos planetas com respeito ao movimento; portanto, por razões da sua matéria, eles

<sup>50</sup> Figura extraída de Kepler. [Kepler, J., G. W., VII, p. 301].

estão inclinados para permanecer em seus lugares. Assim, o poder do Sol e a capacidade da inércia material do planeta estão em conflito um com o outro.”<sup>51</sup>

Aqui nós temos, pelo que parece, tanto a idéia de gravitação universal quanto a de inércia, mas de um modo distinto da qual elas ficaram estabelecidas subsequenteamente. Nós temos a idéia de que um corpo (um planeta), dentro desse sistema, recebe uma quantidade de força que o mantém num movimento de atração ao Sol, e as partes mais longe do Sol seriam repelidas. Mas, existe também a idéia de que, num espaço homogêneo, não mais qualitativo, ocorrem relações entre a força exercida pelo Sol e a resistência dos planetas a essa força.

A concepção de inércia kepleriana ainda está baseada no aristotelismo, pois ela é vista como reação ao movimento, ou tendência a resistir ao mesmo. Mas o que se torna distinto, e mesmo uma ruptura, com o aristoteleísmo, são as portas que Kepler abre para se poder entender a cosmologia mediante padrões distintos dos adotados por Aristóteles. Temos uma concepção de atração e repulsão dadas em função das partes materiais (grandezas) dos corpos celestes; além disso, temos a estipulação, ainda que errônea, do conceito de inércia; e, mais importante do que essas, a potencialidade de se poder quantificar as relações dadas entre os corpos do sistema (Sol e planetas) em função das suas naturezas materiais e das distâncias desses corpos entre si.

Obviamente o mundo kepleriano não é o de Newton. Como já destacamos, ainda estamos longe da síntese entre os movimentos terrestres e celestes expressa pela lei da gravitação universal e nem temos um sistema inercial tal como ficou estabelecido pela ciência moderna, e nem a matematização expressa pela própria lei da gravitação universal. Mas também não estamos mais no mundo aristotélico. O cosmo não é distinto da Terra; se existem meios para poder descrever e explicar os movimentos dos corpos terrestres - tal como a lanterna que é causa da luz que ilumina um objeto, ou de um motor que determina os movimentos de um corpo, ou no caso da ação do magnetismo – temos também leis que

---

<sup>51</sup> “(...) sic cogitandum est etiam de Sole, quod si hic non convolveretur circa axem suum, nullus etiam primariorum planetarum circa Solem esset circumiturus, sed pars eorum adnavigaret ad Solem perpetuo, donec uniretur ipsi ad contactum, pars, que posticum Soli obvertit, expelleretur versus fixas: qui vero latus praebeant Soli, illi haerent suo loco penitus immobiles, luctante virtute Solis tractoria cum repulsoria. (...) At dictum est hactenus, praeter hanc vim Solis vectoriam esse etiam naturalem inertiam in planetis ipsis ad motum, qua fit, ut inclinati sint, materiae ratione, ad manendum loco suo. Pugnans igitur inter se potentia Solis vectoria, et impotentia planetae seu inertia materialis.”

regem os movimentos dos planetas. Além disso, e talvez mais importante ainda, o universo pode ser visto conceitualmente, mediante o conceito de força e o espaço geométrico dado pelo conceito de harmonia.

Mas essa estrutura apresentada por Kepler é insípida. É necessário relacioná-la com os problemas da astronomia, isto é, deve-se investigar se essa estrutura cósmica, que se utiliza de analogias com os corpos da Terra, pode determinar as condições suficientes tanto para descrever os movimentos dos planetas ao longo do céu e, conseqüentemente, obter tabelas precisas dos seus posicionamentos, quanto para explicar e determinar a estrutura real do cosmo.

Kepler procura alcançar tal objetivo investigando as causas que levam os planetas a percorrerem as razões determinadas pelos tempos periódicos [Kepler, J., G. W., VII, pp. 306 – 308]. Segundo Kepler, os planetas apresentam tempos proporcionais às suas distâncias ao centro físico de movimentos por quatro razões, que são “A primeira é devida à extensão do caminho; a segunda é o peso ou a soma de matéria a ser transportada; a terceira é o poder da virtude motor; e, finalmente, a quarta é o volume ou espaço sobre a qual a matéria a ser transportada está se desenrolando.” [Kepler, J., G. W., VII, p. 306]<sup>52</sup>.

Ora, visto que o Sol é o responsável pela emissão da força que altera os movimentos dos planetas de acordo com as suas distâncias, sendo que os planetas também são corpos materiais que têm um certo peso, podemos perceber que a relação e as proporcionalidades entre os tempos periódicos se dão pela capacidade física do corpo central agir nos planetas de acordo com o peso do planeta – peso esse que, relacionado às distâncias e a capacidade de reagir à ação solar, isto é, pela inércia de cada planeta, formam a “força de resistência do planeta ao movimento”- e as distâncias que esses estão dele. Assim, suponhamos a Terra e Júpiter: devido a menor distância que a Terra está do Sol em relação à distância de Júpiter (a Terra está mais próxima do Sol do que Júpiter está) e, também, devido ao menor peso que a Terra tem em relação a Júpiter (e, também, a menor inércia da Terra em relação a de Júpiter), o poder do Sol será maior quando agir sobre o corpo da Terra do que quando atuar no corpo de Júpiter, fazendo que o seu tempo de translação (o seu tempo periódico) seja menor do que o de Júpiter. Assim, a aplicação da terceira lei tem uma possível justificação

---

<sup>52</sup> “Prima est itineris longitudo, secunda pondus seu copia materiae transportandae, tertia fortitudo virtutis motricis, quarta moles seu spacium in quod explicatur materia vehenda.”

física, isto é, é cabível pensar que dois planetas quaisquer têm uma proporcionalidade entre os cubos das suas distâncias e os quadrados de seus tempos, pois temos, na realidade, uma relação entre distâncias e tempos de percurso em função do aumento ou diminuição da força do corpo central.

O que Kepler fez foi tentar, parece-nos, dar uma forma matemática para relações físicas, mesmo que essas formas sejam apenas aproximadas. Kepler organizou os dados que tinha em mãos, procurando estruturá-los a partir do ponto de vista dos seus aspectos físicos. Não temos mais círculos encaixados em círculos, ou esferas encaixadas em esferas, mas componentes físicos, mais próximos à realidade material, que contêm determinadas características (contêm peso, tamanho, volume etc), e que estão em um determinado espaço (homogêneo, isto é, não mais hierarquizado segundo os graus de perfeição de cada camada; o espaço é idêntico em toda a sua extensão) que possibilita expressar a ação principal do sistema de movimentos keplerianos: a ação da força central. Tendo-se isso, é possível procurar, através da linguagem matemática, uma expressão sob as regularidades que podem ser encontradas nessas relações.

A seguir ao tratamento das causas físicas das proporções entre os tempos periódicos, Kepler investigou o movimento anual da Terra e a rotação sobre o seu próprio eixo, investigando as conseqüências desse movimento no percurso da Lua ao seu redor [Kepler, J., G. W., VII, pp. 308 – 326], algo que não nos interessará neste trabalho. Após finalizar essas tarefas, ele volta a tratar das causas físicas e das proporcionalidades dos movimentos, investigando as verdadeiras causas das irregularidades dos movimentos planetários [Kepler, J., G. W., VII, pp. 327 – 355]. Na verdade, Kepler apenas retoma os pontos principais da sua astronomia e cosmologia, visando, fundamentalmente, mostrar a falta de sustentabilidade da cosmologia e astronomia tradicionais.

O que Kepler fez nessas investigações foi argumentar no sentido de dar provas sobre a falsidade da astronomia tradicional, baseada principalmente no axioma de movimentos circulares e uniformes; mostrando, principalmente, que as irregularidades admitidas pela astronomia tradicional – que, como vimos, estipulavam os movimentos retrógrados e os movimentos não uniformes – eram meras aparências, que, quando vistas sob a ótica da realidade física dos movimentos planetários, mostravam-se como fantasias e não como algo a ser tratado pela astronomia.

Kepler considera que as irregularidades admitidas pela tradição astronômica tinham como fundamento quatro argumentos [Kepler, J., G. W., VII, p. 327], que são: 1) alicerçados na natureza dos corpos moventes; 2) sobre a natureza do motor, da causa motriz, dos movimentos planetários; 3) acerca da natureza do lugar em que ocorrem os movimentos; 4) a admissão da perfeição do círculo. A astronomia e a cosmologia desenvolvidas por Kepler procuram mostrar a falta de sustentação desses quatro argumentos, e Kepler passa a analisar cada um deles, mostrando os seus problemas.

O primeiro argumento [Kepler, J., G. W., VII, pp. 327 – 328] é a estipulação da teoria dos elementos aristotélica. Como já apresentamos, acima, a teoria aristotélica dividia o universo em dois mundos distintos: o da geração e corrupção (que é representado pelos movimentos terrestres) e o mundo da perfeição (que é o mundo celeste), o qual tem apenas a ocorrência de movimentos circulares e uniformes, de maneira que os corpos devem estar localizados nos lugares que são mais condizentes com a sua natureza – os corpos terrestres devem estar na esfera sublunar, pois estão sujeitos à geração e a corrupção, enquanto que os corpos celestes, por serem perfeitos, estão no mundo supra-lunar, com seus movimentos naturais. Kepler apresenta um contra-argumento interessante: se o mundo é dividido assim, então o mundo celeste é perfeito e não poderia haver irregularidades, não poderia haver qualquer espécie de “turbulência” que alterasse o caminho circular dos planetas, pois, como não há mistura de elementos nos céus, não pode haver qualquer tipo de alteração. Pelo contrário, se admitirmos que o céu é de mesma natureza física que a Terra, isto é, que os corpos celestes podem ser interpretados como de mesma natureza que os corpos terrestres, então podemos admitir que ocorrem irregularidades nos movimentos planetários.

Na realidade, esse contra-argumento kepleriano não demonstra a falsidade da cosmologia aristotélica, e nem pode ser considerado um argumento novo. Não mostra a falsidade, porque não se tinham condições, sejam elas teóricas ou empíricas, para se saber qual é a natureza dos corpos celestes, de maneira que a crítica baseada na existência de irregularidades num mundo perfeito não determinava suficientemente a refutação da teoria dos quatro elementos. Aliado a isso estava justamente a dicotomia entre a astronomia preditiva e a cosmologia explicativa; como era complicado falar da natureza do mundo celeste, o astrônomo se calou quanto a essa natureza, preferindo elaborar tabelas dos posicionamentos planetários.

Porém, Kepler apresenta esse argumento para mostrar, principalmente, que a teoria aristotélica não determinava uma teoria satisfatória, podendo ser altamente plausível, em contrapartida, analisar os corpos celestes sob a ótica da sua realidade física e dinâmica.

No segundo argumento [Kepler, J., G. W., VII, p. 329 – 330] temos a já conhecida idéia de que os movimentos dos planetas eram condicionados por mentes divinas intrínsecas aos corpos planetários. Praticamente toda a astronomia kepleriana é uma negação dessa admissão. Visto que não há esferas de cristais, mas apenas um espaço homogêneo, não há sentido, nos diz Kepler, em admitir um recurso tão desprovido de caráter físico como o de mentes planetárias. Ao invés, admitamos que não existem mentes ou um motor externo (primeiro motor), mas um motor apenas, central, que exerce a sua força, alterando constantemente a rota dos planetas em seus movimentos.

O terceiro argumento [Kepler, J., G. W., VII, p. 330] é novamente uma referência à teoria dos elementos aristotélica; vista agora sob a ótica da distinção entre lugares, os quais determinavam a ação dos corpos de acordo com as suas naturezas. Kepler contra-argumenta no mesmo sentido que fez no primeiro argumento, mostrando os problemas que caímos quando admitimos um universo dividido em locais heterogêneos. Kepler analisa principalmente a teoria como insuficiente para dar conta da problemática dos movimentos, sejam eles terrestres ou celestes, segundo Kepler [Kepler, J., G. W., VII, p. 330]:

“Nem toda a irregularidade dos movimentos é suscitada pela gravidade ou leveza, as propriedades dos elementos; mas alguma vem da mudança da distância, também, como é manifesto nos casos da balança e da alavanca; e essas causas produzem remissão e intensificação dos movimentos, como já explicamos. Devemos observar, entretanto, que existe algum parentesco entre os princípios de gravidade e leveza dos elementos e a inércia natural dos globos planetários com respeito aos movimentos, mas nenhuma irregularidade dos movimentos é explicada por esse parentesco.”<sup>53</sup>

Temos uma mistura de antigo e moderno nesse argumento kepleriano: Kepler notou que a teoria dos elementos não dava conta da questão dos movimentos, de maneira que

<sup>53</sup> “Non omnis inaequalitas motuum est ex gravitate et levitate, proprietatibus elementorum; sed aliqua etiam mutatione intervalli, ut patet in vecte et statera: atque haec causa progignit motuum coelestium intensionem et remissionem, ut hactenus explicatum. Illud interim est cavendum, esse nihilominus aliquam cognationem inter principia gravitatis et levitatis in elementis, et inter naturalem inertiam globi planetarii ad motum, sed per quam nulla excusatu inaequalitas motus.”

outras suposições deveriam ser adotadas, como a questão das distâncias. Ele elabora uma teoria que procura jogar para questões como as das distâncias planetárias e as forças centrais as causas dos movimentos planetários.

Finalmente, no quarto argumento [Kepler, J., G. W., VII, 330 – 331], temos a crítica ao axioma da circularidade, que era a principal causa da aceitação das irregularidades nos movimentos planetários, pois, o próprio termo “irregularidades” na astronomia tradicional era aplicado ao fato das observações astronômicas não constatarem os movimentos planetários como circulares e uniformes, mas como irregulares em relação a essa admissão incontestável.

A crítica de Kepler à circularidade e à uniformidade é, sem dúvida, um dos principais resultados de todo o seu trabalho em astronomia e cosmologia. Não há, na realidade, conclui Kepler após todos os seus esforços, movimentos circulares e uniformes, mas movimentos elípticos, que percorrem áreas iguais em tempos iguais, sendo que há uma proporção entre os cubos das distâncias com os quadrados dos tempos periódicos dos planetas. Para Kepler, a astronomia e a cosmologia dos gregos em diante erraram ao considerar a circularidade como axioma, pois, com essa admissão, foram necessários tanto o uso de artifícios matemáticos para a obtenção dos movimentos planetários quanto a inclusão de mentes e inteligências planetárias para explicar as causas desses movimentos, algo não real, de forma que as diferenças entre a forma antiga de se pensar a astronomia e a cosmologia e a sua própria estão nas seguintes razões [Kepler, J., G. W., VII, pp. 331]:

“(…) se os movimentos celestes fossem o trabalho de uma mente, como acreditavam os antigos, então, a conclusão de que os trajetos dos planetas são círculos perfeitos poderia ser plausível. Pois, desse jeito, a forma dos movimentos concebida pela mente poderia ser uma virtude e marca para os objetivos que os movimentos foram planejados. Mas os movimentos celestes não são o trabalho de uma mente, mas da natureza, isto é, dos poderes naturais dos corpos, e não o trabalho de uma alma agindo uniformemente de acordo com os poderes dos corpos; e que isso não é provado por nada mais válido do que as observações dos astrônomos, os quais, após removerem corretamente as decepções da visão, encontram que a figura elíptica é a revolução real e muito verdadeira dos movimentos dos planetas; e que a figura

elíptica apresenta evidentemente o poder natural dos corpos e para a emanação e magnitude de suas formas.”<sup>54</sup>

Pela citação acima, os movimentos poderiam ser circulares e uniformes se, de fato, tivéssemos mentes divinas controlando esses movimentos; mas esse recurso não é natural, isto é, não se utiliza das características naturais do corpo. Um corpo deve ser analisado, no contexto científico, tendo como base os elementos que formam a sua realidade; e a realidade, para Kepler, é formada pelas suas características físicas – tamanho, peso, capacidade de emitir forças etc -, que, vistas pela ótica do intelecto humano, podem ser amplamente conhecidas. Neste sentido, “natureza” para Kepler tem um significado muito preciso, pois torna-se natural aquilo que pertence a um corpo, seja ele terrestre ou celeste, e podem ser descobertos por meio da análise de seus movimentos; análise essa que é a utilização das matemáticas como a linguagem que expressa as regularidades, segundo as quais ocorrem os movimentos observados.

Assim, as irregularidades que os antigos admitiam em astronomia não são, na realidade, irregularidades, pois não existe o elemento pelo qual elas eram admitidas, não existe a circularidade, nem a uniformidade. Na nova visão cosmológica e astronômica de Kepler, as irregularidades tornam-se referentes das longitudes<sup>55</sup>, das altitudes e das latitudes planetárias<sup>56</sup>. Problemas que não necessitam mais, para a procura de suas resoluções, do uso de muitos artifícios utilizados antes de Kepler.

O trabalho de Kepler, nesse quarto livro do *Epítome*, pode ser visto como a união entre os conceitos de força e harmonia que, em conjunto, mostram a possibilidade de unir astronomia e cosmologia, ou predição e explicação, num único corpo teórico com as suas

<sup>54</sup> “Primo si motus coelestes essent mentis opus, ut crediderunt illi veteres, admodum speciose concluderetur, itinera planetarum esse perfecte circularia. Nam tunc species motus mentes concepta, esset virtuti pro regula et scopo, ad quem motus referretur. Ad motus coelestes non sunt opus mentis, sed naturae, hoc est, naturalis corporum potentiae, aut Animae secundum illas corporals potentias uniformiter agentis, quod non alia re validus comprobatur, quam hac ipsa observatione astronomorum, qui fallaciis visus legitime separatis deprehendunt, relinqui in reali et verissimo motu planetae, figuram circuitus ellipticam, quae de potentia naturali corporea, deque ejus speciei emanatione et quantitibus testimonium fert.”

<sup>55</sup> Os termos “longitude”, “altitude” e “latitude” são utilizados em astronomia para determinar a posição de um planeta qualquer ao longo de seu trajeto ao longo do zodíaco.

<sup>56</sup> Kepler tratou disso subsequêtemente à apresentação dos argumentos contra a postura tradicional em astronomia. Conferir Kepler, [Kepler, J., G. W., VII, pp. 331 – 355]. Não trataremos dessas irregularidades neste texto, pois elas apresentam problemas eminentemente técnicos, que extrapolaria os objetivos deste trabalho. O importante é notar que Kepler, com as suas investigações sobre a natureza dos corpos planetários e as causas físicas dos seus movimentos, determinou novos procedimentos para os tratamentos técnicos.

três leis dos movimentos planetários. As três leis de Kepler expressam relações de proporcionalidade entre distâncias, velocidades e tempos; os conceitos de força e harmonia são suposições teóricas e metafísicas que procuram justificar as leis e, ao mesmo tempo, propor uma explicação para as regularidades observadas expressas pelas leis.

O conceito de harmonia garante à astronomia, segundo Kepler, condições necessárias para podermos matematizar a parte física do mundo celeste. Utilizando-se do espaço sugerido pelas hipóteses copernicanas, isto é, a organização cósmica em que a Terra se move, tal como fazem os outros planetas, em torno do Sol, temos a idéia de unidade e sistematicidade, ou, em outras palavras, temos os meios para podermos representar matematicamente as relações reais que ocorrem entre os planetas e desses com o Sol, pois, como o copernicanismo expressa os movimentos em conjunto – e daí a utilização do termo “sistema”, distinto dos modelos próprios para cada planeta em Ptolomeu - podemos integrar numa unidade todo o sistema. A partir disso, a astronomia pode expressar as relações que ocorrem entre os planetas entre si e o Sol (velocidade, distâncias, tempos de percurso) de uma forma harmônica, isto é, pode expressar leis sobre essas relações.

O conceito de força, por seu turno, supõe que os movimentos são guiados por causas físicas e dinâmicas, isto é, forças representam a substituição de esferas sólidas encaixadas, de fluídos, de epiciclos e deferentes etc; as forças centrais propostas por Kepler limpam o terreno, podemos dizer; não são as postulações aristotélicas fundamentadas em lugares naturais ou a predominância do círculo que entram em consideração na astronomia e cosmologia, mas a ação motriz do Sol nos planetas, que os leva a perfazerem as relações (velocidades, distâncias e tempos) entre os planetas.

Kepler, distintamente dos astrônomos e cosmólogos que o antecederam, desvinculou-se, ao longo das suas investigações, do axioma platônico. Não o vendo mais como um axioma, mas como uma hipótese, pôde determinar novas condições para a astronomia: esta pode falar do mundo físico (pois é a investigação que irá determinar a forma da órbita e as suas relações), e, ao mesmo tempo, determinar, mediante essas investigações físicas, meios para se obterem melhores posicionamentos planetários.

Assim, temos um universo em que tanto a astronomia na sua parte descritiva (preditiva), quanto na sua parte física (explicativa) podem ser integradas mediante harmonia e forças corporais.

O que está envolvido em todo esse trabalho é a metafísica kepleriana como distinta da metafísica que antecedeu os seus trabalhos. Como procuramos mostrar, tanto para os cosmólogos seguidores de Aristóteles, quanto para os astrônomos adeptos de Ptolomeu, a metafísica se alicerçava em conceitos como “perfeição”, “predominância dos movimentos circulares e uniformes”, “espaços determinados qualitativamente, e estruturados hierarquicamente”. Com Kepler, ao contrário, a metafísica que prevalece é alicerçada na suas crenças de construir a astronomia sob o ponto de vista físico (e, dessa maneira, o conceito de força é a expressão de tal crença) e, também, de que o universo é harmônico (isto é, que existe possibilidade de matematizar o mundo físico). Kepler não se apegou ao axioma platônico como os outros, e a razão de tal coisa é que o axioma platônico não é a expressão da harmonia celeste, mas apenas uma forma de poder concebê-la. As mudanças operadas por Kepler na astronomia e na cosmologia são frutos da admissão incontestável de que o mundo celeste é físico (tal como os movimentos terrestres também são físicos, e que o universo pode ser compreendido racionalmente, isto é, a realidade do mundo celeste pode ser contemplada por meio da linguagem da matemática).

Todo esse tratamento dado à astronomia e à cosmologia, visando uni-las num único corpo teórico, permitiu a Kepler mudar os seus estatutos epistemológicos e metodológicos. Noções como “causalidade”, “hipóteses físicas” foram readmitidas dentro da problemática envolvendo a obtenção dos movimentos planetários. Para poder falar competentemente do mundo celeste, principalmente para obter-se bons dados observacionais, fez-se necessário não mais adotar uma postura eminentemente instrumentalista, mas sim voltada para a procura da estrutura real do mundo cósmico. Essas modificações epistemológicas e metodológicas, talvez as mais marcantes de Kepler para a ciência, mudaram o enfoque da astronomia do século XVII.

## 4. A epistemologia e a metodologia keplerianas

### 4.1. Introdução

Nos capítulos precedentes nos esforçamos em mostrar que o modelo astronômico elaborado e desenvolvido por Kepler alicerça-se, principalmente, nos conceitos de força magnética e no de harmonia celeste. Força tem a função de ser a causa motriz que leva os planetas a perfazerem os movimentos tais como nos mostram as observações astronômicas, sendo que o aumento ou a diminuição da ação da força solar é que os leva a realizarem certas relações específicas (entre tempos e velocidades em função da variação nas distâncias dos planetas ao Sol), que podem ser expressas em forma de leis gerais. Harmonia, expressa pelos modelos dos sólidos perfeitos ou pelo da escala musical, por sua vez, é a garantia de que o espaço é homogêneo, isto é, geométrico e não qualitativo, de maneira a termos, pela admissão dessa estrutura harmônica real, as condições necessárias para se poder matematizar o mundo celeste. Vimos também que esses dois conceitos, para serem compreendidas as suas funções dentro da astronomia kepleriana, não podem ser desvinculados, mas devem, pelo contrário, ser vistos como elementos que mantêm ligações um com o outro.

Esses resultados obtidos por Kepler expressam o seu tratamento singular em astronomia. Neles estão contidos como ele entendeu o conhecimento astronômico e os meios para se chegar a tal conhecimento, isto é, as leis keplerianas expressam a

epistemologia adotada por Kepler bem como a sua metodologia. Sendo assim, um estudo sobre a atuação de Kepler em astronomia necessita, para uma justa compreensão dos seus trabalhos nessa área, contemplar os aspectos epistemológicos e metodológicos envolvidos.

Um estudo da epistemologia e da metodologia keplerianas, contudo, leva-nos a admitir dois pontos centrais; um negativo, o outro positivo. O ponto negativo é que Kepler, diferentemente de muitos autores do XVII, tais como Descartes, Bacon e Newton, e semelhantemente a Galileu, nunca escreveu uma obra, ou um texto específico, sobre o seu método ou sobre a natureza do conhecimento em astronomia; o que temos, para obter um estudo acerca dessas questões, nos saem por vias indiretas, isto é, tanto pela análise dos seus procedimentos na obtenção das suas leis dos movimentos planetários, quanto pela análise de passagens de seus escritos que relatam, mas sem desenvolver sistematicamente, os seus procedimentos. Neste sentido, alguns textos de Kepler – tal como o primeiro capítulo do *Mysterium cosmographicum* - juntamente com a análise dos meios pelos quais Kepler chegou as suas leis, é que se tornam os pontos chaves para compreendermos a epistemologia e a metodologia de Kepler.

Por outro lado, o ponto positivo a que nos referimos está justamente na falta de tratamento específico por parte de Kepler tanto para a epistemologia quanto para a metodologia, pois isso elimina compromissos desse autor com uma determinada linha específica de pesquisa. Em outras palavras, para compreendermos como Kepler concebeu e construiu o saber astronômico devemos, fundamentalmente, abster-nos de qualquer tipo de rigidez quanto à linha pela qual ele se guiou, isto é, não podemos classificar Kepler simplesmente ou como “inatista” ou como “empirista” convicto, no sentido de defender uma base única de conhecimento, pois ambos elementos fazem parte da sua epistemologia. Além disso, dificilmente podemos caracterizar Kepler como um adepto ortodoxo de determinadas linhas de pesquisa – e isso, entende-se, principalmente, pela quebra com o axioma platônico -, mas sim, como um adepto de determinadas condutas, ou valores cognitivos, que ele sempre assumiu e nunca desconsiderou nas suas elaborações científicas<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Em linhas gerais, o que queremos dizer com isso é que Kepler desenvolveu um método de trabalho e assumiu algumas teses epistemológicas, mas, esses elementos, foram construídos e obtidos ao longo de todo o seu trabalho não sendo, por isso, admitidos antes das investigações.

Kepler elaborou o saber astronômico tal como ele o entendeu e isso foi feito ao longo de sua vida, de maneira que, se não temos um texto seu específico sobre o método para se obter conhecimentos em astronomia, que nos daria as regras básicas para se chegar a tais objetivos, não temos, também, compromissos *a priori*. Kepler deve ser visto, assim nos parece, como um cientista voltado a obter conhecimentos verdadeiros e seguros sobre o mundo natural e não como um defensor de uma metodologia ou epistemologia específicas admitidas antes das suas descobertas; suas preocupações eram simples: determinar a forma orbital verdadeira dos movimentos planetários, determinar as relações matemáticas contidas nesses movimentos, alicerçar a astronomia em bases físicas e, fora isso, garantir que os resultados obtidos sejam verdadeiros, isto é, que os procedimentos em astronomia sejam referidos ao mundo real e não instrumental; por outro lado, os meios para se chegar a tais resultados, que são de cunho filosófico e não apenas científico, constituíram-se ao longo dos seus trabalhos. Para ele, o importante em ciências e, em especial, na astronomia, é construir o saber de modo que esse corresponda à verdade e à realidade, sendo que as estruturas para se chegar a tais resultados, tal como as estruturas de uma casa, devem ser construídas de acordo com as necessidades envolvidas quando se admite um tal saber. Em suma, o que é básico em Kepler não é a defesa de uma epistemologia ou metodologia específicas proposta anteriormente à pesquisa, mas a construção das mesmas tendo em vista os objetivos que ele determinou para a astronomia; o que precede é a ciência – isto é, os resultados a que ela pode chegar, sendo que os meios devem ser construídos ao longo da empreitada.

Os procedimentos keplerianos para a obtenção das suas três leis dos movimentos planetários mostram-nos, como procuramos destacar nos dois primeiros capítulos deste trabalho, os meios pelos quais Kepler chegou aos seus resultados mais profícuos em astronomia e, desse modo, indicam também o que sempre se mostrou presente no pensamento de Kepler: o seu realismo, voltado para descobrir a estrutura física dos céus bem como a sua estrutura matemática, à qual ele sempre chamou de “harmônica”. Para entendermos o peso do seu realismo, listemos os principais elementos que constituem os meios pelos quais Kepler construiu a sua astronomia e a sua cosmologia, que podem ser postos como:

- 1) uso das hipóteses copernicanas de centralidade do Sol e de movimentos da Terra;
- 2) uso dos dados observacionais de Brahe como elementos para o teste de hipóteses;
- 3) uso dos artifícios geométricos (apenas durante o processo de obtenção das leis, isto é, como recursos que foram importantes para a aproximação com o modelo final de astronomia física), como o equante, epiciclo, deferente etc.;
- 4) uso por analogia da força magnética proposta por Gilbert para explicar a ação da força exercida pelo Sol nos planetas;
- 5) uso por analogia dos modelos dos sólidos perfeitos e da escala musical para expressar a estrutura harmônica do mundo celeste;
- 6) uso do modelo de explicação aristotélico: explicar é determinar as causas;
- 7) estipulação de hipóteses de trabalho: hipótese vicária, lei das distâncias; hipótese das superfícies e elipse auxiliar;
- 8) método kepleriano; estipulação de hipóteses de caráter físico, isto é, que não sejam apenas hipóteses no sentido instrumentalista (artifícios para conjugar dados ao axioma platônico), mas que se remetam às características físicas e dinâmicas presentes nos movimentos dos planetas bem como o teste das hipóteses sobre a verdadeira forma das órbitas planetárias;
- 9) aceitação de que o mundo celeste contém uma estrutura harmônica subjacente aos seus fenômenos, isto é, aos movimentos dos planetas;
- 10) aceitação de que a astronomia pode considerar os aspectos físicos e dinâmicos envolvidos.

Esse quadro sintetiza os meios e os recursos aos quais Kepler se prendeu durante o processo de obtenção das suas três leis dos movimentos planetários. O importante acerca desses recursos e meios está no que foi variável e no que não o foi durante o processo. As hipóteses copernicanas não se apresentaram como parte da axiologia kepleriana; apesar da crença de Kepler sobre a verdade do copernicanismo, Kepler testou essas hipóteses, juntamente com os modelos de Ptolomeu e de Tycho Brahe<sup>2</sup>. Os artifícios usados pela tradição astronômica também serviram durante partes do trabalho, sendo recusados quando

---

<sup>2</sup> É claro que Kepler sempre foi, pelo menos após 1596, um copernicano, mas ele, principalmente na *Astronomia nova*, como vimos no primeiro capítulo deste texto, considerou as propostas copernicanas como hipóteses que devem ser explicadas e corroboradas.

da obtenção de uma astronomia que não mais necessita do seu emprego. Os modelos vistos como analogias (magnetismo e Gilbert, sólidos perfeitos e escala musical) são apenas modos de expressar as necessidades exigidas por uma astronomia física e harmônica e não necessariamente a expressão da realidade do mundo celeste (isto é, são apenas modelos, analogias de uma estrutura real – a harmônica). As hipóteses de trabalho foram todas substituídas quando da obtenção das leis. O uso dos métodos de trabalho: derivação de hipóteses físicas (método que podemos chamar de hipotético dedutivo) bem como a exigência epistemológica de que explicar é derivar as causas dos fenômenos fazem parte do arcabouço epistemológico e metodológico keplerianos. Sendo assim, o que nunca foi variável na astronomia kepleriana foram a aceitação de que a astronomia pode ser vista sob o ponto de vista físico e, também, a crença de que o universo é harmônico e que pode ser conhecido (descrito e explicado) pelo intelecto humano. Universo harmônico e físico, esta é a base da metafísica kepleriana e a expressão máxima do seu realismo.

Tendo isso em vista, podemos derivar a metafísica<sup>3</sup> kepleriana como: 1) o universo é harmônico; 2) os movimentos celestes são causados por forças; 3) a causalidade se resume às causas eficientes; 4) o universo físico é racional (isto é, o mundo físico - distintamente do platonismo – é objeto de pesquisa, pois não se deve vê-lo como objeto que transcende a capacidade humana de compreensão). A axiologia kepleriana como sendo: 1) o universo contém uma estrutura harmônica subjacente aos fenômenos celestes (há uma estrutura objetiva, e que pode ser compreendida mediante a linguagem das matemáticas); 2) a astronomia deve ser tanto explicativa (cosmologia) quanto preditiva; 3) o universo deve ser interpretado realisticamente. A partir disso, as principais teses epistemológicas keplerianas são: 1) as faculdades cognitivas humanas podem compreender e expressar o mundo celeste, seja sob o ponto de vista físico, seja sob o ponto de vista harmônico, pois o intelecto é dotado de noções comuns (ou arquétipos) que são básicos para expressar essa

---

<sup>3</sup> Sou muito grato ao professor Valter Bezerra pelas sugestões e críticas para este capítulo, sem as quais dificilmente ele teria sido completado. Em especial quero destacar uma comunicação pessoal na qual o professor Bezerra esclareceu o papel da metafísica e da axiologia, segundo ele “Uma metafísica expressa certas concepções muito gerais acerca de como é o mundo. Uma metafísica é um sistema categorial bem mais geral do que uma teoria científica, tem um grau de permanência histórica bem maior, e no interior de uma mesma metafísica podem ser articuladas várias teorias científicas. Já uma axiologia está associada a uma teoria científica particular: ela especifica os valores cognitivos que essa teoria deve tentar exemplificar, os fins cognitivos que ela irá tentar alcançar. Uma axiologia é parte constituinte de um sistema de conhecimentos científico, não algo externo a ele.” Essa distinção entre metafísica e axiologia auxilia-nos a entender as teses

estrutura físico-harmônica real; 2) a experiência é básica para a obtenção do conhecimento, pois os dados observacionais são uma parte, uma expressão, da estrutura real do universo, mas devem ser entendidos, contudo, mediante a análise conceitual operada pela razão (pelos arquétipos); 3) o conhecimento é uma relação entre experiência, que determina os dados do mundo, e razão, que compreende esses dados. E, finalmente, temos a seguinte tese metodológica: 1) visto que o intelecto e a experiência mantêm uma relação (isto é, o conhecimento é um conjunto composto pela parte empírica, que determina os dados, e esses devem ser entendidos pelo intelecto), os meios para obter conhecimento devem ser o de formulação de hipóteses, as quais, como veremos abaixo, necessitam ter um estatuto realista e não, instrumentalista.

Sendo assim, o objetivo deste capítulo é fazer uma discussão acerca da epistemologia e da metodologia keplerianas, visando mostrar que Kepler operou uma mudança drástica na forma de conceber e construir a astronomia de sua época, principalmente, pelo caráter dado por esse autor à astronomia e à cosmologia: a de serem ciências integradas e voltadas para a obtenção da realidade do mundo celeste. Essas questões trazem à tona outros problemas, tais como o da racionalidade e do progresso científico, de maneira que pretendemos mostrar também que a nova forma de conceber o saber astronômico desenhado por Kepler visa a defender o copernicanismo como um sistema que, por ser real – tal como acreditava Kepler – permite alicerçarmos a sua escolha em base racional, justamente pelo caráter progressista que ele tem. A nossa análise se alicerça numa concepção histórica, na qual defendemos que o realismo kepleriano foi uma necessidade de ordem histórica, isto é, as condições peculiares da astronomia e cosmologia da época de Kepler – tal como procuramos mostrar no capítulo precedente – apontam o caminho para entendermos como os valores cognitivos de Kepler (em especial, a sua crença no realismo) foram o fator essencial, sem o qual o peso e os resultados dos seus trabalhos não podem ser compreendidos em toda a sua amplitude.

Para dar conta dos objetivos apontados trataremos fundamentalmente da questão do novo estatuto das hipóteses e da causalidade pretendido por Kepler em astronomia; questão

---

metafísicas keplerianas como componentes gerais de seu pensamento, as quais guiaram, como elementos irrefutáveis, toda a sua construção científica.

central que mostra o valor e o significado do realismo<sup>4</sup> para Kepler e como esse realismo foi importante para a derivação do saber que ele construiu para as ciências astronômicas.

#### 4.2. As concepções de causalidade e hipótese em Kepler

As noções de causalidade e de hipóteses astronômicas foram, pode-se dizer, os dois componentes epistemológicos e metodológicos que mais sofreram alterações com a astronomia kepleriana. As mudanças keplerianas foram frutos da sua base metafísica: astronomia física e harmônica, de modo que, para compreendermos os novos estatutos de causalidade e de hipóteses pretendidos por Kepler não podemos nos desvinciliar dessa metafísica.

Na realidade, os novos sentidos de causalidade e de hipóteses surgem para resolver, segundo a ótica de Kepler, problemas da astronomia do início do dezessete. Como vimos no capítulo anterior, a situação gerada pela distinção entre astronomia de predição e cosmologia explicativa suscitou dois modos distintos de compreender o mesmo objeto (os movimentos planetários podendo ser vistos tanto sob o ângulo da simples predição – na qual as hipóteses têm um caráter definido como simples símbolos matemáticos - sem obter, por outro lado, explicações adequadas, ou sob o prisma da explicação, que implicava em quadros elegantes e satisfatórios de explicações, mas, contudo, produziam predições que traziam problemas). No capítulo anterior, entretanto, nos restringimos a apresentar a parte histórica desse problema; agora, devemos deter-nos nas partes epistemológica e metodológica geradas pela situação da astronomia nesse período e as inovações keplerianas nesse campo.

O uso de hipóteses como simples expedientes matemáticos, isto é, como instrumentos de cálculos, é apresentada como padrão por Osiander, no prefácio ao *De*

---

<sup>4</sup> Como veremos mais abaixo neste texto, o realismo que estamos apresentando em Kepler pode ser visto como um “realismo histórico”, isto é, a admissão do realismo para dar conta do conjunto de problemas que era próprio da astronomia do século XVII. Não trataremos do realismo kepleriano como um “realismo conceitual”, isto é, o realismo defendido por Kepler, baseado em forças centrais, pode ser perfeitamente defendido como um instrumentalismo. O conceito de força pode ser entendido como uma função dentro de uma estrutura formal, sem haver qualquer tipo de interpretação sobre o seu valor de verdade. Neste sentido, o realismo advogado por Kepler tem que ser analisado como uma crença que adquire sua justificação para dar conta dos problemas – principalmente os relativos à separação entre astronomia e cosmologia – de seu período.

*revolutionibus*, que afirma sobre o caráter das hipóteses copernicanas em astronomia [Copérnico, N., 1990, p. 1- 2]:

“(...) Nem tão pouco é necessário que estas hipóteses sejam verdadeiras nem até sequer verossímeis, mas bastará apenas que conduzam um cálculo conforme as observações (...)

“Como, porém, se apresentam por vezes diferentes hipóteses para salvar um e mesmo movimento, por exemplo, a excentricidade e um epiciclo para o movimento do Sol, o astrônomo preferirá aquela que for mais fácil de compreender. Um filósofo procurará talvez mais a aparência da verdade, mas nenhum dos dois atingirá ou transmitirá algo de certo a não ser que estas novas hipóteses, entre outras tantas antigas, em nada mais verossímeis, se tornem conhecidas, sobretudo porque são admiráveis e, ao mesmo tempo, fáceis, trazendo consigo ingente tesouro de observações doutíssimas. E ninguém espere da astronomia qualquer coisa de certo no que respeita a hipóteses, porque ela nada pode garantir como tal. Assim não se afastará desta ciência mais ignorante do que veio, como aconteceria se tomasse como verdadeiras meras hipóteses.”

A citação é muito clara. Para Osiander, assim como para a tradição astronômica do século dezesseis, hipóteses astronômicas têm um papel específico: não expressam a verdade ou a falsidade dos seus conteúdos, mas apenas servem de base para os cálculos astronômicos. As considerações relativas às explicações - tais como as derivações das causas físicas e reais que levam os movimentos planetários a se darem tais como são detectados pelas observações astronômicas - faziam parte do trabalho do filósofo natural, sendo que ao astrônomo caberia usar esses princípios, como base cosmológica, e construir as melhores representações dos movimentos planetários, independentemente da verdade ou falsidade das mesmas, apenas importando os seus resultados práticos. Se os modelos elaborados pelos artificios, seja do excêntrico, seja do epiciclo com deferente, ou até pelo equante ptolomaico concordam com as observações astronômicas, então, os fenômenos foram salvos, isto é, obteve-se uma representação matemática para conduzir os cálculos (isto é, tem-se em mãos condições para detectar, por exemplo, as distâncias angulares, os valores das anomalias excêntricas, medianas e a equação ótica, necessárias para obter-se os posicionamentos planetários e compará-los com os dados observacionais), sendo que isso tinha que ser condizente com o axioma platônico de movimentos circulares e uniformes.

Assim, esse estatuto das hipóteses astronômicas tem a sua origem, como vimos no capítulo sobre a cosmologia kepleriana, no tratamento aristotélico que operou uma distinção entre astronomia, que tem um tratamento matemático, e a física, para a qual não é possível um tratamento matemático para as suas ocorrências físicas. Ao longo da história da astronomia e da cosmologia podemos ver várias expressões dessa distinção metodológica. Gêminos, por exemplo, nos diz<sup>5</sup>:

“(...) Frequentemente o físico prender-se-á à causa e levará sua atenção ao poder que produz o efeito que ele estuda, enquanto o astrônomo tirará suas provas das circunstâncias exteriores que acompanham esse mesmo efeito; ele não tem a capacidade de contemplar a causa que produz a forma esférica da Terra e dos astros (...) Não cabe ao astrônomo, portanto, de modo algum conhecer qual corpo está em repouso por natureza e de que qualidade são os corpos móveis; ele coloca como hipóteses que tais corpos são imóveis, que tais outros estão em movimentos, e examina quais são as suposições com as quais concordam as aparências celestes. É do físico que ele obtém seus princípios, princípios segundo os quais os movimentos dos astros são regulares e constantes; depois, por meio desses princípios, explica as revoluções de todas as estrelas, tanto daquelas que descrevem círculos paralelos ao equador, quanto dos astros que descrevem círculos oblíquos.”

A concepção de “hipótese astronômica”, na astronomia no início do século XVII, ligava-se diretamente à noção de “causalidade”. Vimos no capítulo precedente que Aristóteles determinou métodos distintos para a física terrestre e para a astronomia<sup>6</sup>, e isso tem a sua participação na função do astrônomo apontada por Gêminos na citação acima. Visto que ao astrônomo não cabe contemplar a causa essencial dos movimentos planetários, pois esse só pode considerar a causa formal, isto é, só pode contemplar a forma dos movimentos abstraindo-os da matéria (dos corpos dos astros e dos planetas), então o papel das matemáticas torna-se reduzido à descrição dos movimentos planetários, visando os melhores posicionamentos possíveis.

A teoria aristotélica da causalidade (causas materiais, formais, eficientes e finais), quando aplicada ao mundo celeste revela-nos que não podemos conhecer a causa material e

<sup>5</sup> Citação extraída de Simplicio, em *Aristotelis phisicorum libros quartuor priores comentaria*, livro II, cap. 2, retirada de Duhem, P. [1984, p. 11].

<sup>6</sup> Conferir seção 3.2.1.

nem eficiente, podemos apenas considerar a forma dos movimentos e supor a finalidade dos mesmos. Neste sentido, não é possível matematizar o mundo celeste, os movimentos planetários, no que concerne à sua essência, isto é, aos aspectos materiais envolvidos. A citação de Gêminos é muito clara: o filósofo natural se prende às causas do mundo terrestre e procura derivar, por elas, os fenômenos físicos, enquanto que o astrônomo não pode contemplar as causas essenciais dos movimentos celestes, mas o que pode fazer é erigir hipóteses sobre a sua constituição física e derivar, por elas, as melhores representações possíveis. Neste sentido, a noção de causalidade utilizada na astronomia anterior a Kepler deixava claro que não podemos matematizar o mundo celeste, apenas podemos representar os movimentos por meio de artifícios (deferentes, epiciclos, excêntricos e equantes) por meio do axioma da circularidade e uniformidade, mas esses artifícios não expressam a realidade material dos movimentos.

Por outro lado, com Kepler, as leis propostas são entendidas como leis de sucessão de fenômenos matematicamente expressíveis; enquanto leis de sucessão, elas concebem a causa como causa imediata, isto é, causa próxima, eficiente. Com Kepler, uma causa astronômica deve contemplar a realidade material dos movimentos planetários, ou seja, como vimos nos capítulos anteriores, Kepler não parte da noção tradicional de que não é possível a investigação dos aspectos materiais do mundo celeste, mas procura construir a astronomia a partir desses aspectos materiais (a admissão do Sol físico como centro de movimentos, os dados de Brahe como o elemento para a construção da forma orbital verdadeira dos planetas e não o uso desses dados para a adequação dos mesmos ao princípio de circularidade e uniformidade etc.); isso representou a possibilidade de matematização do mundo celeste. Visto que o que entra em consideração são os aspectos físicos e reais dos movimentos planetários, Kepler pretendeu matematizar o mundo celeste mediante esses aspectos. As leis de Kepler podem ser vistas como leis que procuram expressar as regularidades que estão subjacentes aos fenômenos celestes (isto é, relações entre velocidades, tempos e distâncias); nesse sentido, a admissão de um centro físico emitindo forças magnéticas que levam os planetas a moverem-se tal como são observados representa a possibilidade de considerar apenas a causa eficiente, como causa próxima que condiciona as relações constatadas pelas observações dos movimentos planetários. Assim, não se necessita das causas materiais, formais e finais na astronomia kepleriana, pois a

admissão do Sol central emitindo forças é um elemento suficiente para expressar a natureza física dos movimentos planetários, pois essa força procura ser a causa explicativa (eficiente) das regularidades expressas pelas leis. A matemática, desse modo, é aplicada para a obtenção de leis que expressem as regularidades observacionais. Essa noção de causalidade kepleriana implicou numa nova noção de hipóteses astronômicas, que deixaram de ser vistas como hipóteses instrumentalistas e passaram a ser expressões da realidade do mundo celeste.

Existe, segundo a metodologia instrumentalista, como vimos, a função do físico (filósofo natural), que investiga as causas, suas naturezas físicas, suas qualidades etc; em contrapartida, o astrônomo [Westman, R. S., 1980] restringe-se aos cálculos dos movimentos planetários e, com isso, procura obter as suas melhores representações.

Santo Tomás de Aquino, ao considerar tanto as exigências da cosmologia aristotélica quanto da astronomia elaboradas pelos modelos ptolomaicos, estipula da seguinte forma o conhecimento astronômico<sup>7</sup>:

“Pode-se dar conta de uma coisa de duas maneiras diferentes; uma primeira maneira consiste em estabelecer por uma demonstração suficiente a exatidão de um princípio do qual essa coisa decorre; assim, na Física, dá-se uma razão que é suficiente para provar a uniformidade do movimento do Céu. Um segundo modo de dar a razão de uma coisa consiste não em demonstrar o princípio por prova suficiente, mas em fazer ver que efeitos concordam com um princípio proposto inicialmente; assim, em Astrologia, justificam-se os excêntricos e epiciclo pelo fato de que, por meio dessas hipóteses, pode-se salvar as aparências sensíveis relativas aos movimentos celestes; mas isso não é um motivo suficiente de prova, pois os movimentos aparentes poderiam, talvez, ser salvos por meio de uma outra hipótese.”

Dar uma razão suficiente cabe ao físico, ao astrônomo compete elaborar hipóteses que dêem conta dos movimentos planetários. Entendendo-se dessa forma a função de uma hipótese astronômica, a questão da sua verdade ou falsidade não era algo importante, pois elas, as hipóteses, não eram símbolos do real, mas construções desprovidas de qualquer apego ao que de fato ocorre nos céus. A astronomia não pode fazer afirmações sobre os aspectos físicos, de maneira que não se poder decidir sobre a verdade ou a falsidade das

---

<sup>7</sup> Santo Tomas de Aquino, *Summa theologiae*, I, 32, 1 – 2; retirada de Duhem, [Duhem, P., 1984, p. 38].

hipóteses, hipóteses distintas podem descrever semelhantemente os movimentos planetários. As várias hipóteses, ou os vários modelos, possíveis que se podem elaborar permitem obter-se a equivalência observacional entre elas, isto é, hipóteses distintas podem salvar igualmente (isto é, com a mesma precisão) os movimentos celestes.

As hipóteses astronômicas são apenas construtos matemáticos, símbolos que não se relacionam (não correspondem) às naturezas físicas dos seus objetos representados, mas são meras ficções provindas da mente fértil dos astrônomos-matemáticos, elaboradas para finalidades práticas – confecção de tabelas astronômicas para determinar as datas das colheitas, das festas religiosas, da elaboração de calendários, para auxiliar nas determinações das coordenadas das estrelas e dos planetas, necessárias para as viagens marítimas etc. Os critérios adotados para a estipulação de quais hipóteses são as melhores, condicionam-se, necessariamente, a padrões instrumentais (ou, no sentido moderno, “anti-realistas”). Tais critérios podem ser resumidos da seguinte maneira:

- 1) precisão, isto é, obtenção dos melhores dados teóricos (ou seja, obtenção de teorias, no caso os modelos que se utilizam dos artifícios do equante, epiciclo com deferente, excêntricos para discriminar melhor entre as possíveis teorias);
- 2) simplicidade, isto é, utilização dos modelos que se servem do menor número possível de artifícios;
- 3) testabilidade, (que é uma condição necessária de 1), isto é, os dados obtidos devem corresponder às observações empíricas;
- 4) adequação empírica, isto é, o ajuste entre as previsões da teoria e os dados observacionais;
- 5) desconsideração (ou importação) das causas físicas dos fenômenos;
- 6) as hipóteses elaboradas não contêm valor de verdade (este critério pode ser compreendido como fazendo parte da axiologia instrumentalista).

Os quatro primeiro critérios podem ser usados também por um realista. Um realista os considera como indicadores da verdade, enquanto que um instrumentalista os considera como medidas do desempenho das teorias.

A posição instrumentalista adotada pela astronomia no início do século dezessete trabalha com uma teoria coerentista (no contexto da justificação, e não como uma teoria da verdade), sendo que é mais a lógica (ou seja, as hipóteses matemáticas que melhor conseguem expressar os movimentos planetários) que determina a escolha das melhores (as que mais passam pelos critérios de escolha) hipóteses. Nesse sentido, não há relação entre hipóteses e causalidade; as construções matemáticas não tratam da relação causal entre os símbolos (hipóteses) e os fenômenos (movimentos planetários), pois não há uma relação de natureza entre as hipóteses astronômicas matemáticas e o mundo físico. Se há pouco conteúdo de verdade nas hipóteses astronômicas instrumentalistas, então não entram em consideração – pelo menos diretamente – os aspectos causais (físicos) envolvidos nos movimentos do mundo cósmico.

A posição instrumentalista, no limite, gerava um certo ceticismo em relação à possibilidade das hipóteses construídas trazerem algo de confiável para a astronomia [Jardine, N., 1979, pp. 144 – 148]. Apesar do instrumentalismo estipular, mediante os seus critérios de simplicidade e adequação empírica, uma base razoavelmente segura para a escolha das hipóteses astronômicas (pois o grau de erro, lembremos, era, tanto para os modelos ptolomaicos quanto para o sistema copernicano, na ordem de 10'), a natureza das mesmas era sempre vista com ressalvas, pois não havia a preocupação quanto a elaboração de teorias e argumentos que garantissem que elas (as hipóteses) pudessem ser de fato aplicadas ao mundo físico. Em outras palavras, se o saber humano se contentasse apenas com “aproximações”, então a metodologia instrumentalista adotada pela astronomia do início do século XVII poderia ser vista como suficiente; porém, o espírito humano não se contenta apenas com aproximações e, sendo assim, ele procura as condições (pelo menos em potência) para poder extrair um conhecimento mais próximo à realidade. Aliado a isso está a “vontade” sempre presente de determinados homens de tentar conjugar, ou adequar, o conhecimento às suas crenças e aos seus valores, a tentativa de fundamentar as suas expectativas com um saber sólido.

Isso fica claro quando vemos o papel desempenhado pelo padre Clavius sobre o estatuto do conhecimento em relação às hipóteses astronômicas. Sendo um eminente jesuíta e grande matemático, os seus esforços foram no sentido de garantir que as hipóteses astronômicas não são meras construções para solucionar problemas calculatórios, mais do

que isso, elas devem ser garantidas como verdadeiras (ou se não, devem ser vistas como falsas). Sendo assim, ele procurou sustentar que os epiciclos, os excêntricos etc. têm uma espécie de realidade física, e, dessa maneira, podem ser integrados com a cosmologia aristotélica. Nos seus *Comentários às esferas de Sacrobosco*, Clavius procurou sustentar os seus princípios metodológicos, segundo os quais se as hipóteses propostas são verdadeiras, então o universo contém corpos que, mediante os seus arranjos e movimentos, correspondem a essas hipóteses, caso contrário, são falsas [Jardine, N., 1979, p. 144]. A sua estratégia consistiu em mostrar a falsidade do copernicanismo e a verdade do aristotelismo e dos modelos ptolomaicos através da resolução dos problemas práticos, isto é, se uma determinada hipótese (que se utiliza dos artifícios geométricos do equante, do excêntrico, do epiciclo etc.) consegue salvar as aparências, então ela contém um certo valor de verdade, não podendo ser vista como uma simples ficção ou construto destinado apenas a dar bons posicionamentos sem respaldo físico. O que está envolvido aqui é o que se pode chamar contemporaneamente de “conexão entre referência e sucesso”, que é um argumento típico do chamado realismo convergente [Laudan, L., 1984, pp. 105 – 117], isto é, as hipóteses que correspondem aos fenômenos (dão bons resultados) e obtêm sucesso estão, desse modo, se aproximando de um modo ou outro da verdade<sup>8</sup>, sendo que os seus termos teóricos (no caso, epiciclos, equantes, excêntricos, etc) referem-se de alguma forma ao mundo, caso contrário (isto é, caso não admitamos a aproximação da verdade e a referência), argumentaria um realista, não teríamos como explicar o sucesso da ciência, e não nos restaria outra opção senão considerá-lo um “milagre”, sem explicação.

Porém, visto que as hipóteses de Copérnico são observacionalmente equivalentes às de Ptolomeu, a escolha entre elas, sob o ponto de vista realista, e não mais instrumentalista, segundo Clavius, está em mostrar que Ptolomeu se aproxima mais da verdade do que

---

<sup>8</sup> Boyd, [Boyd, R, N., 1983, p. 59] nos coloca que as avaliações feitas por uma interpretação instrumentalista levam a construir regras metodológicas em função da tradição teórica em uso, mas que pode (a metodologia), contudo, ser construída em função da procura aproximativa da verdade: “O mundo pode ser largamente definido ou constituído pela tradição teórica que define essa metodologia [a qual pode ser instrumentalista]. É claro que outra coisa é possível : o mundo pode ser tal que as leis e teorias contidas em nossa atual tradição teórica são aproximadamente verdadeiras. Nesse caso, a metodologia da ciência pode progredir dialeticamente. Nossa metodologia, baseada sobre teorias aproximadamente verdadeiras, podem ser guias confiáveis para a descoberta de novos resultados e aperfeiçoamentos nas antigas teorias”. Ou seja, a metodologia se constrói em função dos princípios admitidos. Para um instrumentalista, o método é alicerçado na, simplificada, adequação empírica, enquanto que para um realista, o método é formulado tendo em vista a aproximação paulatina com a verdade. Essa segunda função foi básica para a elaboração do método kepleriano.

Copérnico (ou em outros termos, é mais realista) por resolver mais problemas e, principalmente, não cair em absurdos, segundo Clavius [*Esferas*, pp. 436 – 437, retirada de Jardine, N., 1979, pp. 155 – 156]:

“(…) Os astrônomos pensam assim esses orbes [copernicanos] porque eles notam pelos fenômenos que os planetas não estão sempre a uma distância constante da Terra. De fato, Copérnico livremente admite isso. Pois, segundo a sua doutrina, os planetas sempre apresentam distâncias inconstantes em relação à Terra, como é evidente quando se posiciona a Terra no terceiro céu. Disso se pode inferir a partir dos postulados de Copérnico: que não é seguramente certo que os arranjos dos epiciclos e excêntricos são como propostos por Ptolomeu, porque um grande número de fenômenos podem ser salvos de outro jeito. (...) Assim, se os postulados de Copérnico não envolvem nada de absurdo, então é claro que teremos dúvidas sobre a adesão ou ao sistema de Copérnico ou ao de Ptolomeu acerca da questão de salvar as aparências. Mas muitos absurdos e erros se apresentam nos postulados de Copérnico.

“Fora isso, a partir do fato que Ptolomeu salva o fenômeno solar tanto por meio do epiciclo quanto pelo excêntrico, segue-se apenas que não é certo se o Sol é conduzido por um epiciclo ou por um excêntrico. Mas, como afirmamos, é claro que o Sol tem uma distância inconstante da Terra e certamente não está num orbe concêntrico, o qual é, como dissemos, suficiente para os nossos propósitos.”

A citação é muito sugestiva e interessante. Em primeiro lugar, Clavius admite que o copernicanismo é observacionalmente equivalente aos modelos ptolomaicos, não se tenta, segundo a ótica instrumentalista, condição de decisão entre ambos. O instrumentalismo funciona até esse ponto, a seguir, temos os critérios realistas, que, segundo Clavius, mostram os erros e absurdos do heliocentrismo, que são, sem dúvida, a incompatibilidade desse sistema com os preceitos das Sagradas Escrituras e com a física e cosmologia aristotélicas. O geocentrismo de Ptolomeu deve ser visto como verdadeiro e real (pois se aproxima de alguma maneira da verdade) por não cair nos absurdos e erros de Copérnico, isto é, ele é condizente com aquilo que a igreja apregoa e com a física do estagirita e, além disso, consegue salvar as aparências.

A posição de Clavius não está presa à metodologia instrumentista. Os seus critérios são, segundo o seu pensamento, realistas. Pode-se escolher as hipóteses, pois existem

critérios epistemológicos para essa resolução. Os critérios de Clavius ligam-se diretamente às suas crenças religiosas e ao respeito ao aristotelismo; nesse sentido existem muitos juízos de valor envolvidos. Mas o importante com Clavius não são esses juízos (o que alias, como veremos mais abaixo, com Kepler, ocorre a mesma coisa, o que nos mostra a dificuldade de desassociar a empreitada científica dos valores assumidos pelos que fazem ciências, isto é, os homens), mas a tomada de decisão de “sair” do âmbito instrumental e cético, para a procura de razões ligadas à tentativa de conceber o saber sob o ponto de vista da sua justificação racional e realista. Isso nos aponta as necessidades históricas da astronomia e cosmologia dos séculos XVI e XVII, nas quais, como procuramos mostrar no capítulo anterior, nos apontavam dois meios de conceber o mesmo objeto – uma astronomia preditiva e uma cosmologia explicativa. Independentemente de se defender uma postura como sendo a expressão ou não da realidade, estão, pensamos, as necessidades históricas (entendendo por isso tanto as necessidades práticas, quanto os problemas conceituais que se apresentam num determinado período histórico) que apontam os caminhos que se devem seguir. Em outras palavras, como veremos, abaixo com Kepler, a situação epistêmica da astronomia e da cosmologia da sua época gerou uma necessidade de “tomada de decisão”: ou um astrônomo se mantém num quadro referencial que corresponde a certas expectativas, mas que aponta uma série de problemas, ou ele procura outros meios, o que implica na admissão e uso de outros quadros referencias.

Kepler via a natureza do conhecimento astronômico de uma forma diferente da posição prevalecte de sua época. Um dos principais objetivos de seus trabalhos astronômicos era derivar teorias relativas ao que de fato ocorre no mundo supra-lunar, de maneira a romper com a postura instrumentalista. Assim, um dos principais aspectos dessa sua renovação teórica cai, justamente, no estatuto das hipóteses astronômicas que, em conjunto com as suas três leis dos movimentos planetários, tinham como função falar sobre o mundo celeste nos seus aspectos não apenas matemáticos, mas físicos, implicando na quebra da indecidibilidade apontada pelo instrumentalismo.

Na sua primeira obra significativa em astronomia, *O Mysterium cosmographicum*, Kepler já indica os problemas que a postura instrumentalista traz para a astronomia e, ao mesmo tempo, apresenta e inicia a sua demolição dos problemas que a astronomia ptolomaica suscitava. Nesse sentido, Kepler adota critérios realistas para procurar justificar

o copernicanismo, sendo que esses critérios se mostrariam distintos dos apontados por Clavius.

O primeiro ataque de Kepler, contra os que defendem o instrumentalismo, vem da teoria da coerência defendida por eles, que, para Kepler, é obter conhecimentos de modo accidental, e não por demonstração a partir de premissas verdadeiras que [Kepler, J., G. W., I, p. 15]:

“(...) Eu nunca concordei com aqueles que confiam nos modelos a partir de provas accidentais, os quais inferem a verdade a partir de premissas falsas pela lógica do silogismo. Utilizando esse modelo, eles argumentam que é possível serem falsas as hipóteses de Copérnico e, todavia, os fenômenos verdadeiros seguem-se delas como se elas fossem autênticos postulados.”<sup>9</sup>

Ou seja, Kepler reclama por um tratamento epistemológico para a astronomia, isto é, o que entra em discussão não é a apenas a possibilidade de se obter conhecimento astronômico pelo simples cálculo, mas sim o de derivá-lo de premissas verdadeiras. Uma prova pode, dadas as leis do silogismo, obter uma conclusão verdadeira através de premissas falsas, mas essa obtenção se dá por acidente, e não por uma prova que gera certeza (ou seja, obter provas accidentais não é obter conhecimento certo, que é dado quando deduzimos os fenômenos de premissas, de princípios, verdadeiros). A astronomia, quando adota uma postura instrumentalista, impede a procura de conhecimentos certos e seguros. O que podemos perceber é que a astronomia deve procurar uma espécie de teoria da correspondência da verdade, na qual o que entra em discussão é o caráter do valor de verdade das premissas (das hipóteses a serem utilizadas pelos astrônomos).

Para Kepler, os modelos geocêntricos ptolomaicos só podem obter conhecimentos por meio de provas accidentais, pois, como os seus princípios são falsos, não suportariam as necessidades de uma astronomia voltada a investigar o valor de verdade contido em suas premissas explicativas, mas o mesmo não se dá com aqueles que posicionam o Sol ao centro e dotam a Terra de movimentos, pois [Kepler, J, G. W., I, p. 15]:

---

<sup>9</sup> “Atque hoc loco nunquam assentiri potui illis, qui freti exemplo accidentariae demonstrationis, quae ex falsis praemissis necessitate Syllogistica verum aliquid infert. Qui, inquam, hoc exemplo freti contendebant,

“(...) Isso não é o caso daqueles que posicionam o Sol no centro. Pois, se vós os tomais como derivados a partir das hipóteses [heliocêntricas] (...) para obter alguns dos fenômenos que são atualmente observados nos céus (...) não tereis dificuldades em qualquer ponto, se elas [hipóteses] são autênticas, e mesmo a partir dos mais intrincados argumentos retornareis com completa consistência às mesmas suposições.”<sup>10</sup>

Ou seja, para Kepler, se as hipóteses utilizadas em astronomia são verdadeiras, as provas obtidas (a descrição dos fenômenos, os movimentos planetários) dar-se-ão, pois a partir de premissas verdadeiras, o uso do silogismo será apenas um recurso para extrair conseqüências. E, sendo o copernicanismo o sistema que expressa a verdade, de modo que os outros são falsos, as provas surgirão como conseqüências das premissas heliocêntricas.

Como o geocentrismo é falso<sup>11</sup>, ele não pode deduzir conhecimentos seguros sobre os fenômenos a partir de suas premissas, pois são justamente essas premissas que são falsas. Alargando essa concepção, Kepler considera que Ptolomeu não explica, e nem pode explicar, uma série de fenômenos que, pela ótica copernicana, podem ser perfeitamente compreendidos (explicados), pois, sobre isso ele nos afirma [Kepler, J., G. W., I, p. 15]:

“(...) Digo, primeiramente, que as antigas hipóteses [ptolomaicas] simplesmente não dão conta de um grande número de fenômenos. Por exemplo, elas não dão a razão para o número [dos planetas], extensão [percursos] e tempos de retrogradação, e porque elas concordam precisamente com as posições e o movimento mediano do

---

fieri posse, ut falsae sint, quae Copernico placent hypotheses, et tamen ex illis vera tanquam ex genuinis principiis sequantur.”

<sup>10</sup> “(...) Aliter se hes habet cum eo, qui Solem in centro collocat. Nam iube quidlibet eorum, quae reuera in Coelo apparent, ex semel posita hypothesis demonstrate. (...) que veritas rerum patitur (...) et vel ex intricatissimis demonstrationum anfractibus in se unum constantissime reuertetur.”

<sup>11</sup> Deve-se ressaltar que quando Kepler escreveu o *Mysterium cosmographicum*, em 1596, ele não tinha obtido nada de relevante em astronomia, ou seja, não tinha obtido nenhuma das suas leis. Isso sugere que as críticas contra os modelos geocêntricos, vistos como falsos (e portanto, nem mesmo possíveis) já em 1596, faz parte de uma postura ingênua de Kepler, pois ele não tinha nada de conclusivo ou mesmo plausível em mãos para defender radicalmente o copernicanismo nessa fase de seu pensamento. Isso de uma certa forma pode ser admitido e visto mais como um impulso juvenil do que propriamente como o resultado de um trabalho extremamente elaborado e refletido. Porém, não devemos nos esquecer que o resultados obtidos subsequentemente por Kepler, as suas leis dos movimentos planetários, deram, ou procuraram dar, as provas necessárias para garantir a verdade das premissas copernicanas, o que, após todas as etapas de seu pensamento, tornou-se mais forte. Desse modo, mesmo que admitamos que Kepler foi apressado em 1596, o mesmo não se pode dizer em 1621 (ano da publicação do quarto livro do *Epítome*), ano em que Kepler tem em mãos teorias mais confiáveis para justificar o copernicanismo e, assim, poder argumentar que os modelos geocêntricos, segundo os seus critérios (de Kepler), já apontados em 1596, não suportam os testes, isto é, as suas premissas são falsas e não podem gerar conhecimento seguro em astronomia.

Sol. Sobre esse ponto, uma magnífica ordem é apresentada por Copérnico; a causa, necessariamente, deve ser encontrada nele. Em segundo lugar, de todas as hipóteses que dão uma razão aceitável para as aparências e concordam com as observações, Copérnico não as nega, mas as adota e as explica.”<sup>12</sup>

A crítica está ligada diretamente à organização, ou arranjo, do universo. Como vimos no capítulo 2, o qual tratou do conceito de harmonia kepleriano, a principal força do copernicanismo está não nos aspectos eminentemente astronômicos, isto é, no uso e aplicação dos artificios geométricos; mas na cosmologia, a qual, mediante a substituição da Terra pelo Sol como centro de movimentos e a dotação de movimentos a ela, determinou novas formas e padrões para se entender a estrutura dos céus. Neste sentido, para Kepler, tanto em 1596 quanto em 1621, o copernicanismo é o sistema (e o único) que permite tratar a astronomia sob a ótica da realidade, pois as suas premissas, as explicações – e, assim, as causas – podem ser testadas e mostrarem-se verdadeiras<sup>13</sup>. Pela citação acima, vemos que as hipóteses geocêntricas não dão razões para o número dos planetas, para os seus percursos e tempos de retrogradação e isso, principalmente, porque tais hipóteses não determinam um arranjo celeste apto a dar conta desses fenômenos. Com as hipóteses copernicanas temos, pelo menos, condições para testá-las sob o ponto de vista do realismo, pois os arranjos (a organização) heliocêntricos são, para Kepler, verdadeiros.

Kepler alarga as críticas aos modelos ptolomaicos. Essas recaem sobre os fenômenos que as hipóteses geocêntricas não conseguem dar conta, sendo o mais importante o fato de que Ptolomeu não explica o por que dos cinco planetas (Mercúrio,

<sup>12</sup> “(...) Respondeo primum, antiquas hypotheses praecipuorum aliquod capitum, nullam plane rationem reddere. Cuiusmodi est, quod ignorant, numeri, quantitatis, temporisque retrogradationem causas: et quare illae ad amussim ita cum loco et motu Solis medio conueniant. Quibus omnibus in rebus, cum apud Copernicum ordo pulcherrimus appareat, causam etiam inesse necesse est. Deinde earum etiam hypothesium, quae constantem apparentiarum causam redunt, et cum visu consentiunt, nihil negat Copernicus, potius omnia summit et explicat.”

<sup>13</sup> O interessante nesse raciocínio kepleriano não está na simples admissão de que as hipóteses heliocêntricas são verdadeiras e, portanto, são as premissas explicativas necessárias e suficientes para se dar conta, sob o ponto de vista realista, dos fenômenos celestes (pois isso, em 1596, pode ser visto como apressado), mas sim no deslocamento da questão, que deixa de ser vista apenas sob a ótica do instrumentalismo e apresenta condições – isto é, tratar a astronomia mediante a procura dos valores de verdade das suas premissas – para considerar o mesmo assunto tento em vista a realidade física dos mesmos. Em outras palavras, o que entra em consideração com esses raciocínios não é tanto se o sistema A é verdadeiro e B falso, mas a estipulação de critérios para uma análise que vai além dos critérios intrumentais. Como vimos com o realismo de Clavius, a mesma estratégia se apresenta, mas o que irá diferenciar Clavius de Kepler são os critérios para se considerar uma premissa como explicativa e que expressa a realidade.

Vênus, Marte, Júpiter e Saturno) apresentarem retrogradações, e os outros astros (Sol e Lua) não, enquanto que Copérnico explica tal fenômeno (pois, no limite, não há retrogradações, mas variações entre distâncias e velocidades entre os planetas em relação à Terra em movimento). Isso é interessante, pois mostra como a adoção de critérios realistas para a avaliação de teorias considera elementos que não são necessários numa postura instrumentalista. Numa postura instrumentalista, relembremos, os critérios de avaliação recaem, principalmente, sobre a simplicidade e adequação empírica; vistos assim, não sabemos como escolher entre Ptolomeu ou Copérnico, pois ambos obtêm os mesmos valores – isto é, os dois “salvam as aparências” e com um número muito semelhante de artifícios – mas, por outro lado, se os critérios exigem uma aproximação com a realidade, então a teoria de Ptolomeu se mostra menos progressiva que a copernicana, pois essa dá conta de problemas que a primeira não dá.

Kepler também inverte a noção de “simplicidade” da postura instrumentalista. Enquanto que um astrônomo instrumentalista considera que o sistema mais simples é o que contém menos artifícios, Kepler vê a simplicidade como a expressão da unidade que representa a organização a partir de princípios que correspondem aos fenômenos e que, ao mesmo tempo, determinam as causas, [Kepler, J., G. W., I, p.16]:

“(…) Pois, deixando a astronomia e retomando para a física ou cosmografia, as hipóteses de Copérnico não apenas não vão contra a natureza das coisas, mas se aproximam dela. Elas amam a simplicidade, elas amam a unidade. Por elas nada pode existir que seja supérfluo, pois ela usa poucas causas para [explicar] muitos efeitos.”<sup>14</sup>

As três leis de Kepler – que só podem ser vistas sob a ótica do copernicanismo – mostraram-se como uma simplificação extremamente grande em relação ao uso dos expedientes geométricos e, também, com a postulação de uma só causa (a força magnética exercida pelo Sol). Nesse sentido, ele seguiu à risca o seu compromisso de simplicidade e unidade.

<sup>14</sup> “Nam ut ex Astronomia ad Physicam, siue Cosmographiam deueniam, hae Copernici hypotheses non solum in Naturam rerum non peccant, sed illiam multo magis iuuant. Amat illa simplicitatem, amat unitatem. Nunquam in ipsa quicquam ociosum aut superfluum extitit: at saepius una res multis ab illa destinatur effectibus.”

Em outras palavras, o copernicanismo é visto como uma teoria apta a dar razões e explicações, coisas que os modelos geocêntricos não permitem realizar. Essa razão é fundamentada, principalmente, no caráter de sistematização e de racionalidade que o copernicanismo possibilita nas questões de determinação dos movimentos planetários. Deste modo, os fenômenos eram explicados de uma forma mais racional e coerente colocando-se o Sol no centro e a Terra movendo-se ao seu redor, do que quando se admitia a Terra como o centro dos movimentos, tal como nos sintetiza Hanson [Hanson, N. R., 1985, p. 204]:

“(...) os cálculos ptolomaicos constituíam sempre soluções específicas a problemas particulares dos corpos, que eram um planeta qualquer e a Terra. Por outro lado, os cálculos copernicanos surgiram sempre de considerações de vários corpos, ao menos em princípio.”

O modelo de universo ptolomaico apresentava bons resultados quanto às posições planetárias, mas não apresentava, propriamente, um sistema integrado que desse explicações racionais acerca dos movimentos e, principalmente, permitisse uma explicação fisicamente plausível para os comportamentos irregulares apresentados pelos planetas. Com as teses heliocêntricas, Kepler pôde situar-se num sistema representativo que lhe possibilitava tratar de uma forma integrada os planetas - as suas velocidades, tempos de revolução, distâncias ao centro de movimentos etc. - e explicar como isso ocorre.

Sendo as hipóteses astronômicas, dessa maneira, as premissas que tratam dos aspectos físicos e cosmológicos, não sendo meros expedientes para cálculos, Kepler pôde erigir argumentos quanto ao estatuto das hipóteses utilizadas pela astronomia de sua época. Comentando o famoso prefácio de Osiander ao *As revoluções dos orbes celestes*, de Copérnico, no qual, como apresentamos, é feita a defesa da postura instrumentalista para a astronomia, de maneira que as hipóteses copernicanas deveriam ser vistas como simples construtos matemáticos, Kepler nos diz [Kepler, J., *Apologia de Tycho*, Opera, I, 240; extraído de Jardine, N., 1979, pp. 164 – 165]:

“Eu conheço a opinião de que as hipóteses não são artigos sobre os fatos, mas bases para cálculos, de maneira que, mesmo que elas forem falsas, não se deve rejeitá-las desde que elas concordem com os movimentos aparentes. (...) Parece-me que nessas

palavras do autor ocorre um claro equívoco sobre a palavra “hipóteses”. Pois, algumas hipóteses descritas acima são, assim falando, pequenas alterações, sendo errado considerá-las como hipóteses, sendo que outras são verdadeiramente hipóteses astronômicas. Assim, quando no exemplo de Osiander, determinamos e relatamos a parte do círculo planetário a qual está ligada à metade do círculo do zodíaco, é errado considerá-la como hipótese e ela não pode ser verdadeira ou falsa. Mas, quando procuramos um método para calcular a ascensão ou declínio de um planeta nas partes desiguais, podemos chegar a isso de várias formas, e assim construímos hipóteses com o propósito de determinar o que é primeiro: uns localizando o centro do círculo no centro do mundo, outros colocando um epiciclo em um concêntrico. Mas essas, de fato, não são hipóteses astronômicas, mas, sim, geométricas. Portanto, se algum astrônomo diz que o caminho [órbita] da Lua tem uma forma oval, temos uma hipótese astronômica. Mas, por outro lado, quando ele procura construir essa forma através de círculos, ele está se utilizando de hipóteses geométricas...Nenhuma dessas coisas [a opinião de Osiander] pode ser tomada seriamente quando nós conhecemos a natureza e diversidade das hipóteses.”

Essa crítica de Kepler a Osiander, apontada na citação acima, traz elementos importantes para a compreensão da palavra “hipótese” em astronomia. Kepler a distingue entre astronômica e geométrica. Essa distinção já era conhecida, não tendo, assim, nada de novo, mas a aplicação que se pode fazer dela é que se torna diferente na astronomia kepleriana. A astronomia antiga, como procuramos apresentar, utilizou as hipóteses como sendo eminentemente geométricas, implicando na postura de que o estudo das ciências dos céus está intimamente ligado à geometria, deixando os aspectos físicos em segundo plano. A consequência dessa postura foi a consideração de que os movimentos dos planetas devem ser relacionados aos seus aspectos geométricos, isto é, deve-se procurar determinar a forma de se obter uma órbita como circular ou uniforme ou composta de circularidade e uniformidade, considerado-se, portanto, as hipóteses geométricas como base para a construção do conhecimento astronômico.

Kepler, em contrapartida, considerou que hipóteses astronômicas devem ser entendidas como relativas ao que ocorre de fato no mundo astronômico, isto é, aos aspectos cosmológicos, físicos e dinâmicos dos movimentos dos corpos celestes e não aos procedimentos geométricos utilizados para se chegar aos conhecimentos astronômicos. Isso fica muito claro pelo procedimento adotado na *Astronomia nova*, quando Kepler considerou

o princípio de circularidade e uniformidade como uma hipótese astronômica, e não um axioma, testando-o e não o utilizando por não ser adequado para a sua astronomia.

A teoria kepleriana das hipóteses leva em conta dois componentes básicos: a dinâmica e a cosmologia [Westman, R., 1975b e 1975c]. A parte cosmológica refere-se às hipóteses que contêm elementos sobre a estrutura do universo (como as hipóteses copernicanas); mas apenas organizar os corpos numa determinada estrutura, isto é, num determinado desenho arquitetônico<sup>15</sup> não é suficiente para a obtenção das causas – entendidas como causas motrizes – dos movimentos; o que implica que as hipóteses astronômicas devem, por outro lado, ser vistas como expressão das causas que levam os planetas a se movimentarem tal como são detectados pelas observações celestes. Uma hipótese astronômica deve, pelas exigências metafísicas keplerianas, conter uma relação causal, quando ela relaciona ao conseqüente (observações, previsões, isto é, elementos testáveis) condições físicas (cosmológicas e dinâmicas) que servem para explicar e descrever o conseqüente; neste sentido, as boas hipóteses devem conter algum conteúdo de verdade que permite detectar informações não observadas, diretamente, sobre o mundo observável (os fenômenos). Assim, uma hipótese não necessita tratar de coisas que estão além da compreensão humana, isto é, não são causas últimas (p.e., explicar o por quê Deus criou um mundo harmônico e guiado por forças centrais; ou, qual a natureza última de força) que entram em consideração, pois essas não competem ao astrônomo investigar, mas sim causas que procurem explicar (isto é, estabelecer as razões que faz tal fenômeno ser de determinado modo) e descrever o comportamento real e não fictícios dos movimentos planetários.

Sendo os conceitos de força e harmonia expressões das exigências metafísicas keplerianas - de que o mundo celeste é harmônico e pode ser compreendido fisicamente - eles podem ser vistos como as diretrizes para a elaboração das hipóteses astronômicas. Quais são, por exemplo, as hipóteses que devem ser levantadas pela astronomia? As que falam sobre a sua forma orbital real (circular, ovalada, elíptica etc.), as que tratam da matéria que constituem os planetas, as que se remetem a determinar a ação causal que leva

---

<sup>15</sup> Acerca disso, é interessante notar que o mundo kepleriano não pode ser visto apenas como uma renovação arquitetônica, ou, em outros termos, uma astronomia conduzida para a obtenção de estruturas vistas apenas sob o ponto de vista estético. Seria assim se, pensamos, ele se restringisse apenas à estrutura, mas as exigências dinâmicas extrapolam as necessidades arquitetônicas, pois, com a postulação de forças como causas dos movimentos estamos no nível de um modelo mecanicista, e não apenas estético.

os planetas a percorrerem relações matemáticas entre os componentes que podem ser detectados pelas observações, isto é, as relações que se obtêm pela análise das velocidades, dos tempos e das distâncias planetárias etc. Os artifícios utilizados pela astronomia anterior aos trabalhos de Kepler, tais como epiciclos, deferentes, equantes deveriam ser utilizados, por essa ótica, como hipóteses geométricas, mas não como astronômicas, o que representa que esses artifícios deveriam ser entendidos como instrumentos matemáticos, ou caminhos, para se chegar a demonstrar, ou dar plausibilidade, às hipóteses astronômicas que se referem diretamente aos constituintes físicos e reais dos movimentos dos corpos astronômicos.

O que entra em consideração com esse novo estatuto das hipóteses astronômicas é a metafísica empregue para a astronomia. Como procuramos mostrar nos capítulos anteriores, tanto a astronomia quanto a cosmologia utilizavam-se de uma metafísica comum – a crença nos movimentos circulares e uniformes como os movimentos perfeitos e primários do mundo celeste. Mesmo a posição eminentemente astronômica necessitava de elementos básicos (ou os princípios importados da filosofia natural) para a aplicação dos critérios de adequação empírica e simplicidade. A cosmologia, por sua vez, expressa pelo aristotelismo (e também por Copérnico e Galileu), via na circularidade e uniformidade um axioma indiscutível. Kepler rompe com a circularidade e a uniformidade das órbitas e isso foi fruto das exigências que ele colocou à astronomia e à cosmologia: as de expressarem a harmonia celeste e a sua física. Dessa maneira, podemos entender a metafísica kepleriana como a estipulação das condições necessárias para se poder falar do mundo real; condições essas que suprimidas não permitiriam a escolha das hipóteses, caindo nas malhas da equivalência observacional. Os conceitos de força e harmonia devem ser analisados em relação às condições que eles têm ou não para se poder obter um teste de hipóteses. Os conceitos de força e harmonia não são testados, mas sim os resultados que se pode chegar com eles que, no limite, são as novas posições observacionais (dados astronômicos mais seguros e confiáveis), a resolução de problemas empíricos e anomalias bem como a eliminação de problemas conceituais e que, por essa aplicação, mostrarão a viabilidade, ou não, da estrutura metafísica adotada por Kepler.

Essa nossa linha de interpretação da metafísica kepleriana vai, em certos aspectos, contra a posição defendida por Gerald Holton, segundo a qual existem três níveis de

aplicação (metafísica, física e matemática) nos procedimentos keplerianos que funcionam independentemente, sendo utilizados de acordo com as necessidades em questão, segundo ele [Holton, G., 1988, p. 54]:

“(…) Queremos mostrar que quando sua física se mostra falha, sua metafísica vem para lhe salvar; quando o modelo mecânico se torna problemático em termos de explicação, surge um modelo matemático; e um axioma teológico circunda esses padrões. Kepler procurou unificar a imagem clássica de mundo, a qual procurou unir as regiões celestes e terrestres através do conceito de força física.”

De fato, a interpretação de Holton mostra-se elegante, pois procura, por meio dos níveis de aplicação, compreender como Kepler se utilizou da metafísica, da física e das matemáticas como elementos para elaborar o seu modelo mecânico. Mas, por outro lado, podemos interpretar o modelo de Kepler não por essa ótica; existe, pensamos, uma dependência dos conceitos de força e de harmonia (que expressa a matematização do mundo físico) em relação à sua metafísica. Os conceitos de força e harmonia expressam, como dissemos, as exigências keplerianas, exigências essas metafísicas, de que os estudos astronômicos devem ser relatados à realidade e não à aparência. Neste sentido, se desvincularmos a metafísica como a condicionante desses conceitos, talvez, não consigamos compreender a relação entre força e harmonia.

A metafísica kepleriana é um sistema de relação conceitual. Pode ser vista como uma estrutura, que conjuga os conceitos de harmonia com o de força, implicando na admissão do conceito de causalidade. Força e harmonia, no universo metafísico kepleriano, interagem mutuamente, implicando numa nova concepção de causalidade, pois o mundo, sendo harmônico e contendo objetos (planetas e astros) relacionando-se entre si e com o todo, é visto como uma estrutura em que a ação causal expressa pelo corpo central, o Sol, leva os planetas a perfazerem movimentos que contêm regularidades (entre velocidades, tempos e distâncias, que podem ser expressas pelas leis de Kepler), que foram obtidas justamente porque se supôs que o espaço é harmônico e físico. Em outras palavras, é a estrutura metafísica proposta por Kepler que leva a entender e influenciar a organização e relação entre os conceitos de força, harmonia e causalidade. Com esses três conceitos (força, harmonia e causalidade), Kepler pretendeu dar conta dos problemas da astronomia

de sua época. Um balanço desses problemas mostra que: 1) Kepler conseguiu determinar tabelas (as Rudolfinas) com uma margem de erro menor que as tabelas precedentes (Alfonsinas e Prutênicas), obtendo uma descrição mais próxima dos movimentos observados nos céus; 2) problemas empíricos que se apresentavam nos modelos geocêntricos, ou anomalias, foram resolvidos (tais como os movimentos de retrogradação e os movimentos não uniformes); 3) certos problemas conceituais prévios (que podemos ver como os próprios artificios geométricos utilizados pela tradição astronômica) foram dissolvidos; 4) causalidade em Kepler pode ser vista como causa eficiente, eliminando-se as causas finais, materiais e formais da teoria aristotélica.

Esse modelo proposto por Kepler para a astronomia poder decidir entre as suas hipóteses é, claramente, realista. Nesse sentido, a pergunta, que se pode levantar, é como podemos ver essa proposta realista como importante e saudável para a astronomia? Ou, de que modo a proposta kepleriana representou um ganho progressivo para a astronomia? Para tentar responder a essas perguntas, procuraremos analisar as noções de racionalidade e progresso que podem estar presentes nessa nova forma de entender a astronomia, noções que serão os temas das duas seções restantes deste capítulo.

### **4.3. O plano histórico**

Os papéis desempenhados, tanto por Clavius quanto por Kepler, acerca das hipóteses astronômicas ligam-se diretamente ao plano de disputa acerca do estatuto das mesmas nos finais do século dezesseis e início do século dezessete. A situação histórica desse período determinava características específicas para a astronomia e para a cosmologia. As funções das hipóteses astronômicas estavam vinculadas a valores, sendo que esses determinavam os seus estatutos e os métodos a serem empregados. O realismo pretendido por Clavius e por Kepler era a expressão das motivações de cada um deles – para Clavius, os valores eram de ordem teológica, enquanto que para Kepler, de ordem epistemológica. Aliados a isso, estavam os valores da postura instrumentalista que considerava o nível da disputa apenas nos aspectos eminentemente astronômicos, utilizando-se principalmente de uma forte argumentação alicerçada na impossibilidade lógica de sabermos quais hipóteses correspondem à realidade do mundo celeste,

Neste sentido, podemos perceber o peso das críticas que Duhem [Duhem, P., 1984] expressa contra o realismo de Kepler e Galileu, pois, o realismo pretendido por esses tinha como principal valor a tentativa de levar a discussão, isto é, as disputas sobre as hipóteses, para o nível epistemológico (cosmológico) e não apenas considerá-las no plano lógico (astronômico).

A estratégia de Duhem, para mostrar a falsidade e o uso errôneo dos métodos por parte de Galileu e Kepler, baseia-se na concepção tradicional, segunda a qual não é possível, no plano lógico, determinar qual hipótese, ou conjunto de hipóteses, corresponde à realidade, isto é, a estratégia duheniana é a mesma utilizada pela tradição instrumentalista, pois ele critica fundamentalmente a tentativa de trazer para as discussões hipóteses que contenham, como diz Duhem, “juízos de valor”, ou “juízos sobre a natureza das coisas celestes” [Duhem, P., 1984, p. 104], e, por mais apurados que esses juízos sejam, jamais poderão ser vistos como verdadeiros ou falsos, pois sobre a forma como Galileu e Kepler concebem o conhecimento, podemos dizer que [Duhem, P., 1984, p. 100]:

“Essa maneira de conceber o método experimental estava destinada a entrar em moda, pois ela é muito simples; mas é completamente falsa, já que é simples demais. Se os fenômenos deixam de ser salvos pelo sistema de Ptolomeu deverá ser reconhecido como efetivamente falso. Daí não resulta, de forma alguma, que o sistema de Copérnico seja verdadeiro, pois o sistema de Copérnico não é pura e simplesmente a contradição do sistema de Ptolomeu. Se as hipóteses de Copérnico conseguem salvar todas as aparências conhecidas, daí se concluirá que essas hipóteses podem ser verdadeiras; não se concluirá que elas são certamente verdadeiras; para legitimar essa conclusão, seria preciso provar, antes, que não poderia ser imaginado nenhum outro conjunto de hipóteses que permitisse igualmente bem salvar as aparências; e esta última demonstração jamais foi fornecida. Na própria época de Galileu, todas as observações que podiam ser invocadas a favor do sistema de Copérnico não podiam também ser salvas igualmente pelo sistema de Tycho Brahe?”

Ou seja, Duhem cobra Galileu e Kepler por eles não terem notado que se pode salvar os fenômenos por vários sistemas, não existindo nenhum *experimentum crucis* possível para decidir qual deles é o verdadeiro. Essa crítica está alicerçada na equivalência observacional, uma forte arma instrumentalista que elimina, no plano lógico, as

possibilidades de sabermos qual hipótese proposta é a verdadeira. Portanto, o erro de Galileu e Kepler está no fato deles usarem premissas (explicações) que não são apenas símbolos matemáticos para salvar as aparências, mas que pretendem os seus conteúdos serem relatos sobre a verdade do mundo celeste. Nesse sentido, as hipóteses, quando vistas sob esse ângulo, devem [Duhem, P., 1984, p. 105]:

“(...) ao exigir que as hipóteses da astronomia estivessem de acordo com os ensinamentos da física, exigia-se que a teoria dos movimentos celestes repousasse sobre bases capazes de suportar igualmente a teoria dos movimentos que observamos aqui embaixo; exigia-se que o curso dos astros, o fluxo e o refluxo do mar, o movimento dos projéteis, a queda dos graves fossem salvos com a ajuda de um mesmo conjunto de postulados, formulados na linguagem das matemáticas.”

A citação expressa que, partindo-se de princípios físicos propostos (as premissas da demonstração), podemos obter os fenômenos físicos e, assim, serem expressos na linguagem matemática. Duhem interpretou esses meios de Galileu e Kepler de obterem conhecimento como algo que contém um duplo sentido [Mariconda, P. R., 1992, pp. 149 – 150]. O primeiro, considerado como um plano inferior, aponta o erro, pois é um sentido ilógico, que defende a possibilidade de obtermos conhecimentos verdadeiros sobre o mundo celeste, pois as premissas cosmológicas admitidas por Galileu e Kepler nunca poderão ser entendidas estritamente como verdadeiras ou falsas [Duhem, P., 1984, p. 105], o segundo, que é para Duhem o plano superior, está na possibilidade de, quando Galileu e Kepler consideraram os aspectos físicos do mundo celeste, tratarmos todos os fenômenos envolvidos, e não apenas os movimentos planetários [Duhem, p., 1984, p. 105]. Em outras palavras, Duhem viu os trabalhos de Galileu e Kepler como fecundos por apontarem o caminho para unirem a física terrestre com o mundo celeste, mas como negativos ao pretenderem que as hipóteses propostas sejam a manifestação da verdade e da realidade do mundo celeste. Se Galileu e Kepler, segundo Duhem, tivessem se restringido ao plano superior e percebessem que as hipóteses não passam de simples artifícios matemáticos destinados a salvar as aparências, então os seus trabalhos não cairiam em polêmicas com a tradição, pois respeitariam os métodos dessa mesma tradição [Duhem, P. 1984, p. 105]:

“Apesar de Kepler e Galileu, acreditamos hoje, como Osiander e Bellarmino, que as hipóteses da física não passam de artifícios matemáticos destinados a *salvar os fenômenos*; mas graças a Kepler e Galileu, nós exigimos que *salvem ao mesmo tempo todos os fenômenos* do Universo inanimado.”

Ou seja, Osiander e Bellarmino (instrumentalistas) estão corretos quanto ao método e Kepler e Galileu (realistas) estão errados. Duhem critica os dois por eles não perceberem que não é possível determinar valores para as hipóteses astronômicas, pois essas, pelo plano lógico, nunca poderão ser vistas como verdadeiras ou falsas, mas serão sempre simples símbolos matemáticos. Por essa leitura de Duhem, percebemos que ele considera o instrumentalismo como a postura metodológica correta por tratar apenas do nível lógico sem se comprometer com o plano epistemológico. Na realidade, o que Duhem critica é o “juízo de valor” para as hipóteses, pois esses juízos estão no plano metafísico, inacessível ao intelecto humano poder decidir quanto à verdade ou à falsidade desses valores.

Porém, o que entra em jogo aqui é algo mais complexo do que aponta Duhem. O que deve ser considerado são, antes de qualquer coisa, as condições históricas que influenciaram nos desenvolvimentos dos trabalhos de Galileu e Kepler, pois, tal como caracteriza Mariconda, [Mariconda, P. R., 1992, p. 151]:

“Para entender a postura científica do século XVII é preciso não esquecer as circunstâncias históricas particulares da época. Os proponentes da nova ciência tinham razão em afirmar que, por meio da nova combinação de procedimentos experimentais e raciocínios matemáticos, estavam realizando um progresso efetivo e importante no entendimento da natureza. Ora, se tivessem concordado que seus resultados eram, no fim das contas, ‘meramente prováveis’, poderia parecer que eles não possuíam para seus resultados uma prerrogativa superior ao da afirmação vaga e informal de ‘probabilidade’, à qual Aristóteles e seus seguidores haviam acostumado o mundo: a probabilidade de uma *opinião plausível*, ou ainda, conforme o caso, de uma *especulação persuasiva*, que muitos aristotélicos pensavam ser o máximo que se pode alcançar na investigação do reino *imperfeito e contingente* da ‘matéria’”.

São as circunstâncias históricas que determinam os valores e os caminhos que os cientistas irão trilhar. Independentemente de os resultados obtidos (se as teorias de Galileu e Kepler são verdadeiras ou falsas) forem tidos positivos, o que entra em discussão, nesse

período específico da história da ciência, são as necessidades desse período e, a partir dessas, entendermos os meios pelos quais esses autores procuraram defender um conhecimento certo (demonstrado a partir de princípios verdadeiros e que se remetem ao mundo real).

As necessidades apontam para a postura que se toma. O instrumentalismo defendido por Duhem não estava isento de valores, que podem ser designados como teológicos. Afirmar a impossibilidade dos métodos obterem um nível de disputa que permita decidir, determinar um valor de verdade, sobre as hipóteses propostas, é, pensamos, deslocar o nível da aceitação do plano epistemológico para o teológico. Visto ser impossível ao intelecto humano saber qual hipótese é a verdadeira, os critérios aceitos (simplicidade e adequação empírica) são suficientes para, como vimos, decidir qual hipótese matemática é a que deve ser utilizada. Porém, isso encobre – tendo em vista as polêmicas acerca da autonomia das ciências em relação à teologia, nos séculos XVI e XVII – que a decisão caberá, no limite, à revelação divina, isto é, às Sagradas Escrituras que, por nos terem dado por revelação os desígnios de Deus, serão o juiz sobre o que deve ser aceito como realidade.

Quando Kepler e Galileu deslocaram a questão do nível instrumentalista para o realista, eles estavam trazendo as discussões sobre o estabelecimento das hipóteses para o plano das ciências, isto é, é a epistemologia que deve, e não a teologia, arbitrar sobre os critérios a serem utilizados. Em outras palavras, a questão do uso de uma postura instrumental ou realista em astronomia nos inícios do século XVII transcende o plano metodológico, pois tal utilização envolve tomadas de decisões que são tentativas de resolver dificuldades próprias desse período.

Sendo assim, podemos ver que a admissão kepleriana de hipóteses, como contendo conteúdo de verdade para a astronomia, vincula-se ao quadro histórico<sup>16</sup> de sua época, quadro esse que levou à procura de padrões distintos dos que eram utilizados.

---

<sup>16</sup> Não queremos dizer que Kepler procurou elaborar hipóteses sobre o mundo físico astronômico apenas para dar autonomia para as ciências desvinculando-as de uma supremacia teológica. Os objetivos básicos de Kepler eram o de obter teorias explicativas que determinassem melhores posicionamentos planetários. Esse pano de fundo, apontado apenas, procura esclarecer como a astronomia e a cosmologia desse período viviam uma determinada situação presa às polêmicas teológicas e científicas. Com isso, pretendemos somente

#### 4.4. Realismo kepleriano: racionalidade e progresso<sup>17</sup>.

O estudo sobre as noções de hipótese e causalidade, juntamente com o pequeno esboço histórico sobre as necessidades que estavam subjacentes à utilização das mesmas, feito nas seções precedentes pode auxiliar-nos a compreender a natureza da concepção realista kepleriana para a astronomia. Vimos que uma hipótese, genericamente, é uma relação causal entre elementos reais (dinâmicos e cosmológicos) das quais devem ser extraídas conseqüências observáveis que servirão como testes para a sua verdade ou falsidade (ou na linguagem moderna, corroboração ou refutação). Sendo assim, o conteúdo das hipóteses se remete diretamente a, na maior parte das vezes, inobserváveis. A concepção anti-realista, na qual o instrumentalismo é uma de suas vertentes, não trataria da análise física desses inobserváveis, apenas os postularia para dar conta dos critérios de adequação empírica e simplicidade. Um realista, por sua vez, vê os inobserváveis como entidades que devem ser admitidos ou como sendo entidades reais ou como termos que se aproximam da verdade [Boyd, 1990, pp. 355 – 356]. Sendo assim, um inobservável admitido como real deve ser algo que exista independentemente da mente do teórico que os postula – força deve existir de fato, e não ser um construto do cientista para explicar e descrever certas ocorrências – e a teoria proposta deve mostrar a eficácia desses termos e como, sem eles, não se pode principalmente explicar como as boas teorias científicas obtêm sucesso, tal como vimos no argumento de Clávius para as hipóteses astronômicas.

Esquemáticamente, se compararmos a postura instrumentalista e a de Kepler para as hipóteses astronômicas, tratadas acima, teríamos<sup>18</sup>:

---

entender o papel do realismo kepleriano e como ele foi fundamental para a elaboração da teoria dos movimentos planetários.

<sup>17</sup> Devemos esclarecer o que não são objetivos deste estudo do realismo kepleriano. Em primeiro lugar, não visamos utilizar o modelo realista kepleriano para a astronomia como um estudo de caso histórico para avaliar metodologias científicas, isto é, não pretendemos analisar a proposta kepleriana como confirmadora ou refutadora de uma proposta indutivista, falciacionista, convencionalista, etc.. Em segundo lugar, também não pretendemos elaborar argumentos a favor de uma postura realista contra os anti-realistas; pretendemos, apenas, mostrar em que sentido o realismo funcionou na teoria kepleriana dos movimentos planetários, tentando, se possível, argumentar que a crença na possibilidade de obter a estrutura real do universo celeste – estrutura essa baseada nos conceitos de força e harmonia – foi importante para a obtenção das suas leis dos movimentos planetários e, também, que, sem essa crença, Kepler não poderia – segundo a sua forma de pensar o mundo – estabelecer uma astronomia alicerçada em hipóteses desvinculadas de conteúdo de verdade.

<sup>18</sup> Obviamente, esse quadro é uma simplificação e espelha apenas, em linhas gerais, o instrumentalismo da época de Kepler e não a postura anti-realista no seu todo. Um anti-realista pode ter um quadro conceitual que

1) Instrumentalismo:  $MI \rightarrow HG \rightarrow O$

Onde, MI é a metafísica aceita pelo instrumentalismo (no caso o axioma platônico); HG são hipóteses geométricas e O são as observações que servem como teste;

2) Kepler:  $M \rightarrow QCR \rightarrow HA \rightarrow (O, PE, PC)$ ,

Onde, M é a metafísica kepleriana (expressa pelo seu realismo que estipula um universo harmônico e físico) que influencia QCR o quadro conceitual realista (conceitos de força magnética, harmonia – dado pelos modelos dos sólidos perfeitos e pela analogia com a escala musical) que influencia, por sua vez, HA, que são as hipóteses astronômicas elaboradas pelo cientista, hipóteses essas cosmológicas e dinâmicas (além das hipóteses auxiliares, de trabalho – vicária, das superfícies, lei das distâncias etc -, que foram importantes durante o processo de obtenção das leis dos movimentos planetários); essas últimas deverão determinar O, que são boas observações e resolver PE, isto é, problemas empíricos, e com poucos problemas conceituais (PC). Uma boa teoria, que contém boas hipóteses, é aquela que consegue determinar O, PE e PC, isto é, consegue determinar boas informações sobre o mundo empírico (O) e resolver problemas empíricos (PE) com poucos problemas conceituais (PC).

Esse pequeno quadro nos permite visualizar rapidamente que as exigências realistas são maiores que as instrumentalistas. Enquanto o instrumentalismo não necessita de um quadro conceitual elaborado, o realismo de Kepler o levou a construir tal quadro. Essas exigências realistas de Kepler para a astronomia o levaram a formar o seu método. Existe em Kepler uma ligação estreita entre as suas exigências metafísicas (o seu realismo) com a formulação das regras para a obtenção do conhecimento. Sendo as entidades metafísicas assumidas – relação entre harmonia e física – a base para a obtenção do saber astronômico, o método utilizado foi influenciado pelas mesmas. Dessa maneira, Kepler não poderia ser apenas um indutivista, a generalização dos dados de Brahe não levaria, pensamos, à forma

---

é importante para a elaboração das suas hipóteses, a diferença é que o anti-realista não tem um compromisso forte com a realidade, podendo ser esse quadro apenas estratégias para obter uma melhor adequação empírica.

elíptica das órbitas planetárias, nem às relações contidas na segunda e terceira leis, pois, visto que o seu compromisso com a realidade o impedia de não considerar os aspectos físicos, a generalização dos dados observacionais não seria suficiente para a obtenção das leis<sup>19</sup>.

O método kepleriano é o hipotético dedutivo<sup>20</sup>, e os meios para se testar as hipóteses são os dados de Brahe e as suas exigências (de Kepler) realistas. Quando vimos o processo de obtenção das duas primeiras leis dos movimentos planetários, contidas na *Astronomia nova* (capítulo um deste trabalho) notamos que Kepler, para obter a verdadeira forma da órbita de Marte, testou a forma circular, obtendo que ela não satisfaz os dados de Brahe (a representação circular e uniforme não foi corroborada pelas posições detectadas por Brahe); mas o que está além disso é que a forma circular foi testada através das exigências físicas, isto é, a partir da consideração das distâncias computadas a partir da admissão do corpo físico do Sol, e nem pelo equante, nem pelo excêntrico e nem pelas técnicas do epiciclo com deferente. Sendo assim, Kepler colocou uma dupla exigência para os testes das hipóteses: 1) ser condizente com os dados observacionais; 2) respeitar a crença de que o universo pode ser conhecido por meio da sua realidade, que no caso é a astronomia física expressa pelo posicionamento do corpo físico do Sol. Após ter testado a hipótese circular, e notado que por ela não se deduzem boas observações, Kepler testou a hipótese da forma oval, obtendo uma melhor aproximação com os dados, mas não uma correta representação física; o seu último passo foi o de testar a forma elíptica, obtendo uma boa representação cinemática e, ao mesmo tempo, uma boa expressão para as exigências físicas<sup>21</sup>.

---

<sup>19</sup> Relembremos que, como vimos no capítulo três deste trabalho, pelos recursos do manuseio das técnicas do epiciclo com deferente, poder-se-ia construir qualquer forma geométrica, até a elíptica. Se Kepler generalizasse os dados de Brahe sem ter compromisso com o axioma platônico, ele poderia, pelas técnicas apontadas, chegar a uma representação elíptica. Mas isso, acreditamos, não era suficiente para ele, dado que ele necessitava explicar e descrever os movimentos planetários pelos seus padrões realistas: harmonia e física, sendo importante considerar na teoria essas questões. Em outros termos, pesamos que, se Kepler fosse um instrumentalista convicto, sem compromissos com a descrição da realidade, ele poderia ter generalizado os dados de Brahe e, assim, obter a forma elíptica, mas, pelas suas exigências, ele teve que tomar um outro caminho, o de testar hipóteses.

<sup>20</sup> Acerca do método kepleriano para a astronomia, consultar, Mittelstrass, [Mittelstrass, J., 1975]; Neugebauer, [Neugebauer, O., 1975]; Russel, [Russel, J. L., 1975] e Gardner, [Gardner, M. R., 1983].

<sup>21</sup> Acerca do método hipotético dedutivo, é interessante observar a regra de Newton de que ele (Newton) “não faz hipóteses”. O que se deve deixar claro é o tipo de hipóteses que não se deve fazer. Como vimos, Kepler assume que, para as ciências, é necessário elaborar, se queremos falar do mundo real, conjecturas sobre o mesmo, pois o nosso intelecto, apesar de poder contemplar a estrutura harmônica e física real do mundo, deve relacionar os dados da experiência com a razão, pois o nosso intelecto não é divino. Sendo assim, existem

Essa questão do uso do método nos leva a uma outra mais complexa, a de que esse método, por ser uma face das exigências realistas de Kepler, também se enquadra na questão da escolha entre o sistema copernicano e os modelos ptolomaicos, pois nessa escolha estão contidas as questões da racionalidade científica e do progresso científico.

Alguns autores pensam que a questão da escolha de um determinado programa de pesquisa, ou de um paradigma, não pertence à racionalidade científica, isto é, os cientistas não têm uma base racional (entendida aqui como consistência lógica ou como uma teoria mais progressista que outra, ou, em termos mais simples, uma teoria que dê boas razões para ser aceita) para determinar a escolha de teorias. A crítica cai fundamentalmente na não aceitação de um critério universal para se escolher teorias [Chalmers, A, F., 1993, p. 138]. Sendo assim, a escolha de teorias deve ser reservada a padrões que estão fora da história interna das ciências, considerando-se, apenas, padrões de ordem psicologia e social, tal como nos coloca Kuhn, [Kuhn, T., 1970, pp. 27 – 29]:

“Os critérios com que os cientistas determinam a validade de uma articulação ou de uma aplicação da teoria existente não bastam por si mesmos para determinar a escolha entre teorias concorrentes.

“(…) Já devia estar claro que a explicação, na análise final, precisa ser psicológica ou sociológica. Isto é, precisa ser a descrição de um sistema de valores, de uma ideologia, juntamente com uma análise das instituições através das quais o sistema é transmitido e imposto.”

Se a concepção de Kuhn é correta, Kepler não tinha condições de racionalmente escolher entre Ptolomeu e Copérnico (e também entre esses e Brahe), o que ele teria seria apenas dois (ou três) paradigmas incomensuráveis e que a escolha entre eles se daria por um deles não resolver mais enigmas [Kuhn, T., 1970, p. 19], e, por uma espécie de conversão social (isto é da comunidade) e psicológica (crença num novo paradigma) ele adotaria um novo. Se for assim, Kepler escolheu o copernicanismo<sup>22</sup> porque esse tinha mais enigmas para resolver do que os modelos ptolomaicos, e essa conversão foi fruto do social e do psicológico, sendo que, no limite, Kepler não teve motivos racionais para assim

---

limites para o que se pode tentar conhecer; podemos conhecer a estrutura harmônica e física do mundo, mas não podemos conhecer as razões dessa estrutura.

<sup>22</sup> Retiraremos a consideração do modelo de Brahe da discussão apenas a título de simplificação.

escolher. A questão nos parece complexa. Em primeiro lugar, deve-se entender o que são “enigmas”, visto que, se eles forem problemas empíricos, tanto o copernicanismo quanto os modelos ptolomaicos tinham quase a mesma gama de problemas para tratar; além disso, a conversão de Kepler (se é que Kepler alguma vez foi um ptolomaico) ao copernicanismo pode ser entendida como uma tomada de posição por meio de bases guiadas por critérios determinados pelo seu realismo: harmonia e física, sendo que tais critérios têm uma base racional para a sua estipulação, tal como procuraremos mostrar mais abaixo.

A questão da irracionalidade ou racionalidade para a escolha de teorias ou programas de pesquisa apontada por Kuhn é algo importante e ajuda a esclarecer o papel do realismo de Kepler na elaboração da sua teoria dos movimentos planetários. Lakatos e Zahar, na tentativa de mostrar que as escolhas não são presas ao irracionalismo, mas são as expressões de boas razões, consideram que Kepler escolhe Copérnico e não Ptolomeu [Lakatos, I. & Zahar, E., 1975, pp. 380 – 381]:

“(…) Por causa do sucesso inicial do tosco modelo [copernicano] e da degeneração do programa completo [ptolomaico], Kepler descartou a antiga heurística [axioma platônico] e introduziu uma nova revolucionária, baseada na idéia de dinâmica heliocêntrica.”

Não há dúvidas de que essa proposta de Lakatos e Zahar é instigadora. Segundo ela, tanto Copérnico quanto Ptolomeu trabalharam com a mesma heurística: o axioma platônico; mas, como o copernicanismo, ainda um programa inicial – e, portanto, potencialmente com muitas possibilidades de desenvolvimento – mostrava sucessos e que, por outro lado, os modelos ptolomaicos, já completos e gastos, mostravam-se como degenerativos, a escolha racional de Kepler foi a de utilizar o programa novo que apresentava mais possibilidades de resolver problemas e substituir o axioma platônico por uma nova heurística: a de uma ciência que trata da dinâmica.

O problema dessa interpretação, ao nosso ver, é que ela não contempla um ponto histórico, a saber, o de que Kepler se mostra um copernicano bem antes de romper com o axioma platônico e de desenvolver o seu modelo dinâmico. Já no *Mysterium*, em 1596 – portanto, oito anos antes de romper com o axioma da órbita circular e uniforme – Kepler defende o copernicanismo e o considera superior aos modelos de Ptolomeu e de toda a

tradição astronômica do início do dezessete; além do mais, ele já estabelece, mas sem desenvolver, as necessidades de construir a astronomia em bases físicas.

Essa questão sobre o que leva um cientista - e no nosso caso, Kepler - a admitir um determinado programa ou tradição de pesquisa (ou, na linguagem kuhniana, um paradigma) liga-se, pensamos, a critérios racionais, e não por uma conversão psicológica ou social. A posição advogada por Lakatos e Zahar mostra uma faceta da aceitação por parte de Kepler do copernicanismo: a possibilidade desse sistema, ainda novo e em potência, poder resolver mais problemas que os modelos degenerativos ptolomaicos; mas não visualiza pontos mais básicos. Esses pontos devem ser analisados segundo as crenças keplerianas, as quais estamos caracterizando como a parte metafísica de Kepler<sup>23</sup>.

Mas, sendo assim, isto é, se o realismo kepleriano influenciou na sua escolha pelo copernicanismo, então como podemos dizer que essa escolha é racional? Uma possível resposta está em mostrar que o copernicanismo se mostrou para Kepler como um sistema que consegue expressar o realismo pretendido por Kepler e, como prova de sua racionalidade, ele é progressivo.

Para uma correta compreensão do que queremos dizer com isso, vamos relembra os objetivos básicos de Kepler para a astronomia, os quais relatamos no primeiro capítulo deste trabalho. Na *Astronomia nova*, introdução, [Kepler, J. G. W., III, p. 20], ele nos diz que o seu objetivo é simplesmente o de “reformular a teoria astronômica (...) em todas as suas três formas de hipóteses [ptolomaica, copernicana e brahiana] para que se possa construir tabelas que correspondam aos fenômenos celestes (...) Inquirio sobre as causas físicas e naturais dos planetas (dos seus movimentos). O resultado eventual dessas considerações é a formulação de argumentos claros que mostram a veracidade da opinião de Copérnico (sofrendo apenas pequenas alterações<sup>24</sup>) é a verdadeira, e que as outras duas

<sup>23</sup> Abrantes [Abrantes, P., 1998, p. 17], escreve que “A importância relativa que se dá a um determinado valor cognitivo pode ser um elemento distintivo de uma imagem de ciência”, o que nos leva a admitir que determinados valores aceitos por um cientista – que no caso do contexto positivista pode ser determinado pelo da “descoberta” – são fundamentais para os desenvolvimentos que um determinado cientista (ou pela comunidade de cientistas) fará. Sendo assim, consideramos que os valores cognitivos – que caracterizamos, no caso de Kepler, como pertencentes à sua metafísica -, são básicos para a sua visão de mundo, ou na linguagem de Abrantes, “imagem de natureza”. São esses valores que condicionaram os desenvolvimentos internos de Kepler, isto é, a idéia de que o mundo celeste pode ser conhecido pela ótica do realismo (mediante os conceitos de força e harmonia) sempre se mostrou presente e determinou os métodos e procedimentos internos operados em sua astronomia.

<sup>24</sup> Essas “pequenas alterações” são as leis dos movimentos planetários, o tratamento físico dado à astronomia, a resolução da distinção entre astronomia e cosmologia e, finalmente, a quebra com o axioma platônico.

são falsas”. Aliado a isso, consideremos o que ele nos diz no *Mysterium cosmographicum*, acerca do poder do copernicanismo para resolver problemas astronômicos [Kepler, J., G. W., I., p. 15], que é dado pela “magnífica concordância de tudo que é observado nos céus com a teoria de Copérnico; visto que ela não apenas derivou os movimentos passados (...) mas também previu movimentos futuros (...) Entretanto, o que é mais importante é que, aquilo que os outros nos ensinaram como sendo milagre, apenas Copérnico deu-nos a explicação”. Essas duas passagens, juntamente com os procedimentos keplerianos em astronomia e cosmologia, podem nos auxiliar a compreender o caráter de progresso e racionalidade para a sua escolha do sistema copernicano como a expressão da realidade do que ocorre no mundo celeste. Pelas passagens acima, nós temos duas partes básicas, que perfazem em conjunto os objetivos de uma teoria científica (tal como Kepler a entende), que são: a) parte empírica; b) parte teórica.

Na primeira parte entra em consideração a resolução de problemas práticos: confecção de tabelas, a retrodição e a previsão de movimentos, isto é, dados confiáveis. A parte teórica trata da elaboração de teorias sobre os movimentos que sejam tanto explicativas quanto verdadeiras; com isso, nós temos alguns critérios que devem estar presentes para a elaboração de uma teoria astronômica: o primeiro é o critério de realidade, o segundo é o critério de verdade. Esses dois critérios, se obtidos, permitem explicar os fenômenos e não derivar “milagres” como os modelos de Ptolomeu e Brahe se viram obrigados a lançar mão.

A questão sobre a escolha do copernicanismo recai, na sua maior extensão, nas considerações teóricas, pois as melhoras obtidas nos posicionamentos e dados planetários são frutos do poder, da capacidade, embutida nas hipóteses de centralidade do Sol e de movimentos da Terra; isto é, temos melhores posicionamentos – e podemos obter melhores ainda – porque o copernicanismo em potência permite, pelo desenvolvimento da parte teórica, chegar a tais desenvolvimentos.

O conceito de força kepleriano é tratado como um componente teórico, um inobservável, que, juntamente com o conceito de harmonia celeste, visa explicar como se pode alicerçar o copernicanismo em bases teóricas para construir a astronomia com fundamentos sólidos e seguros. A questão que se apresenta é a de como esses conceitos

teóricos devem satisfazer os critérios de realidade e de verdade para, justamente, não serem vistos como conceitos postos que só podem ser justificados pelo recurso do milagre.

Para a resolução dessa questão, devemos remeter-nos ao estatuto das hipóteses astronômicas desenvolvido por Kepler, do qual tratamos anteriormente, que estabelece que uma hipótese astronômica deve conter algum conteúdo causal, ou seja, remeter aos aspectos cosmológicos ou dinâmicos envolvidos nos movimentos planetários. As hipóteses devem conter conteúdo de verdade (devem ser verdadeiras ou falsas). Neste sentido, a garantia de que o sistema heliocêntrico é real e verdadeiro, sendo que os outros sistemas são falsos, é dada pelo caráter dele ser uma estrutura cósmica que permite um alto grau de conteúdo explicativo.

Obviamente, a crença kepleriana de poder defender o copernicanismo como o sistema que expressa a realidade e a verdade do mundo celeste, deve ser analisada historicamente e não, consideramos, tendo em vista a defesa do realismo como uma visão de mundo que corresponde às necessidades epistêmicas dos cientistas. O realismo kepleriano é insípido<sup>25</sup>. A sua crença na possibilidade de compreendermos e descrevermos a verdade e a realidade é um reflexo das suas motivações primárias – pelas quais podemos entender a importância da religião, por exemplo, como uma base para os desenvolvimentos científicos, pois, a sua crença de que Deus criou um universo harmônico, semelhante (em analogia) à Santíssima Trindade, é algo que sempre esteve presente em seu pensamento e pode ser visto como um valor cognitivo, sem, contudo, ser algo que se possa provar ou não a sua veracidade -, e não um elemento que deve ser visto como um argumento contra a sua forma de pensar a ciência<sup>26</sup>.

---

<sup>25</sup> Dizemos que é insípido porque dificilmente se pode acreditar, hoje em dia, que as teorias propostas pelos cientistas ou pela comunidade científica espelham concludentemente a realidade e a verdade dos fenômenos. Mas, talvez, não teria sido na época de Kepler, na qual a procura da certeza foi algo pretendido por diversos pensadores, entre os quais Descartes.

<sup>26</sup> Laudan, [Laudan, L., 1977, p. 128] nos escreve que “O fato que pode levar os cientistas do século XX a não reconhecer uma teoria que tem bases religiosas ou filosóficas não significa, manifestamente, que o entendimento da racionalidade de antigas ciências pode ser adquirido ignorando tais fatores. Se uma cultura de um tempo específico tinha um poderoso grupo de doutrinas religiosas e filosóficas estabelecidas, as quais essa cultura acreditava ser crucial para o entendimento da natureza, então, é perfeitamente racional avaliar teorias ou tradições de pesquisa à luz da habilidade de se acomodar com os sistemas anteriores de crenças e pressuposições.”. Isto representa que certas crenças, religiosas ou filosóficas – que fazem parte das motivações dos cientistas – não devem ser vistas como secundárias no processo de obtenção do conhecimento, mas como elementos necessários para a compreensão do mesmo. No caso de Kepler, acreditar que o universo é harmônico e que isso expressa a realidade do mesmo, faz parte das suas motivações.

Sendo assim, podemos ver o realismo kepleriano como um “realismo histórico”; importante para a elaboração da sua teoria dos movimentos planetários. Essa forma de realismo, que relembremos, estipula que o universo é harmônico e físico, foi o condicionante básico (ou a sua motivação básica) para defender o copernicanismo como o sistema que expressa a verdade do mundo celeste.

Se nos abstermos de interpretar o realismo kepleriano como algo que deve ser visto à luz do debate realismo e anti-realismo de hoje em dia e, ao invés disso, considerarmos o realismo histórico de Kepler como um elemento motivador para a construção da sua teoria astronômica, poderemos, assim esperamos, compreender o papel desempenhado pela racionalidade e progressividade das hipóteses copernicanas, tais como elas foram vistas por Kepler. Para tanto, podemos ver esses elementos: hipóteses copernicanas, realismo histórico de Kepler e metodologia voltada à elaboração de hipóteses astronômicas como pertencentes a uma tradição de pesquisa<sup>27</sup>.

Laudan entende a empreitada científica, em linhas gerais, da seguinte maneira [Laudan, L., 1977, pp. 124 - 125]:

“Eu procuro argumentar que o objetivo mais geral da ciência é resolver problemas. Eu tenho proposto que a maximização dos problemas empíricos que nós podemos explicar e a minimização das anomalias e problemas conceituais que geramos no processo são a razão de ser da ciência como uma atividade cognitiva. (...) Esse modelo que eu tenho esboçado sugere, por exemplo, que o debate científico é racional quando ele envolve uma discussão dos problemas empíricos e conceituais aos quais as teorias e as tradições de pesquisa geram. (...) Esse modelo sugere que a avaliação racional de uma teoria ou tradição de pesquisa necessariamente envolve uma análise dos problemas empíricos que elas resolvem e os problemas conceituais e anomalias que eles geraram. O modelo, finalmente, insiste que qualquer avaliação sobre a racionalidade em aceitar uma teoria particular ou tradição de pesquisa é relativa: ela é relativa aos seus competidores contemporâneos, às doutrinas que prevalecem na avaliação da teoria, e é relativa às teorias prévias à tradição de pesquisa.”

---

<sup>27</sup> Usamos “tradição de pesquisa” no sentido cunhado por Laudan, [Laudan, L., 1977]. Pode parecer estranho utilizarmos um autor instrumentalista para defender uma espécie de realismo, o de Kepler. Mas isso pode ser explicado pelo fato de que, como já dissemos, a nossa intenção não é a de defender o realismo kepleriano,

Em linhas gerais, o modelo de Laudan para as ciências baseia-se na noção de resolução de problemas, de modo a: 1) resolver o maior número de problemas empíricos; 2) minimizar as anomalias e problemas conceituais. Com essa relação podemos tratar o debate científico como racional e, desse modo, entender sobre esse prisma, a questão da escolha de teorias. Como componente básico para avaliar as teorias está a noção de “tradição de pesquisa”, noção que, pensamos, permite compreender os trabalhos keplerianos em astronomia, pois, como veremos, a idéia de tradição de pesquisa contempla o caráter histórico, tão importante para entendermos as necessidades epistemológicas e metodológicas de Kepler, voltadas, principalmente, para tratar a astronomia sob o ponto de vista real e físico. Sobre as tradições de pesquisa, Laudan considera que [Laudan, L., 1977, p. 81]:

“(...) uma tradição de pesquisa é um grupo de suposições gerais sobre as entidades e processos num domínio de estudos; e sobre os métodos apropriados a serem usados para investigar os problemas e construir as teorias nesse domínio.”

Uma tradição de pesquisa determina as condições necessárias (as quais podemos chamar de valores cognitivos) tanto para a elaboração dos métodos quanto para a construção das teorias (em outras palavras, a ontologia e a metodologia). Nesse sentido, numa tradição de pesquisa estão embutidos os elementos que não são testados diretamente (o que testamos são as teorias que pertencem à tradição de pesquisa) [Laudan, L., 1977, p. 82]. Acerca disso, [Laudan, L., 1977, p. 84]:

“(...) Uma tradição de pesquisa especifica uma ontologia geral para a natureza e um método geral para resolver os problemas naturais em um dado domínio natural. Uma teoria, por outro lado, articula uma ontologia muito específica e um número de específicas e testáveis leis sobre a natureza.”

Sendo a tradição de pesquisa a responsável pelo arcabouço ontológico e metodológico aceito pelo cientista, ou comunidade de cientistas, para a elaboração e testes

---

mas o de entender como ele foi importante para a utilização dos conceitos de força e harmonia celeste e, também, para a defesa do copernicanismo como um sistema racional e progressivo.

de teorias, é ela que irá determinar o valor dos problemas que as teorias irão tratar [Laudan, L., 1977, pp. 86 – 87].

Outra característica marcante do modelo de Laudan é a possibilidade de um cientista trabalhar com duas ou mais tradições de pesquisa ao mesmo tempo, não necessitando restringir-se a uma só [Laudan, L., 1977, p. 103]. O que irá determinar a escolha de uma tradição de pesquisa por um cientista ou por uma comunidade científica é [Laudan, L., 1977, p. 109]:

“(…) a escolha de uma tradição em relação às suas rivais é uma escolha progressiva (e assim, racional), precisamente pela maior extensão dos problemas que a tradição escolhida consegue resolver do que as suas rivais.”

Visto por essa ótica, o que leva um cientista a tornar-se um adepto de uma determinada tradição de pesquisa – e a admitir ou trabalhar tendo como princípios a ontologia e a metodologia dessa tradição – liga-se diretamente à noção de progresso. As tradições que se mostrarem mais progressivas são as que se alicerçarão. A noção de “progresso”, para Laudan, substitui a noção realista de “verdade aproximada” [Laudan, L., 1977, p. 125] e, com isso, mostra o caminho para entendermos como podemos dizer que as escolhas são racionais, eliminando, desse modo, interpretações que levariam a aceitar as escolhas como irracionais. Segundo Laudan, [Laudan, L., 1977, p. 125]:

“(…) Fazer uma escolha racional, segundo a nossa visão, é fazer escolhas que sejam progressivas (isto é, escolhas que aumentem a efetividade de resolução de problemas das teorias que nós aceitamos). (...) Se aceitarmos os propósitos desenvolvidos neste ensaio e tomarmos a visão de que a ciência é como um sistema de inquisição para a resolução de problemas, se nós tomarmos a visão de que o progresso científico consiste na solução de um número significativo de problemas importantes, se nós aceitarmos o propósito de que a racionalidade consiste em fazer escolhas que devem maximizar o progresso da ciência, então poderemos ser aptos para mostrar que a ciência em geral, e as ciências específicas em particular, constituem um sistema racional e progressivo.”

Esses critérios nos mostram que as ciências, o saber científico, podem ser vistas como a procura da resolução de problemas – que pela fórmula de Laudan é a de maximizar

a resolução de problemas empíricos e minimizar as anomalias e problemas conceituais – e isso representa a progressividade científica. A racionalidade, por sua vez, é a tomada de decisão de que a ciência deve ser entendida sobre esse *prima* – isto é, de que os objetivos principais da ciência referem-se à progressividade. Parece-nos, portanto, que a noção de “racionalidade científica” para Laudan está alicerçada nas necessidades históricas, nas necessidades peculiares de cada período dos desenvolvimentos das teorias, nas quais estão envolvidos os problemas que essas teorias tinham que dar conta. Assim, uma teoria (ou uma tradição de pesquisa) torna-se prevalecte numa determinada época, e, desse modo, a escolha da mesma foi racional pelo seu grau de progressividade, isto é, de resolução de problemas [Laudan, L., p. 130]:

“(…) Se um historiador deve explicar por que certas teorias triunfaram e outras pereceram, então ele deve (a menos que ele aceite que a escolha de teorias é sempre irracional) ser capaz de mostrar que algumas teorias – pelo melhor padrão de avaliação racional do tempo – são superiores à outras.”

Nessa avaliação histórica entram em consideração as motivações dos cientistas – que podem ser expressas pela tradição de pesquisa na qual ele trabalha - que, quando vistas por um padrão não histórico<sup>28</sup> de racionalidade, podem ser interpretadas como elementos irracionais. Porém, quando analisamos essas motivações, que supostamente seriam irracionais, pelos padrões do modelo de Laudan, podemos notar a importância e a racionalidade de tais motivações dos cientistas. Nesse sentido, é extremamente significativa a aceitabilidade das crenças, ou fatores vistos como não-científicos, dos cientistas ou de uma comunidade, pois essas podem alargar o grau de compreensibilidade de um processo e de uma escolha científica [Laudan, L., 1977, p. 132]:

“(…) Estou simplesmente sugerindo que nós necessitamos de uma noção larga de racionalidade que deverá mostrar-nos como a ‘intrusão’ de fatores aparentemente ‘não-científicos’ nas decisões científicas fazem, ou podem ser, um processo inteiramente racional. Distintamente da visão de que a introdução de fatores filosóficos, religiosos e morais nas ciências é um triunfo do prejuízo, superstição e irracionalidade, este modelo defende que a presença de tais elementos pode ser

inteiramente racional; além disso, que a supressão de tais elementos pode em si ser prejudicial e irracional.”

Ou seja, a noção de racionalidade para Laudan não é uma concepção rígida e estreita, mas larga e maleável, que visa não a satisfação da procura de um critério de racionalidade universal e geral, mas sim está voltado, por sua vez, para a resolução de problemas práticos. Sendo assim, considerando-se que a racionalidade científica não precisa e não deve ser caracterizada segundo os cânones da tradição filosófica, mas deve ser vista sob o ângulo das necessidades históricas, podemos perceber o peso histórico das mudanças operadas por Kepler em astronomia e na cosmologia.

Se admitirmos o modelo de Laudan, que esboçamos acima, bem como os desenvolvimentos epistemológicos e metodológicos keplerianos, veremos uma possível linha para procurarmos entender o realismo kepleriano. Em primeiro lugar, podemos perceber como Kepler tratou a questão das tradições de pesquisa de sua época. Pelo quadro que apresentamos no início deste texto, notamos que Kepler tinha duas tradições de pesquisa para poder trabalhar – a ptolomaica e a copernicana. Kepler não aceitou simplesmente o copernicanismo no seu todo; o que ele aceitou foram as hipóteses gerais (hipóteses cosmológicas de centralidade do Sol e de movimentos da Terra, isto é, ele aceitou a cosmologia provinda do sistema heliocêntrico), mas, para dar conta dos problemas técnicos astronômicos, ele se utilizou do expediente ptolomaico do equante<sup>29</sup> em um determinado momento de seu trabalho. Quando, além disso, procurou as razões físicas e a estrutura harmônica para a explicação e descrição dos movimentos planetários, utilizou-se de modelos, tais como os dos sólidos perfeitos e da escala musical (que, podemos dizer, expressam a tradição pitagórico-platônica) e do magnetismo de Gilbert para os modelos de explicações físicas, o que nos mostra que ele tinha várias tradições de pesquisa para poder determinar os seus trabalhos.

Se nós considerarmos as tradições ptolomaica e copernicana, veremos que elas tinham duas formas distintas para tratar dos movimentos planetários. A tradição ptolomaica tinha uma ontologia e uma metodologia específicas. Como vimos no capítulo anterior, Ptolomeu aceitou a ordem cosmológica aristotélica como a base física necessária para

---

<sup>28</sup> Chamo de padrão “não histórico” de racionalidade a concepção de que a racionalidade é uma só, independentemente do caráter histórico.

elaborar a sua astronomia técnica de predição: a estrutura física de que é a Terra o centro do universo e o Sol, juntamente com os planetas, giram ao seu redor; Ptolomeu também aceitou o axioma de movimentos circulares e uniformes e modificou-o, pelo uso do equante, mas sem deixar de construir as órbitas tendo em vista esse padrão. A astronomia ptolomaica trabalhou com essa “visão de mundo”, uma ontologia subjacente aos seus trabalhos eminentemente astronômico. Copérnico, por seu lado, funda uma nova “visão de mundo”, na qual a ordem cósmica era distinta da aristotélica, na qual, pelo menos em potência, existem as possibilidades de termos uma ontologia distinta da pregada pela cosmologia aristotélica. Se o aristotelismo elaborou uma estrutura hierarquizada, na qual existe uma graduação dos seres (terrestres inferiores, celestes superiores), as hipóteses heliocêntricas trazem em seu bojo as condições necessárias para podermos considerar o espaço não mais como qualitativo e heterogêneo, mas, ao contrário, como quantitativo e homogêneo. Visto desse ângulo, podemos perceber como a metodologia instrumentalista tem um terreno mais propício quando aplicada à cosmologia aristotélica, pois a própria divisão entre mundos forneceu as bases para desenvolvimentos metodológicos distintos: para o mundo terrestre, temos condições de procurar as causas físicas; para o mundo celeste, não temos condições de determiná-las. Em contrapartida, o copernicanismo, quando visto nos seus aspectos cosmológicos, possibilita uma interpretação não apenas instrumental, mas também realista para o mundo celeste, tal como foi desenvolvida por Galileu e Kepler.

Kepler, por sua vez, como procuramos apresentar nos capítulos precedentes, escolheu a cosmologia copernicana e, com essa escolha, a ontologia e a metodologia que a ela se pode aplicar. Como procuramos apresentar acima, se Kepler tivesse se restringido à uma interpretação tradicional do copernicanismo – isto é, apenas nos seus aspectos astronômicos e não cosmológicos – ele não teria necessidade de adotar uma postura realista para a astronomia, contentando-se apenas em obter tabelas mais precisas. Mas, visto que seu compromisso era realista (que, relembremos, um compromisso voltado para a obtenção tanto da estrutura física quanto da estrutura harmônica do cosmo), a sua escolha caiu no sistema que lhe permitiu dar condições para construir o seu realismo.

---

<sup>29</sup> Tratamos do uso do equante ptolomaico por parte de Kepler no capítulo um deste trabalho.

Por esta linha de análise podemos notar que Kepler aceitou a tradição de pesquisa copernicana, mas nos seus aspectos cosmológicos e não, astronômicos. A parte astronômica (que é a parte prática, ou técnica) foi um desenvolvimento das potencialidades que a cosmologia copernicana propiciou, juntamente com os critérios realistas keplerianos. Os desenvolvimentos técnicos, os quais se somam nos resultados finais expressos nas três leis descritivas dos movimentos planetários, surgiram por Kepler crer que o universo é físico e harmônico – e isso espelha a sua realidade – sendo que o intelecto humano pode compreendê-lo.

Podemos dizer que a aceitação do sistema heliocêntrico por parte de Kepler foi uma escolha racional, principalmente pelas potencialidades que esse sistema continha. Vimos que Laudan equacionou a escolha de teorias ou de tradições de pesquisa pelo poder que uma teoria T (e junto com ela a tradição que lhe serve de suporte) tem sobre uma rival T1; a escolha de T espelha a possibilidade dela maximizar a resolução de problemas empíricos e minimizar as anomalias e os problemas conceituais em relação à T1. Kepler escolheu o copernicanismo, pois a sua ontologia (é apta a poder falar do mundo real, pois por ela podemos considerar o Sol real e os planetas como corpos físicos) e a metodologia que lhe pode ser aplicada (referente à elaboração do método hipotético dedutivo, no qual as hipóteses devem conter valores de verdade) permitiram tanto a resolução de problemas empíricos num grau bem mais satisfatório que as teorias antecessoras (pois, relembremos, as tabelas Rudolfinas determinaram um grau de erro bem mais satisfatório – na ordem de 2' – em relação às tabelas Alfonsinas e Prutênicas – que se mantinham na casa dos 10'). Por outro lado, em relação às anomalias e aos problemas conceituais, a escolha espelha pontos interessantes.

Laudan considera dois níveis para a escolha de teorias: o contexto da aceitação (*acceptance*) e o da perseguição (*pursuit*), [Laudan, L, 1977, pp. 108 – 114]. No primeiro nível envolve-se, basicamente, a potencialidade de uma teoria poder resolver problemas empíricos e, como vimos, o copernicanismo foi a base para Kepler desenvolver a sua teoria dos movimentos planetários com um grau satisfatório de resolução dos posicionamentos planetários. Quanto ao segundo nível, temos o poder, ou a fecundidade, que uma tradição de pesquisa tem em relação à outras. Não é suficiente uma teoria resolver problemas empíricos – se assim o fosse, o copernicanismo e os modelos ptolomaicos seriam

equivalentes - mas devem conter as possibilidades de desenvolvimento na resolução de problemas, “Ao argumentar que a racionalidade do *pursuit* baseia-se no progresso relativo em vez do sucesso global, estou deixando explícito o que tem sido descrito implicitamente no uso científico como ‘promessa’ ou ‘fecundidade’” [Laudan, L, 1977, p. 112]. Por esse aspecto da fecundidade, vemos que a escolha kepleriana deu-se pelo poder que o copernicanismo apresentava em relação aos modelos de Ptolomeu e mesmo os de Brahe. O copernicanismo apresentou a Kepler a fecundidade cosmológica de poder: 1) unificar o sistema cósmico – isto é, considerar o cosmo como um sistema integrado, no qual o Sol central e os planetas podem ser vistos como um corpo organizado e não como um monstro, como era nos modelos ptolomaicos; 2) sistematização – ou seja, a unidade gerada pelo copernicanismo permite integrar os movimentos dos planetas como um sistema ordenado; 3) a aplicação das matemáticas para os movimentos reais dos planetas e não como artificios desvinculados da realidade ontológica dos mesmos.

O que temos com esses três pontos é a diminuição de problemas conceituais. Como procuramos apresentar nos capítulos anteriores, a astronomia kepleriana baseada no uso de forças e de harmonia pôde: 1) retirar toda a parafernália preditiva relativa aos modelos baseados em epiciclos, deferentes, equantes e excêntricos; 2) a admissão de forças centrais, como causa dos movimentos, elimina o “primeiro motor” aristotélico bem como o uso de “almas planetárias” ou “inteligências planetárias”; 3) problemas que antes eram admitidos (anomalias) foram eliminados, pois a segunda desigualdade (movimento de retrogradação) não foi mais vista como uma desigualdade, pois pela ótica realista, e não instrumentalista, os movimentos retrógrados são explicados como aparências e não como movimentos reais<sup>30</sup>; em relação à primeira desigualdade (variação das distâncias planetárias), a lei da forma elíptica e a lei das áreas determinam que as variações vistas como desigualdades são apenas aparências que se dão quando se considera o axioma das órbitas circulares e uniformes.

Nesse sentido, podemos resumir a escolha do copernicanismo por parte de Kepler como uma escolha racional por representar progressos em relação à astronomia de sua época. O caráter de progresso é dado pelas potencialidades que esse sistema tinha, em relação aos modelos ptolomaicos e brahianos, para poder dar conta tanto de uma melhor

---

<sup>30</sup> A resolução dessa desigualdade já tinha sido dada pelo próprio Copérnico.

obtenção de dados observacionais quanto, principalmente, poder falar do mundo físico e real, de maneira a vermos as propostas heliocêntricas como o sistema que forneceu a Kepler as condições cosmológicas necessárias para tratar da realidade física e dinâmica dos planetas e do Sol e, também, das possibilidades de poder expressar a realidade harmônica existente no mundo celeste.

O realismo kepleriano, se o vemos dessa maneira, pode ser entendido como uma necessidade histórica para a astronomia e a cosmologia poderem se unir, pois os resultados obtidos por Kepler obrigaram a astronomia a considerar a parte cosmológica como necessária para a formulação dos seus conhecimentos, retirando, assim, a indecidibilidade sobre a realidade física que era comum em sua época<sup>31</sup>.

---

<sup>31</sup> O modelo de Laudan sobre a tradição de pesquisas [Laudan, L., 1977], que apresentamos tem o inconveniente, como já apontamos acima, de ser um modelo produzido por um pensador que se mostra como um ardente anti-realista. Nesse sentido, pode parecer estranho usar um modelo anti-realista para descrever um cientista assumidamente realista, como Kepler. Entretanto, como já apontamos, não estamos discutindo o realismo de Kepler sob o ponto de vista conceitual, mas histórico, no qual argumentamos que Kepler instaura uma postura realista na astronomia do século XVII, advinda, principalmente, das necessidades dessa ciência nesse período específico, e não pretendemos dizer com isso que este realismo kepleriano suporta as críticas que os anti-realistas podem levantar contra seu modelo. Num excelente artigo não publicado, Bezerra, [Bezerra, V. A., 2002], mostra as críticas que Laudan apresenta contra os realistas, sejam eles ontológicos ou teóricos, baseados principalmente no argumento realista da verdade aproximada e da referência e sucesso. Porém, Laudan, [Laudan, L., 1984], com seu modelo reticulado, dá mais liberdade ao realismo, dizendo que a interpretação realista pode pertencer à axiologia, que leva a mudar tanto a parte teórica quanto a parte metodológica de um modelo científico. Assim, o reticulado de Laudan pode explicar que o uso dos conceitos de força e harmonia, como partes da metafísica kepleriana, levaram Kepler a mudar o enfoque do método instrumentalista para um método que formula hipóteses dinâmicas, no qual o axioma platônico, por exemplo, deixa de ser um axioma e passa a ser uma simples hipótese que deve suportar os testes empíricos. Essa interpretação que apresentamos é apenas um esboço, devendo ser melhor desenvolvida (algo que pretendemos fazer subsequentemente), mas ela aponta para a possibilidade de entender o uso dos conceitos de força e harmonia como elementos que influenciaram a elaboração teórica e metodológica kepleriana, isto é, independentemente do universo ser regido por forças e ter uma estrutura harmônica na realidade, esses conceitos funcionam como condutores para a elaboração do modelo kepleriano dos movimentos do mundo celeste.

## **Capítulo 5. A recepção das leis de Kepler e as críticas aos conceitos de força e harmonia**

### **5.1. Introdução**

As novas propostas keplerianas para a astronomia e a cosmologia suscitaram, tanto na primeira metade do século XVII quanto nos dias atuais, motivos para considerar Kepler como um misto de cientista e místico religioso. A visão histórica que temos de Kepler é a de um pensador instigante; muito além de ser simplesmente o pai da astronomia moderna, ele reúne, expressa e resume uma posição bem definida sobre o conhecimento: a de ser o astrônomo que rompeu com a antiga forma de conceber o cosmo e instaurou novas possibilidades para compreender o mesmo. Mas a parte científica mistura-se de tal modo com a parte mística e religiosa, formando um todo uniforme que dificulta a percepção do que é inovador e do que é tradicional na visão de Kepler sobre o cosmo.

Hoje em dia não vemos mais um cientista como um homem que expressa nas suas pesquisas tanto a parte da racionalidade quanto a parte religiosa; consideramos apenas o cientista como um fiel seguidor dos cânones da razão, homem que, considerando apenas aquilo que pode ser comprovado e corroborado pela experiência, procura desmistificar o conhecimento, tornando-o palatável ao entendimento humano. Se essa visão impera, e temos bons motivos para acreditar nisso, então a visão que temos de Kepler se compromete e se perde, pois não percebemos diretamente o que ele transmitiu de novo para o conhecimento astronômico. A compreensão do papel de Kepler, para as ciências no seu todo bem como para a astronomia e a cosmologia em particular, reveste-se da necessidade de entender os seus aspectos, sejam científicos, sejam filosóficos, de acordo com o que a

sua época pediu. Como vimos, ao longo deste trabalho, as pesquisas keplerianas inseriram-se plenamente na crítica e modificação dos contextos epistemológico e metodológico da astronomia. Os conceitos de força central e harmonia celeste unem-se como expressão da metafísica kepleriana, metafísica essa voltada a determinar, o mais que possível, a realidade do mundo supra-lunar. Mas, visto que, como dissemos, o homem cientista e o homem místico-religioso misturam-se num só, muitas críticas foram levantadas contra Kepler, de maneira que o que é promissor nesse autor perde-se, às vezes, no amontoado de problemas apontados na sua forma de obter conhecimentos nas ciências dos céus. Os conceitos de força e harmonia, tão criticados ao longo da história da astronomia desde o século dezessete até hoje, podem esconder a base que levou Kepler a abalar e substituir os fundamentos epistemológicos e metodológicos da astronomia que imperavam nos séculos dezesseis e dezessete, de maneira que, pensamos, para compreender o papel de Kepler na revolução científica do século XVII, é necessário entender a função desses conceitos, tal como procuramos fazer ao longo deste trabalho.

Desse modo, nossa intenção neste capítulo é apresentar as principais críticas que foram levantadas contra o pensamento astronômico e cosmológico kepleriano. Essas críticas referem-se, invariavelmente, aos conceitos de força e harmonia, conceitos esses que expressam, como procuramos mostrar, a metafísica kepleriana: a sua crença inabalável de que o cosmo contém uma estrutura relacional na qual as partes (os planetas e o Sol, os seus movimentos etc.) mantêm relações entre si e com o todo e, também, que esse cosmo pode ser entendido sob o ponto de vista físico e dinâmico. Nosso objetivo é argumentar que essas críticas não contemplam, no todo, o papel desses conceitos, os quais têm um papel heurístico importante no quadro de elaboração das leis, sem os quais, acreditamos, Kepler dificilmente teria tratado de uma astronomia física no século XVII.

XVI

XVII,

## 5.2. A recepção das leis de Kepler: as primeiras críticas

O papel de Kepler, na história da ciência, é algo de singular. Ele é visto frequentemente como um cientista que contribuiu significativamente para a astronomia e a ótica, principalmente devido a suas três leis e ao estudo da refração. Porém, no que concerne aos seus procedimentos epistemológicos e metodológicos de descoberta e justificação, diversas interpretações e divergências podem ser levantadas. Para poder compreender a falta de unidade acerca de uma correta interpretação das leis de Kepler para o processo de constituição da ciência moderna, devemos fazer um relato da recepção dessas leis, bem como um apanhado das principais linhas interpretativas do pensamento kepleriano para a ciência.

A recepção das leis keplerianas dos movimentos planetários se deu mediante a divisão de opiniões acerca da validade ou não das leis e dos procedimentos keplerianos para as suas obtenções. A falta de compreensão, por parte dos astrônomos, acerca das leis foi algo que dificultou, inicialmente, a aceitação dessas pela comunidade científica, pois os trabalhos keplerianos – em especial a *Astronomia nova*, que contém as duas primeiras leis – são obras de difícil leitura, o que acarretava na árdua tarefa de compreendê-las e aplicá-las na prática.

Após a publicação da *Astronomia nova*, em 1609 e, também, após a publicação da *Harmonia do mundo*, em 1619, Kepler publicou as *Tabelas Rudolfinas*, em 1627, as quais forneceram tabelas elaboradas que determinaram os posicionamentos dos planetas por meio da aplicação das suas três leis. Dessa maneira, a comunidade astronômica dessa época teve mais condições para tecer considerações sobre as leis de Kepler. Os astrônomos as consideraram adequadas para a determinação dos movimentos planetários, pois os dados obtidos pelas *Tabelas Rudolfinas* eram, em vários aspectos, superiores aos dados obtidos pelas outras tabelas dessa época. As tabelas Alfonsinas, baseadas na astronomia geocêntrica ptolomaica e as tabelas Prutênicas, provindas da teoria copernicana, tinham uma margem de erro de 10', enquanto que os dados obtidos pelas tabelas Rudolfinas diminuíram significativamente a margem de erro para 2'. Além disso, e talvez mais importante ainda, os astrônomos puderam compreender e visualizar os benefícios das leis. Isso fica claro pelas palavras de Russel [Russel, J. L., 1964. p. 7]:

“Doravante [após a publicação das *Tabelas Rudolfinas*], os astrônomos puderam comparar as previsões das tabelas com as posições atualmente observadas do Sol, Lua e dos planetas, e puderam, então, comparar os resultados com as teorias astronômicas rivais. Eles conseguiram, a partir disto, decidir se elas eram adequadas, pois não precisaram enfrentar as dificuldades e o laborioso trabalho dos métodos keplerianos para aplicá-las na prática. No devido tempo, uma larga maioria deles decidiu a seu favor.”

Enquanto instrumentos de cálculos para a confecção de tabelas sobre os posicionamentos planetários, as leis de Kepler formaram um conjunto de conhecimentos suficientemente, ou melhor, adequadamente precisos, permitindo aos astrônomos obterem as posições planetárias de uma forma mais satisfatória do que as dadas pelas tabelas anteriores. A lei da forma elíptica e a lei das áreas, especialmente, puderam determinar com um grau mais preciso os posicionamentos planetários do que as tabelas que eram elaboradas mediante a utilização de excêntricos, epiciclos com deferentes, ou das que se utilizavam de equantes.

Contudo, apesar do sucesso na obtenção dos posicionamentos planetários, a comunidade astronômica, de um modo geral, não aceitou a teoria dos movimentos planetários de Kepler, que era vista mais como um expediente instrumental do que como uma teoria explicativa dos fenômenos celestes.

Os astrônomos levantaram duas críticas básicas<sup>32</sup> contra a teoria kepleriana. Essas críticas referem-se ao conteúdo das leis, a saber:

- 1) acerca do papel das matemáticas para a obtenção da segunda lei, na qual o processo de exaustão utilizado por Kepler não foi considerado satisfatório, pois o procedimento de aproximação (acertos e erros), não foi aceito como uma prova eminentemente geométrica, na qual a certeza seria obtida pela demonstração, através de proposições previamente admitidas, ou já demonstradas, como verdadeiras. Assim, escreve Russel, acerca dessa questão [Russel, J. L., 1964, pp. 3 – 4]:

“Deve-se apontar o fato de que muitos astrônomos competentes aceitaram com entusiasmo a primeira lei de Kepler, porém, rejeitaram a segunda e a substituíram por uma alternativa mais simples e menos certa. Isso não foi fruto da ignorância ou obscurantismo, mas da convicção de que uma lei matemática que depende essencialmente do procedimento de tentativa e erro, que leva ao procedimento de aplicação através da aproximação sucessiva, não pode representar a verdade última dos corpos celestes.”

A lei das áreas foi vista, inicialmente, como obtida mediante um procedimento menor, não sujeito ao poder que as matemáticas podem fornecer na obtenção do conhecimento científico. Isso, de certa forma, fez que essa lei fosse vista como um expediente não adequado para caracterizar a verdade do mundo celeste, mas apenas como um instrumento de trabalho.

- 2) Porém a crítica mais relevante contra a teoria kepleriana encontra-se na quebra, que essa teoria representou, com o princípio de circularidade e uniformidade. Ao postular causas físicas para os movimentos dos planetas, Kepler trouxe para a astronomia uma questão indigesta. Pela aceitação de uma espécie de força magnética como a responsável pelos movimentos planetários observados, cria-se a impossibilidade de aceitar a circularidade e a uniformidade das órbitas. Com isso, a astronomia teria que abandonar um princípio de mais de dois mil anos. Isso fica claro numa carta, de 21 de dezembro de 1616, do próprio mestre de Kepler, Mastlin, que critica o uso de causas físicas, pois a astronomia deve ser construída com base no procedimento geométrico e aritmético de cálculo. Segundo Mastlin [retirada de Applebaum, W., 1996, p. 459]:

“Acerca do que escreves sobre a Lua: trataas todas as desigualdades por causas físicas. Eu não compreendo plenamente isso. Penso que, em vez disso, poder-se-ia tratá-las todas por causas astronômicas e hipóteses, mas não por causas físicas. Certamente, as bases da astronomia requerem claramente cálculos geométricos e

---

<sup>32</sup> Na realidade são três, a terceira é referente à postulação de causas agindo a distância, que feria o mecanicismo cartesiano. Mas essa crítica será tratada em breve, quando falarmos sobre o mecanicismo.

aritméticos, e não conjecturas físicas, as quais confundem grandemente em vez de instruir o leitor.”

Aceitar uma astronomia vinculada ao tratamento físico era trazer à tona questões complicadas. Desse modo, muitos astrônomos preferiram usar círculos e epiciclos, pois são, segundo a visão da época, mais “naturais”<sup>33</sup> do que a elipse.

Em suma, as críticas levantadas contra a teoria kepleriana dos movimentos planetários resumiam-se à utilização de expedientes matemáticos que, basicamente, não justificavam o estipulado pela lei das áreas e, principalmente, a postulação de entidades (tal como força) físicas para a explicação dos movimentos. A crítica contra o uso de força estipula dois níveis de aplicação no século XVII: 1) usar forças centrais em astronomia é usar um componente físico, isto é, cosmológico, que fere, como vimos no terceiro capítulo, a cosmologia aristotélica, alicerçada numa visão de mundo hierarquizada; 2) o uso de forças leva à crítica, como vimos no capítulo 4, à postura metodológica instrumentalista. A crítica contra o uso de forças foi muito explorada pelos adeptos da filosofia mecanicista cartesiana, que não aceitaram as leis de Kepler por envolver o uso de faculdades ocultas.

Uma das principais características da ciência do século XVII é a formação de uma visão de mundo alicerçada no mecanicismo. Para tal postura, o mundo deixa de ser visto como um organismo e passa a ser entendido como uma espécie de máquina, na qual os fenômenos podem ser explicados e descritos mediante o movimento e a relação restrita entre a causa e efeito dos fenômenos. Procura-se, nessa interpretação de mundo, abandonar o apego às entidades ocultas, tornando manifesto ao intelecto as ações mediante a postulação de causas que podem ser racionalmente explicadas. Para essa nova forma de produzir ciência, dois aspectos são básicos: a matematização, que procura explicar os fenômenos mediante a utilização da demonstração geométrica; e o papel da experimentação, pela qual se pode compreender os mecanismos na natureza.

Muitos historiadores da ciência e filosofia desse período apontam diversos nomes como os principais expoentes do processo de mecanização da imagem do mundo. Para Dugas, por exemplo, Descartes, Pascal, Huygens, Newton e Leibniz são os grandes

---

<sup>33</sup> Deve-se entender como “naturais” não no sentido ontológico, isto é, os artificios matemáticos utilizados na computação dos movimentos planetários não significavam a realidade dos movimentos, mas eram vistos

representantes desse período [Dugas, R., 1954, prefácio]. O nome de Kepler sempre apareceu, se não como uma figura menor, apenas como um nome intermediário nesse processo de mecanização; Kepler geralmente aparece como um antecessor de Newton, ao chamar a atenção para as bases físicas da astronomia. Mesmo alguns dos principais estudiosos de Kepler pouco falam acerca da sua contribuição para o processo de mecanização. Aiton, num importante artigo sobre as principais pesquisas atuais sobre Kepler [Aiton, E. J., 1976], descreve apenas os estudos feitos acerca da astrologia, teologia, metodologia, física, astronomia, ótica e matemática, mas pouca coisa apresenta sobre o modelo mecanicista de Kepler. Uma das principais razões disso está na incompatibilidade entre o modelo de ação à distâncias e o modelo mecânico cartesiano.

Em linhas gerais, a filosofia mecânica procurou<sup>34</sup>, como dissemos, traduzir os fenômenos das ciências naturais a conceitos da matemática, tais como movimento, figura, contato etc., com o objetivo de retirar a utilização de entidades ocultas no processo de aquisição do conhecimento. J. Henry caracteriza a filosofia mecânica do seguinte modo [Henry, J., 1998, p. 67]:

“Em suas formas mais estritas a filosofia mecânica caracterizou-se fundamentalmente por um conjunto limitado de princípios explanatórios. Todos os fenômenos deviam ser explicados a partir de conceitos empregados na disciplina matemática da mecânica: forma, tamanho, quantidade e movimento. A lógica desse tipo de explicação tendia a conduzir a uma teoria de causação restrita, concebida apenas em termos de ação e contato. A filosofia mecânica via o funcionamento do mundo natural por analogia com o maquinismo: a mudança era ocasionada (e podia ser explicada) pelos engates entre os corpos, como as rodas dentadas de um relógio, ou por impacto e transferência de movimento de um corpo a outro. Explicações com base em princípios animados e justificações teológicas (...) eram rejeitadas. Fazia-se uma distinção entre o que era visto como as verdadeiras propriedades dos corpos (tamanho e forma, movimento ou repouso) e qualidades meramente secundárias, causadas pelas primeiras, como cor, odor, calor ou frieza e assim por diante.”

---

como naturais em relação tanto à dignidade da circularidade quanto à simplicidade que elas representavam nessa fase de computação astronômica.

<sup>34</sup> Não iremos, neste texto, fazer uma apresentação e discussão detidas da filosofia mecânica, algo que exige um estudo mais elaborado. Estamos apenas apresentando as características gerais dessa visão de mundo, para podermos levantar os problemas básicos envolvidos na construção do modelo kepleriano para a astronomia.

A essas características junta-se a que, talvez, fosse a mais importante: a de que os corpos constituem-se de átomos ou corpúsculos invisíveis. Desse modo, o mundo é visto como uma máquina, de maneira que o antigo recurso a entidades ocultas foi substituído pela visão de um mundo apto a ser conhecido por meio da decomposição dos elementos básicos da matéria.

O modelo mecânico de Kepler teve sérias dificuldades para ser aceito como uma explicação mecânica na primeira metade do século XVII. Dois fatores contribuíram para isso. O primeiro, como vimos nos capítulos anteriores, era a separação existente entre mundo terrestre, sujeito à geração e corrupção, no qual os fenômenos eram vistos como aptos a serem tratados por procedimentos físicos, ou dinâmicos, e o mundo celeste, no qual as explicações eram dadas pelas cosmologias, enquanto que a computação dos movimentos planetários era feita pela astronomia matemática. Isso implicou num tratamento astronômico que não tinha o mesmo estatuto que o terrestre.

O segundo fato foi a própria astronomia física, a utilização de forças, de Kepler – que, como vimos, é alicerçada na postulação de que o Sol é o responsável pelos movimentos planetários, mediante uma espécie de força magnética, que ele exerce nos planetas e, também, pela inércia natural dos planetas de resistirem à ação solar –, que não poderia ser vista como uma explicação mecânica justamente pelo caráter dessas forças. Isso fica claro quando comparamos o modelo mecânico celeste de Kepler com o de Descartes.

Para Descartes, de uma maneira distinta de Kepler, o mundo é considerado um grande *plenum*, no qual não há possibilidade de ocorrer ação à distância. Com Descartes, a astronomia pôde ter uma teoria na qual não era necessária a utilização de esferas sólidas de cristais para explicar os movimentos planetários, pois esses movimentos eram explicados pela ação causal, ou choque. Descartes, nos *Princípios da filosofia*, concebeu o universo como constituído de infinitos vórtices, de modo que os movimentos dos corpos levam ao movimento de outros através do contato, ou choque, das matérias [Westfall, R., 1999, p. 34]. O movimento, nesse universo cartesiano, não precisa da ação solar sobre os planetas mediante a postulação de forças magnéticas agindo à distância. Descartes pretendia explicar os movimentos celestes com modelos estritamente mecânicos, mediante a ação por contato e a sua possível matematização.

Quando comparamos o modelo de Descartes com o de Kepler, notamos, com relação aos padrões da filosofia mecânica do século XVII, que o do primeiro condiz mais com tais padrões do que o segundo. Segundo Westfall, as razões da aceitação do modelo cartesiano e a rejeição do kepleriano foram [Westfall, R., 1999, pp. 35 -36]:

“A teoria dos vórtices constituiu o primeiro sistema aparentemente plausível estabelecido para substituir as esferas cristalinas. Na realidade, a mecânica celeste de Kepler havia precedido, mas o sistema de Kepler foi construído a partir de princípios inaceitáveis para a filosofia mecanicista. Os vórtices de Descartes, inútil dizer, eram aceitáveis e dominaram durante meio século as descrições do céu. Para entender o pensamento científico do século XVII, é importante saber o que se pretendia ou não se pretendia explicar. Os vórtices ofereciam uma explicação mecânica aos grandes fenômenos celestes. Indicavam porque os planetas giram ao redor do Sol, todos na mesma direção e todos (praticamente) no mesmo plano. Mediante a introdução encoberta de fatores arbitrários, explicavam o fato dos planetas moverem-se mais lentamente quanto mais afastados estão do Sol. Tais coisas, contudo, eram apresentadas como conseqüências da matéria em movimento, sem recorrer a quaisquer poderes ocultos. Para a ciência do século XVII, foi importante o tipo de explicação mecanicista que ofereciam os vórtices, e não é difícil de entender-se a atração dessa teoria. O que a teoria dos vórtices não tentou abordar foram os detalhes precisos das órbitas planetárias que constituíam o domínio da astronomia técnica. Descartes não mencionou as três leis de Kepler, e é difícil pensar como ele poderia tê-las deduzido dos vórtices. Mas o tipo de descrição matemática que representam as leis de Kepler também foi importante para a ciência do século XVII. A filosofia mecanicista, com a sua concentração nas causas físicas, existiu em oposição à tradição pitagórica de descrição matemática. O maior sucesso da ciência do século XVII, a obra de Isaac Newton, constituiu na resolução de tal oposição.”

Essa longa citação apresenta vários aspectos interessantes acerca do papel da explicação cartesiana em relação a de Kepler. Em primeiro lugar, ela mostra a rejeição, no século XVII, do modelo mecanicista de Kepler, e a aceitação da teoria dos vórtices de Descartes. Isso se deu, fundamentalmente, pelo caráter pouco mecanicista da teoria física kepleriana. Postular ações à distância, quando se exigia a retirada de explicações alicerçadas em faculdades ocultas e, também, a exigência de explicações dos movimentos

por contato entre corpos, era, no mínimo, questionável. Desse modo, o modelo de Kepler não poderia ser visto como a expressão do que acontece de fato no mundo celeste, pela razão de que tal modelo foi entendido mais como uma boa estratégia, para computar tabelas de movimentos e posicionamentos dos planetas, do que uma teoria explicativa dos fenômenos do mundo celeste.

Porém, a passagem aponta a maneira que podemos ver a astronomia de Kepler como condizente a abrir as possibilidades de descrição real do mundo celeste, ou de pelo menos poder falar da realidade desse mundo. A teoria dos vórtices de Descartes foi, como apresentou a citação de Westffal, aceita por ser um exemplo de explicação mecânica, na qual não há apelo a faculdades ocultas, e os fenômenos podem ser descritos e explicados pelo contato entre corpos, pelos turbilhões de matéria. Mas, apesar de ser uma teoria mecanicista, ela não tratava dos problemas técnicos astronômicos, isto é, a teoria dos vórtices era explicativa, mas sem se remeter aos problemas astronômicos envolvidos, por exemplo, na determinação das distâncias, na resolução das irregularidades, no problema da falta de paralaxe estelar, na resolução da determinação da anomalia verdadeira etc. A astronomia de Kepler, por outro lado, apesar de, a primeira vista, não ser uma explicação mecânica, tratou, ou procurou tratar, de tais problemas sendo, desse modo, mais rica que a cartesiana. A astronomia de Kepler procurou dar conta dos problemas técnicos. Kepler acreditava plenamente que uma teoria física, que fale do mundo real, e não instrumental, solucionaria os problemas detectados pelas observações astronômicas, esclarecendo as anomalias constatadas tanto pelo modelo de Ptolomeu, quanto de Copérnico ou de Brahe. Neste sentido, acreditamos que focar os recursos utilizados para a resolução dos problemas técnicos e práticos astronômicos permite justificar os procedimentos – e nesse sentido, a metafísica - utilizados por Kepler.

### **5.3. As primeiras interpretações epistemológicas sobre as leis de Kepler**

Após o período inicial de recepção das leis, a comunidade científica passou a investigar os significados epistemológicos e metodológicos que as representariam, motivados, fundamentalmente, pela mecânica celeste newtoniana.

Os sucessos provenientes da mecânica newtoniana suscitaram um certo interesse pelos trabalhos de Kepler. Muitos astrônomos e homens voltados para a ciência e a cultura em geral começaram a ver as leis de Kepler como elementos antecessores da teoria gravitacional newtoniana. O antigo interesse reservado apenas às questões práticas, restrito, como vimos acima, à aplicação das leis keplerianas como elementos instrumentais para a elaboração de melhores tabelas [Westman, R. S., 1975, pp. 55 – 70], foi substituído pela investigação do caráter epistemológico das leis. Iniciaram-se, a partir disso, os trabalhos de investigação dos procedimentos internos utilizados para a obtenção das leis dos movimentos planetários, ocorrendo como consequência disso um aprofundamento no estudo das obras de Kepler, procurando uma melhor compreensão dos meios pelos quais ele chegou, principalmente, à forma elíptica das órbitas planetárias. Como não poderia ser diferente, esse trabalho levantou muitas críticas a Kepler.

Em termos de simplificados<sup>35</sup>, podemos apontar duas linhas interpretativas e críticas sobre o processo de descoberta das leis de Kepler, uma que chamaremos de “newtoniana”, e a outra “galileana”. Damos esses nomes apenas porque as críticas, ou conjunto de críticas, levantadas de cada grupo tiveram como origem as críticas e objeções que Newton e Galileu sugeriram contra os trabalhos de Kepler em astronomia.

O primeiro grupo, o newtoniano, parte da crítica que Newton levantou contra Kepler, segundo a qual a descoberta da forma elíptica foi fruto de um “trabalho de adivinho” (pois Kepler não derivou os fenômenos matematicamente pelo seu conceito de força, isto é, Kepler não obteve uma prova matemática, uma prova demonstrativa, para as leis dos movimentos planetários) [Baigre, B., 1990, pp. 633 – 664], no qual Kepler, de uma certa forma, “esbarrou” na forma da elipse. Com isso, o processo de descoberta das leis, especialmente a primeira, é visto como algo não resolvido apenas pelo procedimento objetivo, ou pelos cânones estipulados por Kepler em sua metodologia, mas como a consequência de tentativas de ensaio e erro que apontaram o caminho correto para obter a forma real e verdadeira das órbitas planetárias.

---

<sup>35</sup> Pode-se elaborar várias linhas históricas de conduta para a compreensão do processo de obtenção das leis de Kepler e das suas importâncias para o processo de constituição das ciências modernas, partindo-se de perspectivas distintas. Assim, Westman, [Westman, R. S., 1975], por exemplo, sugere uma continuidade no processo de compreensão das leis por parte dos comentadores de Kepler e da ciência moderna, partindo-se de uma visão técnica para um procedimento indutivista, seguindo-se por uma postura construtivista. A linha

As conseqüências dessa visão por parte de Newton conduziram a duas posturas. A primeira, advoga que, visto que **as leis foram frutos de um processo que contém elementos não totalmente racionais, pode-se ver em Kepler um pensador ligado a procedimentos que se explicam por meio de um processo que contém crenças irracionais**<sup>36</sup>, no qual os fatores da personalidade de Kepler são básicos para a compreensão de como ele chegou às leis dos movimentos dos planetas. A segunda, interpreta as descobertas de Kepler como conseqüência da utilização e interação de elementos ou idéias que podem estar fora do âmbito da racionalidade científica<sup>37</sup>, prevalecendo campos distintos dessa.

A vertente galileana, por sua vez, é mais radical. Ela se alicerça nas críticas que Galileu dirigiu a Kepler, **críticas essas direcionadas tanto ao uso da hipótese dos sólidos perfeitos quanto à idéia de força. Temos** duas passagens significativas de Galileu contra os meios de Kepler fazer ciência, a primeira está no *Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo, ptolomaico e copernicano*, segunda a qual [Galileu, G., 2001, VII, p. 487]:

“(...). Mas de todos os grandes homens que filosofaram sobre este efeito admirável da natureza [fenômeno das marés], Kepler é o que me causa maior espanto, por ter ele, que é de engenho livre e agudo, e que tinha em mãos os movimentos atribuídos à Terra, dado ouvido e assentimento ao predomínio da Lua sobre a água, a propriedades ocultas e semelhantes infantilidades.”

Galileu se refere à teoria das marés de Kepler, exposta na introdução à *Astronomia nova*, em que Kepler defende a idéia de que corpos cognatos atraem-se mutuamente, e que, caso a Terra não atraísse mais a Lua do que ela faz, as águas da Terra se levantariam em

---

apresentada neste trabalho não pretende ser exaustiva e nem concludente, mas apenas expõe duas maneiras de compreender e criticar os trabalhos de Kepler, alicerçadas ao longo da história.

<sup>36</sup> Alguns dos principais adeptos dessa postura são Arthur Koestler, [Koestler, A., 1961], que considera que as leis de Kepler surgiram pelo fato de ele ser um “sonâmbulo”, onde as características da personalidade de Kepler, provindas da sua infância extremamente rígida, influenciaram na hora da escolha da forma da órbita de Marte, na qual a fixação de idéias, no caso a de harmonia, determinaram o seu trabalho; e Rudolf Haase, [Haase, R., 1975], que admitiu que as descobertas keplerianas deram-se em função de idéias fixas, tais como a de harmonia voltada para a compreensão e descrição da estrutura do mundo celeste para satisfazer o princípio de causalidade teleológica.

<sup>37</sup> Sobre essa postura, destacam-se dois comentadores recentes, Job Kozhamthadam, [Kozhamthadam, J, 1999], que viu as leis de Kepler como uma interação entre ciência (os dados empíricos), filosofia (o conjunto dos conceitos e visões de mundo que Kepler adotou) e religião (crenças keplerianas de que o mundo é harmônico e voltado para a satisfação dos anseios divinos de racionalidade), nessa interação, os aspectos internos são diminuídos, prevalecendo, em seu lugar, idéias que estariam no subconsciente de Kepler; e,

direção à Lua. A segunda crítica está numa carta de Galileu a Fulgencio Micanzio, escrita em 19 de novembro de 1634, na qual ele expõe a sua opinião sobre Kepler, que é<sup>38</sup>:

“(...) eu sempre estimei Kepler pelo seu engenho livre (e talvez muito) e agudo, mas o meu filosofar é diferentíssimo do seu; e pode acontecer que, escrevendo sobre as mesmas matérias, e particularmente acerca dos movimentos celestes, tenhamos por vezes chegado a algum conceito similar, se bem que poucos, de modo que tenhamos atribuído a algum efeito verdadeiro a mesma razão verdadeira; mas isso não se verificará em um por cento dos meus pensamentos.”

Galileu tem, em relação a Kepler, um misto de estima e admiração com repúdio e crítica. A estima e admiração nascem da defesa kepleriana do sistema copernicano. Kepler foi, junto com Galileu, um dos primeiros astrônomos a aceitar a nova proposta de Copérnico; além do fato de Kepler ter sido o primeiro astrônomo de peso a aceitar as descobertas obtidas por Galileu com o telescópio<sup>39</sup>. Por outro lado, o repúdio e a crítica advêm dos meios utilizados por Kepler para fazer ciência. O que Galileu critica principalmente é a suposta adesão – isto na visão de Galileu – de Kepler ao uso de faculdades ocultas para a obtenção das causas dos movimentos planetários. Em outras palavras, Galileu critica o conceito de força kepleriano, considerando-o como um recurso infantil, pouco científico e preso à tradição mágica e astrológica.

Uma grande tradição negativa originou-se dessa visão de Galileu sobre o uso do conceito de força<sup>40</sup> kepleriano. **Dizer que Kepler operou com categorias ligadas às concepções mágicas e astrológicas, fazendo uso de força como uma faculdade oculta, significou não apenas que, como argumentaram os cartesianos, Kepler era um adepto de**

---

também, Fernand Hallyn, [Hallyn, F., 1997], que procurou encontrar nas leis de Kepler ideais estéticos, os quais se ligam especialmente a uma estrutura poética do mundo.

<sup>38</sup> Galileu, [Galileu, G., 2001, p. 831], conferir nota nº 79 da quarta jornada, elaborada por Pablo Rubén Mariconda.

<sup>39</sup> Galileu, na obra *Mensageiro das estrelas* de 1610, descreve as suas observações dos céus com o auxílio do telescópio. Ele observou que a Lua não é uma esfera lisa e polida, tal como se acreditava na época, mas que contém vales, colinas etc, um corpo com relevo irregular, tal como a Terra; observou as fases do planeta Vênus; as manchas solares e os satélites do planeta Júpiter. Kepler não só aceitou as descobertas de Galileu com o telescópio como estipulou uma defesa dessas observações mediante o esboço de uma teoria ótica adequada para explicar que as imagens provindas do uso do telescópio não são fantasias, mas imagens que expressam a realidade.

<sup>40</sup> A lista dos autores que viram Kepler como um autor preso à tradição mágica e astrológica pelo seu uso do conceito de força é grande. Só para destacar os mais importantes, temos: Dugas, [Dugas, R., 1954]; Cohen, [Cohen, I. B., 1983 e 1985]; Butterfield, [Butterfield, H., 1959] e Haase, [Haase, R., 1975].

tradições medievais, mas, mais importante do que isso, Kepler não pensou de acordo com as categorias da modernidade. Uma das mais importantes, e a que sintetiza a crítica à força quando vista sob esta ótica, foi expressa por Koyré, que nos diz<sup>41</sup>:

“o que impede Kepler de formular a lei da gravitação universal é a persistência nele de uma concepção *qualitativa* do universo. Inversamente, a fim de que – e antes de que – essa lei pudesse ser formulada, foi necessário que a essa concepção se substituísse uma outra, segundo a qual o ser material é em todos os lugares perfeita e absolutamente homogêneo. É a esse preço somente que a atração pode ser estendida ao universo e identificar-se com a gravitação. Ora, não é a Kepler, é a Galileu e a Descartes e, ainda mais, aos atomistas e materialistas do século XVII, Gassendi e Boyle, que devemos essa concepção unitária do ser físico.”

As palavras de Koyré devem ser analisadas com atenção. O que ele afirma sobre Kepler é o que impediu Kepler de ser visto como um moderno: **a sua visão “qualitativa” do universo e, seguindo essa afirmação, Kepler não concebeu o ser material como homogêneo em todos os lugares, mas viu o universo como guiado por qualidades.** Parece-nos que Koyré considera Kepler como um “qualitativista”, do que um “quantitativista”, pelo uso de força, a qual não é apta de ser matematizada, mas deve ser vista como “uma qualidade do corpo”, qualidade essa que, distinta das qualidades primárias de Galileu e Descartes (figura, extensão e movimento), **pertence ao que é ininteligível sobre os corpos e sobre os fenômenos, isto é, não encontra respaldo matemático.** Koyré tem razão sobre o conceito de força kepleriano em alguns sentidos, pois, como procuramos mostrar no primeiro capítulo deste trabalho, **esse conceito contém, de fato, elementos ligados à concepção de matéria ativa, isto é, matéria como qualitativamente distinta, pois ainda não é a matéria inerte de Descartes e Galileu,** mas mantém a idéia renascentista de uma matéria ativa, dotada de poderes; fora isso, o conceito de força kepleriano não é apto a justificar matematicamente as leis, ele não é uma expressão matemática para as leis. Porém, Koyré não percebeu a importância do conceito de força no que concerne à mudança em relação à causalidade, **noção essa que deixa de considerar os movimentos planetários como fenômenos que não podem ser contemplados sobre o ponto de vista explicativo, pois para Kepler a ação do Sol,**

<sup>41</sup> Koyré, A., (1968); citação retirada de Galileu G. (2001, p. 830), nota nº 79 da quarta jornada, elaborada por Pablo Rubén Mariconda.

e por isso a matéria deve ser ativa, é a causa motriz, eficiente, dos movimentos se darem de acordo com as regularidades expressas pelas leis. As qualidades encontram-se presentes na ação solar, mas essas qualidades são expressões da causa próxima dos movimentos planetários, e não são, contudo, expressões da natureza última da matéria. Kepler precisava, para justificar fisicamente as suas leis – pois este sempre foi o seu objetivo: alicerçar a astronomia sobre razões físicas - dotar a matéria de alguma espécie de atividade, pois a ação à distância assim exigia; mas isso não invalida, pensamos, a mudança de enfoque operada pelo conceito de força kepleriano; por esse conceito não estamos mais num universo alicerçado nas qualidades aristotélicas (o mundo é homogêneo, o mundo terrestre é semelhante ao mundo celeste), não necessitamos mais da parafernália das esferas encaixadas em esferas e, principalmente, dos artifícios geométricos utilizados há quase dois mil anos, pois esses já não têm mais sentido algum de serem usados. O conceito de força também aponta para a quantificação do mundo celeste, pois, com ele, temos as condições postas para se poder considerar a matéria celeste como possível de ser matematizada<sup>42</sup>, algo que Kepler não fez, mas, todavia, apontou o caminho.

#### 5.4. As críticas atuais contra Kepler

Se a forma pela qual Kepler pensou a astronomia e a cosmologia de sua época foi motivo de muitas críticas no século XVII, o mesmo se percebe nos tempos atuais. De uma certa maneira, a idéia de Kepler como um astrônomo que obteve grandes resultados em astronomia e, ao mesmo tempo, visto como um pensador voltado às categorias de pensamento da Idade Média, perpetuou-se e mantém-se quase inabalável. Isso, como vimos acima, foi fruto principalmente das críticas levantadas contra a postulação de forças centrais e de um universo guiado pela idéia de uma harmonia cósmica, em que, a sua maior expressão, é dada pelo universo encaixado em polígonos regulares. De uma certa forma, as críticas originais contra esses conceitos passaram para a posteridade, de maneira a vermos, hoje, posturas que mostram a faceta de Kepler como um pensador preso às categorias do misticismo.

---

<sup>42</sup> Na verdade, o correto uso de força só poderá ser compreendido quando a associamos ao conceito de harmonia, pelo qual a matéria é vista por Kepler como apta a ser matematizada, isto é, geometrizada, devido à sua forma, como apresentamos nos capítulos 2 e 3 acima.

Consideremos algumas interpretações<sup>43</sup> acerca dos mecanismos de descoberta das três leis de Kepler sobre os movimentos planetários elaboradas no século vinte. Primeiro, a visão de Cohen [Cohen, I. B., 1975], segundo a qual as três leis de Kepler não representaram uma mudança significativa para a comunidade científica da época de Kepler, de modo que as leis dos movimentos dos planetas não foram vistas como uma contribuição de grande expressividade, tal como foram os trabalhos de Galileu sobre a queda dos corpos. Para Cohen, o século XVII não pode ser visto como o século de Kepler, tal como foi considerado o século de Galileu e, de uma forma mais radical, deve ser entendido como um século anti-kepleriano. As razões de Cohen estão alicerçadas fundamentalmente na metodologia utilizada por Kepler para obter as leis que regem os movimentos planetários. Longe de serem frutos da metodologia desenvolvida nesse período, para a qual os fenômenos devem ser explicados sem o recurso a entidades ocultas, ou não científicas, as leis de Kepler representam, quanto aos seus procedimentos de obtenção, a aceitação de elementos místicos, de modo a enfraquecer a figura de Kepler, segundo Cohen [Cohen, I. B., 1975, pp. 6 e 7]:

“Acredito que a rejeição histórica de Kepler e a aclamação de Galileu não foram acidentais, ou o resultado de mera escolha. Eu vejo esse aspecto da história como parte de um movimento, iniciado no século XVII e estendido até os nossos dias, para estabelecer um ponto de vista adequado para a ciência e a descoberta científica: ciência concebida como um domínio ao qual o conhecimento avança pela prática do que tem sido chamado método científico. (...)”

“As pesquisas de Kepler sobre relações numéricas e geométricas tendem a não ser algo louvável em si, mas é vista como ‘números místicos’.”

O método científico instaurado nos séculos XVI e XVII, que advoga que o conhecimento científico não deve apelar para entidades ocultas, procurando, por outro lado, explicar os fenômenos pelo recurso à decomposição da matéria aos seus elementos básicos, matematizando-os, levou, segundo Cohen, a negar a inclusão do nome de Kepler no panteão dos grandes cientistas do século XVII, principalmente pela utilização por parte desse astrônomo de entidades consideradas como sendo não científicas, representadas

---

<sup>43</sup> Essas críticas não são exaustivas, apenas mostram os sentidos que se podem atribuir à utilização de força e harmonia em Kepler.

basicamente pela sua concepção de que existe uma estrutura harmônica subjacente aos fenômenos do universo.

Contudo, as críticas de Cohen mais fortes e relevantes contra o procedimento dado por Kepler à astronomia foram levantadas na obra *The newtonian revolution* [Cohen, I. B., 1983]. Nessa obra, Cohen faz uma bela análise do procedimento newtoniano para o progresso da Revolução Científica do século XVII, argumentando, principalmente, que os resultados obtidos por Newton<sup>44</sup> foram frutos do seu método próprio para a aquisição do conhecimento; método esse alicerçado na utilização das matemáticas e na criação de procedimentos para adequá-las aos fenômenos, tanto físicos quanto celestes. Porém, para os nossos propósitos, o texto de Cohen é muito rico quanto às críticas levantadas a Kepler. Em diversas passagens de seu livro, das quais iremos apresentar as mais importantes, Cohen caracteriza a astronomia de Kepler como falsa e falha sob o ponto de vista realista. Uma das primeiras críticas é apresentada da seguinte forma [Cohen, I. B., 1983, p. 56]:

“O imenso avanço nas ciências físicas exatas do século XVII pode medir-se pela brecha que separa a cinemática de Galileu e a dinâmica incorreta e falha de Kepler, por um lado, e do objetivo newtoniano de uma dinâmica matemática congruente com as leis cinemáticas fenomenológicas e da descoberta de sua causa física, por outro. Kepler, apesar de sua semelhança com Newton em tantos aspectos, representa um nível completamente distinto de crenças e procedimentos científicos. Kepler parte das causas, enquanto que Newton chega à elas. Kepler aceita uma espécie de atração celeste baseada na analogia com o magnetismo terrestre, buscando logo as suas conseqüências, enquanto que Newton chega à sua idéia de gravitação universal tão só quando a lógica do estudo das forças e movimentos o leva a essa direção. A filosofia de Newton o conduz dos efeitos às causas e do particular ao geral, enquanto que Kepler preferiu proceder na direção contrária. ‘Não tenho o menor escrúpulo em declarar’ escrevia ‘que tudo o que Copérnico demonstrou *a posteriori*, e sob a base de observações interpretadas geometricamente, pode demonstrar-se *a priori*, sem problemas de nenhum tipo’ (Kepler, *Mysterium cosmographicum*, prefácio).”

Por essa passagem do livro de Cohen, notamos, segundo a visão do autor, a maneira falha dos métodos de Kepler em relação aos de Newton. A principal objeção de Cohen

refere-se ao procedimento *a priori* de Kepler. Enquanto que Kepler vai das causas ao efeito, pois utiliza força em analogia ao magnetismo de Gilbert, Newton parte dos efeitos. Segundo Cohen, Kepler partiu de uma causa, mais como um elemento que faz parte das suas crenças do que como o resultado de uma investigação, tal como é dito na passagem do *Mysterium cosmographicum*, apresentada por Cohen.

A caracterização dada por Cohen não nos parece justa. O que ele aponta é verdadeiro apenas no contexto do *Mysterium cosmographicum*, de 1596, mas não na *Astronomia nova* de 1609, e tão pouco no *Epitome*, de 1618 a 1621. Na obra de 1596, Kepler, de fato, objetivou construir uma astronomia *a priori*, alicerçada mais na sua crença na existência de uma estrutura harmônica subjacente aos acontecimentos celestes, mas, subseqüentemente, tal visão foi substituída pela admissão de que os movimentos planetários devem ser explicados pelas informações observacionais – muito influenciado, é claro, pelos dados de Brahe – de maneira que o conceito de força pode ser visto como o resultado das investigações acerca das informações por ele analisadas (o que o levou a admitir a impossibilidade de que os movimentos planetários sejam dados por qualquer outra explicação que não o conceito de força).

Uma outra crítica de Cohen contra a postura kepleriana refere-se ao estatuto de “realidade” que cada um dos sistemas (Newton e Kepler) fornecem às ciências. Enquanto que a teoria newtoniana é verdadeira, e real, porque engloba uma série de fenômenos, de modo que se pode matematizá-los, as leis de Kepler resumem-se a serem apenas fenomenologicamente verdadeiras. Escreve Cohen [Cohen, I. B., 1983, pp. 84 – 85]:

“Uma das características do estilo newtoniano é que são as matemáticas, e não uma série de experimentos, que levam ao conhecimento profundo do universo. Naturalmente, os dados dos experimentos e observações empregam-se a fim de determinarem as condições iniciais da investigação, os aspectos que subministram os princípios matemáticos que se aplicam à filosofia natural (...). Assim, em algumas ocasiões importantes, Newton parece haver dado preferência à exatidão do sistema matemático frente ao caráter grosseiro das leis empíricas. No caso das leis de Kepler, a razão delas é que, segundo a análise de Newton, elas mostram ser exatas

---

<sup>44</sup> Não é a intenção deste texto fazer uma contraposição dos trabalhos de Newton e Kepler. Queremos apenas, com a análise de Newton e Kepler feitas por Cohen, apresentar algumas críticas frente à construção do modelo mecanicista de Kepler.

unicamente numa situação muito restrita, limitando-se a serem apenas fenomenologicamente ‘verdadeiras’ (isto é, são ‘verdadeiras’ somente dentro de certos limites convencionalmente aceitáveis de precisão observacional) em respeito ao mundo real, tal como mostra a experiência. (...)

“O sistema físico simplificado (...) entra no lugar das três leis de Kepler, servindo-se, de fato, para explicá-las, ao mostrar o significado físico de cada uma delas por separado. Em resumidas contas, esse sistema, ou construto, não é um produto fictício da imaginação livre, nem uma ficção puramente arbitrária ou hipotética criada pela mente.”

As leis de Kepler são vistas, pela passagem acima, como apenas o resultado da análise dos fatos observacionalmente aceitos, mas sem serem verdadeiras sob o ponto de vista do conjunto. Em outras palavras, as leis de Kepler funcionam apenas num contexto singular, no qual, se admitirmos apenas um planeta e o Sol, a força exercida pelo segundo pode gerar órbita elíptica na qual o planeta percorrerá áreas iguais em tempos iguais, contudo, num sistema integrado, movido pela ação de vários corpos em relação a outros, as leis de Kepler não são as representantes da explicação verdadeira do mundo celeste. No limite, as leis de Kepler são verdadeiras apenas num sistema de um corpo (um corpo que exerce força, que no caso é o Sol), mas não num sistema integrado de vários corpos agindo uns sobre os outros. Assim, escreve Cohen mais à frente [Cohen, I. B., 1983, p. 97]:

“Nenhuma advertência era preciso ser feita para o sensível construto matemático ou imaginário, no qual são verdadeiras as leis de Kepler, pois há de ser óbvio para qualquer pessoa que um sistema de um corpo não pode corresponder ao mundo da natureza.”

Ou, de uma forma mais específica numa outra passagem, mais a frente, [Cohen, I. B., 1983, p. 110]:

“As órbitas planetárias ‘seriam elípticas, com o Sol num dos seus focos comuns, e descreveriam áreas proporcionais aos seus tempos’ se ‘o Sol estivesse em repouso e os planetas restantes não atuassem uns sobre os outros’. Em outras palavras, o sistema solar das leis de Kepler não constitui uma representação exata do mundo da natureza, sendo especificamente desafortunado no caso de Saturno (devido à

perturbação provocada por Júpiter), e no caso da Terra, dado que ‘a órbita da Terra é sensivelmente perturbada pela Lua’.”

Com isso, o sistema kepleriano vê-se profundamente abalado enquanto sistema que fornece uma explicação e descrição real do mundo supra-lunar. Ele não pode ser uma explicação e descrição realista do mundo porque tal sistema é apto para apenas um corpo de forças.

Essa crítica de Cohen é muito forte e, de fato, mostra o modelo kepleriano como menos explicativo que o newtoniano, ou melhor, mostra o modelo kepleriano como sendo não-explicativo. Porém, as conclusões a que chega Cohen, a partir dessa crítica, é que nos parecem excessivas. Escreve ele mais a frente, após ter mostrado a falta de validade do sistema de Kepler para a descrição do mundo celeste [Cohen, I. B., 1983, p. 245]:

“Uma vez que a análise de Newton mostrou o tipo de sistema físico do mundo representado pelas três ‘leis’ ou ‘hipóteses planetárias’, é patente que dito sistema não é o verdadeiro sistema do mundo, senão apenas uma construção matemática que resulta muito distinta, e claramente distinta do mundo real. Com efeito, o construto matemático corresponde ao que é essencialmente um sistema de um corpo e um centro de força.”

Ou, de uma maneira mais radical, quando faz um balanço da astronomia de Kepler [Cohen, I. B., 1983, p. 299]:

“Na escala da exatidão matemática ou da precisão observacional máxima, possível ou imaginável, as leis de Kepler são, pois, estritamente falsas; elas se acomodam aos fenômenos com um grau moderadamente elevado de aproximação, por mais que sejam ‘verdadeiras’ quando se transformam à maneira indicada por Newton. (...) Newton disse, evidentemente, que as ‘leis’, tal como enunciou Kepler, não eram de fato ‘verdades’ do sistema solar real, mas sim eram bastante exatas para serem tomadas como princípios de trabalho. (...), o que [Newton] queria dizer era que esses enunciados [as leis de Kepler] eram somente ‘fenomenologicamente’ verdadeiros; isto é, verdadeiros dentro dos limites dos cálculos baseados nos dados observacionais.”

Isto é, Cohen vê o sistema de Kepler como apenas uma construção matemática, sendo, apenas, aproximado. Com isso, as leis de Kepler expressam apenas construções matemáticas quando analisadas frente ao que, de fato, ocorre nos céus.

Mas para admitirmos a posição de Cohen não podemos, pensamos, focar Kepler em relação a Newton, mas Kepler em relação à astronomia de sua época, e ver em que sentido as suas leis possibilitaram argumentos para a descrição da realidade dos movimentos planetários. Nesse sentido, pensamos que uma comparação de Kepler, não com Newton, mas com os trabalhos que o antecederam, permitem trazer argumentos a favor de uma leitura realista de seus trabalhos, pois essa comparação apresenta a mudança de enfoque dado por Kepler à astronomia, a qual deixa de construir hipóteses não astronômicas, hipóteses meramente matemáticas, e passa a elaborar conjecturas físicas.

Outra crítica é a de Rudolf Haase [Haase, R., 1975], para o qual as leis de Kepler foram derivadas da sua estrutura harmônica do mundo, mas os seus procedimentos de descoberta estão alicerçados na utilização de elementos que não fazem parte do procedimento habitual das ciências. Para Haase, Kepler foi mais um pensador que se utilizou muito da imaginação, procurando obter a estrutura do universo mediante a elaboração de hipóteses mais de cunho fantasioso do que baseadas em métodos científicos (como o método experimental), de maneira a justificar a sua concepção de que o cosmo foi criado pela vontade do Criador, instaurando causas finais –dadas sobretudo pela admissão de que o cosmo é harmônico-, ao invés de causas eficientes. Pelas palavras do próprio Haase, temos [Haase, R., 1975, p. 528]:

“(...) Kepler considerou que a natureza elíptica das órbitas planetárias, a qual nós consideramos como sendo a sua grande descoberta, foi uma consequência necessária da harmonia musical do sistema planetário.

“(...) Não deve ser surpresa para nós que Kepler penetrou em regiões fora do campo de pesquisa das ciências naturais. Como nós já enfatizamos, Kepler não foi um cientista natural típico. A diferença entre seu método harmônico e o método das ciências naturais alicerça-se no fato de Kepler pensar teleologicamente, em vez de pensar as causalidades. Em outras palavras, Kepler não considerou os resultados de uma *causa efficiens*, uma causa ativa, mas tinha em mente *causa finalis* dirigida para alguma meta.”

Kepler torna-se, no contexto da citação acima, um pensador voltado a obter causas finais, de maneira a termos o seu conceito de harmonia como condicionador da determinação da estrutura arquitetônica do cosmo, de modo a vermos os seus constituintes como organizados através da satisfação da vontade do Criador, e não como a procura de determinação dos movimentos planetários através da obtenção de causas eficientes.

Vistas dessa forma, as leis dos movimentos planetários são expressões da vontade de Kepler, isto é, as leis são frutos da imaginação do astrônomo de Rudolfo II; imaginação essa que procurou encontrar a estrutura matemática subjacente aos movimentos dos planetas com o intuito de satisfazer o critério não científico de que o cosmo foi criado mediante a organização dos seus componentes harmonicamente, em que o arranjo dos céus e as regularidades que podemos encontrar nos movimentos foram dadas mais em função da satisfação da vontade de Deus em organizar os corpos celestes para representar a “beleza” que há no mundo supra-lunar, do que como o resultado de uma pesquisa de cunho científico, na qual a harmonia celeste teria um outro valor.

Temos também a interpretação feita sobre as leis de Kepler por Hebert Butterfield [Butterfield, H., 1992]. Neste trabalho, Kepler é visto como um precursor da obra de Newton ao postular que existem forças agindo na determinação dos movimentos planetários, mas fez isso através da crença de que o Sol tem um papel divino ao emanar forças para levar os planetas a moverem-se ao seu redor, segundo Butterfield [Butterfield, H., 1992, p.132]:

“(...) No entanto, Kepler não chegou à idéia de gravitação universal; por exemplo, não compreendeu que as estrelas fixas eram corpos terrestres por natureza e que tinham gravidade, apesar de saber que Júpiter projetava uma sombra e que Vênus não tinha luz do lado oposto do Sol. Tal como Bacon, ele parece ter tido uma visão do céu tomando-se tanto mais etéreo, diferente da Terra, quanto mais se afastava do globo terrestre e nos aproximávamos da região das estrelas fixas. Além disso, encarava o Sol como um caso especial, com uma gravidade própria, por assim dizer.

“Tendo notado que a velocidade dos planetas decrescia à medida que se afastavam do Sol, interpretou o fenômeno como a confirmação da idéia à qual estava ligado de uma forma mística, isto é, o Sol era responsável por todos os movimentos celestes, apesar de atuar através de uma espécie de poder que diminuía à medida que atuava a uma distância maior.”

Devemos deter-nos no termo “místico” apontado por Butterfield. O Sol é visto como a fonte de movimentos, que faz os planetas percorrerem trajetos com velocidades maiores conforme estão próximos dele, e velocidades menores conforme se afastam dele. O papel do Sol, nesse contexto, não é posto como fonte motriz, mas como uma postulação ligada ao mito, de maneira que a ação do Sol nos planetas pode ser vista como um recurso preso apenas à vontade, e não por uma necessidade natural (a crença na aceitação de que o Sol localiza-se no centro por uma vontade de Deus).

Na mesma linha, mas de uma maneira mais radical, René Dugas [Dugas, R., 1954], leva-nos a pensar em outra crítica levantada ao keplerianismo. Para Dugas, Kepler teve um papel importante no processo de constituição da ciência moderna, pois as suas três leis dos movimentos planetários significaram, fundamentalmente, a possibilidade para Newton elaborar a sua mecânica celeste, mediante a idéia básica de que forças são as responsáveis pelos movimentos planetários acontecerem tal como descritos pelas leis. Nesse sentido, o trabalho de Kepler foi um estágio importante para podermos chegar até a concepção newtoniana de gravitação universal. Segundo Dugas, acerca da importância de Kepler [Dugas, R., 1954, p. 45]:

“As leis cinemáticas precisas de Kepler encerram todas as propriedades características as quais Newton deverá dotar as forças atrativas. (...) Assim, a obra de Kepler encontra-se no meio do caminho entre o pensamento escolástico e o pensamento clássico.”

As leis de Kepler são compatíveis com a conceituação newtoniana de força. Porém, Dugas mostra que, apesar desse importante papel das leis de Kepler para a astronomia, essas leis são, fundamentalmente, cinemáticas, frutos da posição adotada por Kepler para a astronomia; posição essa que representa um estágio que contém muitas características do pensamento escolástico, não propriamente científicas. Desse modo, escreve Dugas, acerca das características da visão kepleriana para a astronomia [Dugas, R., 1954, p. 45]:

“A visão que Kepler nos oferece do mundo é: matemática, pelas suas leis fundamentais sobre a cinemática dos movimentos planetários; escolástica, pela

dinâmica que às leis está associada; animista e 'magnética' no sentido de Gilbert, no domínio da explicação física. Ela é alicerçada sobre as harmonias pitagóricas, sobre as paixões e afecções mútuas dos corpos celestes, de acordo com as necessidades da astrologia."

As leis dos movimentos planetários de Kepler, para Dugas, são o resultado da pesquisa astronômica kepleriana, que é feita no espírito da ciência do século XVII, na direção da matematização da natureza por meio da análise matemática dos dados observados, mas que elas, porém, estão alicerçadas numa visão de mundo que foi abandonada subsequentemente pelas ciências, tais como o pensamento escolástico e a astrologia. Neste sentido, no plano da descrição, a ciência kepleriana aponta para leis cinemáticas alicerçadas nas matemáticas; por outro lado, no plano da explicação, o pensamento kepleriano é baseado na escolástica, levando a uma dinâmica animista e magnética.

A análise de Dugas leva-nos a ver o pensamento de Kepler como o representante da dinâmica aristotélica. Dugas aponta, principalmente, a inércia kepleriana, que é distinta do sentido adotado pela mecânica clássica; a inércia de Kepler é, apenas, privação de movimento, ou a tendência do planeta a manter-se em repouso e evitar a ação solar.

Além disso, Dugas aponta que o pensamento astronômico de Kepler foi muito influenciado pelo pitagorismo na procura da harmonia celeste. Segundo Dugas, essa postura teve uma forte influência da tradição astrológica a qual Kepler pertenceria, que foi a responsável pelo seu apego na determinação da estrutura harmônica subjacente aos fenômenos celestes. Neste sentido, o pensamento alicerçado na visão da astrologia influenciou, como elemento fundamental, o processo de elaboração das leis dos movimentos planetários.

Dessa maneira, a interpretação dada por Dugas ao procedimento astronômico kepleriano representa um grupo de argumentos usados para caracterizar Kepler como um pensador intermediário entre os trabalhos escolásticos e clássicos, fazendo recurso à astrologia e outros ramos não científicos.

Todas essas críticas listadas mostram diversos problemas envolvidos tanto para a compreensão quanto para a aceitação e justificação das leis de Kepler. Esquemáticamente,

podemos dizer que as leis de Kepler, e, fundamentalmente, os conceitos de força e harmonia, nelas embutidos, envolvem as seguintes questões:

- A) força e harmonia são vistos como conceitos não científicos, ou com pouco conteúdo científico, pois a idéia de ação à distância é entendida como a postulação de entidades ocultas, e harmonia é associada à postulação de causas finais, de maneira a vermos a estrutura harmônica do cosmo mais como uma estrutura arquitetônica ou divina do que como uma estrutura operacional;
- B) A visão de que força e harmonia são associadas mais à magia do que à ciência acarreta a aceitação de que o método kepleriano não é científico, justamente por ele se utilizar de elementos que não pertencem ao escopo das ciências;

### 5.5. Respostas

Todas essas críticas que listamos nas seções precedentes mostram sempre a mesma linha de ação, ou seja, o principal fator contra Kepler alicerça-se nos componentes chamados de “extra-científicos” aos quais ele se apegou para construir uma dinâmica celeste. Não se questiona, por exemplo, o uso por parte de Kepler dos dados observacionais de Brahe, pois isso já é estabelecido – e de uma certa forma, sempre o foi – pela comunidade científica como algo proveitoso para as ciências; nem se questiona o uso das matemáticas, pois isso também, pelo menos após o século XVII, é visto como necessário para as ciências. Os problemas, invariavelmente, concentram-se nas crenças metafísicas keplerianas que, consideradas segundo a linha interpretativa de que o uso de força e de harmonia liga-se incontestavelmente a padrões não condizentes com uma postura eminentemente científica, mostra-se como o centro para considerar Kepler “enigmático”, ou seja, Kepler caracteriza o corpo solar como dotado por Deus de um poder magnético atrativo, utilizando um procedimento da filosofia natural renascentista, contra a qual se estabelece a ciência moderna de Galileu. Ao nosso ver, os dados que coletamos nos capítulos precedentes, cujos principais são: o uso de força e harmonia como conceitos que devem ser analisados em conjunto e não isoladamente; a nova forma de tratar os problemas astronômicos (epistemologia e a metodologia keplerianas); e os significados científicos que os conceitos de força e harmonia podem ter nos ajudam, talvez, a mostrar que as críticas

não contemplam as funções corretas de força e harmonia para Kepler, pois esses têm uma importância histórica. O nosso problema é saber em que sentido histórico a forma de pensar a astronomia por Kepler foi importante.

A importância dos conceitos de força e harmonia está no fato de Kepler construir, sobre uma cinemática, uma explicação dinâmica da causa dos movimentos planetários, isto é, as leis de Kepler espelham dois planos: o primeiro é cinemático, onde ele expressou matematicamente as regularidades constatadas pelas observações astronômicas; o segundo é dinâmico, onde Kepler procurou uma explicação para as suas leis, sendo que essa explicação é fundamentada sobre o ponto de vista físico e real. Nesse sentido, os conceitos de força e harmonia têm uma função heurística, sem eles Kepler teria ficado restrito a uma postura instrumentalista, pois, se ele não tivesse como básico a aceitação de que o cosmo pode ser entendido sob o ponto de vista físico e harmônico, então as operações contidas no processo de elaboração das leis (método hipotético dedutivo, utilização dos dados de Brahe como básicos para a construção e teste de hipóteses, elaboração de hipóteses de trabalho etc) não indicariam a intenção de que as leis expressam a parte física da astronomia. Em outras palavras, os conceitos de força e harmonia possibilitaram a Kepler pensar o mundo sob a perspectiva do realismo, construindo uma tentativa de explicação da descrição cinemática dos movimentos planetários.

A teoria kepleriana dos movimentos dos planetas representou um estágio significativo e necessário para o desenvolvimento da ciência astronômica. O fato dela ter sido suplantada pelo newtonianismo não representa a sua invalidação, pelo menos no que respeita ao desenvolvimento histórico da astronomia<sup>45</sup> e à análise da obtenção dos procedimentos científicos. Diversos elementos, tanto científicos quanto filosóficos, deram à teoria dos movimentos planetários de Kepler o estatuto de uma teoria científica importante para o desenvolvimento do conhecimento astronômico.

A necessidade das três leis de Kepler para a astronomia justifica-se, principalmente, não pela discussão acerca em que sentido ela foi suplantada por teorias rivais, mas de que maneira ela possibilitou à astronomia uma mudança, digamos, epistemológica e metodológica, na qual essa ciência deixa de pensar os seus objetos, especificamente os referentes aos problemas envolvidos na determinação dos movimentos dos planetas, de uma

maneira comprometida com a tradição (representada, como vimos no quarto capítulo deste trabalho, pela crença na circularidade e uniformidade e pela postura instrumentalista<sup>46</sup>), e passa a tratar os fenômenos comprometido com critérios distintos da tradição em astronomia, mais condizentes com o espírito científico da época, tais como a procura por leis matemáticas que expressem as regularidades segundo as quais ocorrem os movimentos planetários.

Os elementos que constituem o processo de obtenção das três leis de Kepler, dados pela investigação sobre os componentes dos movimentos planetários – velocidades, tempos e distâncias -, tais como o procedimento de elaboração e teste de hipóteses, a utilização dos dados observacionais de Brahe, e a utilização de diversos instrumentos de trabalho (como a hipótese vicária, a lei das distâncias, e das superfícies), têm como fio condutor dois conceitos básicos para a constituição da teoria dos movimentos dos planetas, o de “força” e o de “harmonia”.

Assim, uma investigação acerca dos conceitos de força e de harmonia, fornece-nos a possibilidade de apreciar em que sentido a obra de Kepler foi significativa na história da astronomia.

Seguindo a idéia de que Kepler expôs e desenvolveu um programa de pesquisa<sup>47</sup> voltado a dotar as ciências de bases condicionadas para uma racionalidade científica, em especial para a astronomia, podemos entender o papel da sua astronomia física. O significado dado por Kepler à força determina uma mudança significativa para o tratamento dos fenômenos celestes, dos movimentos planetários, a partir da perspectiva do mecanicismo. Em outras palavras, força permitiu abandonar vários termos utilizados na astronomia do início do século XVII, tais como “esferas sólidas de cristais”, inteligências planetárias”, “epiciclos”, “deferentes”, “equantes”, “primeiro motor” etc., substituindo-os

<sup>45</sup> Acerca da importância de Kepler para a mecânica celeste conferir Chebotarev, [Chebotarev, G. A., 1975]; Kovalevsky, [Kovalevsky, J., 1975]; Rosen, [Rosen, E., 1975] e Van de Kamp, [Van de Kamp, 1975].

<sup>46</sup> Não queremos dizer com isso que apenas Kepler procurou, entre os astrônomos e cosmólogos de sua época, ter um compromisso com o realismo. Copérnico e Galileu, por exemplo, admitiram o princípio da circularidade e uniformidade e, mesmo assim, procuraram descrever o que acontece nos céus sem se comprometerem com o instrumentalismo. Queremos apenas salientar que Kepler, ao negar o princípio de circularidade e uniformidade, pôde romper com a postura metodológica que se encontrava presente na elaboração de tabelas dos movimentos planetários desde os trabalhos dos astrônomos gregos, o que implicou numa mudança significativa nos procedimentos de obtenção das descrições de tais movimentos.

<sup>47</sup> Dizemos que Kepler desenvolveu um “programa de pesquisa” apenas para expressar a nossa idéia geral de que os trabalhos keplerianos expressam um plano organizado para fundamentar a astronomia em bases físicas e dinâmicas (isto é, numa astronomia física) e, ao mesmo tempo, obter uma astronomia preditiva competente.

pela ação exercida pelo Sol nos planetas. Com isso, pôde-se ganhar duas coisas básicas para as ciências astronômicas: 1) força é uma explicação causal, sendo apenas causa próxima, eficiente, de modo a retirar da astronomia a função de apenas catalogar e prognosticar movimentos planetários, mais do que isso, a astronomia, agora vista também como uma cosmologia, pode falar da realidade física dos seus fenômenos; 2) a utilização de força muda o enfoque de símbolos para conceitos. Kepler determinou um novo estatuto para a detecção dos movimentos planetários garantindo com isso as condições para remetê-los às questões ontológicas, ao abandonar a postura tradicional de que os movimentos planetários são vistos por modelos que pretendem determinar características que são compreendidas mais pela imaginação do que pelo entendimento, tais como a uso de esferas sólidas, inteligências planetárias, ou epiciclos, deferentes e equantes (apesar de serem expedientes matemáticos, os epiciclos, deferentes etc., eram simples símbolos matemáticos, desprovidos de realidade ou natureza física, os quais, enquanto símbolos não se remetiam aos movimentos planetários enquanto fenômenos). Para tanto, ele precisou reformular epistemologicamente a astronomia: essa deve dar outro estatuto aos dados empíricos, ela deve garantir as possibilidades do intelecto humano expressar as regularidades que ocorrem na estrutura matemática que está subjacente aos fenômenos, e, principalmente, delimitar o campo de discussão a que esse intelecto pode chegar.

Acreditamos que essa perspectiva de análise permite entender o caráter metafísico pretendido por Kepler para dar conta dos fenômenos das ciências. De fato, podemos dizer que a principal intenção do programa desenvolvido por Kepler na ciência, em especial na astronomia, está em adequar a metodologia aos critérios ontológicos exigidos pelo objetivo de construção de uma teoria física dos movimentos planetários. Em outros termos, elaborar uma metodologia que possa tratar dos aspectos físicos envolvidos na problemática que se apresenta na determinação da explicação e descrição dos movimentos planetários.

As críticas por nós levantadas não precisam ser respondidas uma a uma. Todas elas se apóiam, invariavelmente, na noção de que as leis de Kepler, apesar de importantes para a astronomia moderna, foram erigidas por cânones não científicos, o que lhes retira o estatuto de conhecimento obtido por padrões estabelecidos por cuidadosos procedimentos que afastam inteiramente o caráter irracional e mágico das ciências ocultas. Em parte isso pode ser admitido, mas as questões que se devem colocar são: teria a astronomia se unido à

cosmologia no século XVII – tal como procuramos mostrar no capítulo terceiro deste trabalho –, se Kepler não tivesse tido como guia os conceitos de força e harmonia para justificar as suas leis dos movimentos planetários? Poder-se-ia falar numa astronomia física, (preditiva e explicativa ao mesmo tempo), tal como era dado pelo quadro astronômico e cosmológico no início do XVII, sem a admissão de componentes como força e harmonia? Ou, teriam as hipóteses astronômicas do século XVII adquirido um estatuto realista e, nesse sentido, alargado o seu campo de pesquisa, sem a crença kepleriana de que o mundo pode ser entendido fisicamente e harmonicamente? E, teria o copernicanismo se constituído em um programa que progrediu em relação aos modelos geocêntricos, se Kepler não tivesse considerado a parte cosmológica como a que deve ser de fato tratada, considerando os aspectos técnicos como a ela subordinados?

Os resultados dos trabalhos keplerianos em astronomia, as suas três leis dos movimentos planetários, trazem embutidos, além de serem as expressões realistas das regularidades matemáticas que foram detectadas pelas observações astronômicas, a necessidade, que a astronomia não poderia suprimir após essas leis, de conjugar tanto o item predição quanto o item explicação nas suas pesquisas, e isso de uma forma integrada. O astrônomo não necessita mais importar os princípios físicos do filósofo natural, pois cabe a ele, astrônomo, investigar esses princípios; as questões relativas à causalidade foram “limpadas”, isto é, deve-se investigar qual é a causa eficiente que leva os planetas a moverem-se tal como nos mostram as observações astronômicas, retirando as causas últimas da discussão; e, por último, as leis dos movimentos planetários retiraram da astronomia toda uma tradição alicerçada no uso de artificios desligados da realidade do que se pode observar.

Essas questões apontam não para a verdade das leis de Kepler, mas para as necessidades do seu pensamento em uma situação muito específica: a da astronomia e cosmologia do início do século XVII. Os conceitos de força e harmonia, como procuramos mostrar ao longo deste trabalho, podem ser vistos como expressões das crenças metafísicas keplerianas de que o mundo cósmico é real e pode ser conhecido pelo intelecto humano, pois o mundo tem uma estrutura harmônica que integra os seus aspectos físicos. Foi essa crença metafísica que guiou os trabalhos de Kepler e, mesmo que sujeitas a leituras e

interpretações ligadas à religião e ao misticismo, serviram como fio condutor para ele elaborar a sua forma de pensar a astronomia e a cosmologia de sua época.

## Referências Bibliográficas

### Fontes Primárias

- ARISTÓTELES, 1939, *On the heavens*, Loeb Classical Library, Harvard University Press, Cambridge.
- \_\_\_\_\_, 1978, *Metaphysics*, Great Books of the Western World, Chicago University Press, Chicago.
- \_\_\_\_\_, 1978b *Physics*, Great Books of the Western World, Chicago University Press, Chicago.
- \_\_\_\_\_, 1978c *Poterior analytics*, Great Books of the Western World, Chicago University Press, Chicago.
- COPÉRNICO, N., 1952, *On the revolutions of the heavenly spheres*, Great Books of the Western World, Chicago University Press, Chicago.
- \_\_\_\_\_, 1984, *As revoluções dos orbes celestes*, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.
- \_\_\_\_\_, 1990, *Commentariolus: pequeno comentário de Nicolau Copérnico sobre suas próprias hipóteses acerca dos movimentos celestes*, tradução introdução e notas de Roberto de Andrada Martins, Nova Stella e Coppe-MAST, São Paulo e Rio de Janeiro.
- EUCLIDES, 1956, *The thirteen books of Euclid's Elements*, 3 vols., tradução comentários de Sir Thomas Heath, New York, Dover Publications.
- GALILEU, G., 1987, *A mensagem das estrelas*, Museu de Astronomia, Rio de Janeiro.

- \_\_\_\_\_ . 2001, *Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo – ptolomaico e copernicano*, tradução e notas de Pablo Rubén Mariconda, Discurso Editorial e Fapesp, São Paulo.
- GILBERT, W., 1958, *The magnete*, New York, Dover Publications.
- KEPLER, J., 1937, *Astronomia nova*, Gesammelte Werke [G. W.], III, Munich.
- \_\_\_\_\_ . 1938, *Mysterium cosmographicum*, Gesammelte Werke [G. W.], I, Munich.
- \_\_\_\_\_ . 1940, *Harmonice mundi*, Gesammelte Werke [G. W.], VI, Munich.
- \_\_\_\_\_ . 1951, *Correspondência, 1604 – 1607*, Gesammelte Werke [G. W.], XV, Munich.
- \_\_\_\_\_ . 1953, *Epitome astronomiae copernicanae*, Gesammelte Werke [G. W.], VII, Munich.
- \_\_\_\_\_ . 1977, *L'harmonie du monde*, Blanchard, A., Diffusé par la Librairie, tradução de Jean Peyroux, Paris.
- \_\_\_\_\_ . 1979, *Astronomie nouvelle*, Blanchard, A., Diffusé par la Librairie, tradução de Jean Peyroux, Paris.
- \_\_\_\_\_ . 1980, *Les fondamentos de l'optique moderne: Paralipomènes à Vitellion*, tradução de Catherine Chevalley, Vrin, Paris.
- \_\_\_\_\_ . 1981, *Mysterium cosmographicum*, tradução de Ducan, A. M., Abaris Books, New York.
- \_\_\_\_\_ . 1984, Galileu-Kepler, *El mensaje y el mensajero sideral*, tradução e introdução de Carlos Solís Santos, Alianza Editorial, Madrid.
- \_\_\_\_\_ . 1988, *Abrégé d'astronomie copernicienne*, tradução de Jean Peyroux, Blanchard, Diffusé par la Librairie, Paris.
- \_\_\_\_\_ . 1992, *El secreto del universo*, tradução de Eloy Rada García, Alianza Editorial, Madrid.
- \_\_\_\_\_ . 1992b, *New astronomy*, tradução de Donahue, W. H., Cambridge University Press, Cambridge.
- \_\_\_\_\_ . 1995, *Epitome of copernican astronomy*, Livro IV, tradução de Charles Glenn Wallis, Great Minds Series, New York.

- \_\_\_\_\_ . 1995b, *Harmonies of the world*, tradução de Charles Glenn Wallis, Great Minds Series, New York.
- \_\_\_\_\_ . 1997, *The harmony of the world*, tradução de Aiton, E. J., American Philosophical Society, Philadelphia.
- PLATÃO, 1952, *The Republic*, Great Books of the Western World, Chicago University Press, Chicago.
- \_\_\_\_\_ . 1952b, *Timaeus*, Great Books of the Western World, Chicago University Press, Chicago.
- \_\_\_\_\_ . 1983, *Sofista*, Os Pensadores, São Paulo.
- PTOLOMEU, C., 1952, *The Almagest*, Great Books of the Western World, Chicago University Press, Chicago.

#### **Principais Comentadores**

- ABETTI, G., 1975, “Harmonies of the world”, in *Vistas in astronomy*, nº 18, pp. 537 – 539.
- ABRANTES, P., 1998, *Imagens de natureza, imagens de ciência*, Papirus, São Paulo.
- AITON, E. J., 1969, “Kepler’s second law of planetary motion”, in *Isis*, nº 205, set., pp. 75 – 90.
- \_\_\_\_\_ . 1975, “Infinitesimals and the area law” in *Vistas in astronomy*, nº 18, pp. 585 – 587.
- \_\_\_\_\_ . 1975b, “The elliptical orbit and the area law”, in *Vistas in astronomy*, nº 18, pp. 573 – 583.
- \_\_\_\_\_ . 1976, “Johannes Kepler in the light of recent research”, in *History of science*, nº XIV, pp. 77 – 100.
- \_\_\_\_\_ . 1981, “Celestial spheres and circles”, in *History of science*, XIX, pp. 75 – 114.
- AITON, E. J., DUCAN, A. M. & FIELD, J. V., 1997, Introdução ao *The harmony of the world*, de J. Kepler, American Philosophical Society, Philadelphia.
- APPLEBAUM, W., 1996, “Keplerian astronomy after Kepler: researchs and problems”, in *History of science*, nº XXXIV, pp. 451 – 504.

- BAIGRIE, B. S., 1990, "The justification of Kepler's ellipse", in *Studies in history and philosophy of science*, vol. n° 21, n° 4, dez., pp. 633 - 664.
- BEZERRA, V. A., 2002, "Realismos e anti-realismos na filosofia da ciência", texto não publicado, São Paulo.
- BOYD, R. N., 1983, "The current status of scientific realism", in *Erkenntnis*, 19, pp. 45 - 90.
- \_\_\_\_\_, 1990, "Realism, approximate truth, and philosophical method", in *Minnesota studies in the philosophy of science*, vol. XIV, University of Minnesota Press, Minneapolis.
- BURTT, E., 1983, *As bases metafísicas da ciência moderna*, Ed Universidade de Brasília, Brasília.
- BUTTERFIELD, H., 1949, *As origens da ciência moderna*, Edições 70, Lisboa.
- CASPAR, M., 1959, *Kepler*, New York, Dover Publications.
- CASSIRER, E., 1963, *Antropología filosófica*, Fondo de Cultura Económica, México.
- \_\_\_\_\_., 2001, *Indivíduo e cosmos na filosofia do renascimento*, Ed. Martins Fontes, São Paulo.
- CHALMERS, A. F., 1982, *O que é ciência afinal?*, Ed. Brasiliense, São Paulo.
- CHAUÍ, M., 2002, *Introdução à história da filosofia – dos pré-socráticos a Aristóteles*, vol. 1., Companhia das Letras, São Paulo.
- CHEBOTAREV, G. A., 1975, "Kepler and celestial mechanics", in *Vistas in astronomy*, n° 18, pp. 557 – 565.
- COHEN, I. B., 1967, *O nascimento de uma nova física*, Edart, São Paulo.
- \_\_\_\_\_. 1975, "Kepler's century, prelude to Newton's", in *Vistas in astronomy*, n° 18, pp. 3 – 40.
- \_\_\_\_\_. 1983, *La revolución newtoniana y la transformacion de las ideas científicas*, Alianza Editorial, Madrid.
- \_\_\_\_\_. 1985, *Revolution in science*, Harvard University Press, Cambridge.
- COHEN, M. R. & DRABKIN, I. E., 1948, *A source book in greek science*, Mcgraw-Hill book company, New York

- COSTABEL, P., 1975, "Kepler and the copernican model", in *Vistas in astronomy*, nº 18, pp. 217 – 222.
- \_\_\_\_\_, 1975b, "Kepler – mathematician and physicist", in *Vistas in astronomy*, nº 18, pp. 631 – 642.
- CROMBIE, A. C., 1987, *Historia de la ciência: de San Agustín a Galileo*, 2 vols. Alianza Editorial, Madrid.
- CROWE, M. J., 1990, *Theories of the world from antiquity to the copernican revolution*, New York, Dover Publications.
- DIJKSTERHUIS, E. J., 1986, *The mechanization of the world pictures*, Princeton.
- DONAHUE, W. H., 1975, "The solid planetary pheres in post-copernican natural philosophy" in *The Copernican Achievement*, pp. 244 – 275.
- \_\_\_\_\_, 1994, "Kepler's invention of the second law", in *The British Journal of the History of Science*, 27 (1), pp. 89 – 102.
- DREYER, J. L. E., 1953, *A history of astronomy from Thales to Kepler*, New York, Dover Publications.
- DUGAS, R., 1954, *La mécanique au XVIIe siècle*, Paris.
- DUHEN, P., 1984, *Salvar os fenômenos, Ensaio sobre a noção de teoria física de Platão a Galileu*, Cadernos de História e Filosofia da Ciência, CLE, Unicamp.
- DURHAM, F. & PURRINGTON, R. D., 1989, *La trama del universo – historia de la cosmología física*, Fondo del Cultura Económica, México.
- EVANS, J., 1984, "Fonction et origine probable du point équante de Ptolémée", in *Revue d'histoire des sciences*, vol. XXXVII, nº 3 – 4, jul/dez, pp. 193 – 213.
- ÉVORA, F. R., 1993, *A revolução Copernicano-Galileana*, CLE, Unicamp.
- FLECKENSTEIN, J. °, 1975, "Kepler and neoplatonism", in *Vistas in astronomy*, nº 18, pp. 427 – 438.
- GARDNER, M. R., 1983, "Realism and instrumentalism in pre-newtonian astronomy", in *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, vol. 10, p. 201 – 265.
- GERLACH, W., 1975, "Johannes Kepler – life, man and work", in *Vistas in astronomy*, nº 18, pp. 73 - 96

- GINGERICH, O., 1975, "Kepler's place in astronomy", in *Vistas in astronomy*, nº 18, pp, 261 – 278.
- \_\_\_\_\_ . 1975b, "The origins of Kepler's third law", in *Vistas in astronomy*, nº 18, pp. 595 – 602.
- \_\_\_\_\_ . 1975c, "Introductory remarks on the astronomy of Copernicus", in *Avant Avec Après Copernic*, Blanchard, Paris.
- \_\_\_\_\_ . 1993, *The eye of heaven*, The american institute of physics, New York.
- HAASE, R., 1975, "Kepler's harmonies, between pansophia and mathesis universalis", in *Vistas in astronomy*, nº 18, pp. 519 – 534.
- \_\_\_\_\_ . 1975b, "Kepler's harmonies – past, present and future, in *Vistas in astronomy*, nº 18, pp. 535 – 536.
- HALL, A. R., 1983, *A revolução na ciência, 1500 – 1750*, Edições 70, Lisboa.
- HALLYN, F., 1997, *The poetic structure of the world: Copernicus and Kepler*, Zone Books, New York.
- HANSON, N. R., 1985, *Constelaciones y conjeturas*, Alianza Universidad, Madrid.
- HAYLI, A., 1975, "The copernican system before and Kepler", in *Vistas in astronomy*, nº 18, pp. 197 – 204.
- HEATH, T., 1981, *Aristarchus of Samos, the ancient Copernicus*, New York, Dover Publications.
- HELLMAS, C. D., 1975, "Kepler and Tycho Brahe", in *Vistas in astronomy*, nº 18, pp. 223 – 230.
- HENRY, J., 1998, *A revolução científica*, Jorge Zahar Editor, Rio de Janeiro.
- HOLTON, G., 1988, *Thematic origins of scientific thought*, Havard University Press.
- HORSKÝ, Z., 1975, "Kepler in Prague", in *Vistas in astronomy*, nº 18 pp. 143 – 148.
- JAMMER, M., 1957, *Concepts of force*, New York, Dover Publications.
- JARDINE, N., "The forging of modern realism: Clavius and Kepler against the sceptics", in *Studies in History and Philosophy of science*, 10 (2), pp. 141 – 173.

- KENNEDY, E. S., 1966, "Late medieval planetary theory", in *Isis*, vol. 57, 3, nº 189.
- KOESTLER, A., 1961, *Os sonâmbulos*, Ibrasa, São Paulo.
- KOVALEVSKY, J., 1975, "Kepler's laws and modern celestial mechanics", in *Vistas in astronomy*, nº 18, pp. 605 – 612.
- KOYRÉ, A., 1961, *La révolution astronomique*, Paris, Hermann.
- \_\_\_\_\_, 1968, *Études newtoniennes*, Paris, Gallimard.
- \_\_\_\_\_, 1982, *Estudos de história do pensamento científico*, Forense Universitária.
- KOZHAMTHADAM, J., 1999, *The Discovery of Kepler's laws: interection of science, philosophy and religion*, Cambridge.
- KRAFFT, F., 1975, "Kepler's contributions to celestial physics", in *Vistas in astronomy*, nº 18, pp. 567 – 572.
- \_\_\_\_\_. 1975b, "Nicolaus Copernicus and Johannes Kepler: new astronomy from old astronomy", in *Vistas in astronmy*, nº 18, pp. 287 – 306.
- KUHN, T., 1957, *The copernican revolution*, Harvard University Press, Cambridge.
- \_\_\_\_\_, 1970, "Lógica da descoberta ou psicologia da pesquisa?", in *A crítica e o desenvolvimento do conhecimento*, Cultrix, São Paulo.
- LACEY, H. M., 1979, "Lições de Copérnico", *Ciência e Filosofia*, nº 1, pp. 111 – 124.
- LAKATOS I. & ZAHAR, E., 1975, "Why did Coperncicu's research program supersede Ptolemy's", in *The Copernican Achievement*, pp. 354 – 383.
- LAUDAN, L., 1977, *Progress and its problems*, Routledge & Kegan Paul, London.
- \_\_\_\_\_, 1984, *Science and values*, University of California Press, Los Angeles.
- LINDBERG, D. C., 1992, *The beginnings of western science*, University of Chicago Press.
- MARICONDA, P. R., 1992, "Duhem e Galileu (uma reavaliação da leitura duhemiana de Galileu)", in *Século XIX, o nascimento da ciência contemporânea*, coleção CLE, Unicamp, Campinas.

- MARTENS R., 1999, "Kepler's solution to the problem of a realist celestial mechanics", in *Studies in History and Philosophy of the Science*, vol. 30, nº 3, pp. 377 – 394.
- \_\_\_\_\_., 2000, *Kepler's philosophy and the new astronomy*, Princeton University Press, Princeton.
- MITTELSTRASS, J., 1975, "Epistemological elements in Kepler's astronomy", in *Vistas in astronomy*, nº 18, pp. 727 – 728.
- MOTZ L. & WEAVER, J. H., 1995, *The story of astronomy*, Plenum Press, New York, London.
- MOURÃO, R. R. F., 1995, *Dicionário enciclopédico de astronomia e astronáutica*, Rio de Janeiro, Nova Fronteira.
- NASCIMENTO, C. A., 1988, *Ciência e fé*, Instituto Cultural Ítalo-Brasileiro, São Paulo.
- NEUGEBAUER, O., 1975, "Notes on Kepler", in *Vistas in astronomy*, nº 18, pp. 781 – 785.
- \_\_\_\_\_., 1983, *Astronomy and history – selected essays*, Springer-Verlag, New York.
- PANNEKOEK, A., 1989, *A history of astronomy*, New York, Dover Publications.
- PEDERSEN O., 1996, *Early physics and astronomy*, Cambridge, University Press, Cambridge.
- RAVETZ, J. E., 1966, "The origins of the copernican revolution", *Scientific American*, pp. 88 – 98 (referência extraída de Wilson, C., 1975b).
- RYBKA, E., 1975, "Kepler and Copernicus", in *Vistas in astronomy*, nº 18, pp. 209 – 216.
- ROSEN, E., 1975, "Kepler's place in the history of science", in *Vistas in astronomy*, nº 18, pp. 279 – 286.
- ROSS, D., 1987, *Aristóteles*, Publicações Dom Quixote, Lisboa.
- ROSSI, P., 1992, *A ciência e a filosofia dos modernos*, Editora Unesp, São Paulo.
- \_\_\_\_\_., 2001, *O nascimento da ciência moderna na Europa*, Edusc, São Paulo.
- RUSSEL, J. L., 1964, "Kepler's laws of planetary motion: 1609 – 1660", in *The British Journal of the History of Science*, 2 – 3, pp. 1 – 24.

- \_\_\_\_\_: 1975, "Kepler and scientific method", in *Vistas in astronomy*, nº 18, pp. 733 – 746.
- RUSSO, F., 1990, *L'explication des mouvements des planètes des Grecs à Kepler*, Cahiers D'Histoire & Philosophie des Sciences, nº 30.
- SIMON, G., 1979, *Kepler, astronome astrologue*, Paris, Gallimard.
- STAHLMAN W. D., 1975, "Copernicus, Rheticus and Kepler", in *Vistas in astronomy*, nº 18, pp. 205 – 208.
- TOSSATO, C. R., 1997, *O processo de elaboração das duas primeiras leis keplerianas dos movimentos planetários*, dissertação de mestrado não publicada, Departamento de Filosofia da USP.
- VAN DE KAMP, P., 1975, "Keplerian motions", in *Vistas in astronomy*, nº 18, pp. 543 – 552.
- VAN HELDEN, A., 1986, *Measuring the universe – cosmic dimensions from Aristarchus to Halley*, The University of Chicago Press, Chicago.
- VERDET, J. P., 1991 *Uma história da astronomia*, Jorge Zahar Editor, Rio de Janeiro.
- VOELKEL, J. R., 1999, *Johannes Kepler and the new astronomy*, Oxford Portraits Science, New York.
- WESTFALL, R. S., 1999, *The construction of modern science*, Cambridge University Press.
- WESTMAN, R. S., 1975, "Continuities in Kepler scholarship: the european Kepler symposia in historiographical perspective", in *Vistas in astronomy*, nº 18, pp. 57 – 70.
- \_\_\_\_\_. 1975b, "Kepler's theories of hypothesis" in *Vistas in astronomy*, nº 18, pp. 713 – 720.
- \_\_\_\_\_. 1975c, "Kepler's theories of hypothesis and the 'realist dilemma'", in *Vistas in astronomy*, nº 18, pp. 721 – 724.
- \_\_\_\_\_. 1980, "The astronomer's role in the sixteenth century: a preliminary study", in *History of Science*, XVIII, nº 40, pp. 105 – 147.
- WHITESIDE, D. T., 1975, "Astronomical eggs – laid and unlaid – in Kepler's planetary theories, 1600 – 1605", in *Vistas in astronomy*, nº 18, pp. 553 – 556.

- WILSON, C., 1958, "Kepler's derivation of elliptical path", in *Isis*, nº 59, pp. 5 – 25.
- \_\_\_\_\_. 1975, Kepler's ellipse and area rule: their derivation from fact and conjecture", in *Vistas in astronomy*, nº 18, pp. 587 – 592.
- \_\_\_\_\_. 1975b, "Rheticus, Ravetz and the copernican revolution", *The copernican Achievement*, Los Angeles.



<b>SBD / FFLCH / USP</b>	
SEÇÃO DE: FILOSOFIA	TOMBO: 234578
AQUISIÇÃO: DOAÇÃO / SERVIÇO DE PÓS-GRADUAÇÃO /	
DATA: 11/04/03	PREÇO: R\$ 30,00