

REVOLUÇÃO NA ASTRONOMIA

1. A Revolução Copernicana

Nicolau Copérnico (1473-1543) estudou na Universidade de Cracóvia, na Polônia, e trabalhava para a assembleia dos cônegos na cidade de Frauenburg. Aos quarenta anos, passou a fazer observações astronômicas, e a perceber as imprecisões no *Almagesto* de Ptolomeu. O que mais lhe incomodava fora a introdução do equante (ver seção VIII.5), que conflitava com a regra de que os movimentos celestes deveriam ser circulares uniformes. Considerou então que o modelo geocêntrico de Aristarco (seção VIII.2) poderia simplificar a descrição do cosmos e eliminar a necessidade do equante, conservando apenas os movimentos circulares uniformes.

Em torno de 1510, fez circular um pequeno texto entre seus amigos, chamado *Commentariolus*⁶⁷, em que expunha os argumentos a favor da hipótese heliocêntrica. Suas ideias foram bem recebidas, e um resumo foi até apresentado para o papa, em 1533. O matemático Rheticus (1514-76) aderiu a suas ideias e escreveu um panfleto sobre o movimento da Terra em 1540. Aceitou providenciar a impressão do livro mais completo de Copérnico, *De revolutionibus orbium coelestium*, ou seja, das revoluções das esferas cristalinas, que acabaria sendo publicado em 1543 (Copérnico teria visto sua publicação em seu leito de morte). Rheticus, porém, passara a edição do livro para o clérigo Andréas Osiander⁶⁸, que escreveu um prefácio em que salientara que a obra de Copérnico visava apenas “salvar os fenômenos” (ver seção VIII.4), fornecendo “um cálculo coerente com as observações”, e não um retrato real do Universo.

Copérnico utilizou os dados de Ptolomeu, e colocou o Sol perto do centro das órbitas planetárias (ou seja, o Sol não ficava exatamente no centro do Universo). A Terra giraria diariamente em torno do seu eixo e revolucionaria em torno do Sol ao longo do ano. Um terceiro movimento de “trepidação” do eixo da Terra foi também introduzido. Copérnico se esforçou para eliminar o equante, mas este reapareceu de forma diferente, como um círculo adicional. Copérnico conseguiu resolver o problema da variação do diâmetro aparente da Lua, que Ptolomeu reconheceu como uma “anomalia” (problema não resolvido) de sua teoria, mas isso já tinha conseguido (de outra maneira) pelos astrônomos árabes.

No total, Copérnico utilizou 34 círculos, comparado com os 36 círculos de Ptolomeu. Em termos de simplificação, o resultado não foi tão animador. No entanto, o sistema copernicano tinha uma superioridade teórica, que se tornaria clara mais tarde: ele fornecia um método para calcular as distâncias planetárias (em função do raio da órbita da Terra) que era diferente do método ptolomaico e envolvia menos hipóteses (Fig. XIII.1) (Ptolomeu tinha que supor que não havia espaço vazio entre as faixas que os epiciclos de cada planeta descreviam, como se vê na Fig. VIII.8).

⁶⁷ COPÉRNICO ([1510] 2003), op. cit. (nota 40). Nesta seção, utilizam-se DREYER, op. cit. (nota 62), e RONAN, op. cit. (nota 5), vol. III, pp. 66-72. Da p. 88 deste último foi retirada Fig. XIII.2.

⁶⁸ OSIANDER, A. (1980), “Prefácio ao *De revolutionibus orbium coelestium*, de Copérnico”, trad. e notas de Z. Loparić, *Cadernos de História e Filosofia da Ciência 1*, 1980, pp. 44-61 (orig. em latim: 1543). O texto de Osiander (pp. 57-60) foi lido em aula.

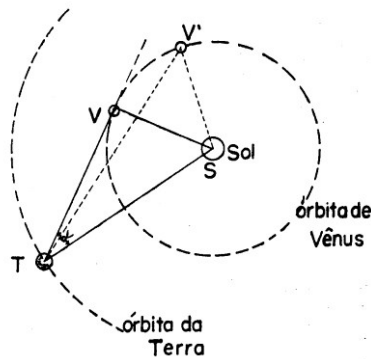


Figura XIII.1. Quando Vênus (V) é vista da Terra (T) com o máximo de distanciamento em relação ao Sol (S), formando um ângulo α , o triângulo SVT é reto (ou seja, o ângulo em V é 90°), segundo o modelo copernicano. Assim, pode-se calcular a distância VS (de Vênus ao Sol) em relação à distância TS da Terra ao Sol: $VS = TS \cdot \text{sen } \alpha$.

2. Tycho Brahe

Tycho Brahe (1546-1601) pode ser considerado o Hiparco moderno: levou as observações astronômicas a um grau de resolução (exatidão) jamais obtido antes dele, ao construir grandes quadrantes para observação a olho nu. Antes dele, a acurácia das observações chegava a em torno de 15 minutos de arco, ao passo que ele atingiu uma média de 2 minutos de arco. Nascido na Dinamarca, observou em 1572 uma estrela nova no céu. Ao comparar sua observação com a de outros astrônomos, em outros locais, concluiu que ela estava muito além da Lua. Isso ia contra a concepção aristotélica de que o céu (para além da Lua) seria imutável.⁶⁹

Após a construção de seu observatório no castelo de Uraniborg, na ilha de Hveen, apareceu em 1577 um grande cometa, e novamente Tycho pôde concluir que se localizava para além da Lua, e mais: tal cometa atravessaria os orbes planetários, de tal forma que as supostas esferas cristalinas não poderiam existir. Tycho não aceitava as ideias de Copérnico: ao tentar medir a paralaxe estelar, concluiu que se Copérnico estivesse certo, a esfera das estrelas teria que estar mais de 700 vezes mais distante que a órbita de Saturno. Eliminou a noção da “trepidação” do polônês, e observou variações na excentricidade e nos epiciclos dos planetas que seriam aproveitadas por Kepler em sua descoberta das órbitas elípticas.

Tycho Brahe foi obrigado a modificar o sistema ptolomaico de forma a aproveitar as medições de distâncias planetárias de Copérnico. Em seu sistema, a Terra se encontra no centro, com a Lua orbitando mais próxima. Em seguida, vem o Sol, sendo que todos os outros planetas giram em torno do Sol, e não da Terra!

3. Johannes Kepler

Com a morte do rei da Dinamarca, em 1588, Tycho perdeu o financiamento para suas observações, e acabou se mudando para Praga, em 1597, tornando-se “matemático imperial”. Ali, tomou como assistente o alemão Johannes Kepler (1571-1630), que havia publicado um livro que o impressionara muito, o *Mysterium cosmographicum*, de 1596.

Neste livro, Kepler aceitou o heliocentrismo de Copérnico, e buscou explicar as causas do fato de as distâncias planetárias terem os valores que tinham, segundo o método de cálculo copernicano. Como havia seis planetas, teve a ideia de inserir poliedros regulares (Fig. VII.2) entre as esferas planetárias, já que existem apenas cinco destes poliedros. A orbe mais externa, de Saturno, teria inscrito em si um cubo, que teria inscrito em si a esfera de Júpiter, seguido de

⁶⁹ THOREN, V.E. (1990), *The lord of Uraniborg: a biography of Tycho Brahe*, com contribuições de J.R. Christianson, Cambridge U. Press.

um tetraedro, esfera de Marte, dodecaedro, esfera da Terra, icosaedro, esfera de Vênus, octaedro e esfera de Mercúrio (Fig. XIII.2). A concordância com as medições astronômicas era razoável, desviando mais para Mercúrio e Saturno.

Tycho impressionou-se com a habilidade matemática de Kepler, e o aceitou como assistente em 1600, quando este teve que sair de Graz (onde ganhara uma boa fama como astrólogo) devido a perseguição religiosa. Em seu leito de morte, um ano depois, Tycho passou para Kepler seus dados astronômicos, que mantivera em sigilo, na esperança de que eles confirmassem o seu sistema e refutassem o de Copérnico.

Apontado matemático imperial, Kepler debruçou-se sobre os dados astronômicos de Marte, obtidos noite após noite por Tycho. Após anos de estudos, concluiu que nem o modelo de Tycho nem o de Copérnico salvavam as aparências. Como não deveria haver esferas cristalinas, concebeu a órbita real dos planetas, e supôs inicialmente que a órbita de Marte seria circular. Encontrou, porém, erros de 8 minutos de arco (ou seja, um ângulo em torno de um décimo de grau), concluindo que tal movimento não seria uniforme (ou seja, não teria velocidade angular constante). Cada cálculo de órbita de Marte feita por Kepler usava dados de quatro órbitas marcianas, sendo que cada uma tem um período de dois anos terrestres.⁷⁰

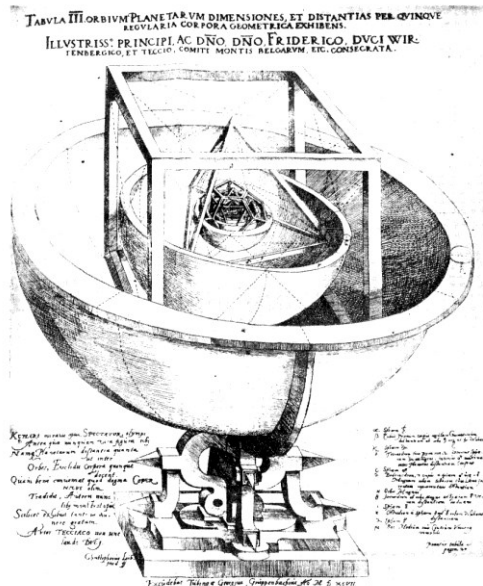


Figura XIII.2. Modelo astronômico de Kepler (1695), com seis esferas planetárias encaixadas em cinco poliedros regulares. Desenho de C. Leibfried (1597).

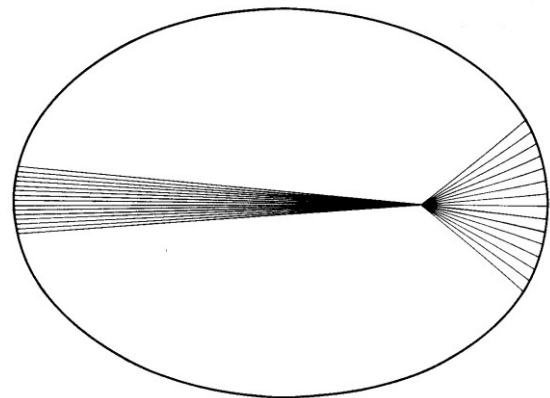


Figura XIII.3. Lei das Áreas. Nesta elipse em que o Sol se localiza em um dos focos, a área varrida pela Terra durante um certo tempo em sua órbita é igual à área varrida em outro trecho, apesar da Terra se locomover mais rapidamente no periélio (ponto mais próximo do Sol) do que no afélio (ponto mais distante).

Desiludido, voltou sua atenção para a órbita da Terra, aplicando a abordagem anterior. Descobriu então a chamada “lei das velocidades” (análoga à lei da alavanca), segundo a qual a velocidade v da Terra seria inversamente proporcional à sua distância R do Sol: $v \propto 1/R$. Newton mostraria que esta lei é errônea, mas Kepler a utilizou para derivar uma outra lei, esta sim considerada verdadeira: a “lei das áreas”. Esta lei diz que a área do setor subentendido pelo

⁷⁰ Segue-se em parte o belo livrinho de WESTFALL (1971), op. cit. (nota 61), cap. I, de onde foram tiradas as Figs. XIII.3 e 4. Outro livro muito bom é: COHEN, I.B. (1967), *O nascimento de uma nova física: de Copérnico a Newton*, Edart, São Paulo (há uma 2ª edição em inglês), de onde foram tiradas as Figs. XIII.1 e XIII.5.

movimento planetário, centrado no Sol, em um certo intervalo de tempo, é uma constante (Fig. XIII.3). Como é possível que Kepler tenha partido de uma hipótese errônea, feito um raciocínio falacioso, e chegado a uma resposta correta? Episódios desse tipo não são tão incomuns na ciência! É claro que Kepler teve um bocado de sorte, mas ao fazer uma comparação minuciosa dos resultados teóricos com os dados experimentais, ele pôde sentir-se seguro de que sua conclusão era correta.

Kepler rompeu com a tradição do salvamento das aparências, e se perguntava pela *origem das forças celestes*. Concluiu que o Sol seria o centro dinâmico dos movimentos: quanto mais distante estivesse o planeta, menor seria a força que mantém seu movimento (a lei das velocidades). Essa concepção dinâmica associada ao Sol tinha aparecido no *Mysterium cosmographicum* como *anima motrix*, ou alma motiva. Mais tarde, em 1621, na 2ª edição deste livro, Kepler introduziu uma nota reconhecendo que esta força, *vis*, seria corpórea. Mas o que causaria a variação das distâncias? Em 1600, William Gilbert havia escrito seu influente livro sobre o magnetismo (seção XII.2), e Kepler imaginou um mecanismo segundo o qual a atração entre o Sol e os planetas seria de natureza magnética (Fig. XIII.4). Refletindo sobre este modelo, Kepler acabou se livrando das órbitas circulares, e então surgiu a questão de qual seria a órbita planetária. De início imaginou uma figura oval, mas depois concluiu que seria uma elipse, com o Sol localizado em um dos focos da elipse. Publicou suas conclusões em 1609, no livro *Astronomia nova*.

Mais tarde, em 1618, publicou a *Harmonia do mundo*, onde apresentou sua terceira lei, que relaciona o período T de revolução planetária (que para a Terra é de 1 ano) com o raio médio R do planeta: $T^2/R^3 = \text{cte}$ (lei sesquiáltera). Nesta obra, Kepler estabeleceu uma relação entre as velocidades nas órbitas elípticas e a harmonia musical, dentro do ideal pitagórico-platônico da “música das esferas”.

4. O Telescópio nas Mãos de Galileo

No mesmo ano em que aparecia a *Astronomia Nova*, Galileo Galilei (1564-1642) voltava o telescópio para os céus, e descobria uma série de fatos inesperados. O telescópio fora desenvolvido em Middelburg, nos Países Baixos, em 1608, por Hans Lipperhey e por outros, e um ano depois o instrumento já havia se disseminado pela Europa. No verão de 1609, Galileo Galilei começou a fazer seus telescópios, obtendo em agosto uma magnificação de 9x, e no início de 1610 atingindo quase 30x. Outros pesquisadores seguiam independentemente o mesmo caminho de aperfeiçoamento e observação astronômica do italiano, como o inglês Thomas Harriot, os alemães Simon Marius e Christoph Scheiner e o francês Nicholas Fabri de Peiresc.⁷¹

Olhando para a Lua, Galileo reconheceu crateras, além de observar manchas escuras no Sol. Tais observações já não traziam tanto impacto, pois Tycho Brahe já sublinhara a mutabilidade e imperfeição dos céus. O que foi mais espantoso foi a observação das quatro luas de Júpiter, que tornava aceitável a distinção entre a Lua e os planetas, implícito no sistema copernicano. Além disso, Galileo observou fases no planeta Vênus, o que não podia ser explicado no sistema de Ptolomeu, só nos de Copérnico, Tycho ou Kepler (Fig. XIII.5). Essas descrições aparecem no seu livro *Mensageiro sideral* (1610). Devido a essas opiniões, Galileo teve problemas com a Igreja, e manteve um certo silêncio até 1623, quando publicou *O ensaiador*, sobre a natureza dos cometas.

Galileo defendeu, assim, o sistema copernicano com base em argumentos empíricos, mas precisava explicar porque uma pedra jogada verticalmente não cai para oeste (já que a

⁷¹ VAN HELDEN, A. (1977), “The invention of the telescope”, *Transactions of the American Philosophical Society* 67: 1-67.

Terra estaria girando no sentido leste), enquanto a pedra permanecia no ar. Era preciso construir uma nova física do movimento.

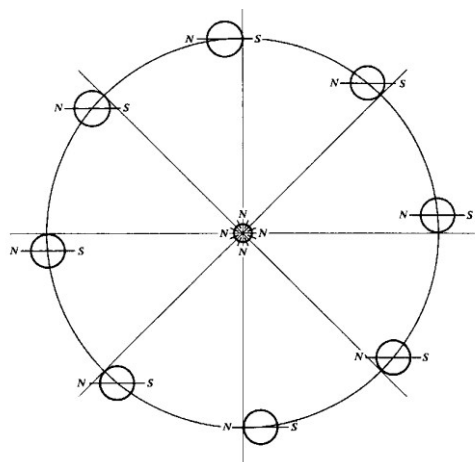


Figura XIII.4: Modelo magnético sugerido por Kepler antes de 1609, para explicar a excentricidade da órbita terrestre. O sol seria um ímã peculiar, com o pólo norte em sua superfície e o sul em seu centro. A Terra teria um eixo magnético apontando numa direção fixa, e seria atraída pelo Sol durante metade de sua órbita e repelida durante a outra metade.

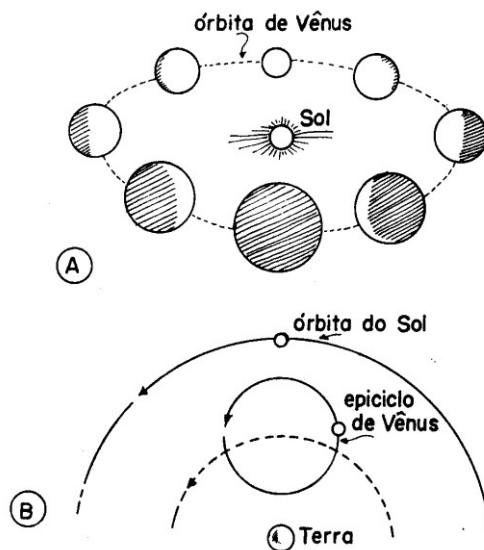


Figura XIII.5: A) Fases de Vênus segundo o modelo copernicano; note a alteração do tamanho aparente. B) No modelo ptolomaico, não haveria grandes diferenças na fase de Vênus.

5. A Nova Física de Galileo

Em 1590, Galileo já tinha estudado o problema da queda dos corpos, em seu livro *De motu*. Neste período, porém, ele ainda estava fortemente influenciado pela teoria do ímpeto (seção IX.4). Os estudos de Galileo para resolver o problema do movimento da Terra culminaram com a publicação dos seus *Diálogos sobre os dois máximos sistemas do mundo* (1632)⁷². Nesta obra aparece a noção de *inércia*, que é a tendência de um corpo de permanecer em seu estado de movimento até que uma causa externa atue para tirá-lo deste estado (Galileo não foi tão explícito quanto esta definição newtoniana). Assim, a pedra que está na mão do atirador compartilha do movimento da Terra; ao jogá-la verticalmente para cima, ela acompanha o movimento horizontal da Terra, e assim cai de volta exatamente na mão do atirador, e não para leste. Outro exemplo de Galileo: um marinheiro que solte uma pedra, de cima do mastro de um navio em movimento uniforme, a verá cair rente ao mastro.

Ao refletir sobre qual seria este estado de movimento inercial, Galileo concluiu que seria um movimento circular em volta da Terra (semelhante ao movimento da Lua em torno da Terra). É verdade que em tal movimento atua uma força dirigida ao centro da Terra, mas se esta força for “anulada”, por exemplo colocando-se uma bola em uma superfície perfeitamente lisa (sem atrito), ela então rolará eternamente em volta da Terra. Naturalmente, em Galileo, não há propriamente uma “força” da gravidade, mas há uma tendência dos corpos pesados de se moverem para o centro da Terra (como diria Aristóteles).

⁷² GALILEI, G. (2001), *Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano*, tradução, introdução e notas: P.R. Mariconda, Discurso Editorial, São Paulo (orig. em latim: 1632).

Note que a noção de inércia não é extraída diretamente das observações. Galileo teve que fazer uma *idealização*, a de que poderia existir um movimento em uma superfície sem atrito: todo movimento macroscópico tem atrito! Outra idealização semelhante foi a de que todos os corpos caem com a mesma aceleração em um ambiente sem resistência do ar. Na prática, corpos pesados tendem a ter uma aceleração um pouco maior devido ao efeito da resistência, mas Galileo percebeu que a física deve ser construída a partir de situações idealizadas. Em 1660, Robert Boyle usaria um tubo evacuado para demonstrar experimentalmente que uma moeda e uma pena felpuda caem com a mesma aceleração.

Esta concepção (assim como a de Copérnico e Kepler) pode ser considerada platônica, no sentido de a descrição da astronomia e da física se refere a um mundo idealizado, expresso por relações matemáticas abstratas. No entanto, essa concepção não busca apenas salvar as aparências, mas sim exprimir as causas reais. No *Ensaíador* escreveu: “A natureza está escrita em um código, e a chave do código é a matemática”. O próprio sistema copernicano seria antes fruto do intelecto (dos “olhos da mente”) do que dos sentidos, como propõe Salviati, personagem que defende a visão galileana nos *Diálogos*. Em 1633, Galileo foi processado pela Inquisição e condenado à prisão domiciliar.

Em 1638, Galileo publicou na Holanda o *Discurso sobre as duas novas ciências*, em que apresentou sua solução ao problema da queda livre, baseado em experimentos de queda em planos inclinados. Uma pedra em queda livre adquire incrementos de velocidade: como o princípio do movimento (a gravidade) é constante, a aceleração também é constante.

Galileo não foi o primeiro a descrever o movimento em queda livre como acelerado (ver seção IX.4), mas foi o primeiro a perceber claramente que a velocidade de queda aumenta de maneira proporcional apenas com o tempo ($v \propto t$), e não com a distância, resultando na constatação de que a distância percorrida d aumenta com o quadrado do tempo t transcorrido: $d \propto t^2$. Mais tarde, em uma publicação de 1644, Evangelista Torricelli provaria que $v^2 \propto d$.

MÉTODO CIENTÍFICO NO SÉC. XVII

1. Francis Bacon

O inglês Francis Bacon (1561-1626) foi um dos arautos do novo espírito científico, apesar de não ter sido um cientista importante. Era um escritor muito eloquente, como mostra uma de seus aforismos: “A natureza não se vence, se não quando se lhe obedece” (*N.O.* I, § III).

Sua obra mais importante foi o *Novum organon* (1620)⁷³, em que defende uma versão do *empirismo*: o cientista deve eliminar predisposições e preconceitos e observar a natureza como faz uma criança. Adverte para os quatro “ídolos” que bloqueiam a mente humana (os *eidolon*, para Epicuro, são emanções materiais, formadas por átomos sutis, que são emitidas pelas coisas e impressionam nossos órgãos dos sentidos).

Os “ídolos da tribo” são fruto da própria natureza humana. Tendemos a postular uma maior regularidade na natureza do que a que é de fato observada. Envolvem os atos de generalizar apressadamente e de superestimar os casos que confirmam uma hipótese (ver *Novum organon*, livro I, § XLI, XLV e LI).

Os “ídolos da caverna” são atitudes diante da experiência que resultam da educação de cada homem individual, de suas peculiaridades, de seus traumas. Como exemplo, Bacon menciona William Gilbert (que vimos na seção XIII.2), que observou corretamente as propriedades dos ímãs, mas devido ao seu modo de ver o mundo, desenvolveu explicações distorcidas (ver *N.O.* I, § XLII, LVII).

Os “ídolos do foro” são distorções que surgem quando os significados das palavras são usados em sentido vulgar ou ambíguo (*N.O.* I, § XLIII, LX). Por fim, os “ídolos do teatro” incluem os dogmas e métodos recebidos de sistemas filosóficos.

Bacon refere-se a três diferentes escolas filosóficas que contribuiriam para a distorção de nossa visão objetiva do mundo. A escola “racional” ou sofisticada seria representada por Aristóteles e os aristotélicos em geral, que tendem a desprezar a experiência. A escola que Bacon chama de “empirista” seria representada por Gilbert e pelos alquimistas, e se caracterizaria pela realização de experimentos esparsos e muita especulação. A terceira escola envolveria superstição e uma mescla com a teologia, sendo representada por Pitágoras, Platão e os neoplatonistas.

Bacon critica Aristóteles, apesar de aceitar as linhas gerais de sua metodologia científica, baseada na indução e dedução (o método de composição e resolução dos medievais). Com relação ao estágio indutivo, Bacon critica a coleta de dados ao léu e a precipitação de Aristóteles em fazer generalizações para primeiros princípios (*N.O.* I, § XIX, XXII). Lembra que a indução por simples enumeração pode levar a conclusões falsas. Com relação ao estágio dedutivo, Aristóteles não teria defendido adequadamente os conceitos usados em suas deduções (conceitos como atração, geração, elemento, pesado, úmido). Notando que uma dedução só tem valor científico se as premissas tiverem bom suporte indutivo, acusou injustamente a Aristóteles de não se preocupar com esta questão.

Francis Bacon partilhava a ênfase de Roger Bacon com relação à importância da experimentação sistemática. Salientava também a importância dos instrumentos científicos. Seu método defendia induções graduais e progressivas, a partir da coleta sistemática de observações. Propunha a compilação de três tábuas para auxiliar a indução (*N.O.* II, § XI-XIII):

⁷³ BACON, F. (1979), “Novum organon”, trad. J.A.R. de Andrade, in *Os Pensadores*, Abril Cultural, São Paulo, pp. 1-231 (orig. em latim: 1620). Além dos livros de LOSEE (1979) e OLDROYD (1986), op. cit. (notas 16 e 17), um bom relato sobre Bacon é dado por DIJKSTERHUIS, E.J. (1986), *The mechanization of the world picture*, trad. C. Dikshoorn, Princeton U. Press (orig. em holandês: 1950), pp. 396-403.

<u>Tábua de Presença</u>	<u>Tábua de Ausência</u>	<u>Tábua de Graus</u>
Casos positivos do fenômeno investigado.	Casos em que o fenômeno não ocorreu.	Lista das variações de grau de um fenômeno.
<i>Exemplo: O fenômeno do calor, que dá origem à sensação de quente.</i>		
Raios do Sol, Fogo, Termas, Atrito entre pedras, Água em cal viva, etc.	Raios da Lua Água, Ventos Frios, Ar no sótão no verão, etc.	Calor animal aumenta com exercício, com febre, com dor, ao beber vinho... Calor do Sol depende de sua distância...

Bacon infere, então, a partir dessas listas, que a natureza do calor é o “movimento expansivo restringido de pequenas partículas de um corpo”. Tal concepção é bastante próxima de nossa visão atual, mas certamente ela não foi obtida apenas por indução a partir das tábuas, ao contrário do que pretendia Bacon. Essa concepção “cinética” do calor tornar-se-ia aceita por Boyle e Newton, para depois ser suplantada pela teoria do “calórico”, o fluido do calor.

Em geral, reconheceu Bacon, essas tábuas podem não ser suficientes para se tirar uma conclusão, de forma que se devem buscar “instâncias prerrogativas”, que exibam o fenômeno de maneira especial. Ele listou 27 dessas instâncias; uma delas, por exemplo, são as instâncias cruciais (*N.O.* II, § XXXVI), que envolvem um experimento que consegue decidir entre duas explicações competidoras.

O crescimento da ciência, segundo Bacon, se dá por *ascensão indutiva*: parte-se de fatos observados, a partir deles obtêm-se correlações de fatos, a partir destas correlações mais abrangentes, e por fim as leis gerais (que chamou de “formas”). A finalidade da ciência, encapsulada em sua máxima “saber é poder”, é de ordem prática, visa melhorar o padrão de vida dos seres humanos, aliviar suas dores e ansiedades. Assim, dedicou especial atenção à organização social da pesquisa científica.

No aforismo XCV (*N.O.* I), Bacon faz uma analogia entre os métodos científicos e os insetos. O empirista ingênuo seria uma formiga, que apenas coleta as coisas e as utiliza; o racionalista seria uma aranha, que produz a teia do conhecimento a partir de sua própria matéria; já o verdadeiro cientista seria como a abelha, que coleta material das flores distribuídas por uma vasta área e o digere por meio de seus próprios recursos, gerando mel.

A visão de ciência de Francis Bacon tinha suas limitações, o que gerou o desprezo de alguns comentadores, como Alexandre Koyré. O inglês não deu a devida atenção à matemática, o que reflete o fato de não ter conhecido o trabalho em mecânica de Galileu. Bacon também não percebeu a importância de Copérnico.

A proposta metodológica de Bacon foi desenvolvida na Inglaterra até 1690, aproximadamente, quando a metodologia experimental-matemática de Newton ganhou a cena. Os maiores defensores de sua abordagem foram Robert Boyle e Robert Hooke, no que é chamado da filosofia experimental de Bacon-Boyle-Hooke.⁷⁴

⁷⁴ ANSTEY, P. (2014), “Philosophy of experiment in early modern England: the case of Bacon, Boyle and Hooke”, *Early Science and Medicine* 19: 103-32.

2. Há Observações Neutras?

Vimos como Francis Bacon salientava a importância, para a ciência, de se observarem os fenômenos naturais “como uma criança”, sem a imposição de concepções teóricas. Afinal, há vários exemplos de como a concepção teórica pode “contaminar” as observações, tanto positivamente, como nas evidências levantadas na antiga China a respeito da existência de capilares entre as artérias e as veias, fruto de sua teoria de que o sangue deveria circular no corpo humano (dentro da concepção taoísta de que, em geral, tudo circula), quanto negativamente, como na não-observação das manchas solares no Ocidente, devido à teoria aristotélica de que os céus são imutáveis (tais manchas foram observadas na China em torno do séc. I d.C.).

A tese de que há observações neutras, não impregnadas de teoria, é uma das teses centrais do *empirismo moderno*, desenvolvido especialmente nas ilhas britânicas a partir do séc. XVII. Ela seria incorporada pelas correntes positivistas do séc. XIX e XX, mas seria atacada por diversos autores, especialmente a partir de 1950.

Norwood Russell Hanson (1924-67) dividia seu tempo entre aulas de filosofia da ciência e a pilotagem de seu avião de acrobacia, quando publicou em 1958 o livro *Padrões de descoberta*.⁷⁵ Ele inicia sua análise do conceito de “observação” com a seguinte situação imaginária envolvendo os dois maiores astrônomos em 1600:

“Consideremos Johannes Kepler: imaginemos que ele esteja em um morro assistindo ao alvorecer. Com ele está Tycho Brahe. Kepler considerava que o Sol estaria fixo: seria a Terra que se move. Mas Tycho seguia Ptolomeu e Aristóteles pelo menos quanto a isso: a Terra estaria fixa e todos os outros corpos celestes se moveriam ao seu redor. Kepler e Tycho vêem a mesma coisa a leste no alvorecer?” (HANSON, p. 5)

Poder-se-ia argumentar que sim: os *dados sensoriais* recebidos por suas retinas seriam quase idênticos, e o que mudaria seria só a *interpretação dada para a sensação*. Assim, ambos veriam a mesma cena, mas Tycho interpretaria os dados como mostrando o Sol se movendo, ao passo que Kepler os interpretaria como mostrando o movimento da Terra.

Hanson passa a atacar esta “teoria dos dados sensoriais” (*sense-data theory*), e considera aquelas figuras que podem ser vistas de dois modos, como o “pato-lebre” apresentado por Wittgenstein (Fig. XIV.1). Para ele, esta figura pode *ser vista* de duas maneiras diferentes, assim como Kepler e Tycho “veriam” duas cenas diferentes. A defesa empirista seria que, no caso da figura ao lado, a aparência de pato ou de lebre seriam diferentes “interpretações” de uma mesma coisa vista. A isto, Hanson retruca que “interpretar” é uma ação do pensamento, ao



Fig. XIV.1: Figura de perspectiva reversível: pato ou lebre?

passo que o que ocorre aqui são “estados de experiência” diferentes; tanto é assim, que a mudança de pato para lebre pode ocorrer espontaneamente. Se, para Hanson, a diferença entre as duas situações não é de natureza interpretativa, de que natureza é ela? Sua resposta é que ela é de natureza linguística. Ao “ver”, nós na verdade estamos “vendo que ...”, onde as reticências

⁷⁵ HANSON, N.R. (1958), *Patterns of discovery*, Cambridge University Press. Em português, há o artigo: HANSON, N.R. (1972), “Observação e interpretação”, in Morgenbesser, S. (org.), *Filosofia da ciência*, trad. L. Hegenberg & O. S. da Mota, Cultrix, São Paulo, pp. 125-38. Uma análise famosa do positivismo lógico e de seus críticos é fornecida pela longa introdução de SUPPE, F. (org.) (1977), *The structure of scientific theories*. 2ª ed. Urbana: University of Illinois Press, pp. 1-241 (1ª ed.; 1973), que esclarece Hanson nas pp. 151-66. Há um “resumão” em português do texto de Suppe, na internet. A Fig. XIV.1 é apresentada por WITTGENSTEIN, L. (1979 [1953]), *Investigações filosóficas*, Abril Cultural, São Paulo, p. 189.

exprimem o fato de que a observação é carregada de teoria, exprimem o fato de que algo pode ser *dito* sobre o que é visto.

Em suma, Hanson admite que Tycho e Kepler compartilham os mesmos dados do sentido, mas tais dados são como uma representação pictórica, ou um estado físico da retina, e não estabelecem uma referência linguística. Ora, como Hanson argumentou anteriormente que toda observação tem uma dimensão linguística (pois é sempre “observação de que...”), ele conclui que a teoria empirista dos dados sensoriais é incorreta, que toda observação é carregada de teoria (*theory-laden*), e que Tycho e Kepler viram diferentes alvoradas.

Thomas Kuhn aderiu à tese da carga teórica das observações, defendendo que, num certo sentido, Tycho e Kepler “viviam em mundos diferentes”, na medida em que estavam imersos em paradigmas opostos. A transição de uma perspectiva para outra costuma ser chamada de “mudança de *Gestalt*” (onde *Gestalt* é o termo alemão para “forma”), e se aplica não somente para figuras, mas também para sutis mudanças de visões de mundo.

A concepção de que a mente tem um papel ativo na construção das observações pode ser chamada de *construtivismo*. Na filosofia, Immanuel Kant foi o defensor de um construtivismo bastante forte, que afirmava que o próprio espaço e tempo seriam construções da mente, além das “categorias do entendimento”, como causalidade, substância etc. Houve um célebre debate entre o empirismo e o construtivismo na Inglaterra, onde William Whewell, sob influência de Kant, desenvolveu um construtivismo mais ameno, em que defendia que “todo fato envolve ideias”, ou seja, todo fato é apreendido sob uma certa perspectiva teórica. Ao enfocar uma reunião de fatos isolados, como nos dados planetários de Kepler, Whewell argumentava que “há um novo elemento” acrescentado por meio do ato de pensar: “As pérolas estão lá, mas não formarão o colar até que alguém providencie o fio”. Ou seja, Kepler projetou nos dados a construção mental conhecida como elipse. Em oposição a ele, John Stuart Mill afirmava que a elipse que Kepler identificou nas órbitas planetárias “estava nos fatos antes que a reconhecesse [...] Kepler não *colocou* o que concebera nos fatos, mas *viu* isso neles”.

A tese da carga teórica das observações foi defendida também por outros filósofos da ciência, como Pierre Duhem e Carl Hempel. Mais recentemente, o debate foi retomado por Jerry Fodor e Paul Churchland,⁷⁶ com o primeiro dando o exemplo de ilusões de óptica, que mesmo com o sujeito sabendo que se trata de uma ilusão não deixam de ser vistos (indicando neste caso que a teorização não consegue alterar a observação).

Como o leitor vê este debate?

3. Método Científico em Descartes

Em oposição a Bacon, Descartes⁷⁷ compreendia bem a importância da matemática para a ciência natural. Este admirava o filósofo inglês, mas inverteu seu método científico. Ao invés de defender uma ascensão indutiva a partir de observações, Descartes partiu do conhecimento claro (imediatamente presente ao espírito) e distinto (não condicionado) de princípios gerais, como o da conservação da quantidade de movimento, e buscou deduzir leis gerais da mecânica,

⁷⁶ O debate Mill x Whewell está em: MILL, J.S. ([1843] 1979), *Sistema de lógica dedutiva e indutiva*, trad. J.M. Coelho, Livro III, cap. II, §3, in *Os Pensadores*, 2ª ed., Abril Cultural, São Paulo, pp. 171-4. O debate iniciado pela vovózinha de Fodor está em: FODOR, J. (1984), “Observation reconsidered”, *Philosophy of Science* 51, pp. 23-43. A réplica foi CHURCHLAND, P.M. (1988), *Philosophy of Science* 55, p. 167-87, seguido pela tréplica de FODOR, idem, pp. 188-98.

⁷⁷ Sobre o método científico em Descartes, consultamos LOSEE (1979), op. cit. (nota 16), pp. 82-90, DIJKSTERHUIS (1986), op. cit. (nota 73), pp. 407, 415, e o relato de BLAKE, DUCASSE & MADDEN (1960), op. cit. (nota 60), pp. 75-103.

como as leis do choque. De fato, em alguns momentos, Descartes parece sugerir a possibilidade de deduzir toda a física a partir de primeiros princípios (*Le monde*, XI, 47).

No entanto, nos momentos em que Descartes busca realizar este projeto, e nos momentos em que empreende investigações sobre fenômenos naturais, fica clara a importância da experiência. Ele se interessou pelo polimento de lentes, fez experimentos com arco-íris artificiais, mediu a densidade do ar, fez observações sobre a circulação sanguínea e realizou observações meteorológicas bastante precisas. Ao buscar derivar uma lei empírica, como a da refração da luz, era obviamente necessário realizar experimentos. Uma vez conhecida a lei empírica, Descartes buscava derivá-la de princípios gerais, mas para tanto era preciso levar em conta *condições particulares* aos fenômenos estudados. Com relação ao estudo da circulação sanguínea, para dar outro exemplo, precisava considerar a disposição anatômica dos órgãos para poder aplicar as leis da mecânica. Além disso, como argumenta nos *Princípios de filosofia* (III, 4), uma infinidade de efeitos poderiam ser deduzidos das causas primeiras. Para estipular quais de fato foram realizadas, é preciso descrever os fenômenos observados.

4. Gassendi: Atomismo e Método

Pode-se dizer que em meados do séc. XVII coexistiam quatro visões sobre a natureza e estrutura da matéria: *i*) a noção dos quatro elementos: terra, água, ar e fogo; *ii*) a concepção alquímica dos três princípios: sal, enxofre e mercúrio; *iii*) a visão cartesiana de que matéria é igual à extensão, existindo em três tipos: a estelar, a etérea e a planetária. *iv*) o atomismo.

O grande divulgador da antiga doutrina atomista foi o padre Pierre Gassendi (1592-1655), chamado de “o Bacon da França”, cuja concepção mecânica distinguia-se da de Descartes por defender a existência de átomos indivisíveis e do vazio, ao passo que o pleno de Descartes envolvia partículas que seriam sempre divisíveis. Gassendi foi o responsável pela reabilitação da filosofia de Epicuro no contexto cristão, construindo um sistema tão detalhado quanto o de Descartes. Sua estratégia de conciliação entre atomismo e catolicismo foi semelhante à adaptação tomista da concepção aristotélica, modificando partes inaceitáveis da teoria pagã. Na visão de Gassendi, Deus criou os átomos e seus movimentos, e o número de átomos é finito (enquanto que o vazio é infinito). Os movimentos não seriam governados por necessidade, já que estavam sujeitos à intervenção de Deus. Os átomos seriam imbuídos de solidez e impenetrabilidade, caracterizando-se por seu tamanho, forma e peso, e se arranjando segundo sua orientação (*situs*) e ordenação (*ordo*: LAURUS - URSULA). Haveria também átomos de calor (como em Galileu) e de frio. Reconheceu, porém, que permanecia um mistério porque percebemos movimentos atômicos como qualidades “ocultas” (secundárias), ligadas às sensações.

No Livro II da “Lógica”, de sua obra póstuma *Syntagma philosophicum* (1658)⁷⁸, Gassendi examina a questão do “critério de verdade”, partindo dos argumentos céticos contra a existência de tal critério. Dentre os que aceitam um critério de verdade, faz uma divisão entre aqueles que defendem que os sentidos são o único critério (representado pelo médico Asclepiades, seção VI.4), aqueles que defendem que só o intelecto fornece tal critério (como Parmênides, Platão etc.) e aqueles que consideram tanto os sentidos quanto o intelecto (Aristóteles, Epicuro, Galeno etc.). Gassendi adota esta última posição, salientando a existência de “sinais” que permite ao intelecto ir além das observações. O “sinal empírico” é um sinal, como fumaça, que sugere fortemente a presença de fogo, já que observamos muitas vezes a

⁷⁸ O Livro II do *Syntagma philosophicum* (*Compêndio filosófico*) se encontra nas pp. 281-365 de: GASSENDI, P. (1972), *The selected works of Pierre Gassendi*, org. e trad. por C.B. Brush, Johnson Reprint Co., Nova Iorque. Para um relato geral sobre Gassendi, ver: WESTFALL (1971), op. cit. (nota 61), pp. 30-42; sua física é examinada por DIJKSTERHUIS (1986), op. cit. (nota 73), pp. 425-31.

associação de fogo e fumaça; o sinal empírico, assim, é fruto da indução por enumeração. Por outro lado, o “sinal indicativo” é resultado do que chamamos anteriormente (seção III.3) de abdução: o suor é um sinal indicativo de que existem poros na pele, poros estes que nunca são observados. Assim, “algo escondido, ou uma verdade oculta, pode ser conhecida por um sinal” (SP, p. 333).