

A arte de formular hipóteses: a *Harmonia Mundi* de Kepler

Difícilmente, constata-se uma antítese maior do que entre Newton, que afirmava “Eu não faço hipóteses”, e Kepler, que se tornou um mestre nesta arte tipicamente humana. Não há melhor exemplo do que o caminho tomado por Kepler para a construção de hipóteses ricas de conseqüências, que o levou à descoberta das três leis planetárias. Kepler inspira o seu gênio na crença no Deus criador, que deu à Humanidade a capacidade de, pelo menos, divinizar o seu pensamento em uma aproximação sucessiva cada vez maior. A unidade da geometria e da música, teologia e observação da natureza, rigor científico e expressão poética, faz da *Harmonia do Mundo* de Kepler tanto um trabalho de arte quanto um trabalho desbravador na astronomia.

Na *Harmonia do Mundo*, Kepler descreve o desenvolvimento de suas hipóteses sobre o sistema planetário. A primeira hipótese geométrica de Kepler sobre a distância dos planetas do nosso Sistema Solar baseia-se nos cinco sólidos platônicos, as formas geométricas fundamentais do espaço visível. Como entre cada uma das trajetórias elípticas dos planetas aninha-se um sólido platônico, obtém-se uma ordenação geométrica que é uma aproximação bastante significativa da distância média real entre as órbitas planetárias (Figura 7). Kepler já havia desenvolvido esta hipótese na sua juventude e a publicou pela primeira vez em seu *Mysterium Cosmographicum* (Mistério cosmográfico).

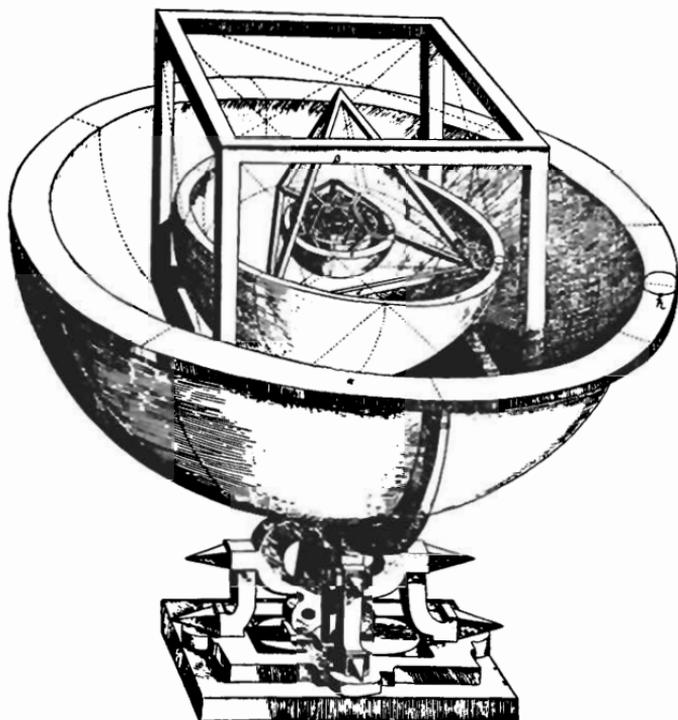
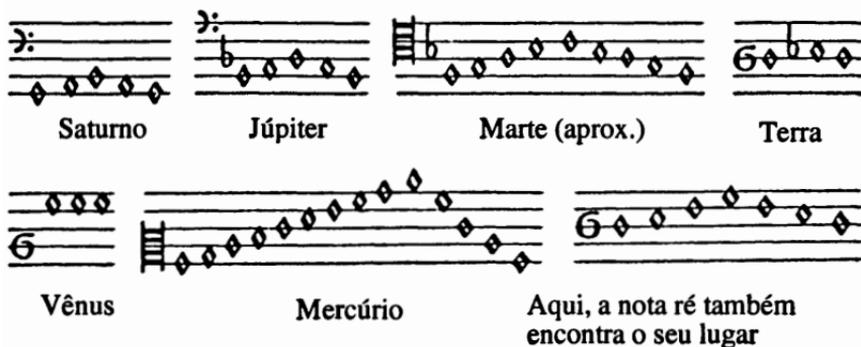


FIGURA 7. Modelo planetário de Kepler

O cubo fica entre Saturno e Júpiter; o tetraedro, entre Júpiter e Marte; o dodecaedro (12 faces), entre Marte e a Terra; o icosaedro (20 faces), en-



e a Terra e Vênus; e o octaedro, entre Vênus e Mercúrio.

FIGURA 8. A “Música das esferas” de Kepler

O trabalho de Kepler inspirou os cientistas J.D. Titius e J.E. Bode, em 1766, a formular a hipótese de que as distâncias dos planetas a partir do Sol estejam ordenadas em correspondência com a seguinte série em numérica:

0+4,	1(3)+4,	2(3)+4,	4(3)+4,	8(3)+4,	16(3)=4,
Mercúrio	Vênus	Terra	Marte	Cinturão de Asteróides	Júpiter

Isto contém uma série de potências de dois (2^n), se expressarmos os números em **negrito** da seguinte forma:

$$0=2^{-n}, \quad 1=2^0, \quad 2=2^1, \quad 4=2^2, \quad 8=2^3, \quad 16=2^4, \quad \text{etc.}$$

A partir disto, eles formularam a lei de Titius-Bode para a distância ao Sol do planeta a^n :

$$a^n = 0.1[2^n(3)=4]$$

A tabela seguinte mostra o grau de concordância entre o modelo planetário de Kepler, as distâncias médias dos planetas ao Sol, de acordo com o modelo de Titius-Bode, e as medições mais recentes e exatas. Na tabela, as distâncias planetárias ao Sol são dadas relativas à distância entre a Terra e o Sol como sendo 1.

	Mercúrio	Vênus	Terra	Marte	Cinturão de Asteróides	Júpiter	Saturno
Kepler	0.429	0.762	1	1,440	-	5,261	9,163
Titius	0,400	0,700	1	1,600	2,800	5,200	10,000
Moderno	0,390	0,720	1	1,520	-	5,200	9,500

Porém, Kepler não ficou satisfeito com o seu modelo planetário, pois as órbitas elípticas dos planetas não se ajustavam exatamente - com exceção do tetraedro - dentro dos corpos platônicos. A partir destes desvios, Kepler concluiu,

auto-criticamente, “que as formas fundamentais regulares não são suficientes para deduzir as distâncias... pois o Criador nunca se desvia do seu pensamento original”. Contudo, ele não ficou de maneira alguma irritado com isto e, ao contrário, escreveu na *Harmonia do Mundo*: “É um prazer contemplar os meus primeiros passos na descoberta, mesmo quando errados”.

Do astrônomo dinamarquês Tycho Brahe, Kepler obteve um conjunto completo de tabelas astronômicas, que são até hoje os dados mais exatos feitos sem o auxílio de um telescópio. De acordo com Kepler, as medições de Tycho Brahe significavam que todas as hipóteses prévias tinham dado um valor errado para a trajetória de Marte (o erro torna-se mais claro no caso de Marte, pois a sua órbita elíptica é a de maior excentricidade entre os seis planetas então conhecidos).

Kepler, portanto, deixou de lado a sua hipótese baseada nos sólidos platônicos: “Assim, derrubamos novamente a estrutura. Tínhamos que passar por isto, já que havíamos seguido algumas hipóteses plausíveis, mas na realidade falsas, ao copiar os mestres antigos. Quão grande esforço eu desperdicei ao copiar os antigos mestres!”

Com a ajuda dos dados observacionais de Tycho Brahe, bem como de hipóteses completamente novas de uma ordem superior, Kepler descobriu muito incidentalmente as três leis do movimento planetário válidas até hoje (vide também o Anexo V).

Os planetas, portanto, não se moviam em círculos, mas em elipses. No processo, eles mudam a sua velocidade, que atinge um máximo mais perto do Sol (periélio) e um mínimo mais longe dele (afélio). Kepler comparou, então, as velocidades angulares (W , expressas em minutos angulares) entre os planetas e com relação a um planeta entre seu afélio e o periélio, com isto descobrindo relações que correspondem a intervalos musicais:

Saturno	W no afélio 1'48''	relação 4/5
	W no periélio 2'15''	terça maior
Júpiter	W no afélio 4'35''	relação 5/6
	W no periélio 5'30''	relação terça menor
Marte	W no afélio 25'21''	relação 2/3
	W no periélio 38'1''	relação quinta
Terra	W no afélio 57'28''	relação 15/16
	W no periélio 61'18''	meio-tom
Vênus	W no afélio 94'50''	relação 25/25
	W no periélio 98'47''	sustenido
Mercúrio	W no afélio 164'	relação 5/12
	W no periélio 394'	oitava = terça menor

É assim que Kepler lista a harmonia dos planetas em sua *Harmonia do Mundo*. Naturalmente, todos os planetas passam através de todas outras notas que pertencem ao seu intervalo ao se deslocarem em suas trajetórias em torno do Sol. Kepler acrescenta uma ilustração da música das esferas (Figura 8) e comenta sobre isto: “Assim, todos estes movimentos celestes são nada menos que uma canção de muitas vozes eternamente maravilhosa, que transcende a discordância da tensão - apenas no pensamento, não reconhecidamente em notas reais”. Com senso de humor, Kepler acrescenta uma nota de rodapé: “A Terra canta mi-fá-mi, de forma que já se pode discernir destas sílabas que o nosso lar é governado pela *Miseria e Fames* (miséria e fome)”. Isto foi escrito em meio à Guerra dos Trinta Anos.

Assim, o Criador pintou “a infinidade da duração do mundo dentro da pequena fração de uma hora por meio de um trabalho musical estruturado com arte”. “Tentai seguir-me, músicos de hoje”, escreve Kepler, “e formai para vós um julgamento de acordo com as vossas regras da arte, que ainda não eram conhecidas na Antigüidade. Vós, finalmente, revelastes nos últimos séculos como a primeira [lei], na qual o Universo verdadeiramente se espelha, a Natureza que é sempre abundante, depois de 2.000 anos de geração. Por meio de suas melodias de múltiplas vozes, por meio de seus ouvi-

dos, ela [a Natureza] tem sussurrado ao espírito humano, o filho predileto do divino Criador, a sua essência mais íntima”. E, em uma nota de rodapé, ele conclama os compositores de seu tempo a compor um “moteto artisticamente justo” em seis vozes. “Quem quer que melhor expresse a música celestial apresentada em meu trabalho, possa-lhe dar Clio uma coroa de flores e Urânia lhe conceda Vênus como noiva”.

Com a hipótese das órbitas dos planetas, Kepler subiu para a geometria mais elevada da música polifônica. É também a esse domínio da geometria que pertence a ação espiral sobre a superfície de um cone. Esta é a maneira mais simples de apresentar processos nos quais ocorrem transformações neuentrópicas, nas quais se está obtendo trabalho útil. Estimulado por Kepler, Titius-Bode e por este autor, o Dr. Jonathan Tennenbaum elaborou um modelo que apresenta as órbitas planetárias elípticas como seções cônicas sobre um cone com o Sol em seu vértice. Um segundo cone com o mesmo ângulo apical, cujo vértice é formado pelo planeta mais interno, Mercúrio, esclarece a consequência das potências de dois, isto é, a duplicação ou “passos de oitava” na lei de Titius-Bode (Figura 9), relativa à distância média dos planetas ao Sol. De um planeta para o seguinte, a espiral auto-semelhança completa uma volta, durante a qual o comprimento percorrido ao longo do eixo é dobrado.

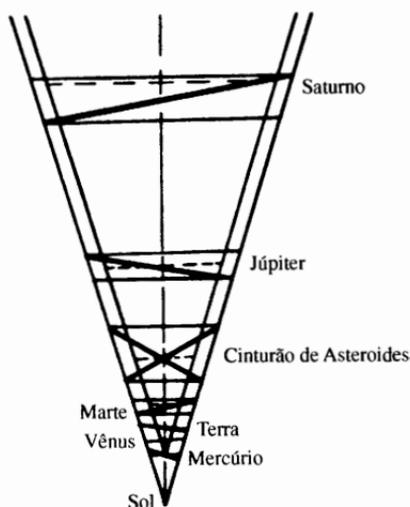


FIGURA 9. Modelo cônico dos planetas segundo Titius-Bode.

As distâncias médias dos planetas ao Sol mostram proporções auto-selhantes, como nos processos de crescimento orgânico e na música (saltos de oitava: 2^0 , 2^1 , 2^2 , ..., 2^n).

A excentricidade das órbitas corresponde a valores reais.

Entre Marte e Júpiter fica o Cinturão de Asteróides, para o qual a lei de Titius-Bode fornece a distância orbital. Por razões de harmonia geométrica, Kepler já suspeitava de uma outra “estrela errante” (planeta) desconhecida entre Marte e Júpiter (vide também o Anexo V).

Considerando tudo, poder-se-ia dizer: na formação de hipóteses, não se trata de descobrir desde o início uma “fórmula” válida eternamente - e quem quer que pretenda tê-lo feito é, provavelmente, mais um espião do que pesquisador - e sim uma hipótese que aponte na direção correta e traga o homem um passo mais perto do reconhecimento das leis da ordem da Criação, mesmo que esta ordem possa não ser completamente conhecida. Neste processo de aproximação é que reside o verdadeiro conhecimento, a verdade transfinita, a característica do espírito humano criador.