



coop.

Mario Domingos da Silva Lage

"A POSSIBILIDADE FÍSICA DO SISTEMA
HELIOCÊNTRICO EM COPÉRNICO"

*Este exemplar corresponde
à redação final da dissertação
defendida pelo interessado e
aprovada pela Banca Examinadora.*

05/12/89

Dissertação de Mestrado
apresentada ao Departamen-
to de Filosofia da
Universidade Estadual de
Campinas sob orientação
do Prof. Dr. Michel
Ghins. 3

Relatório

UNICAMP

1989

L135p

13061/BC

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

INDICE

Introdução	iv
Primeira Parte: Cosmologia Geocêntrica	1
Capítulo I: Aristóteles	2
1. a forma esférica do mundo e da Terra	2
2. o movimento circular dos corpos celestes	6
3. a posição central e a imobilidade da Terra	8
4. alguns aspectos da Física de Aristóteles	10
5. a ordem das esferas celestes	13
Capítulo II: Ptolomeu	18
1. a forma esférica do mundo e da Terra	18
2. o movimento circular dos corpos celestes	22
3. a posição central e a imobilidade da Terra	25
Segunda Parte: Copérnico	32
Capítulo III: a forma esférica do mundo	33
Capítulo IV: a forma esférica da Terra	45
1. os argumentos geométricos	45
2. a esfera terrestre	55
Capítulo V: o movimento circular dos corpos celestes	66
Capítulo VI: a posição da Terra	86
Capítulo VII: o movimento da Terra	101
Capítulo VIII: a ordem das esferas celestes	114
Referências	120

As citações são acompanhadas pela indicação, entre parênteses, do nome do autor seguido de um número que indica a posição da obra na lista de referências.

As diferentes edições do 'De Revolutionibus' são identificadas por letras após o número. A omissão da letra revela que foram levadas em conta todas as edições listadas. Neste caso é empregada a paginação da primeira edição (fornecida na edição da Enciclopédia Britânica).

INTRODUÇÃO

A chamada 'Revolução Copernicana' compreendeu, num certo sentido, um período relativamente amplo da história da ciência. Esse período iria desde a divulgação do novo sistema por Copérnico, no século XVI, passaria pela sua consolidação, com Kepler no século XVII, e culminaria com o surgimento da Mecânica de Newton, em fins deste mesmo século, a qual solucionou de forma magistral o problema dinâmico do movimento da Terra.

Copérnico não se limitou, entretanto, ao aspecto cinemático do heliocentrismo. O aspecto dinâmico mereceu, também sua atenção, embora ele não tenha desenvolvido uma teoria física detalhada como a de Aristóteles ou a de Newton. Mas, na verdade, ele dedicou uma atenção à dinâmica maior que a habitualmente dispensada ao tema pelos astrônomos. Esse fato é bastante compreensível, inclusive porque a hipótese do movimento da Terra se chocou frontalmente com as teorias físicas da época, que eram basicamente as de Aristóteles, e esse fato como que compeliu Copérnico a responder antecipadamente às objeções que seriam fatalmente dirigidas ao novo sistema. Ao fazer isso, Copérnico sugeriu as linhas gerais de uma nova concepção física, compatível com o novo sistema, embora, repetimos, sem desenvolver plenamente o assunto.

Nosso interesse, neste trabalho, reside justamente na forma pela qual Copérnico procura compatibilizar a Física ao novo sistema. Procuramos mostrar que a nova concepção física, cujas bases são lançadas por Copérnico, seria obtida mediante algumas alterações na Física de Aristóteles, e que ele procura manter o mais possível intacto o sistema desse filósofo, embora o resultado final seja radicalmente diferente.

O trabalho se divide em duas partes. A primeira parte é dedicada ao sistema geocêntrico. Em seus dois capítulos são apresentadas as posições dos dois expoentes do geocentrismo: Aristó-



teles - no campo da Física - e Ptolomeu - na Astronomia. O conteúdo dessa primeira parte é descritivo: procura apresentar um sumário das posições desses dois autores com relação aos principais temas abordados por Copérnico, de modo a facilitar comparações posteriores. Esses temas são, basicamente, a forma esférica do mundo e da Terra, o movimento circular dos corpos celestes e a imobilidade da Terra no centro do mundo. É com relação a esses temas, mais gerais, que se pode falar na compatibilidade entre a Astronomia de Ptolomeu e a Física de Aristóteles, pois elas não são estritamente compatíveis; o melhor exemplo disso é o emprego de epiciclos por Ptolomeu, que não tem contrapartida em Aristóteles. Outros autores - antigos e medievais - ligados ao geocentrismo são mencionados no decorrer da segunda parte, sempre que preciso.

A segunda parte é dedicada a Copérnico. A ordem de exposição dos temas é a mesma seguida por Copérnico no Livro I do 'De Revolutionibus': a forma esférica do mundo e da Terra, o movimento circular dos corpos celestes, a questão da posição da Terra, o seu movimento, e a ordem das esferas celestes.

O Capítulo III trata da forma esférica do mundo. Tentamos mostrar que Copérnico emprega argumentos já utilizados por Aristóteles e Ptolomeu; apenas evita os argumentos incompatíveis com o seu sistema, como é o caso dos argumentos que pressupõem a rotação diária da esfera de estrelas fixas. Na discussão sobre a forma do mundo Copérnico menciona, também, pela primeira vez, a suposição de que a matéria tende a se agregar naturalmente na forma esférica. Essa idéia terá uma importância fundamental para explicar a manutenção da forma esférica da Terra, assunto do capítulo seguinte.

A esfericidade da Terra, portanto, é abordada no Capítulo IV. Nele são descritos os argumentos clássicos apresentados por Copérnico, os quais são basicamente os mesmos empregados pelos geocentristas. Também é examinada a questão da esfera terrestre: essa questão se refere principalmente à possibilidade da não-

coincidência entre o centro geométrico e o centro de gravidade da Terra. Mostramos que a posição de Copérnico, contra essa possibilidade, é fundamental para permitir a retirada da Terra do centro do mundo e explicar a queda dos corpos pesados como um movimento em direção ao centro de gravidade da Terra.

No Capítulo V são examinados os pressupostos de Copérnico em relação aos movimentos celestes. Ele admite apenas movimentos circulares e uniformes, o que equivale ao chamado 'axioma Platônico'. Mas ele não justifica plenamente sua posição com base no Platonismo: apenas adota a suposição dinâmica de uma força motriz constante. Procuramos mostrar que essa suposição também pode ser entendida no contexto Aristotélico.

O Capítulo VI aborda a rejeição, feita por Copérnico, da demonstração de que a Terra se situa no centro do Universo. Rejeitada essa prova, abre-se a possibilidade de atribuir movimento à Terra, preservando os mesmos movimentos relativos verificados no sistema geocêntrico. Copérnico exemplifica esse ponto enumerando alguns astrônomos Pitagóricos que atribuíram movimento à Terra. Argumentamos, então, que os Pitagóricos são citados apenas como precursores do movimento da Terra, e que não há elementos suficientes para atribuir uma inclinação Pitagórica a Copérnico.

A resposta de Copérnico às objeções físicas feitas ao movimento da Terra, bem como sua sugestão para compatibilizar a Mecânica terrestre à celeste são os assuntos do Capítulo VII. Procuramos elucidar a maneira pela qual ele tenta solucionar o problema: ela seria obtida por uma reformulação da teoria do movimento local de Aristóteles, atribuindo movimento circular a todos os corpos situados abaixo da primeira esfera e permitindo a composição do movimento retilíneo ao circular.

No Capítulo VIII é examinada a questão da ordem das esferas celestes. O interesse despertado pelo tema consiste, principalmente, em identificar uma possível tendência Pitagórica em Copérnico (ligada à harmonia do mundo), ou a atribuição de alguma relevância especial ao Sol. Argumentamos, então, que nenhuma des-



sas hipóteses se verifica; e que Copérnico procura apenas demonstrar as vantagens do sistema heliocêntrico, o qual permite determinar de modo inequívoco a ordem das esferas celestes.

PRIMEIRA PARTE

COSMOLOGIA GEOCÊNTRICA

CAPÍTULO I

ARISTÓTELES

1. A FORMA ESFÉRICA DO MUNDO E DA TERRA

O Universo, segundo a concepção de Aristóteles, é um 'plenum', ou seja, é totalmente preenchido por algum tipo de matéria e não admite nenhum espaço vazio. A existência do vácuo é rejeitada tanto no sentido de um vácuo separado dos corpos, quanto servindo de recipiente a eles ou ainda presente nos interstícios desses corpos. A matéria que preenche o Universo é sempre constituída pelos cinco elementos - terra, água, ar, fogo e éter - na forma de um composto obtido pela combinação de quaisquer dos quatro primeiros. O éter, por sua vez, ocupa uma região do mundo distinta da ocupada pelos demais elementos e jamais se combina com eles. Na realidade, o éter é o elemento do qual se constituem os corpos celestes; ele possui a propriedade de se mover naturalmente em círculos; e, portanto, os corpos celestes têm movimento circular. O perfeito entendimento da doutrina Aristotélica dos elementos requer um conhecimento detalhado de outros aspectos de sua Filosofia da Natureza, alguns dos quais examinaremos posteriormente. Por ora podemos nos contentar com a seguinte arquitetura geral: o mundo é um 'plenum' que comporta duas regiões distintas; a primeira delas - onde se situa a Terra - é ocupada pelos quatro elementos, os quais se combinam entre si (ou mesmo se transmutam uns em outros) dando origem à diversidade de materiais encontrada na natureza; a segunda região circunda a Terra, é preenchida pelo quinto elemento (éter - que gira sem cessar) e comporta os corpos celestes, os quais têm movimento circular inin-

terrupto.

O mundo Aristotélico além de pleno é finito. Passemos, por si, a considerar as razões que conduzem a essa conclusão. "Todo corpo deve ser classificado necessariamente como simples ou composto; o corpo infinito, portanto, será simples ou composto." (Aristóteles 1, p. 271b). A afirmação abre, bem ao estilo do Estagirita, a discussão: o mundo é um corpo composto (pelos cinco elementos); devemos, portanto, verificar se algum deles pode ter magnitude infinita; caso nenhum puder, o mundo será, necessariamente, finito. A análise começa pelo quinto elemento (éter) e os argumentos são todos fundamentados na impossibilidade do movimento circular de um corpo infinito. Assim, se fosse traçado o raio desde a periferia até o centro do movimento circular, supondo-se o mundo infinito, o raio seria infinito e, conseqüentemente, sua extremidade teria de percorrer uma distância infinita; o que é uma impossibilidade. Aristóteles junta a essas outras razões, as quais, porém, repousam sobre o mesmo fundamento que é essa impossibilidade do móvel percorrer uma distância infinita. Se "(...) nossos olhos nos dizem que os céus giram em círculo, e também por argumento nós determinamos que há algo ao qual pertence o movimento circular" (Aristóteles 1, I.5, p. 272a), e também "(...) os céus certamente giram, e completam sua órbita circular num tempo finito (...)" (Aristóteles 1, I.5, p. 272b), o concurso desse fato com a impossibilidade do movimento circular de um corpo infinito leva à conclusão de que o quinto elemento é finito.

Resta, porém, examinar a possibilidade da infinitude dos quatro elementos restantes. Aristóteles refuta essa possibilidade com base em dois tipos de argumentos. O primeiro deles diz respeito ao movimento natural correspondente a cada elemento. Assim como o éter possui um movimento natural, que é circular, os demais elementos se movem naturalmente em linha reta, porém em sentidos opostos: terra e água se movem para o baixo, ao passo que ar e fogo o fazem para cima: são movimentos contrários, quer dizer, em direção a lugares contrários. Ora, se um dos contrários -

o lugar mais 'baixo', ou o centro dos movimentos dos corpos celestes - é determinado, o outro - o lugar mais 'alto' - também precisa sê-lo. Se o lugar alto, ou o lugar onde o elemento fogo permanece em repouso, for indeterminado o movimento natural retilíneo será infinito, o que é impossível. Dessa forma, sendo determinados os lugares mais alto e baixo, também será determinados (e finito) o lugar intermediário ocupado pelos quatro elementos. Além desse argumento Aristóteles acrescenta um outro, baseado na impossibilidade de um corpo de peso infinito, ou de 'leveza' infinita. A demonstração da finitude dos elementos, portanto, leva à conclusão de que o mundo é finito, já que se trata de um corpo composto cujas partes constituintes são finitas. A finitude do mundo, por sua vez, dá origem a uma outra questão: "Mesmo se o volume total não for infinito, ele ainda pode ser grande o suficiente para acolher uma pluralidade de universos." (Aristóteles 1, I 6, p. 274a). Será o mundo único? Ou haverá outros mundos? Não discutiremos, aqui, essa questão, mas apenas mencionaremos a conclusão de Aristóteles: o mundo não apenas é único como a existência de mais de um mundo é uma impossibilidade.

Temos, até o momento, pois, as seguintes características do mundo: trata-se de um corpo pleno, finito e único. Uma questão remanescente, suscitada pela finitude, diz respeito à forma do mundo. Qual será ela exatamente? Aristóteles começa por considerar qual seria a forma primária entre as figuras planas e os sólidos. Conclui, então, que o círculo é a primeira entre as figuras planas, isso porque é delimitado por apenas uma linha, e o que é único precede o que é variado. Além disso, é uma figura completa; pode-se adicionar sempre alguma magnitude a uma linha reta mas não à circular, e o que é completo precede sempre ao incompleto. A esfera ocupa, entre os sólidos, a mesma posição do círculo entre as figuras planas. Assim, "(...) a primeira figura pertence ao primeiro corpo, e o primeiro corpo é aquele mais afastado." (Aristóteles 1, II.4, p. 287a). O 'envoltório' do mundo é necessariamente, portanto, esférico. Além desse argumento

acrescenta-se um outro decorrente do movimento circular da esfera do mundo e do fato de não haver nada, nem lugar nem vácuo, além dos limites dessa esfera. A esfera se apresenta, pois, como o único sólido capaz de girar e, simultaneamente, manter-se sempre no mesmo lugar. Aristóteles afirma que nem mesmo as figuras esféricas de raio não uniforme (como os ovóides) possuem essa propriedade; o que, evidentemente, soa como falso. Mas, deve-se entender que apenas a esfera possui a propriedade independentemente da posição do eixo de rotação.

Dois argumentos mais são apresentados para a esfericidade do mundo. O movimento do céu é a medida dos demais movimentos "(...) devido ser o único contínuo e regular e eterno (...)" (Aristóteles 1, II.4, p. 287a). Como a medida deve ser dada pelo mínimo, e o mínimo, em se tratando do movimento, é o mais rápido, o problema é encontrar uma trajetória que 'retorne sobre si mesma' (o movimento recorrente dos corpos celestes) e seja, ao mesmo tempo, a mais rápida. Tal trajetória é a circular e, logo, o céu - e o mundo - é esférico. Finalmente, a esfericidade pode ser inferida a partir da disposição dos elementos: estes se dispõem em torno de um centro e, assim, assumem a forma esférica - o que pode ser comprovado pela superfície da água. O quinto elemento, como envoltório do mundo, está disposto de forma contígua aos demais e conserva, dessa maneira, a mesma forma esférica deles.

O argumento acima indica, de forma bastante clara, o tratamento Aristotélico à questão da forma da Terra. Os elementos pesados (terra e água) tendem a se mover até o centro do mundo, que é o seu lugar natural, ou seja, onde permanecem em repouso. O concurso das diversas porções de matéria que procuram atingir o centro resulta, assim, numa configuração cujas extremidades são equidistantes ao centro, qual seja: uma esfera. "Se a terra foi gerada, portanto, ela tem que ter sido formada dessa maneira, e assim certamente sua geração foi esférica (...)" (Aristóteles 1, II. 14 p. 297a). A esfericidade da Terra é corroborada, também, por alguns fatos empíricos. A trajetória de queda dos corpos pe-

sados se dá de forma perpendicular à superfície (ou à linha reta tangente à superfície, de modo mais preciso), e esta é a "(...) forma natural de movimento em direção ao que é naturalmente esférico." (Aristóteles I, II. 14 p. 297b). Os eclipses da Lua, por sua vez, constituem uma outra evidência para a esfericidade da Terra, uma vez que podemos ver a silhueta terrestre projetada contra a superfície lunar, e essa silhueta é nitidamente circular. O deslocamento do observador sobre a superfície da Terra, finalmente, é acompanhado por uma mudança na posição da linha do horizonte em relação às estrelas, o que mostra, mais uma vez, que a Terra possui a forma esférica.

2. O MOVIMENTO CIRCULAR DOS CORPOS CELESTES

O movimento circular atribuído ao éter é o movimento mais adequado à substância primária, uma vez que não possui contrário. Os demais elementos se movem em linha reta, e em dois sentidos possíveis: para baixo ou para cima. Seria o caso de se perguntar se o movimento circular não comportaria, também, dois sentidos opostos, digamos, um sentido horário e um anti-horário. A resposta a essa questão deve passar por um exame do significado atribuído por Aristóteles ao adjetivo contrário, quando se refere ao movimento. A chave parece estar localizada na importância desempenhada pela noção de lugar na caracterização do movimento. Assim, não basta que dois corpos se movam em sentidos opostos para que seus movimentos sejam considerados contrários; é preciso, também, que eles se aproximem - e se afastem - de lugares distintos. Os movimentos naturais para baixo e para cima são contrários, desse modo, não apenas por terem sentido oposto mas por tenderem a lugares opostos e distintos: o centro do mundo e a esfera lunar, respectivamente. Já o movimento circular é recorrente; parte de um ponto e retorna a esse mesmo ponto, e é nesse sentido que ele não possui contrário. O fato do céu se mover num

sentido - Leste para Oeste - e não no outro, é decorrente de um princípio natural eterno ao qual a razão nada tem a acrescentar.

O 'primeiro céu', ou o conjunto das estrelas fixas, apresenta um movimento perfeitamente regular. A regularidade do movimento de suas partes é facilmente comprovada pela manutenção constante das posições relativas das estrelas, ou dos padrões das constelações. O movimento como um todo é, também, regular pela seguinte razão: o movimento celeste é eterno; se ele fosse um movimento acelerado (com aceleração positiva) ou retardado, teria de ser infinitamente acelerado, ou retardado, o que é inconcebível. Restaria a alternativa do movimento ser ora acelerado e ora retardado, mas isso nunca foi observado.

Vejam, agora, o motivo pelo qual as estrelas mantêm suas posições relativas inalteradas, ou as constelações conservam seus padrões, a despeito do movimento circular que descrevem. Essa afirmação vale somente para as estrelas fixas; as estrelas 'errantes', ou planetas, mudam constantemente de posição, embora a causa do seu movimento não seja diferente da dos demais corpos celestes. Para que as estrelas (fixas) se movam desse modo é preciso que aquelas localizadas próximo ao equador celeste sejam mais rápidas que aquelas próximas aos polos. A velocidade de cada estrela, em outras palavras, é diretamente proporcional ao tamanho do seu círculo. Por círculo, no caso, deve-se entender a figura descrita pela estrela durante uma revolução completa (360°) e, nesse sentido, cada estrela possui o seu próprio círculo. Aristóteles passa, então, a examinar detalhadamente todas as possíveis combinações de movimento e repouso entre as estrelas e seus círculos concluindo, a seguir, que "(...) os círculos devem se mover, enquanto as estrelas estão em repouso e se movem com os círculos aos quais estão fixadas" (Aristóteles I, II.8 p. 289b). Todos os círculos, por sua vez, "(...) estão fixados ao mesmo centro". (Aristóteles I, II.8 pp. 289b-290a); as estrelas estão fixadas numa esfera, embora Aristóteles não mencione a palavra esfera nesse trecho. Ele fala, todavia, numa prova "(...) já

apresentada da continuidade do todo" (Aristóteles I, II.8 p. 290a), a qual parece não figurar em todo o "De Caelo". Porém, a esfericidade do mundo já havia sido explanada em II.4 (pp. 286b et seq.), e a menção direta às esferas é feita na sequência (por exemplo p. 293a).

A esfera mais externa do mundo gira, portanto, de forma perfeitamente regular e arrasta consigo as estrelas que lhe são fixas. As demais estrelas - estrelas errantes ou planetas - não se movem regularmente mas têm um movimento composto. Elas são movidas, todavia, pelas esferas às quais estão fixas, e essas esferas são concêntricas e de raio inferior à esfera mais externa. Voltaremos a esse assunto, porém, mais adiante.

3. A POSIÇÃO CENTRAL E A IMOBILIDADE DA TERRA

Vimos, até aqui, que tanto o mundo como a Terra possuem a forma esférica e que os corpos celestes se movem em círculos. Nosso próximo passo será examinar a questão da posição da Terra, e se ela se move ou não. O Estagirita arrola, inicialmente, as opiniões de alguns filósofos anteriores. Entre essas opiniões se destaca, de um lado, aquela que considera a Terra no centro do mundo mas não em repouso, e sim com um movimento de rotação. De outro lado, há os que concebem a Terra fora do centro do mundo, mas orbitando em torno desse centro. Aristóteles procede, então, à crítica dessas duas posições, ao mesmo tempo em que argumenta em favor da estabilidade da Terra no centro do mundo.

O quinto elemento possui, como vimos, um movimento natural circular. Se a Terra também se move, seja com um movimento orbital em torno do centro ou de rotação sobre um eixo, esse deve ser o movimento natural dos elementos - terra, água, ar e fogo - dos quais é composta. Qualquer corpo constituído por esses elementos deveria, portanto, participar desse movimento. Mas isso contraria a experiência: esses corpos se movem em linha reta; fica, assim,

afastada a possibilidade da Terra possuir um movimento natural. Tampouco o seu movimento poderia ser forçado, ou violento, pois o movimento forçado perece (é finito), ao passo que a ordem do Universo é eterna. Um outro argumento, fundamentado numa característica dos movimentos celestes, é o seguinte: entre todos os movimentos celestes, o único perfeitamente regular é o da primeira esfera; as esferas inferiores (correspondentes aos planetas) têm movimento irregular e, por vezes, retrógrado. Se a Terra também tivesse movimento circular, no centro do mundo ou fora dele, o seu movimento deveria ser irregular como os das demais esferas inferiores. Haveria, conseqüentemente, irregularidades aparentes no movimento das estrelas fixas, o que, mais uma vez, é contrário á experiência.

A questão capital em toda essa discussão é que o movimento natural da Terra e de suas partes é sempre retilíneo; seja para o centro do mundo, no caso dos corpos pesados, seja se afastando dele, para os corpos leves. É certo que a Terra, como um todo, não se move pois seu centro coincide com o centro do mundo; mas os corpos pesados se dirigem ao centro, como pode ser comprovado por sua trajetória perpendicular à superfície (à tangente à superfície, mais precisamente). Uma questão porém, pode ser legitimamente colocada, como bem reconhece Aristóteles: os corpos pesados se dirigem ao centro "(...) porque ele é o centro da Terra ou porque é o centro do todo?" (Aristóteles I, II. 14 p. 296b). É uma pergunta pergunta muito procedente uma vez que os dois centros coincidem. Em resposta a ela, Aristóteles se vale da distinção, muito importante para a sua Física, entre os lugares opostos. Se os corpos pesados se dirigem em linha reta para baixo, os seus opostos, os corpos leves, o fazem linearmente para cima, ou seja, em direção à esfera lunar. Ora, o lugar oposto à esfera lunar é o centro do mundo, por uma razão meramente geométrica; ele se mantém equidistante a qualquer ponto dessa esfera. Logo, é ao centro do mundo que os corpos pesados se dirigem, e apenas acidentalmente ao centro da Terra, que lhe é coincidente.

Não satisfeito com a argumentação desenvolvida até então, Aristóteles acrescenta, ainda, mais algumas razões. Se os corpos pesados se movem, como a argumentação precedente procurou elucidar, em direção ao centro do mundo, há uma maneira de verificar que a Terra permanece em repouso nesse centro. Consiste em arremessar para o alto um corpo pesado, de modo perpendicular, e observar como ele retorna exatamente ao ponto de onde partiu; isso só é possível em virtude da imobilidade da Terra no centro do mundo. As teorias astronômicas, finalmente, que procuram determinar a ordem das esferas, são plenamente compatíveis com a hipótese da localização central e estática da Terra.

4. ALGUNS ASPECTOS DA FÍSICA DE ARISTÓTELES

Mesmo ao observador menos atento da Cosmologia Aristotélica há um fato que não deixa, sem dúvida, de ser percebido: trata-se do nítido contraste existente entre as regiões sublunar e supralunar. A primeira é o domínio dos movimentos retilíneos, enquanto que na segunda impera o movimento circular. Mas isso não é tudo; na esfera sublunar ocorrem inúmeras mudanças: as plantas e os animais nascem, se desenvolvem e perecem, ocorrem fenômenos meteorológicos e assim por diante. A esfera superior, pelo contrário, manter-se-ia completamente imutável, não fosse a contínua mudança na posição dos astros. Todos esses fenômenos são coerentemente tratados dentro da grande estrutura da Filosofia Natural de Aristóteles. Tratemos, pois, de examinar alguns aspectos dessa estrutura.

A Ciência da Natureza necessita, inicialmente, delimitar exatamente o seu objeto de estudo. Aristóteles analisa cuidadosamente, então, os vários sentidos atribuídos à palavra Natureza identificando como uma característica comum às coisas naturais o fato de que: "Cada uma delas tem dentro de si um princípio de movimento e repouso (...)" (Aristóteles 4, II.1 p. 192b). Por movi-

mento, no caso, deve-se entender suas quatro categorias: aumento e diminuição de tamanho, geração e corrupção, mudança de lugar (movimento local) e alteração qualitativa. A Ciência da Natureza deve, portanto, explicar o movimento em seus múltiplos sentidos. O movimento local, no entanto, entre as demais categorias, apresenta uma certa precedência, inclusive porque "(...) ele forma a base de todos os outros tipos de movimento." (Dijksterhuis 10, p. 21); dele dependem as mudanças quantitativas (seja pela adição e remoção de partes, ou pelo simples crescimento e diminuição), assim como as qualitativas (pelo deslocamento do agente causador da mudança). Não é possível, entretanto, reduzir toda mudança ao movimento local; que permanece, assim, como uma categoria entre as demais. Para o nosso propósito, porém, será útil que o examinemos mais de perto.

Um axioma bastante conhecido da Física Aristotélica exige que tudo o que se move deve ser movido por algo; por um motor. Além disso, o motor precisa fazer parte do móvel ou estar em contato direto com ele, uma vez que a ação à distância é considerada impossível. No caso dos seres vivos, por exemplo, a função do motor é desempenhada pelo próprio princípio vital, e assim eles se movem por si mesmos sem problemas. Os objetos inanimados, por outro lado, possuem um princípio interno de movimento, responsável pelo seu movimento natural. Aristóteles distingue entre o movimento natural e o movimento forçado ou violento. O movimento natural, dizendo de forma muito simplificada, é um movimento 'espontâneo'; uma pedra abandonada no ar cai "naturalmente", sem que lhe apliquemos nenhum impulso para baixo. O movimento violento deve ser entendido sempre como uma tentativa de modificar o movimento natural, quando, por exemplo, atiramos a pedra para cima, ou mesmo para baixo (ela cai mais rapidamente - de forma 'não natural').

Essa forma de colocar o problema, entretanto, é muito insatisfatória. Por que a pedra cai 'para baixo', e não em outra direção qualquer? A pergunta nos aproxima do verdadeiro signifi-

cado do movimento natural para Aristóteles. Esse movimento é sempre relacionado ao lugar natural: um corpo tende a se mover até o seu lugar natural; lá chegando ele permanece em repouso. Temos de ver, então, como são determinados os lugares naturais. O movimento local consiste, obviamente, num processo de mudança de lugar; sua inteligibilidade, portanto, depende inteiramente da possibilidade de distinguir entre os diferentes lugares. Aristóteles discute exaustivamente a questão, concluindo que o lugar (de um corpo) deve ser "(...) o limite imóvel mais interior do que contém (Aristóteles 4, IV.4 p. 212a). Ora, a Cosmologia tem condições de nos oferecer dois lugares consonantes com esses requisitos. Um deles é o centro do mundo, o qual se mantém completamente imóvel; o outro é a esfera lunar ou, mais precisamente, o lugar imediatamente contíguo à superfície interior da esfera lunar; esse lugar também permanece imóvel (não acompanha o movimento circular da esfera). Em relação a esses dois lugares, imóveis por excelência, a posição e o movimento de qualquer corpo situado no interior da esfera lunar podem ser claramente definidos.

Retornemos, porém, à questão do movimento natural. Vimos que qualquer corpo se move espontaneamente em direção ao seu lugar natural e, lá chegando, permanece em repouso. O lugar natural é o lugar do repouso natural. Mas quais são esses lugares naturais? Descobrimos, há pouco, dois lugares 'absolutos', por assim dizer; dois lugares completamente imóveis que são o centro do mundo e a esfera lunar. Chegamos, assim, aos dois lugares naturais Aristotélicos; todos os corpos em movimento natural no interior da esfera lunar se dirigem, em linha reta, a um ou outro. São, nesse sentido, lugares opostos: cada qual se situa numa das extremidades de um segmento de reta (o raio da esfera lunar). Representam o 'alto' e o 'baixo' do mundo. Alguns corpos, portanto, se movem naturalmente para o alto e outros para baixo, devido ao seu princípio interno de movimento (e de repouso). Mas os corpos existentes no mundo sublunar são compostos obtidos pela combinação dos quatro elementos - terra, água, ar e fogo - cada qual

com sua tendência de movimento natural: para baixo (os dois primeiros), e para o alto (os demais). Assim, um corpo possui a mesma tendência de movimento do elemento preponderante em sua composição. A complexa teoria dos elementos, sobre a qual não entraremos em detalhes aqui, está na base das mudanças qualitativas que ocorrem na região sublunar; essas mudanças são o reflexo das alterações na composição elementar dos corpos. Aristóteles trata essa questão a partir dos pares de características qualitativas opostas: quente e frio, seco e úmido, leve e pesado, etc. O elemento terra, por exemplo, é frio, enquanto o elemento fogo é quente. Às características opostas de peso e leveza, porém, correspondem movimentos naturais opostos, quer dizer, para baixo e para cima. Na região sublunar, portanto, ocorrem mudanças porque há opostos, e os movimentos naturais são sempre retilíneos porque esse movimento admite duas modalidades opostas - para cima e para baixo. E quanto à região sublunar? A única alteração presente nela é o movimento circular dos corpos celestes. Esse movimento só pode pertencer a um quinto elemento, uma vez que os quatro elementos presentes na região sublunar se movem em linha reta. E mais: o quinto elemento não possui oposto, já que os opostos têm movimentos opostos e nenhuma forma de movimento pode ser oposta ao movimento circular. A ausência de qualquer alteração na região supralunar, afora o movimento circular, se dá, então, em virtude da não existência de opostos. Dessa forma, as razões para a dicotomia existente entre as esferas celeste e sublunar são cuidadosamente imbricadas no corpo da Filosofia natural de Aristóteles.

5. A ORDEM DAS ESFERAS CELESTES

Se o movimento da esfera mais externa -das estrelas fixas- é perfeitamente regular e o mais rápido entre os movimentos celestes, as esferas interiores, por outro lado, exibem sempre um movimento irregular e mais lento se comparado ao da primeira es-

fera, sendo que essa lentidão relativa depende diretamente da ordem em que as esferas estão dispostas: o movimento das esferas mais internas é, em geral, mais lento que o das mais externas. A questão da ordem das esferas, porém, não é tratada em seus pormenores no 'De Caelo', uma vez que se trata de um problema técnico de Astronomia situado fora do escopo da obra do Estagirita. Assim, ele afirma textualmente que "(...) isso" - a ordem das esferas - "deve ser deixado para a astronomia tratar, uma vez que a discussão astronômica é adequada" (Aristóteles I, II.10 p. 291a). O leitor é remetido, dessa forma, aos tratados de Astronomia da época.

Embora não se imiscuindo na discussão astronômica Aristóteles apresenta, muito resumidamente, o resultado obtido pelos astrônomos em suas investigações. Essas investigações revelam que a velocidade de cada esfera está relacionada à sua distância com respeito à esfera exterior, de tal forma que a velocidade é tanto menor quanto maior for essa distância. Além disso o movimento das esferas difere quanto ao seguinte aspecto: o movimento da primeira esfera - das estrelas fixas - a par de ser perfeitamente regular e o mais rápido é, também, um movimento simples, quer dizer, uma estrela descreve um único círculo em seu movimento diário de Leste para Oeste. O Sol, a Lua e os planetas, por sua vez, além de descreverem círculos diários em conjunto com as estrelas fixas, se movem, ainda, cada qual em seu próprio círculo e em sentido oposto ao do primeiro movimento; seu movimento é composto. Assim, o movimento sobre o segundo círculo é mais lento para os astros mais próximos à esfera exterior e mais rápido para os mais afastados dela. Os corpos mais próximos à esfera das estrelas sofrem com maior intensidade a influência de seu rápido movimento diário, e por esse motivo, movem-se mais lentamente em seus círculos próprios, cujo sentido de rotação é oposto. Portanto, o movimento resultante (diário) dos planetas, do Sol e da Lua tem velocidade decrescente de periferia para o centro do mundo, embora a velocidade sobre os círculos próprios (abstraido o movimento

diário) varie de forma inversa.

À época de Aristóteles havia uma teoria bastante engenhosa dos movimentos planetários devida a Eudoxo e posteriormente aperfeiçoada por seu discípulo Calipo, a qual foi adotada (com algumas modificações) pelo Estagirita. O sistema consistia de uma série de esferas concêntricas e operava do seguinte modo: cada planeta se encontrava fixo no equador de uma esfera, a qual girava com velocidade uniforme sobre o eixo definido por seus polos. Essa esfera era envolvida por uma outra, que não carregava nenhum planeta, mas que também girava de maneira uniforme e sobre polos distintos daqueles da primeira esfera. O esquema se repetia quantas vezes fossem necessárias para dar conta do movimento do planeta (Cf. Dreyer 12, p. 90). Assim, o movimento de cada corpo celeste era decomposto em vários movimentos, todos eles perfeitamente circulares e uniformes (Cf. Rose 27, p. 96). O sistema completo requeria 4 esferas para cada planeta, 3 para o Sol e 3 para a Lua, totalizando 26 esferas; além, é claro, da esfera das estrelas. Posteriormente o número de esferas foi ampliado por Calipo, com o objetivo de melhorar a precisão do sistema, sendo acrescentadas 7 - uma para Mercúrio, Vênus e Marte, e duas para o Sol e a Lua - totalizando 33 esferas. Tal como era empregado por Eudoxo e Calipo, o sistema de esferas concêntricas era visto, possivelmente, como um modelo matemático para a descrição dos movimentos planetários, uma vez que cada grupo de esferas (de cada astro) era tratado independentemente (Cf. Dreyer 12, p. 91 e Rose 27, p. 97). As modificações introduzidas por Aristóteles na teoria das esferas concêntricas visavam, justamente, permitir a interligação entre vários grupos de esferas de modo a fornecer uma explicação mecânica para os movimentos celestes. Segundo Aristóteles apenas a esfera exterior é impulsionada por um motor (o 'primeiro motor'), todas as demais se movem em decorrência do movimento lhes ser comunicado pela primeira esfera. Assim, para que o sistema de Eudoxo-Calipo se adequasse a essa concepção dinâmica, era preciso interligar as esferas de tal modo que movimento

de um dado planeta não fosse transmitido à esfera inferior; desse modo apenas o movimento da esfera das estrelas seria transmitido ao planeta seguinte. O Estagirita obteve esse efeito introduzindo algumas esferas adicionadas da seguinte forma: sejam I, II, III e IV as quatro esferas de Saturno, por exemplo (este fixo na esfera IV), no sistema de Eudoxo-Calipo; Aristóteles introduziu, em sequência, as esferas IVa, IIIa e IIa, com polos coincidentes e velocidade igual porém oposta a IV, II e II; como resultado a esfera IIa passa a se mover exatamente como a esfera I, a qual acompanha a esfera das estrelas. Portanto, a rotação da esfera das estrelas pode ser transmitida ao planeta seguinte: Júpiter. Para cada grupo de n esferas são requeridas, então, $n-1$ esferas adicionadas (Cf. Dreyer 12, pp. 112-113). A tabela abaixo apresenta, lado a lado, o número de esferas presentes nos diversos sistemas:

	Número de esferas		
	Eudoxo	Calipo	Aristóteles
Saturno	4	4	7
Júpiter	4	4	7
Marte	4	5	9
Sol	3	5	9
Vênus	4	5	9
Mercúrio	4	5	9
Lua	3	5	5
Total	26	33	55

O grupo da Lua não requereu nenhuma esfera adicional, uma vez que não há mais nenhum astro abaixo dela e que pudesse ser perturbado pelo seu movimento. Quanto à velocidade (resultante) das esferas há, em geral, estrita concordância com a proposição Aristotélica de que ela varia inversamente com a distância à esfera exterior. Apenas com a ressalva de que Mercúrio e Vênus se tornam, por vezes, mais rápidos que o Sol; mas esse fenômeno é perfeitamente compensado pelos períodos em que esses dois planetas são mais lentos, de forma que suas velocidades médias são exatamente iguais à do Sol.

CAPÍTULO II

PTOLOMEU

1. A FORMA ESFÉRICA DO MUNDO E DA TERRA

Os 'antigos' haviam chegado à noção da esfericidade do mundo, de acordo com Ptolomeu, a partir da observação do movimento dos astros. O Sol, a Lua e os demais corpos celestes surgem, pouco a pouco, na linha do horizonte e se elevam até à posição mais alta quando, então, passam a descer progressivamente até desaparecerem do outro lado. Suas trajetórias descrevem círculos paralelos. Após permanecerem invisíveis por algum tempo surgem, novamente, no horizonte e o ciclo se repete regularmente. Ocorre que algumas das estrelas são vistas permanentemente; elas não se deslocam para posições situadas abaixo da linha do horizonte do observador. Essas estrelas, permanentemente visíveis, são vistas orbitando em torno de um ponto no céu e o seu movimento se relaciona, de forma precisa, a esse ponto. Os círculos descritos por essas estrelas são necessariamente, maiores à medida em que elas se situam mais distantes do centro. Esse fato, naturalmente, é mera decorrência das propriedades geométricas do círculo. Mais isso não é tudo; as estrelas situadas numa posição mais afastada do centro deixam, em certo ponto, de ser permanentemente visíveis e passam a se ocultar, durante um certo período, abaixo da linha do horizonte. O período de ocultação, por sua vez, é proporcional à distância da estrela em relação ao centro do seu círculo, tornando-se maior para as estrelas mais afastadas do centro. Todas essas aparências, obtidas mediante observação astronômica, são suficientes segundo Ptolomeu, para inferir que as estrelas estão

dispostas numa esfera que gira sobre um eixo e que o centro visível dos círculos descritos pelas estrelas é um dos polos dessa esfera.

As outras opiniões sobre o movimento dos astros são contrariadas pelas observações e Ptolomeu mostra como isso ocorre relacionando algumas dessas opiniões e suas respectivas falhas. Aqueles que afirmam ser o movimento das estrelas retilíneo e infinito, por exemplo, devem explicar como elas retornam diariamente ao mesmo ponto, o que não é possível se elas se movem em linha reta; e também por que elas não diminuem de tamanho até desaparecerem por completo à medida em que se afastam em linha reta. Os que são de opinião, por outro lado, que as estrelas nascem a partir da própria Terra (na região Leste) e desaparecem novamente nela (na região Oeste) precisam esclarecer como esse processo preserva o número, a magnitude e a posição das estrelas absolutamente inalterados, bem como se repete de maneira perfeitamente regular. E ainda, por que uma certa região da Terra se afigura ora como nascedouro de estrelas e ora como morredouro, dependendo da posição do observador; ou por que uma mesma estrela nasce em dado momento para um observador mas não para outro. Além disso, o que se poderia dizer das estrelas circumpolares (permanentemente visíveis), e por que essas estrelas não são as mesmas para todos os observadores. Todas essas opiniões, enfim, são consideradas absurdas por Ptolomeu (Cf. Ptolomeu 23, I.3 pp. 7-8).

Em sequência Ptolomeu oferece uma nova série de argumentos para a forma esférica dos céus. O primeiro argumento é o seguinte: se as estrelas não estivessem dispostas de forma esférica, a distância desde a Terra até elas seria variável à medida em que completassem o seu movimento; esse fenômeno ocorreria independentemente da posição ocupada pela Terra e traria, como consequência, alterações nas magnitudes das estrelas e em suas distâncias angulares relativas, ou seja, acarretaria modificações nos padrões das constelações. Como esses efeitos não são observados, excetuando um aumento de magnitude próximo à linha do horizonte

atribuído à névoa que circunda a Terra, Ptolomeu conclui pela esfericidade. O argumento seguinte se refere ao fato de que "(...) os instrumentos de medição do tempo não podem estar de acordo com qualquer hipótese salvo a esférica (...)" (Ptolomeu 23, I.3 p.8). O sentido do argumento parece ser o de que mediante o emprego de relógios pode ser constatada a regularidade do movimento (diário) das estrelas, no sentido de que a velocidade angular é constante; se as estrelas se movessem em elipses, digamos, ou segundo outro padrão não circular, ocorreriam variações periódicas de velocidade, positivas e negativas. Na sequência Ptolomeu apresenta razões de natureza finalista. Em primeiro lugar: "(...) uma vez que o movimento dos corpos celestes deve ser o menos impedido e o mais fácil, o círculo entre as figuras planas oferece a trajetória mais fácil, e a esfera entre os sólidos (...)" (Ptolomeu 23, I.3 p.8). É nítida, nesse ponto, a influência Aristotélica: inicialmente pela invocação da causa final; em seguida pela opção circular. O movimento natural, para Aristóteles, é retilíneo ou circular; as estrelas não se movem em linha reta, como foi visto; logo, seu movimento deve ser circular. A trajetória circular é a mais 'fácil' no sentido de que se processa de forma mais regular, ao passo que a trajetória ao longo de qualquer outra figura fechada requer mudanças mais ou menos bruscas de direção. A outra razão finalista diz respeito à forma mais adequada para o maior de todos os corpos. Assim, os céus (e o mundo) têm forma esférica porque a esfera é o sólido que possui a maior relação entre volume e superfície.

Na discussão do que Ptolomeu chama de 'considerações físicas' a presença da concepção Aristotélica do mundo se faz novamente notar. Os corpos celestes são feitos de éter, e "(...) de todos os corpos o éter tem as partes mais sutis e homogêneas (...) porém as superfícies de partes homogêneas devem ter partes homogêneas, e apenas o círculo é assim entre figuras planas e a esfera entre os sólidos" (Ptolomeu 23, I.3 p.8). Há, assim duas formas possíveis para o éter assumir em virtude do seu caráter

homogêneo: o círculo e a esfera. A observação astronômica mostra que a sua forma não é circular; portanto o éter é esférico. Assim, o mundo é esférico porque o seu 'envoltório' - o éter - possui essa forma.

Não apenas o mundo é uma esfera mas também a Terra possui essa forma. Ptolomeu mostra como essa conclusão pode ser obtida a partir de várias observações. Nota-se, em primeiro lugar, que o nascimento e o ocaso do Sol, da Lua e dos demais astros não se processa de modo simultâneo para diversos observadores situados em pontos diferentes. Há um lapso de tempo entre os registros dessas observações quando feitas a partir de locais distantes, e esse intervalo obedece a um padrão fixo, sendo os eventos registrados em primeiro lugar pelos observadores situados mais ao Leste e depois pelos situados mais ao Oeste. Também os eclipses obedecem a esse padrão, sendo registrados em primeiro lugar pelo observador situado mais ao Leste. Nota-se, ainda, que o lapso de tempo é proporcional à distância entre os pontos de observação, o que leva a tornar razoável a suposição da esfericidade da Terra, uma vez que a proporcionalidade observada sequer uma superfície de curvatura uniforme. As outras hipóteses para a forma da Terra são refutadas, de acordo com Ptolomeu, pelas observações. Assim, se a Terra fosse côncava, por exemplo, as estrelas seriam vistas em primeiro lugar pelos observadores situados mais a Oeste, contrariando os fatos. Se fosse plana, por outro lado, as estrelas seriam vistas por todos os observadores simultaneamente; de maneira similar, se a Terra tivesse a forma de um cubo ou qualquer outro poliedro, as estrelas seriam vistas ao mesmo tempo por todos os observadores situados sobre a mesma face, o que também contraria a experiência. A Terra tampouco pode ser cilíndrica, com as bases voltadas em direção aos polos celestes, uma vez que os habitantes da superfície curva jamais observariam estrelas circumpolares permanentemente visíveis, mesmo que se deslocassem em direção ao Norte ou ao Sul. Mas sabemos que os deslocamentos ao Norte e ao Sul são acompanhados de mudanças correspondentes na

posição dos polos celestes em relação ao horizonte. Finalmente, se estamos navegando em direção a algumas montanhas vemos que elas se elevam à medida que nos aproximamos, como se emergissem do oceano. Esse fenômeno é devido à curvatura da superfície da água e se manifesta independentemente da direção seguida pelo barco, o que mostra que a superfície da Terra é curva em todas as direções.

2. O MOVIMENTO CIRCULAR DOS CORPOS CELESTES

Na discussão precedente, sobre a forma do mundo, Ptolomeu se referiu ao movimento circular dos corpos celestes. A menção dizia respeito apenas à trajetória descrita diariamente pelos astros, de Leste para Oeste, ou o movimento diário. Entretanto, o movimento dos corpos celestes se processa de modo mais complexo do que essa descrição simples pode fazer supor. Há, de fato, uma composição de movimentos que deve ser elucidada pelo astrônomo, mediante seu desmembramento em movimentos simples. É nesse sentido que Ptolomeu introduz a suposição geral de que há dois movimentos principais no céu; trata-se da primeira decomposição dos movimentos celestes.

O primeiro movimento, já mencionado, é o diário. Segundo ele os astros se deslocam em conjunto e de forma regular de Leste para Oeste, descrevendo em sua trajetória círculos paralelos em torno de um eixo definido pelos polos celestes e completando uma revolução a cada dia. O maior desses círculos é chamado equador, "(...) porque apenas ele é seccionado exatamente ao meio pelo horizonte (...)" (Ptolomeu 23, I.8 p.12). Um dos traços principais desse movimento, portanto, é o fato de que ele é executado em conjunto por todos os astros. Isso é facilmente percebido ao se observar que os padrões das constelações, ou as posições angulares relativas entre as estrelas, mantêm-se inalteradas durante o movimento. Há porém, exceções a essa regra; o Sol, a Lua e as es-

trelas 'errantes' ou planetas, são vistos se deslocando (ainda que muito lentamente) entre as demais estrelas (estrelas fixas), sendo que esse movimento se dá em sentido oposto ao primeiro, ou seja, de Oeste para Leste. Um segundo movimento celeste é suposto, então, para dar conta dos deslocamentos do Sol, Lua e Planetas. Há, aqui, uma observação a ser feita. Se o segundo movimento se processa em sentido oposto ao movimento diário e é muito mais lento que ele, temos, como consequência, um deslocamento resultante obedecendo ao mesmo sentido do primeiro movimento - de Leste para Oeste - apenas com os planetas, o Sol e a Lua se atrasando um pouco em relação às estrelas. Poder-se-ia, então supor que há apenas um movimento, com a ressalva de que o Sol, a Lua e os planetas se movem com uma velocidade algo inferior à das estrelas, sendo continuamente suplantados por elas. Ptolomeu, todavia, rejeita essa concepção com base na seguinte razão: "Se, portanto, esse movimento dos planetas também ocorresse em círculos paralelos ao do equador - que dizer, em torno dos mesmos polos que os da primeira rotação - seria suficiente assumir para todos eles o mesmo movimento de rotação de acordo com o primeiro." (Ptolomeu 23, I.8 p.13). Ocorre que o segundo movimento não se processa em círculos paralelos ao equador, mas de modo oblíquo, de forma que o Sol, Lua e planetas são vistos se desviando ora em direção ao Norte e ora ao Sul. "Mas embora esse desvio seja irregular na hipótese de um movimento preferencial, ele é regular quando efetivado por um círculo oblíquo ao equador". (Ptolomeu 23, I.8 p.13). Assim, na suposição de apenas um movimento celeste os deslocamentos dos planetas, do Sol e da Lua permanecem inexplicados; basta, porém, supor um segundo movimento, oblíquo, para que seus movimentos se tornem inteligíveis, uma vez que esses astros se deslocam (no segundo movimento) ao longo do mesmo círculo (há algumas variações mas elas obedecem a um padrão regular).

O segundo movimento celeste, portanto, efetuado pelo Sol, Lua e planetas, tem lugar sobre um círculo oblíquo ao equador (e aos demais círculos diários). Esse círculo é, também, um círculo

máximo, ou seja, é coplanar ao ponto central da esfera do mundo. Os astros se deslocam sobre ele em sentido oposto ao do movimento diário - de Oeste para Leste - sendo que esse deslocamento não é efetuado em conjunto; cada planeta segue com uma velocidade específica. A disposição do círculo oblíquo, ou eclíptica, pode ser visualizada na figura abaixo:

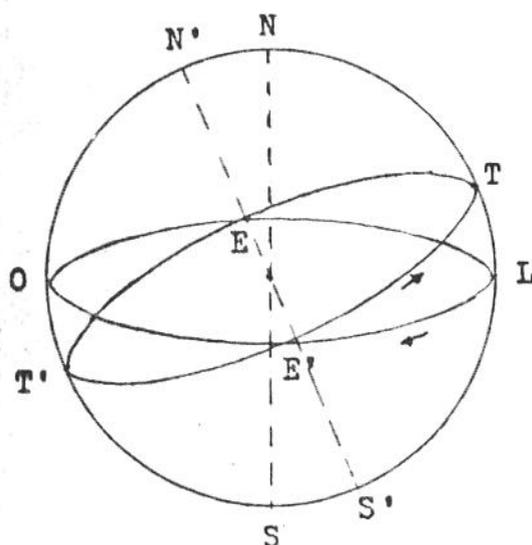


Figura 1

O círculo NLSO representa a esfera do mundo. O círculo OELE' representa o equador celeste e o círculo oblíquo ETE'T' representa a eclíptica. Os polos da eclíptica são N' e S' enquanto que N e S são os polos do equador celeste. Podemos identificar quatro pontos sobre a eclíptica: os pontos E e E' definidos pela interseção com o equador e diametralmente opostos são chamados equinócios; os pontos T e T' definidos pela interseção com o círculo N'NS'S (o círculo traçado através dos quatro polos) são, também, diametralmente opostos e denominados trópicos (ou solstícios). Os dois movimentos celestes se processam, então, do seguinte modo: o pri-

meiro movimento - diário - tem como eixo o segmento de reta NS e carrega consigo o círculo NLSO (e, junto com ele, os polos da eclíptica N' e S'); o sentido desse movimento é de Leste para Oeste. O segundo movimento tem como eixo o segmento de reta NS e o seu sentido é oposto ao do movimento diário, como indicam as setas.

3. A POSIÇÃO CENTRAL E A IMOBILIDADE DA TERRA

Uma vez estabelecida a forma esférica do mundo e da Terra, Ptolomeu passa a considerar as questões da posição da Terra no Universo e do seu possível movimento. Oferece, para tanto, uma série de argumentos astronômicos de natureza geométrica bem como algumas razões físicas, as quais, como veremos, consistem numa aplicação das teorias Aristotélicas. Toda a argumentação conduz à conclusão de que a Terra permanece absolutamente imóvel bem como no centro do mundo. A discussão sobre a posição da Terra é aberta ao estilo Aristotélico: caso ela não estiver no centro do mundo só poderá estar "(...) fora do eixo mas equidistante aos polos, ou sobre o eixo mas mais avançada em direção a um dos polos, ou nem sobre o eixo e nem equidistante aos polos". (Ptolomeu 23, I.5 p.9). Ptolomeu trata, então, de refutar as três últimas alternativas, com o que fica provada a posição central.

Consideremos, pois, a primeira alternativa: a Terra equidistante dos polos mas fora do eixo do mundo. As consequências dessa posição variam conforme a localização do observador. Vejamos, inicialmente, o que ocorreria a um observador situado numa posição tal que o centro do mundo ficasse acima dele (próximo ao Zênite astronômico), e também a um observador situado em posição oposta a esse (o centro do mundo estaria, então, próximo ao Nadir astronômico). Ambos os observadores devem, também, estar sobre o equador terrestre, ou seja, na chamada 'esfera reta'. Observemos a situação na figura abaixo:

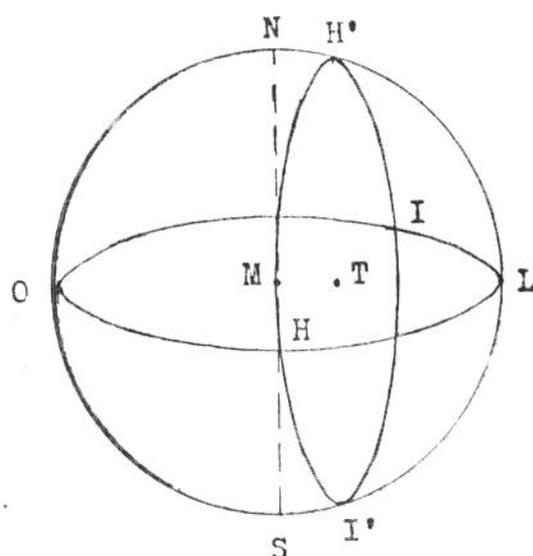


Figura 2

O ponto M representa o centro do mundo e o Ponto T a Terra (fora do eixo e equidistante aos polos). O círculo $HH' II'$ representa o plano do horizonte para os observadores em questão. A consequência absurda decorrente dessa disposição é a de que jamais haveria equinócios, ou seja, uma igual duração para a noite e o dia; o primeiro observador (que tem o ponto M acima dele) teria, com efeito, os dias sempre maiores que as noites, enquanto que o inverso aconteceria para o segundo observador. Isso ocorre porque "(...) a seção acima da terra e a seção abaixo da terra seriam sempre seccionadas desigualmente pelo horizonte ." (Ptolomeu 23, I.5 p.9). Se o observador se deslocasse suficientemente para o Norte, digamos, teríamos a situação abaixo:

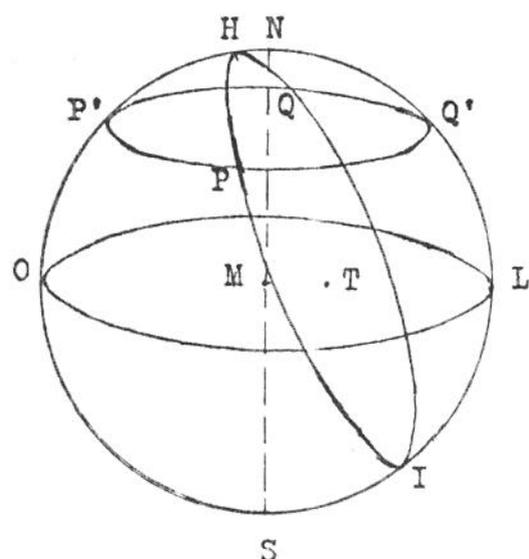


Figura 3

O plano do horizonte do observador, descrito pelo círculo PHQI se inclinaria, em virtude do seu deslocamento para o Norte, a tal ponto que os equinócios passariam a ocorrer novamente. Porém, como o plano do horizonte não bissecta o equador mas o círculo paralelo PP' QQ', os equinócios não teriam lugar exatamente entre os dois solstícios, o que também contraria a experiência. Imaginemos, agora, um observador situado numa longitude tal que o centro do mundo ficasse exatamente sobre o plano do horizonte, no lado ocidental. A situação pode ser descrita através da figura 3, supondo o círculo NLSD como o horizonte desse observador. Não haveria, nessa hipótese, nenhuma irregularidade com respeito à posição dos equinócios, mas, por outro lado, seriam registradas alterações nas magnitudes e nas distâncias angulares das estrelas (ao se deslocarem de Leste para Oeste); haveria, também, uma diferença entre o tempo gasto pelo Sol (e pelas estrelas) do nascimento ao meridiano e daí até o ocaso. Todas essas consequências

são negadas pela experiência; de onde se conclui que a Terra não se situa, como foi suposto, fora do eixo do mundo.

Analisemos, em sequência, a segunda alternativa considerada por Ptolomeu para a posição da Terra: sobre o eixo mas não equidistante aos polos. Como na alternativa anterior, as consequências advindas dessa posição da Terra seriam diferentes para cada ponto de observação. Assim, as duas seções da esfera das estrelas, definidas pela interseção com o plano do horizonte (abaixo e acima dele), seriam desiguais e essa desigualdade variaria de acordo com a latitude do observador. Apenas o observador situado sobre o equador terrestre (mas não sob o equador celeste, uma vez que nesta hipótese os dois não estão relacionados) veria a esfera celeste seccionada em duas partes iguais. A falsidade dessa hipótese pode ser verificada pela maneira como o plano do horizonte secciona a eclíptica. Observemos a seguinte figura:

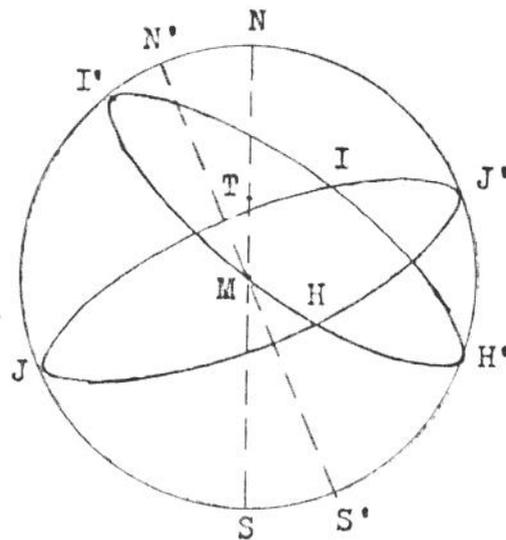


Figura 4

Conforme a hipótese assumida, a Terra (T) se encontra sobre o eixo, porém afastada do centro do mundo (M). O observador se encontra posicionado numa latitude ao Norte do equador (terrestre), de modo que o plano do seu horizonte é representado pelo círculo $HH' II'$ e o polo celeste Norte (N) se encontra visível. Ocorre que a eclíptica - representada pelo círculo $JHJ' I$ - seria seccionada em partes desiguais, como se pode ver, pelo plano do horizonte. Essa consequência é totalmente contrária à experiência, pois dos doze signos do zodíaco (os quais se posicionam ao longo da eclíptica), seis permanecem visíveis enquanto que os outros seis ficam encobertos; revelando que a eclíptica é sempre seccionada exatamente ao meio pelo plano do horizonte.

Quanto à terceira hipótese aventada para a posição da Terra - fora do eixo e não equidistante aos polos - ela fica completamente eliminada diante das objeções levantadas às alternativas anteriores, uma vez que os mesmos problemas atingiram, também, essa hipótese. A análise efetuada até esse ponto, por Ptolomeu, das alternativas possíveis à posição da Terra permite concluir pela posição central. Ele apresenta, contudo, mais um argumento: todas as observações de eclipses lunares são registradas quando o Sol e a Lua se encontram diametralmente opostos, o que só é possível pela posição central ocupada pela Terra.

Na discussão precedente, sobre a posição da Terra, foram examinadas algumas consequências que adviriam caso ela não estivesse situada bem no centro do mundo. Viu-se, na ocasião, que os dados da observação astronômica não apenas corroboram a tese da posição central como, também, que as aparências oferecidas ao observador situado em qualquer parte do globo se processam como se esse observador fosse o próprio centro geométrico do mundo. Isso pode ser exemplificado pelo fato, já mencionado, do plano do horizonte seccionar a eclíptica em duas partes iguais; como a eclíptica é um círculo máximo da esfera do mundo, o fato de ser dividida em partes iguais pelo plano do horizonte - qualquer que seja a latitude do observador - revela que o centro do mundo está situa-

do sobre esse mesmo plano. O fato, dizendo de forma mais precisa, de que o raio da Terra é muito pequeno quando comparado ao raio do mundo, podendo, para esse efeito, ser considerado como um ponto, já ficou de certa forma implícito na argumentação anterior. Todavia, Ptolomeu coloca esse aspecto em destaque mediante argumentos já empregados sob uma ou outra forma. Assim, as magnitudes e as distâncias angulares entre as estrelas se mantêm constantes em todas as observações; o funcionamento dos relógios de Sol se dá como se eles estivessem exatamente no centro da Terra e, finalmente, o plano do horizonte secciona a esfera das estrelas em duas partes exatamente iguais. Nenhuma dessas aparências seria observada caso o tamanho da Terra fosse considerável em relação ao mundo, ou se ela não se situasse no centro; todas essas considerações terão um papel importante, como veremos posteriormente, na discussão do heliocentrismo.

Quanto ao problema do possível movimento da Terra, algumas considerações de natureza física são postas ao lado dos argumentos geométricos. Ptolomeu dá início à discussão, contudo, mediante um raciocínio geométrico. A argumentação precedente, diz ele - referindo-se à discussão sobre a posição da Terra - revela, também, que a Terra não se afasta do centro do mundo por nenhum momento (cf. Ptolomeu 23, I.7 pp. 10-11). Se assim não fosse, seriam observadas as mesmas consequências decorrentes da posição não-central. A imobilidade da Terra, pelo menos no que se refere aos deslocamentos em relação ao centro do mundo, fica, desse modo, assegurada. Ptolomeu discute em seguida, embora diga que isso lhe parece supérfluo, as causas da ordem vigente no mundo, revelando, então, sua adesão às teorias físicas de Aristóteles. A Terra está situada no centro do mundo e os objetos pesados caem em direção a ela; como a Terra é esférica e a queda dos corpos se dá segundo uma trajetória perpendicular à superfície (ou ao plano tangente à superfície, de modo mais exato), conclui-se que os corpos pesados caem em direção ao centro do mundo, onde chegariam "(...) se eles não fossem detidos pela superfície da terra (...)"

(Ptolomeu 23, I.7 p.11). A Terra permanece imóvel no centro do mundo, segundo essa interpretação Aristotélica, porque esse é o lugar natural dos corpos pesados (o lugar onde permanecem em repouso). Da mesma forma, Ptolomeu pode responder à objeção daqueles que julgam paradoxal o fato da Terra, sendo tão pesada, não se mover de forma alguma ou, quem sabe, cair pelo mundo abaixo. Ele argumenta justamente que não há 'baixo' ou 'alto' no mundo com respeito à Terra. Há, isso sim, movimentos radiais em direção ao centro ou em direção à periferia, que são os movimentos naturais dos corpos pesados e leves, respectivamente. Dizemos que esses movimentos ocorrem para baixo e para o alto apenas porque, como habitantes da superfície da Terra, o centro do mundo está sempre sob os nossos pés e a perifeira acima de nossas cabeças. A Terra não pode se mover, ainda, pela seguinte razão: como ela é o corpo mais pesado que se possa imaginar, sua velocidade seria também a mais elevada. Isso levaria segundo Ptolomeu, a que todas as coisas que não se encontram apoiadas sobre a Terra - como as nuvens, os pássaros e os objetos atirados para cima - fossem ultrapassados pelo seu rápido movimento e fossem vistas se deslocando com grande velocidade para Oeste. Se os defensores da rotação da Terra, por outro lado, imaginam que o ar participa desse movimento e carrega consigo todos os corpos, Ptolomeu retruca que, nesse caso, não haveria movimento de qualquer espécie e os corpos manteriam suas posições relativas inalteradas. Não é muito fácil entender a forma como ele chega a essa conclusão. Podemos supor, talvez, o seguinte: uma vez que a suposta rotação da Terra deve ter uma velocidade muito elevada, o ar, que a acompanha, deveria também se mover muito rapidamente; poder-se-ia imaginar, então, que qualquer outro movimento seria ineficaz diante de um deslocamento tão veloz, quer esse outro movimento fosse oposto ou mesmo concorrente ao movimento do ar.



SEGUNDA PARTE

COPÉRNICO

CAPÍTULO III

A FORMA ESFÉRICA DO MUNDO

Comecemos nosso exame da Cosmologia de Copérnico pela questão referentes à forma do mundo. O capítulo dedicado ao assunto no 'De Revolutionibus' (I.1) é extremamente breve, embora possua, também, um conteúdo de grande profundidade teórica; melhor seria dizer que ele é extremamente denso. Sua brevidade, contudo, parece sugerir que principiemos por enunciar, um a um, os seus argumentos. O Universo Copernicano é esférico, tendo por fronteira a esfera das estrelas fixas. As razões apresentadas para justificar essa forma são quatro. Em primeiro lugar vemos que "(...)" essa figura é a mais perfeita de todas, sendo ela um todo integral e não necessitando de junções (...); a seguir o argumento é de que "(...)" essa figura é a que possui maior volume e assim é especialmente adequada ao que deve compreender e conservar todas as coisas (...)" em terceiro lugar "(...)" as partes do mundo i.e., o Sol, lua, estrelas são vistas sob essa forma(...)" e finalmente "(...)" todas as coisas no mundo tendem a ser delimitadas por essa forma, como é aparente no caso das gotas de águas e outros líquidos, quando são delimitadas por si próprios." (Copérnico I, I.1, p. 1a).

Caberia, agora, examinar as relações de precedência vigentes entre esses argumentos; a tarefa, contudo, não é tão simples, uma vez que o Copérnico emprega concomitantemente diversas causas. Tentaremos, primeiramente, identificar os pressupostos de cada uma dessas causas. No que se refere à primeira razão apresentada, qual seja, a de que a forma esférica é a mais perfeita, ela parece estar fundamentada sobre um princípio de correspondên-

cia entre a forma de um corpo (forma geométrica, bem entendido) e certas características intrínsecas a esse corpo. Assim, a forma esférica - que é mais perfeita, por formar um todo integral (sem juntas) - corresponderia de maneira natural ao mundo, em virtude de certas propriedades ou características que este último possui. Não devemos nos preocupar, por enquanto, em entender por que a forma esférica é a mais perfeita, ou de que maneira se processa exatamente a aludida correpondência entre a forma da coisa e a própria coisa. O que importa, pelo momento, é apenas enunciar os pressupostos que estariam por trás das razões referidas por Copérnico. Passemos, pois, à outra razão: ela afirma que a forma esférica é a mais adequada ao mundo por ser a esfera o sólido que possui o maior volume. Certamente o fato aqui referido é o de que a relação volume-superfície da esfera é a maior entre todos os demais sólidos, ou seja, uma esfera que possua determinado volume terá uma superfície menor que a de qualquer outro sólido de mesmo volume. O princípio natural pressuposto por essa razão pode se entendido como um princípio de 'economia', quer dizer, a natureza procura otimizar uma variável (a superfície, no caso) tornando-a mínima. A razão seguinte, como se pode lembrar, afirma que podemos inferir a forma esférica do mundo a partir da esfericidade de suas partes, como o Sol ou a Lua. O princípio aqui invocado, portanto, parece sugerir algo como uma correspondência ou simetria entre o todo e suas partes. Desse modo, se o mundo é esférico, também o será o Sol, que é sua parte, e vice-versa. A última razão afirma que todas as coisas tendem a assumir a forma esférica, e isso pode ser evidenciado pela forma assumida pelas gotas de água, bem como de outros líquidos. Tudo indica que o pressuposto envolvido neste caso consiste numa lei natural segundo a qual todos os corpos tendem a assumir a forma esférica. Ou seja, há algo como uma propriedade fundamental da matéria que faz com que ela se agregue em esferas.

Uma vez mencionados os que acreditamos serem os princípios sobre os quais se assentam as razões apresentadas por Copérnico

para a esfericidade do mundo, podemos prosseguir em nosso propósito de identificar quais dessas razões têm precedência sobre as outras. Começemos por catalogar os princípios identificados até o momento. Poder-se-ia dizer que eles se agrupam, a grosso modo, em duas principais categorias: a primeira delas - que envolve os três primeiros princípios - aglutinaria o que poderíamos chamar de 'princípios de correspondência'. Haveria, desse modo, um princípio de correspondência entre a forma do objeto e o próprio objeto; em segundo lugar, o princípio que denominamos de 'economia' pode ser entendido também como um princípio de correspondência, uma vez que ele atribui, ou faz corresponder, uma forma mais 'econômica' (a esfera) a um corpo (o mundo) em virtude de uma característica desse corpo (qual seja, ser o recipiente de todas as coisas). Em terceiro lugar, finalmente, podemos considerá-lo também como um princípio de correspondência aquele que associa a forma do todo à de suas partes, quer dizer, um princípio de correspondência entre o todo e as partes. Nossa primeira categoria, portanto, engloba três princípios, sendo que todos eles possuem a mesma forma geral, que é a de estabelecer relações de correspondência entre as formas geométricas e as coisas. Quanto ao princípio restante, o qual afirma que todas as coisas tendem a assumir a forma esférica, podemos incluí-lo na categoria de 'lei natural'; trata-se de uma propriedade da matéria segundo a qual esta se agrega sempre sob a forma esférica.

Temos, em resumo, que os argumentos invocados por Copérnico para a esfericidade do mundo parecem ter por fundamento uma lei natural e alguns princípios de correspondência. Nesse ponto alguém poderia, muito justamente, questionar o uso que fazemos desses termos, como princípios e leis naturais. Não poderiam os tais princípios serem considerados também como leis naturais? Ou, inversamente, o que chamamos de lei natural não poderia ser considerado também um princípio? Reconhecemos que as respostas a essas duas questões podem ser afirmativas. Não pretendemos polemizar sobre esse ponto, mas tentaremos esclarecer, contudo, o sentido

em que empregamos tais termos. Por 'lei natural', com efeito, desejamos apenas nomear algo mais geral que os princípios de correspondência. Assim, ao formularmos a lei natural segundo a qual a matéria se agrega sob a forma esférica, podemos, imediatamente, prescindir de todas as demais razões; essa lei, sozinha, é capaz de explicar a forma do Universo sem recorrer a nenhuma suposição adicional sobre correspondência entre as formas geométricas e objetos, ou entre o todo e suas partes. Com relação a esse último caso a referida lei é capaz, ainda, de explicar a própria forma das partes. Mas a principal justificativa que temos para classificar as razões de Copérnico nessas duas categorias não é essas; ocorre que suas três primeiras razões (as quais agrupemos numa mesma categoria) podem ser caracterizadas como derivadas diretamente da 'antiga' Cosmologia, ao passo que sua quarta razão está intimamente relacionada à hipótese heliocêntrica (embora nem seja, talvez, originalmente formulada por Copérnico) no sentido de que cumpre funções específicas dentro do novo sistema do mundo. Passaremos, pois, a examinar com maior detalhe as razões de Copérnico, iniciando pelas primeiras três.

O primeiro argumento de Copérnico para a esfericidade do mundo, como mencionamos, é o de que essa figura é a mais perfeita de todas, formando um todo integral. Mas o fato da esfera ser uma figura perfeita, seja qual for o sentido que se dê à palavra, não implica em que essa deva ser a forma do mundo! De fato, essa conclusão pressupõe uma correspondência entre duas séries: de formas geométricas, de um lado, e de objetos, de outro lado, de modo que a cada objeto, por sua natureza, corresponda uma forma geométrica própria. Essa idéia se encontra também em Aristóteles, e tentaremos mostrar que Copérnico faz uso dela de maneira quase direta, ou talvez, com pequenas adaptações. O Estagirista discute (Cf. Aristóteles I, p. 286b) inicialmente qual seria a forma geométrica primária. As figuras planas podem ser retilíneas ou curvilíneas, sendo que as primeiras são delimitadas por mais de uma linha (possuem vértices) enquanto as últimas são formadas por apenas

uma linha. O argumento, então, é de que o que é único e simples é naturalmente anterior ao que é variado e complexo. O círculo, desse modo, é a figura plana primária justamente por ser constituída de apenas uma linha. Um outro argumento afirma que o círculo é uma figura completa, e como o que é completo é anterior ao incompleto, segue-se que o círculo é a figura primária. Por 'completo', nesse caso, entende-se algo fora do que "(...) não é possível encontrar qualquer, mesmo uma, de suas partes (...)" (Aristóteles 2, p. 1021b); isso significa, no caso de formas geométricas, que as figuras retilíneas nunca podem ser completas. Vejamos as figuras abaixo:

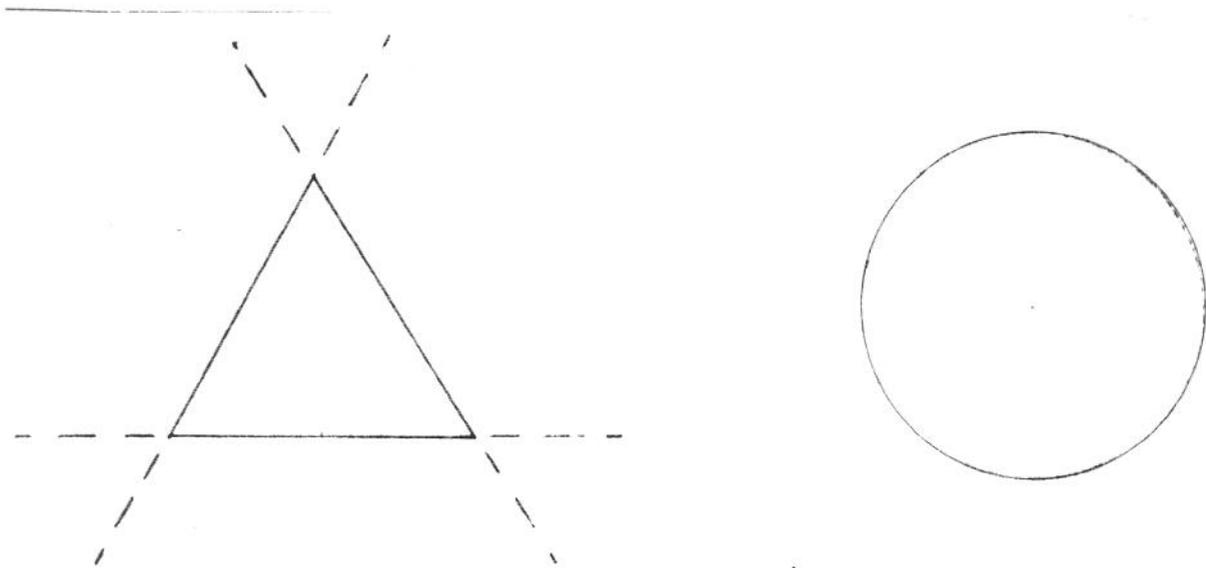


Figura 5

O triângulo não é uma figura completa pois suas 'partes', ou seja, os três segmentos de reta que o compõem, podem ser prolongados (como indicam as linhas tracejadas). O círculo, por sua vez, não pode ser prolongado de modo análogo, sendo, por isso, completo. Há um problema ainda quanto a essa questão, no sentido de que

uma elipse, por exemplo, poderia ser considerada tão completa quanto o círculo; a esse respeito Aristóteles diria, provavelmente, que o círculo é mais simples e que, portanto, ele deve ser considerado primário.

Tudo o que foi dito a respeito do círculo é válido também para a esfera, que é assim, o sólido primário (limitado por apenas uma superfície). Quer dizer, o mesmo raciocínio desenvolvido em relação às figuras planas pode ser estendido aos sólidos, apenas substituindo as linhas por superfícies. Chegamos assim ao primeiro elemento da argumentação de Aristóteles: um sólido primário - a esfera. A forma primária deve corresponder a um corpo primário. Qual será, então, o corpo primário? Esse corpo é o éter, ou o elemento que compõe o 'envoltório' do mundo, ou seja, o Estagirita mostra que a porção mais externa do mundo é esférica, e portanto, que essa é a forma do mundo. Não entraremos aqui nos pormenores da demonstração, mas ela se desenvolve, em linhas gerais, do seguinte modo: todos os corpos possuem um princípio interno de movimento, e os dois modos fundamentais de movimento são o retilíneo e o circular; os corpos simples, portanto, só podem se mover naturalmente em linha reta (para 'cima' ou para 'baixo') ou em círculos. Ocorre que o movimento circular é a forma primária de movimento, seja devido às características do círculo, que foram vistos acima, seja porque o movimento circular é o único capaz de ser eterno e perfeitamente regular. Segue-se, portanto, que o corpo que se move naturalmente em círculos é o corpo primário. Temos, assim, que ao corpo primário - o éter corresponde uma forma primária - a esfera - e que, como o éter é o 'envoltório' do mundo, o próprio Universo é esférico.

De que forma, porém, podemos dizer que o primeiro argumento de Copérnico não difere fundamentalmente do que acabamos de ver? Ele afirma que a esfera é a figura mais perfeita, uma vez que forma um todo integral e não necessita de junções. Ou seja, a perfeição advém do fato da esfera possuir apenas uma 'face', ou não ter arestas, uma vez que é limitada por uma única e contínua

superfície. Essa noção equivale, portanto, à noção de figura primária (em virtude de sua simplicidade e unicidade) de Aristóteles. Mas não é apenas nesse sentido que se pode falar numa correspondência com Aristóteles; é possível supor que a referida perfeição esteja associada, também, à idéia de completude. Segundo o filósofo grego, o círculo - e também a esfera - é uma figura perfeita, pois nada pode ser acrescentado a ela (não pode ser prolongada como as figuras retilíneas); a esfera é perfeita, portanto, pois é completa, ou ainda, 'completo' e 'perfeito' podem ser tomados como sinônimos. Suponhamos então, pelo momento, que Copérnico - como Aristóteles - considera a forma esférica perfeita, em virtude de sua simplicidade e completude. Mas e quanto ao mundo? Por que haveria ele de ter a forma esférica? Na sua segunda razão Copérnico afirma que a esfera é "(...) especialmente adequada ao que deve compreender e conservar todas as coisas (...)" (Copérnico 9, I.1, p. 1a); ora, se o mundo compreende todas as coisas ele é 'completo', no exato sentido em que o Estagirita emprega o termo, ou seja, nada do que há dentro do mundo pode ser encontrado também fora dele, e portanto, nada pode ser acrescentado a ele. Copérnico pressupõe, dessa forma, um princípio que associa uma série de objetos a uma série de formas geométricas, de modo que o objeto primário ou mais perfeito (em virtude de ser completo) - o mundo - corresponde a forma mais perfeita (em virtude de ser simples e completa) - a esfera. O argumento é muito semelhante, pois, em seu contorno, ao de Aristóteles; com a diferença de que o filósofo grego obtém a correspondência entre as séries através da intermediação do movimento, quer dizer, a forma primária corresponde ao corpo primário (o éter), uma vez que o movimento natural deste é o circular. Essa intermediação, por sua vez, é autorizada pela suposição de que todas as coisas possuem um princípio interno de movimento. Enquanto Copérnico transita diretamente da forma esférica ao corpo completo (o mundo), valendo-se da noção Aristotélica de completude. A renúncia à intermediação do princípio de movimento é bem compreensível, uma vez que



nem todas as esferas celestes têm movimento na Cosmologia de Copérnico (a esfera das estrelas fixas, mais precisamente, e imóvel).

Passemos agora ao segundo argumento do astrônomo para a esfericidade do mundo. A esfera é o sólido que possui o maior volume, diz ele, sendo portanto a forma mais apropriada para abarcar todas as coisas. O sentido em que se afirma que a esfera é o sólido de maior volume é certamente, como dissemos, de que seu volume é máximo em relação à sua superfície, ou seja, dentre todos os sólidos de igual superfície a esfera possui o maior volume, ou ainda, a relação volume-superfície da esfera é a maior entre os sólidos. Por esse motivo o argumento soa como uma espécie de 'princípio de economia': a natureza parece obedecer a um comportamento otimizador quando busca obter o máximo volume com uma superfície mínima. Não é fácil descobrir a origem desse princípio, mas ele possui, entretanto, um antecedente importante: é utilizado por Ptolomeu (Cf. ptolomeu 23, I. 3 p. 8), podendo ser mantido por Copérnico uma vez que não interfere com as características da nova Cosmologia. Mas o fato mais importante com relação a esse argumento é que ele preserva a mesma estrutura do anterior, qual seja, estabelece uma correspondência entre objetos físicos e formas geométricas, cabendo, assim, a cada objeto uma determinada forma, de acordo com as características de ambos; assim, ao mundo - o maior 'objeto' - cabe a forma esférica - a forma mais volumosa.

O terceiro argumento de Copérnico afirma que o mundo é esférico porque suas partes - o Sol, a Lua e as estrelas - também o são. Há alguns problemas com essa concepção; o primeiro deles é que não havia boa evidência astronômica - especialmente antes da invenção do telescópio - para apoiar a tese da esfericidade de todos esses corpos celestes; apenas em relação à Lua essa inferência era possível, a partir da observação das formas assumidas pela superfície sombreada desse astro durante a evolução das fases lunares. Quanto ao Sol e às estrelas (incluindo aí os plane-

tas) não era possível fazer nenhuma observação semelhante. Seria preciso mostrar, então, de alguma outra maneira, que o Sol e as estrelas são tão esféricos quanto a Lua. Feito isso, restaria um segundo problema: mostrar que o mundo é, também, esférico, como o são as estrelas, a Lua ou o Sol. Examinemos, em primeiro lugar, a resposta de Aristóteles a essas questões. Vemos, inicialmente, que ele não tenta provar a forma do mundo a partir da forma dos astros; mas não deixa de concluir, também, que tanto um quanto os outros são esféricos. Ele argumenta, de início, que os astros são compostos da mesma substância que preenche toda a região supralunar; o movimento natural dessa substância (o éter) é circular, como foi visto anteriormente. Os astros são esféricos e permanecem fixos sobre as esferas celestes, pelas quais são movidos; assim, a forma esférica é a mais adequada tanto ao movimento de rotação das esferas celestes, quanto à imobilidade dos astros (em relação às suas esferas), uma vez que eles não necessitam de 'pernas' ou órgãos de locomoção (Cf. Aristóteles I, pp. 289-290a). Essa argumentação, é bom repetir, não procura explicar a forma do mundo a partir da forma dos astros, mas tão somente mostrar que os astros são esféricos. O elevado grau de sistematização da obra de Aristóteles acaba, porém, por unir os dois temas; assim, se o mundo possui a mesma forma de sua parte mais externa, ou de seu limite exterior, e se esse limite é a esfera das estrelas fixas, segue-se que o mundo é esférico! Copérnico, por sua vez, se vê forçado a não aceitar esse tipo de argumentação, de vez que ela pressupõe o movimento (rotação) de todas as esferas celestes, ao contrário, pois, de sua própria hipótese da imobilidade da esfera das estrelas fixas. Como ele procura, então, responder aos dois problemas que haviam emergido? Quais sejam: (i) mostrar que todos os astros são esféricos, uma vez que a observação astronômica só faz isso com respeito à Lua; (ii) mostrar que o mundo, como os astros, também é esférico. A solução, como havíamos sugerido, é obtida pela postulação de um princípio de

correspondência entre o todo e suas partes (entre as formas geométricas do todo e das partes, no caso). A aceitação desse princípio soluciona de forma simultânea os dois problemas: se temos evidência astronômica para a esfericidade da Lua concluímos que o mundo, do qual ela é parte, também é esférico; contrariamente, se o mundo é esférico, o Sol, os planetas e as estrelas - que são as partes - também o serão. É possível, então, dizer como Copérnico, que o mundo é esférico porque assim o são as suas partes.

Dentre as razões adiantadas por Aristóteles para justificar a forma esférica do mundo há aquelas que não são sequer mencionadas por Copérnico, e que repousam completamente sobre as suposições da rotação da esfera das estrelas fixas e da posição central da Terra no Universo. Parece ser de interesse que as mencionemos rapidamente. Temos, em primeiro lugar, que a suposição da rotação da primeira esfera combinada com a de que não há absolutamente nada (nem mesmo um vazio) para além das fronteiras do mundo, leva à conclusão de que o mundo tem a forma de uma esfera; a razão que leva a essa conclusão reside no fato de que um sólido retilíneo, por exemplo, não pode ocupar exatamente o mesmo lugar se for girado. Isso quer dizer que nas extremidades (como seus vértices, por exemplo) deixariam um espaço vazio se se deslocarem, ao mesmo tempo em que deveriam ocupar um novo lugar, o qual deveria estar vazio. Poder-se-ia pensar em outras formas, tais como cilindros, cones, ou ovóides, os quais poderiam girar sem abandonar nunca o seu lugar inicial, desde que o eixo de rotação fosse coincidente com o eixo de simetria desses sólidos; mas Aristóteles rejeita essa solução, ou seja, ele exige uma forma que possa girar segundo um eixo independente do eixo de simetria, e essa forma é a da esfera.

O outro argumento, envolvendo também o movimento da primeira esfera, afirma que esse movimento é a medida de todos os outros, em virtude de ser contínuo, regular e eterno. Como a medida dos demais movimentos ele é o mais rápido, pois "(...) a medida é o mínimo, e o movimento mínimo é o mais rápido (...)"

(Aristóteles 1, p. 287a); além de ser um movimento recorrente, pois as estrelas retornam periodicamente ao mesmo ponto. Finalmente, conclui o Estagirita, o movimento que é simultaneamente recorrente e o mais rápido deve ser necessariamente circular, pois esse é o caminho mais curto para se retornar ao mesmo ponto e, conseqüentemente, pode ser percorrido mais rapidamente; assim sendo, o mundo deve ser esférico.

Se os argumentos precedentes levavam em conta o movimento de rotação da esfera das estrelas fixas, a razão proposta em seqüência por Aristóteles toma como ponto de partida o centro do Universo. Ao redor desse centro estão dispostos os elementos (terra, água, ar e fogo) que compõem a Terra. A água, por sua vez, tende a assumir uma forma perfeitamente esférica, em virtude de sua grande fluidez associada ao movimento natural que a impele para o centro. Argumenta-se, então, (Cf. Aristóteles 1, pp. 287a-287b) que tanto as camadas de ar e fogo, como as camadas de éter que compõem as esferas celestes e que são sucessivamente justapostas umas às outras, devem ter, obrigatoriamente, a mesma forma esférica. Conseqüentemente, a camada mais externa, ou a fronteira do mundo, será igualmente esférica e essa será a forma do mundo como um todo.

Esses três últimos argumentos de Aristóteles, como dissemos, não são mencionados por Copérnico na discussão sobre a forma do mundo. Seus pressupostos - o movimento da esfera das estrelas fixas e a posição central da Terra - serão, porém, criticados por ele na ocasião apropriada. O fato que mais desperta a atenção, contudo, é que Copérnico parece acolher prontamente todos os argumentos provenientes da 'antiga' Cosmologia que não se chocam frontalmente com suas novas hipóteses.

As razões apontadas para explicar a forma esférica do mundo que foram examinadas até o momento tinham, em grande medida, a mesma forma geral: estabeleciam algum tipo de correspondência entre coisas e formas geométricas. A quarta razão apresentada por Copérnico, contudo, a qual afirma que todas as coisas no Universo

tendem a assumir a forma esférica, como é o caso das gotas de água e demais líquidos, diferencia-se das anteriores em alguns aspectos importantes. Há, em primeiro lugar, uma diferença relacionada ao grau de generalidade das proposições. Os argumentos que estivemos considerando até o momento atribuíam a forma esférica a certos objetos em virtude de características particulares que possuíam, a saber: o objeto completo, ao maior objeto (mais volumoso) e ao todo cujas partes são esféricas. O argumento em questão, por sua vez, tem o caráter de generalidade absoluta: afirma que todas as coisas, ou toda a matéria, tende a assumir a forma esférica. Em razão dessa generalidade é que chamamos de 'lei natural'. Um segundo aspecto a diferenciar esse argumento dos demais é de natureza funcional ou operacional: ele desempenha funções específicas na nova Cosmologia. Procuremos esclarecer esse ponto. Para Aristóteles, os astros são esféricos pois essa é a forma mais adequada a eles; a forma esférica da Terra, porém, não resulta da melhor adequação dessa; forma ou razão semelhante; resulta, simplesmente, da competição entre as partes pesadas que, ao procurarem atingir o centro do mundo, acabam por se dispor de forma esférica (todos os pontos da superfície da esfera são equidistantes ao centro). Ora, se Copérnico coloca a Terra em órbita ao redor do centro do mundo, ele deve abandonar essa concepção, ao mesmo tempo em que deve explicar o motivo pelo qual a Terra conserva a sua forma esférica. Nesse sentido é que ele afirma que todas as coisas tendem a se agregar em esferas. E mais, essa tendência pode ser observada nas pequenas gotas de água; as porções de água um pouco maiores, porém, escoam imediatamente para os lugares mais baixos, de modo a restaurar a forma esférica da Terra (a fluidez da água é fundamental para garantir a esfericidade da Terra, como veremos no próximo capítulo). Apesar de afastada do centro do mundo, a Terra mantém sua forma esférica, portanto, devido à tendência natural da matéria de se agregar em esferas.

CAPÍTULO IV

A FORMA ESFÉRICA DA TERRA

1. OS ARGUMENTOS GEOMÉTRICOS

Desde que a matéria, segundo Copérnico, se agrupa naturalmente em esferas, não é de admirar que também a Terra possua essa forma. Assim, a abordagem referente à questão da forma da Terra - bem como a alguns problemas relacionados - oferecida pelo 'De Revolutionibus' (I.2 e I.3) principia justamente por enunciar que a Terra é uma esfera. Ela não é perfeitamente esférica, todavia, em virtude da "(...) grande elevação de suas montanhas e das depressões de seus vales, embora elas modifiquem sua rotundidade universal em muito pequena escala" (Copérnico 9, I.2 p.1a). O fato de haver muitos acidentes na superfície terrestre, como os picos elevados e vales profundos não chega, portanto, a comprometer a forma esférica global da Terra, uma vez que esses acidentes geográficos possuem dimensões relativamente modestas se comparadas ao raio terrestre. Podemos dizer, assim, que a Terra tem a forma de uma esfera, e que as ondulações e imperfeições que observamos em sua superfície são perfeitamente negligenciáveis quando se tem conta das dimensões do todo, embora pareçam muito grandes aos nossos olhos.

Uma vez enunciada a forma esférica da Terra, Copérnico passa a apresentar os seus argumentos a favor dessa tese. Esses argumentos são, todos eles, empíricos; consistem em mostrar que os resultados obtidos a partir de certas observações, as quais podem ser feitas por qualquer pessoa, são decorrentes da forma esférica da Terra e são incompatíveis com qualquer outra forma, ou seja, decorrem da forma esférica e somente dela. Não diferem

substancialmente, como veremos, daqueles levantados por Ptolomeu ou Aristóteles. Todos os argumentos, com uma única exceção - aquele referente à projeção da sombra da Terra durante os eclipses lunares, que é apresentado separadamente - dizem respeito às diferenças existentes entre as observações feitas a partir de localidades distintas da superfície terrestre. Assim, observadores situados em pontos diferentes da superfície terrestre fariam registros diferentes de certas observações - astronômicas ou terrestres, conforme o caso - e essas diferenças seriam devidas à mudança de ponto de vista (no sentido puramente geométrico do termo) verificada entre esses observadores. O ponto crucial desses argumentos consiste em mostrar que os diferentes pontos de vista em questão correspondem exatamente àqueles experimentados por alguém que se desloca sobre a superfície de uma esfera, de onde se conclui que a Terra é uma esfera. Essa conclusão, porém, nem sempre pode ser derivada a partir de cada argumento tomado isoladamente; como veremos, cada argumento procura evidenciar a curvatura da superfície da Terra em um sentido, ou segundo um eixo (primeiramente em sentido latitudinal, depois em sentido longitudinal, estendendo-se a seguir em todas as direções). Mas deixemos de lado essas considerações abstratas e passemos aos argumentos.

Copérnico procura mostrar, inicialmente, que a superfície terrestre é curva no sentido latitudinal, ou segundo o eixo Norte-Sul. Isso pode ser comprovado do seguinte modo: "(...) quando as pessoas viajam em direção ao norte de qualquer localidade, o vértice norte do eixo de revolução diária se move gradualmente para cima, e o outro se move para baixo na mesma medida; e várias estrelas situadas ao norte não mais se põem, e várias ao Sul não mais nascem." (Copérnico 9, I.2 p. 1a). Há uma variação, portanto, na posição dos polos celestes e quanto ao número de estrelas que são permanentemente visíveis (circumpolares), bem como quanto ao número de estrelas que não são visíveis de forma alguma, e essa variação decorre do fato do observador ter se deslocado ao

longo da superfície da Terra. O argumento pode ser melhor concebido a partir da seguinte figura:

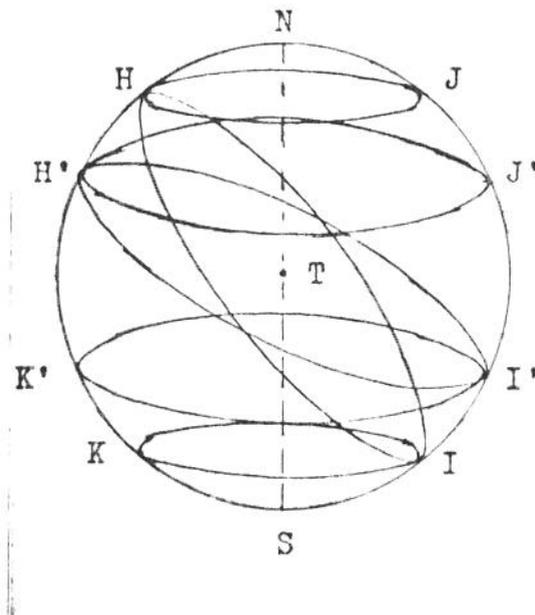


Figura 6

O círculo NHSI representa a esfera do mundo; a Terra é representada pelo ponto T (Copérnico ainda não mencionou, a essa altura, a questão da posição da Terra, mas as observações se dão - com os instrumentos da época - como se ela estivesse no centro do mundo). Um observador situado numa latitude intermediária do hemisfério Norte tem seu horizonte representado pelo círculo HI, de onde vê que as estrelas situadas ao Norte do círculo HJ (circumpolares) nunca se põem, ao passo que as estrelas situadas ao Sul do Círculo KI jamais são vistas. Se esse observador, porém, deslocar-se em direção ao Norte e o plano do seu horizonte passar a ser H'I', verá que as estrelas situadas entre HJ e H'J' passam a não mais se pôr, enquanto as localizadas entre KI e K'I' deixam de ser vistas; exatamente como Copérnico afirma em seu argumento. Dessa forma "(...) Itália não vê Canopus, a qual é visível do

Egito. E Itália vê a última estrela de Fluvius, a qual não é visível nessa região situada numa zona mais frígida." (Copérnico 9, I.2 p.1a). Alguém que se desloca do Egito até, possivelmente, Fraueburg, passando pela Itália, deixará progressivamente de ver as estrelas situadas mais ao Sul; deixa, em primeiro lugar, de ver Canopus - situada a uma latitude de 75° S segundo o catálogo de estrelas do 'De Revolutionibus' (II.14 p.60a) - deixando, a seguir, de ver a última estrela de 'Fluvius' (última, no caso, deve significar aquela situada mais ao Sul), cuja latitude é de $53^{\circ}50'$ S segundo o mesmo catálogo (II.14 p. 59a). Da mesma forma que a pessoa que viaja do Egito para o Norte, quem se desloca em direção ao Sul pode observar os mesmos fenômenos, apenas que na ordem inversa.

O primeiro argumento é bastante eficaz, portanto, no sentido de evidenciar a curvatura da Terra segundo o eixo Norte-Sul; não é suficiente, porém, para garantir que ela seja mesmo esférica; para tanto é preciso estendê-lo, a fim de que abranja o sentido longitudinal ou Leste-Oeste. É precisamente esse o passo que Copérnico dá a seguir. A inclinação dos polos celestes, diz ele, é idêntica para todas as localidades situadas à mesma distância dos polos da Terra (Cf. Copérnico 9, I.2 p. 1a-1b). Qual é, pois, o significado desse argumento? Vimos, através do argumento anterior, como foi possível deduzir a presença de uma curvatura na superfície terrestre, no sentido Norte-Sul, a partir da mudança de posição do plano do horizonte do observador em relação às estrelas fixas. Consideremos, agora, o observador que tem como plano do horizonte o círculo HI da figura 6: ele se encontra a uma certa distância do polo geográfico Norte, medida sobre a superfície da Terra, e observa que o polo celeste Norte (N) faz um certo ângulo com o plano do seu horizonte. Pois bem, afirma-se agora que a partir de qualquer localidade da superfície terrestre - desde que igualmente distante do polo geográfico (Norte, neste caso) - o registro feito pelo observador será idêntico ao descrito na figura 6, no sentido de que o ângulo verificado entre o po

lo Norte celeste e o plano do horizonte será idêntico. É fácil perceber, a partir daí, como esse argumento estende a curvatura da superfície da Terra longitudinalmente. Vejamos: os polos geográficos Norte e Sul são pontos sobre a superfície terrestre que podem ser univocamente determinados; essa determinação é feita por observação astronômica, de modo que o polo Norte estará situado naquele ponto em relação ao qual o polo celeste Norte se encontra no Zênite astronômico, o polo Sul, da mesma forma, terá o polo celeste Sul sobre o Zênite. É claro que os nomes - Norte e Sul - que damos a esses pontos são frutos de mera convenção; cada polo geográfico, porém, é distinto e pode ser univocamente determinado. Temos, portanto, esses dois pontos sobre a superfície terrestre. Se um observador se deslocar, agora, a partir do polo Norte, digamos, em qualquer direção, poderá notar os efeitos descritos no primeiro argumento e verá o polo celeste Norte baixar gradualmente. Pelo segundo argumento, porém, sabemos que uma dada configuração, como a representada pelo círculo HI da figura 6, se repete de modo idêntico em todas as localidades igualmente distantes do mesmo polo geográfico, independentemente da direção em que se encontram. Como resultado, finalmente, desses dois efeitos, podemos concluir que a superfície terrestre possui uma curvatura esférica no sentido longitudinal ou Leste-Deste; a figura abaixo pode nos auxiliar na compreensão desse ponto:

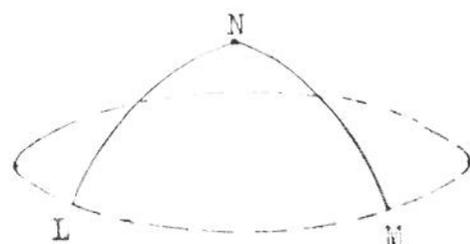


Figura 7

Seja N o polo geográfico Norte, e sejam L e M duas localidades situadas à mesma distância de N , quer dizer, os arcos NL e NM têm igual comprimento. Sabemos que a curvatura desses dois arcos é, também, idêntica, e pode ser aferida a cada ponto pela correspondente inclinação do polo celeste; temos isso assegurado pelo segundo argumento de Copérnico. Logo, todos os arcos de comprimento igual a NL e com origem em N terão sua extremidade sobre o círculo LM , sendo o mesmo raciocínio válido para arcos de comprimento arbitrário. A terra, portanto, é curva no sentido Leste-Oeste, e essa curvatura é esférica.

Recapitulando o que foi visto até agora, podemos dizer que o primeiro argumento não é capaz, ao menos do modo como foi enunciado, de assegurar a curvatura esférica da Terra, nem ao menos no sentido latitudinal. O máximo que ele pode garantir é que há uma curvatura, não necessariamente esférica. O segundo argumento, por sua vez, tem força suficiente, como vimos, para estabelecer

que a curvatura da Terra é esférica no sentido longitudinal; a completa esfericidade, porém, ainda não é assegurada. Uma figura oval, por exemplo, com o grande eixo disposto no sentido Norte-Sul, estaria em pleno acordo tanto com o primeiro com o segundo quanto argumento. Mas é bem possível que o segundo argumento tenha um outro sentido além do mencionado. (Cf. Copérnico 9b, p.19). Talvez signifique que a inclinação dos polos celestes seja sempre proporcional à distância percorrida (medida em relação aos polos geográficos), qualquer que seja o rumo tomado. Se entendido dessa forma, esse argumento sozinho é capaz de estabelecer a forma esférica da Terra: a proporcionalidade entre distância percorrida e inclinação dos polos celestes garante isso no sentido Norte-Sul, enquanto que a extensão da curvatura esférica ao sentido Leste-Oeste decorre naturalmente, como vimos.

Copérnico não se dá por satisfeito, porém, e apresenta outros argumentos: "(...) os habitantes do Oriente não vêem os eclipses vespertinos do Sol e da Lua; nem os habitantes do Ocidente, os eclipses matutinos; enquanto aqueles que vivem na região intermediária - alguns os vêem mais cedo e outros mais tarde." (Copérnico 9, I.2 p. 1b). Um primeiro ponto que poderia ser mencionado em relação a esse argumento é que ele independe da posição da Terra, se ela está no centro do mundo ou não, imóvel ou em movimento. O fenômeno dos eclipses, com efeito, depende apenas das posições relativas entre o Sol, a Lua e a Terra, não importando se é ela ou o Sol que se move. Um outro ponto é que, ao se referir aos eclipses matutinos ou vespertinos, Copérnico tem em mente os eclipses do Sol, uma vez que os eclipses da Lua não são visíveis nesses horários. Examinemos a situação através da seguinte figura:

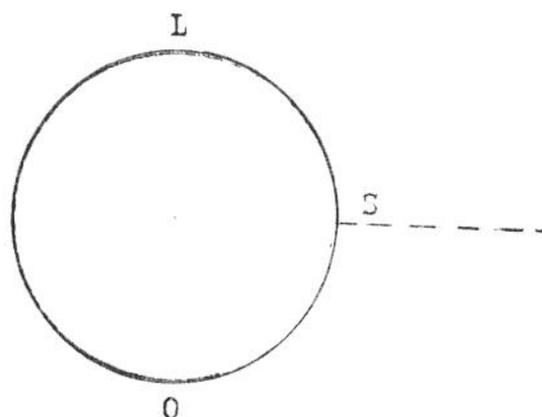


Figura 8

O círculo LOS representa a esfera terrestre vista do polo celeste Norte; a linha tracejada com origem em S representa a projeção da sombra da Lua na Terra durante um eclipse. O Sol e a Lua (e, portanto, o ponto S) são vistos se deslocando em seu movimento diário no sentido de L para O; dessa forma, o eclipse é registrado sequencialmente pelos observados situados ao longo da superfície terrestre, sendo que os situados mais para o Leste o vêem em primeiro lugar, e esse efeito se deve à curvatura da superfície no sentido longitudinal. Por esse motivo os eclipses matutinos não podem ser vistos mais a Oeste de onde são observados, nem os vespertinos ao Leste, diferentemente do que aconteceria se a Terra fosse, por exemplo, plana (esse ponto se acha bem explicitado no 'Almagesto' (I.4 pp. 8-9). Esse argumento atua preferencialmente, portanto, no sentido de evidenciar a curvatura longitudinal da superfície terrestre, ao contrário dos anteriores que se referiam primariamente ao sentido latitudinal (embora com possibilidade de extensão ao outro sentido, como vimos).

Todos os argumentos considerados até este ponto diziam respeito a observações astronômicas feitas a partir de diferentes localidades da superfície terrestre, e procuravam mostrar que os diferentes registros obtidos com essas observações eram devidos aos diferentes pontos de vista de observadores situados sobre uma superfície esférica. O argumento apresentado em sequência por Copérnico - o 'clássico' argumento dos navios - depende, ainda, da mudança de posição do observador, mas, ao contrário dos demais, se refere a uma observação terrestre. Diz ele que "(...) quando o continente não é visível do convés de um navio, pode ser visto do topo do mastro, e inversamente, se alguma coisa brilhante é fixada ao topo do mastro, parece para aqueles que ficam na praia descer gradualmente, enquanto o navio se afasta do continente, até finalmente se ocultar, como se estivesse se pondo." (Copérnico 9, I.2 p. 1b). Esse fenômeno da ocultação dos navios é uma evidência muito boa para a curvatura da superfície terrestre, ou, mais precisamente, da superfície da água. De fato, a superfície da água é perfeitamente regular (ao menos nos dias de mar calmo!), e o argumento dos navios mostra como se pode ver 'diretamente', ao contrário do que ocorre no continente, que sua superfície é curva. Esse fato, além da não dependência de uma direção privilegiada (o navio em questão pode estar se deslocando em qualquer direção), parece ser o responsável pelo grande apelo que esse argumento historicamente despertou.

Finalmente, o último argumento apresentado por Copérnico, e de forma destacada dos demais - ele aparece no final da discussão sobre a esfera terrestre - não depende, como todos os outros, da mudança de posição do observador sobre a Terra; trata-se do argumento dos eclipses lunares. Afirma ser "(...) necessário que o continente e as águas circundantes tenham a figura que a sombra da Terra projeta, pois ela eclipsa a lua projetando um círculo perfeito sobre ela." (Copérnico 9, I.3 p. 2a). Portanto, o argumento requer apenas observação de um eclipse lunar, não sendo necessário comparar os dados de observações feitas a partir de lo-

calidades distintas. A forma da Terra, nesse caso, é avaliada diretamente a partir da contemplação de sua sombra na superfície lunar.

São esses, pois, os argumentos para a forma esférica da Terra. São argumentos 'clássicos', no sentido de que não se diferenciam em relação aos empregados pela tradição astronômica, notadamente por Ptolomeu. Esse fato não deve causar nenhum espanto, uma vez que a esfericidade da Terra não se altera pelo fato de adotarmos uma Cosmologia heliocêntrica ou geocêntrica. Copérnico objetivava - e seu objetivo foi plenamente atingido - compor um tratamento de Astronomia da mesma estatura do 'Almagesto'; os argumentos que apresenta para a forma da Terra representam, portanto, o cumprimento de um requisito indispensável a um trabalho dessa natureza. Assim, ele emprega argumentos basicamente iguais aos de Ptolomeu (Cf. Ptolomeu 23, I.4 pp. 8-9) para a curvatura da Terra no sentido longitudinal (horário dos eclipses), no sentido latitudinal (estrelas circumpolares), e para a extensão da curvatura a todos os sentidos (argumento dos navios). O argumento referente à sombra da Terra projetada sobre a Lua, por sua vez, já é mencionado por Aristóteles, bem como o das estrelas circumpolares. Nem em todos os aspectos, porém, é possível harmonizar as posições de Copérnico com as de Aristóteles; o Estagirita pode afirmar, por exemplo, que a esfericidade da Terra pode ser inferida do fato dos objetos pesados caírem sempre perpendicularmente ao solo. Essa inferência é perfeitamente justificada, nesse contexto teórico, uma vez que os corpos pesados se dirigem a um ponto determinado - o centro do mundo - segundo uma trajetória retilínea; se, além disso, eles sempre caem perpendicularmente ao solo, conclui-se que a Terra é uma esfera cujo centro coincide com o centro do Universo. A tendência de movimento dos corpos pesados rumo ao centro é responsável inclusive pela manutenção da forma esférica da Terra, resultante da concorrência das partes pesadas que tentam atingir o centro. Num mundo heliocêntrico, porém, com a Terra em movimento, é preciso prover explicações para fenômenos

como a queda dos corpos e a manutenção da esfericidade terrestre, que não se relacionem com o centro do mundo ou qualquer outro ponto fixo. A forma como Copérnico responde a essa questão é assunto da próxima seção.

2. A ESFERA TERRESTRE

O clássico argumento dos navios, como vimos, é capaz de revelar de uma forma bastante eficaz a curvatura da superfície da água. Desde que o mar não esteja muito agitado, é possível ver como essa curvatura se estende de maneira uniforme em todas as direções, ao contrário pois, do continente, cujas grandes montanhas e outras irregularidades da superfície não nos permitem vislumbrar diretamente sua curvatura. Essa diferença se deve à grande fluidez da água que se espalha rapidamente em todas as direções, buscando as regiões mais baixas. De acordo com isso, segundo Copérnico, é necessário que haja "(...) menos água que terra, de modo que não se tenha toda a terra encharcada pela água - desde que ambas tendem para o mesmo centro em virtude de seu peso (...)" (Copérnico 9, I.3 p. 1b). Há portanto, duas teses em relação a esfera terrestre: (i) há menos água na terra; (ii) água e terra tendem para o mesmo centro, segundo seu peso. As duas teses estão mutuamente relacionadas, de modo que tentaremos elucidar essa relação examinando inclusive a posição oposta à de Copérnico, que é por ele criticada.

Para tanto, vamos retornar por um instante à concepção de Aristóteles acerca da esfera terrestre, em relação à qual as demais surgem como sucedâneos, tentando aperfeiçoá-la. De acordo com o Estagirita, como se sabe, a região sublunar do Universo é ocupada pelos quatro elementos - terra, água, ar e fogo - os quais se dispõem em camadas concêntricas: "A terra é circundada pela água, assim como esta o é pela esfera de ar, e esta novamen-

te pela esfera considerada de fogo (a qual é a mais externa(...))" (Aristóteles 3, II.2 p. 354b). Se essa distribuição das esferas parece ser bem atendida no caso da terra ou do ar, é óbvio que há problemas com relação à esfera de água: vemos que o continente, ilhas, vulcões e outras partes da esfera de terra emergem à superfície da água. Aristóteles - como qualquer pessoa! - sabia muito bem disso. Como resposta a essa situação foi desenvolvida, durante a Idade Média, a concepção de que a água circunda a esfera terrestre de uma tal maneira que apenas um quarto da superfície permanece emersa; esse quarto estaria localizado no hemisfério Norte, onde se situavam as terras conhecidas. As expedições dos navegadores portugueses, porém, "(...) especialmente uma viagem ao longo da costa do Brasil em 1501, revelaram uma vasta distribuição de terra no hemisfério Sul o qual era previamente considerando submerso." (Grant 13, p. 424). Esse fato trouxe, portanto, um grande problema em relação à concepção medieval. Foi então que Vadiano sugeriu, em 1515, que a terra e a água formam uma única esfera, sendo que a terra fica submersa em algumas regiões e em outras não; a mesma posição adotada por Copérnico no 'De Revolutionibus'. Porém, uma hipótese idêntica à de Vadiano já havia sido criticada - por antecipação! - no século XIV por Buridan, na ocasião em que este propunha uma versão alternativa da concepção medieval. É justamente essa versão de Buridan (ou uma bastante semelhante) que é criticada no 'De Revolutionibus'. Nada melhor, portanto, que examinarmos mais de perto essas três concepções - a medieval, a versão de Buridan e aquela idêntica à de Vadiano - a partir dos comentários de Buridan a respeito delas.

Esse problema é discutido por Buridan em suas 'Questões sobre os quatro livros do céu e do mundo', mais especificamente na questão 7 do Livro II; o objetivo dessa questão é determinar se toda a superfície terrestre é habitável. Como ponto de partida, porém, há o pressuposto de que o mundo é eterno, e que as porções de terra situadas acima da superfície da água devem ser preservadas eternamente. Qualquer solução que se ofereça ao pro-

blema da esfera terrestre deve atender, pois, a esse requisito. Isso ficará claro ao considerarmos as críticas de Buridan às diferentes alternativas.

A primeira concepção analisada por Buridan é idêntica à proposta por Vadiano. Diz ela que: "(...) tanto a terra quanto a água são concêntricas ao mundo, de modo que o centro do mundo é o centro de ambas." Contudo, "(...) há muitas regiões não cobertas pelas águas em virtude das muitas protuberâncias da terra (...) e muitas outras partes da terra são cobertas por águas em virtude de suas depressões (...)" (Buridan 6, p. 622). As esferas de terra e de água são concêntricas, portanto, e a água se espalha pelas regiões mais baixas, inundando-as; essa tese seria idêntica à de Copérnico, não fosse a coincidência entre os centros da Terra e do mundo. Mas vejamos, em primeiro lugar, as críticas que Buridan dirige a ela. Ele argumenta, inicialmente, que todas as terras conhecidas se encontram sobre o mesmo quarto da superfície terrestre, e embora alguns navegadores tenham tentado cruzar o oceano em busca de outras terras, nada foi encontrado para além dos 'pilares de Hércules' (ou seja, o estreito de Gibraltar). Um outro problema com relação a essa concepção diz respeito ao requisito da eternidade do mundo. Com o decorrer do tempo, argumenta Buridan, todas as porções emersas de terra seriam consumidas pela erosão (o termo 'erosão' é introduzido por uma liberalidade nossa - não é empregado por Buridan), até o ponto em que a água cobriria toda a superfície. Os defensores da teoria das esferas concêntricas não seriam capazes de explicar, portanto, como a integridade das terras emersas seria mantida por um tempo infinito.

Passemos agora, rapidamente, à segunda concepção criticamente por Buridan. De acordo com ela: "Deus e a natureza ordenaram que a água seja excêntrica de modo que o centro da terra seja o centro do mundo mas o centro da (...) água esteja fora do centro do mundo." (Buridan 6, p. 622). A situação pode ser ilustrada pela seguinte figura:

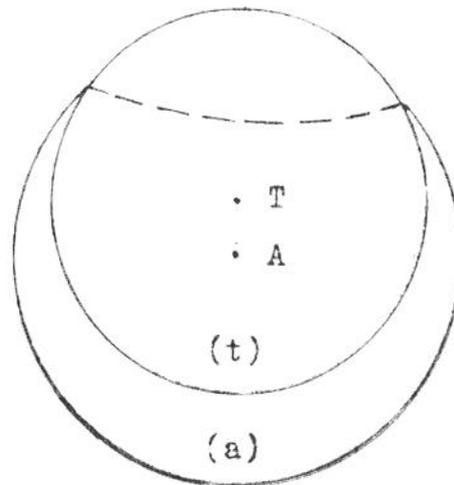


Figura 9

A esfera de terra (t) tem como centro o ponto T, o qual coincide com o centro do mundo; já a esfera de água (a) é excêntrica e tem como centro o ponto A. A matéria terrestre, em virtude do seu peso, tende a se dirigir ao ponto T - o centro do mundo - enquanto que a matéria aquosa tende ao centro da esfera de água A. Como resultado, a água envolveria quase toda a superfície terrestre, deixando apenas uma parte emersa (indicada pela linha tracejada); essa parte corresponderia às terras conhecidas naquela época. Buridan acredita, porém, que essa tese não pode ser sustentada. Em primeiro lugar, seus defensores não são capazes de explicar o motivo pelo qual a esfera de água é excêntrica, ou, mais ainda, por que o centro da água se desvia do centro do mundo numa direção e não em outra. Haveria também, em relação a essa tese, o mesmo problema verificado com as esferas concêntricas: através de um

tempo infinito a erosão atuaria fortemente sobre as terras emersas, as quais poderiam ser completamente consumidas. Com base nesses argumentos, portanto, essa concepção também é rejeitada.

Sobre as duas concepções vistas até o momento, a posição de Buridan poderia ser resumida do seguinte modo: a primeira delas - esferas concêntricas - seria empiricamente inadequada (ao prever a existência de terras emersas em toda parte), além de incompatível com o pressuposto da eternidade do mundo; já a tese das esferas excêntricas seria aceitável empiricamente, embora careça de fundamentação em leis naturais, além de violar o princípio da eternidade do mundo. Buridan desenvolve, então, uma engenhosa versão para a concepção das esferas excêntricas, no sentido de superar essas dificuldades. O fundamento dessa versão é a distinção entre os centros de magnitude (ou geométrico) e de gravidade das esferas. Observemos, a esse respeito, a figura 9. O centro do mundo, agora, é representado pelo ponto A, ao qual tendem a terra e a água em razão de seu peso; o ponto A, portanto, representa o centro de gravidade de ambas as esferas e é sempre coincidente com o centro do mundo. Vemos, porém, que o centro geométrico da esfera de terra está localizado em T: como explicar essa divergência? Buridan argumenta, então, que a ação do ar e do calor do Sol sobre a porção de terra emersa tornaria essa terra porosa e, desse modo, menos densa, enquanto a terra submersa não se alteraria. Assim, o centro de gravidade da esfera de terra está localizado em A, embora não coincida exatamente com o centro geométrico T. Note-se que essa explicação soluciona o primeiro problema da concepção anterior: oferece uma razão natural para a excentricidade das esferas (as esferas são sempre concêntricas ao mundo com respeito ao centro de gravidade, embora geometricamente sejam excêntricas). Restaria, assim o segundo problema; o de compatibilizar essa versão com o princípio da eternidade do mundo. Buridan acredita resolvê-lo do seguinte modo: as partes da terra emersa removidas pela erosão fluiriam, através dos rios, até o fundo do oceano, agregando-se à porção submersa da terra; isso

faria com que a superfície da parte submersa recebesse um peso adicional sobre si. Ao mesmo tempo, a ação do calor e do ar sobre a parte emersa continuaria a reduzir sua densidade e, conseqüentemente, seu peso. A concorrência desses dois fatores provocaria uma mudança gradual na posição do centro de gravidade de esfera de terra, trazendo-o para para baixo do ponto A (na figura 9); simultaneamente, toda a esfera de terra sofreria um igual deslocamento para cima, fazendo novas terras emergirem (isso porque o centro de gravidade da terra tende para o centro do mundo). Esse processo seria continuamente renovado, de tal forma que a preservação das terras emersas estaria eternamente assegurada. Buridan crê, assim, que sua concepção seja superior às demais, sendo, a um só tempo, empiricamente adequada, bem fundamentada em leis naturais e compatível com a eternidade do mundo.

Vejamos, então, como a concepção criticada por Copérnico parece ser essas mesma de Buridan, ou bastante semelhante a ela. Lembremos de que Copérnico critica aqueles que afirmam haver mais água que terra, e que água e terra, tendem para centros distintos (quer sejam geométricos ou de gravidade); isto é, a posição oposta à dele (de que há menos água, e ela tende para o mesmo centro que a terra). Ele se refere, em sua crítica, A certos Peripatéticos"(...) os quais mantêm que há dez vezes mais água que terra (...)", e que parte desta aparece emersa porque "(...) possuindo espaços vazios em seu interior, ela não se iguala em toda parte com relação ao peso e assim o centro de gravidade é diferente do centro de magnitude". (Copérnico 9, I.3 p.1b). A posição criticada corresponde, pois, à de Buridan; ao menos no que se refere à causa da emersão de parte da terra (a não coincidência entre o centro geométrico e o de gravidade). Quanto à afirmação de que há dez vezes mais água que a terra, Copérnico a refuta facilmente, em virtude de sua inadequação geométrica, se, de fato, houvesse apenas sete - e não dez - vezes mais água que terra, o diâmetro da esfera de terra seria igual ao raio da esfera de água; conforme ilustra a figura abaixo:

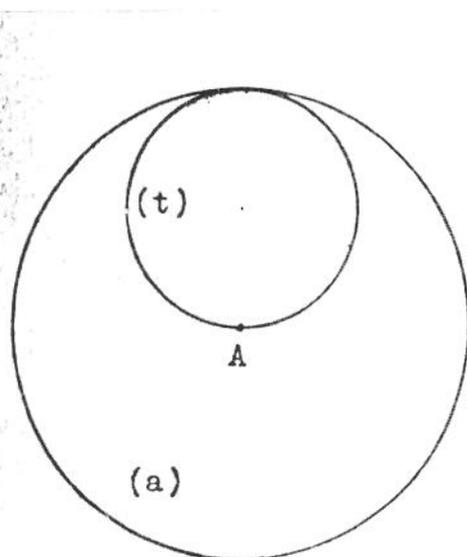


Figura 10

O centro A da esfera de água (a) se encontra na superfície da esfera de terra (t), de modo que o diâmetro da esfera de terra se iguala ao raio de esfera de água; mas nem mesmo assim alguma parte da terra pode emergir. É fácil comprovar que, nessa situação, há sete vezes mais água que terra. Seja R_a o raio da esfera de água e R_t o raio da esfera de terra; o volume da esfera de água

será, então, $V_a = \frac{4}{3} \pi R_a^3$, e o da esfera de terra

$$V_t = \frac{4}{3} \pi R_t^3.$$

Como a esfera de terra se encontra completamente imersa na água, a quantidade de água é de $V_a - V_t$, e a relação entre as quantidades de água e terra

$$\frac{V_a - V_t}{V_t}$$

ou ainda $\frac{V_a}{V_t} = 7.$

Substituindo V_a e V_t , e simplificando temos

$$\frac{R_a^3}{R_t^3} = 1. \quad \text{Como } R_a = 2R_t, \text{ podemos substituir e obter}$$

$$\frac{(2R_t)^3}{R_t^3} = 1, \quad \text{ou } 2^3 - 1 = 7$$

Se houvesse, portanto, sete vezes mais água que terra, a esfera de água teria o dobro do diâmetros da esfera de terra. Seria impossível, conseqüentemente, explicar a existência de terras emergidas através da hipótese da não coincidência entre o centro geométrico e o de gravidade, pois este teria de estar situado fora da esfera de terra, como mostra a figura 10. Dessa forma, se é impossível que haja sete vezes mais água, é evidente que não pode haver dez vezes.

Passémos, agora, ao ponto mais importante da crítica de Copérnico: aquele destinado a refutar a tese de que o centro de gravidade da esfera de terra não coincide com o centro geométrico. Trata-se de um argumento mais forte que o anterior; enquanto aquele mostrava, por razões geométricas, ser inviável a hipótese da não coincidência entre os centros se houvesse sete partes ou mais de água para cada parte de terra, este outro mostra, por razões empíricas, que os dois centros coincidem. É um argumento mais forte, então, no sentido de que opera mesmo que haja menos de sete partes de água para uma de terra. A coincidência entre os dois centros é evidenciada pelo fato de que "(...) a convexidade da terra que se estende a partir do oceano não cresce continuamente, pois nesse caso ela poderia repelir as águas do mar tanto quanto possível e não permitiria de modo algum que mares interiores e imensos golfos penetrassem em seu interior. Além disso, a partir do litoral a profundidade do abismo não cessaria de cres-

cer, e assim nenhuma ilha ou recife ou qualquer sinal de terra seria encontrado por pessoas que viajassem para muito longe." (Copérnico 9, I.3 p. 2a). É um argumento muito interessante, baseado numa das consequências resultantes da excentricidade das esferas (a qual, por sua vez, é um resultado da não coincidência entre o centro geométrico e o de gravidade). Retornemos, por um instante, à figura 9 para entendê-lo melhor. Segundo a versão de Buridan para a hipótese das esferas excêntricas, a água tende para o centro do mundo A, da mesma forma que o centro de gravidade da terra; o centro geométrico da esfera de terra, porém, está situado em T, ocasionando a excentricidade e o aparecimento de terras emersas (indicadas pela linha tracejada). Copérnico observa, então, que a excentricidade das esferas teria a seguinte consequência: à medida que caminhássemos para o interior do continente, a partir do litoral (a linha tracejada da figura 9), as terras percorridas teriam uma altitude crescente em relação ao nível do mar; essa altitude atingiria seu ponto máximo no centro do continente. Um outro efeito, corolário desse, é que a profundidade do oceano aumentaria progressivamente a partir do litoral, vindo a se estabilizar apenas muito longe dali, exatamente no ponto diametralmente oposto ao centro do continente. Os dois efeitos são consequências meramente geométricas da excentricidade das esferas, e podem ser visualizados através da figura 9: o ponto de máxima elevação do continente está situado bem no alto da figura, e o de maior profundidade do oceano bem embaixo.

Teríamos, então, as seguintes consequências empíricas associadas aos dois efeitos. Em primeiro lugar, como a água flui naturalmente para as regiões mais baixas, ela não poderia adentrar profundamente ao continente, na forma de golfos ou mares interiores; pois a convexidade do continente tenderia a provocar o seu escoamento - do centro para a periferia. Essa consequência viola, porém, a experiência: os mares adentram até praticamente o centro do continente, como é o caso do Mar Vermelho ou do Mar Egípcio. Em segundo lugar, a profundidade crescente do oceano fa-

ria com que, a partir de uma certa distância não muito grande da costa, não houvesse qualquer ilha, recife ou outra porção de terra emersa. Novamente há uma flagrante violação dos fatos, pois são encontradas ilhas em toda parte. Mas a maior dificuldade é representada pela América; um vasto continente que se estende até regiões diametralmente opostas às antigas terras conhecidas. As observações não mostram, em resumo, que as terras emersas estão confinadas a uma região da Terra, enquanto a superfície restante se encontra coberta de água; mas, ao contrário, revelam que tanto as terras emersas quanto os mares se estendem, alternadamente, através de toda a superfície, embora a maior parte dela seja ocupada pela água. A concepção das esferas excêntricas - seja na versão de Buridan ou não - é, portanto, falseada pela experiência; especialmente após as grandes navegações e os descobrimentos dos séculos XV e XVI.

Nesses termos, portanto, Copérnico refuta a tese das esferas excêntricas, ao mesmo tempo em que fundamenta a sua própria versão para a tese das esferas concêntricas. Segundo essa versão, as esferas de água e de terra são concêntricas, e o seu centro geométrico é também o centro de gravidade. A esfera de terra não é completamente regular - possui elevações e depressões - de modo que as regiões mais baixas são cobertas pela água, enquanto as terras altas ficam acima da superfície do oceano; é possível, assim, encontrar terras emersas em qualquer parte da Terra (elas não ficam restritas a um quarto da superfície, como na hipótese das esferas excêntricas). E embora a maior parte da superfície seja ocupada pelo oceano, há menos água que terra, pois do contrário não restaria qualquer porção de terra emersa. Há uma grande diferença, porém, entre essa versão das esferas concêntricas e aquela criticada por Buridan: naquela, como em Aristóteles, o centro da Terra coincidia com o centro do mundo, de modo que a própria forma esférica da Terra podia ser explicada pelo movimento natural dos corpos pesados em direção ao centro do mundo. Nenhum corpo, entretanto, pode satisfazer integralmente sua tendên-

cia de permanecer em repouso no centro, pois este é um ponto geométrico, e como tal não tem dimensão. Mas essa tendência faz com que o peso se distribua igualmente em torno do centro, o que equivale a dizer que o centro de gravidade da Terra tende para o centro do mundo, e de fato, coincide com ele. Do ponto de vista heliocêntrico, porém, não é possível relacionar da mesma maneira a forma esférica da Terra ao centro do mundo. Copérnico explica a forma esférica da Terra a partir da lei natural - vista no capítulo anterior - segundo a qual a matéria tende a se agrupar sob essa forma. Na esfera resultante a matéria mais 'pesada' (ou mais densa) ocupa a região central, sendo circundada pela matéria menos densa, de tal forma que o centro geométrico da Terra é também o seu centro de gravidade.

CAPÍTULO V

O MOVIMENTO CIRCULAR DOS CORPOS CELESTES

Passaremos, agora, a considerar o problema referente ao movimento dos corpos celestes, procurando examinar os pressupostos empregados a esse respeito por Copérnico. Principiaremos por fazer um breve apanhado acerca dos complexos deslocamentos dos corpos celestes, tais como são observados da Terra. Não nos preocuparemos em descrever os mínimos detalhes, ou as menores irregularidades desses movimentos, mas apenas em apontar suas principais componentes, o que deverá ser suficiente para uma consideração da questão dinâmica.

As trajetórias descritas pelos corpos celestes são, em alguns casos, muito complexas, cabendo ao astrônomo a tarefa de decompô-las geometricamente em alguns elementos mais simples. O observador situado na Terra pode melhor conceber os movimentos dos astros tomando como referência as estrelas fixas. Consideremos, a esse respeito, a figura abaixo:

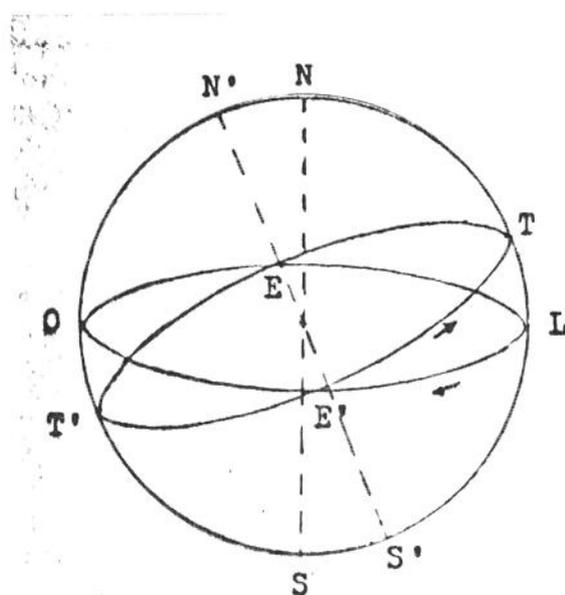


FIGURA 11

O círculo NLSO representa a esfera das estrelas fixas. O movimento celeste mais evidente é, justamente, o movimento de rotação de toda a esfera de estrelas fixas, mais os planetas, o Sol e a Lua; esse movimento tem como eixo o segmento de reta delimitado pelos pontos N e S, e se processa no sentido LE'O (ou seja, Leste-Oeste). Seu período é de um dia (um dia sideral, mais precisamente) e a rotação uniforme. Mas esse não é o único movimento que se observa no céu. Enquanto as estrelas fixas obedecem apenas a esse deslocamento uniforme, mantendo inalteradas as posições entre si, vemos que o Sol, a Lua e os planetas possuem outros movimentos, e que suas posições em relação às constelações mudam progressivamente. A principal característica do deslocamento desses corpos celestes ao longo das constelações é que ele se dá em sentido oposto - Oeste-Leste, portanto - ao do movimento diário. Além dessa característica há outros aspectos que diferenciam o deslocamento dos planetas, do Sol e da Lua em relação ao movimento

diário das estrelas. O primeiro deles é que o deslocamento desses corpos celestes se dá de maneira oblíqua em relação ao das estrelas fixas, ou seja, dá-se ao longo da eclíptica, representada na figura 11 pelo círculo E'TET'. Outro aspecto que diferencia o movimento do Sol, Lua e planetas do movimento das estrelas fixas é o fato deles se deslocarem de maneira não-uniforme; assim, embora cada um desses astros tenha o seu período orbital específico, e portanto uma velocidade angular média própria, eles não se deslocam com velocidade constante; o Sol e a Lua avançam ora mais devagar, ora mais rapidamente, e os planetas chegam mesmo a retrogradar, ou seja, têm a velocidade reduzida até zero, iniciando a seguir um deslocamento em sentido contrário (Leste-Oeste) por algum tempo, até retomarem o movimento direto.

Há, ainda, dois outros pontos de diferenciação que se referem à Lua e aos planetas. Em primeiro lugar, embora os planetas, o Sol e a Lua se desloquem de maneira oblíqua em relação às estrelas, seguindo a eclíptica, apenas o Sol permanece estritamente sobre a eclíptica, enquanto os planetas e a Lua se afastam ligeiramente dela, ora em direção ao Norte, ora ao Sul. Finalmente, o movimento dos planetas difere em relação ao do Sol ou da Lua pelo fato de que eles se aproximam e se afastam periodicamente da Terra: "(...) às vezes eles estão mais próximos da Terra - e então diz-se que estão em seu perigeu - e outras vezes estão mais afastados - e diz-se que estão em seu apogeu." (Copérnico 9, I. 4, p. 2b). Portanto, os planetas se movem também em 'altitude', quer dizer, a distância deles em relação à Terra ora aumenta e ora diminui. Mas, pode-se perguntar, que meios temos para saber quando os planetas estão mais próximos ou mais afastados da Terra? Na verdade, nada podemos saber à respeito disso diretamente, sem que façamos algum tipo de suposição adicional. A suposição que nos permite deduzir a variação da distância dos planetas é a de que o seu brilho - ou sua magnitude absoluta, na terminologia astronômica contemporânea - mantém-se constante; assim, as variações aparentes observadas no brilho desses astros - sua magnitude vi-

sual - podem ser interpretadas como variações na distância que nos separa deles: ao perigeu corresponderia a magnitude visual máxima e ao apogeu a magnitude mínima. Supõe-se, portanto, que os corpos celestes possuem tamanho e brilho imutáveis, e o fato deles parecerem ora maiores e mais brilhantes, ora pequenos e obscuros, significa apenas que estão mais próximos ou mais afastados da Terra.

Em resumo, os movimentos celestes podem ser classificados em dois grandes grupos: em primeiro lugar temos o movimento diário, pelo qual todos os corpos celestes se deslocam simultaneamente de Leste para Oeste executando uma volta completa a cada dia. Em segundo lugar há o movimento antagônico (sentido Oeste-Leste) do Sol, Lua e planetas. Tomando como sistema de referência as constelações de estrelas fixas, vemos que os demais astros se movem longitudinalmente (movimento em ascensão reta), latitudinalmente (movimento em declinação) e também em 'altitude' (é o caso dos planetas, cuja magnitude visual varia). Acrescente-se, ainda, que o deslocamento dos planetas, do Sol e da Lua não é uniforme como o das estrelas fixas. Ao astrônomo cabe a tarefa de elaborar, partindo de certas suposições iniciais, as teorias capazes de descrever em cada detalhe os movimentos celestes. Assim, nosso próximo passo será o de examinar as suposições empregadas por Copérnico em suas teorias astronômicas.

Para Copérnico os movimentos dos corpos celestes são resultantes da composição de vários movimentos circulares, uniformes e perpétuos. Assim sendo, ao empregar arranjos de círculos, os quais giram com velocidade uniforme, as teorias astronômicas devem ser capazes de dar conta de todas as irregularidades dos movimentos planetários. No 'Commentariolus' Copérnico faz um pequeno relato histórico acerca das tentativas de resolver o problema os planetas mediante a hipótese da composição de movimentos circulares e uniformes. "Calipo e Eudoxo, os quais tentaram resolver os problemas usando esferas concêntricas, não foram capazes de dar conta de todos os movimentos planetários; eles tinham de explicar (...) o fato de que esses corpos parecem às vezes subir muito alto no céu, e às vezes baixar; e esse fato é incompa-

tível com o princípio da concentricidade. Portanto pareceu melhor empregar excêntricos e epiciclos (...)" (Copérnico 8, p. 57). Assim, as teorias que empregavam movimentos circulares e uniformes em esferas concêntricas não eram capazes de explicar as mudanças de 'altitude' dos astros, sendo abandonadas em favor de outras que empregavam ainda movimentos circulares e uniformes, combinando-os, porém, em excêntricos e epiciclos. Mas: "Não obstante, as teorias planetárias de Ptolomeu e da maioria dos outros astrônomos, embora consistentes com os dados numéricos, pareceram igualmente apresentar dificuldade considerável. Pois estas teorias não foram adequadas a menos que certos equantes fossem também concebidos (...)" (Copérnico 8, p. 57). Desse modo, o emprego de epiciclos e excêntricos não foi suficiente para adequar aquelas teorias aos dados da observação, e os astrônomos passaram a usar também os equantes. Para Copérnico, porém, o emprego de equantes viola a suposição de que os movimentos celestes são constituídos por uma combinação de movimentos uniformes. Vejamos, então, como se dá o movimento de um corpo celeste em torno do equante, para que possamos compreender as objeções de Copérnico. O círculo abaixo representa a órbita de um planeta:

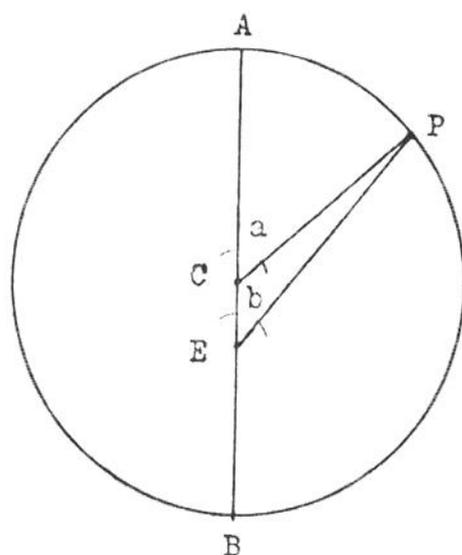


FIGURA 1E

A posição atual de um planeta (ou do centro de seu epiciclo - a distinção não é importante no presente contexto) é representada pelo ponto P; o centro geométrico da órbita é indicado pelo ponto C, enquanto que o ponto E representa o ponto equante. O planeta se desloca com velocidade angular constante em torno do ponto equante (E), ou seja, o vetor radial EP gira com velocidade angular uniforme. Duas consequências decorrem desse fato: a primeira delas é a de que o planeta não se move com velocidade angular uniforme em torno do centro (C) de sua órbita, ou, em outras palavras, o vetor radial CP gira de modo não-uniforme; a segunda consequência, corolária da anterior, é a de que o deslocamento do planeta não é uniforme com respeito à distância percorrida ao longo de sua órbita, ou seja, o comprimento dos arcos de órbita percorridos não é proporcional ao tempo decorrido. Assim, a posição angular (a) do planeta com respeito ao centro (C) da órbita, divergirá de sua posição (b) com respeito ao ponto (E) - essa regra tem apenas duas exceções, referentes aos pontos A e B da órbita - e a relação entre as duas posições será expressa por $a = b + \text{arco sen}(e \text{ sen} b)$, onde (e) é o coeficiente de excentricidade do sistema, definido pela relação $\frac{CE}{CP}$.

CP

Portanto, a suposição de uniformidade dos movimentos celestes feita por Copérnico exige que os arcos de círculo percorridos sejam sempre proporcionais ao tempo dispendido em percorrê-los, o que significa o mesmo que dizer que o deslocamento angular deve ser uniforme quando medido a partir do centro geométrico do círculo, e apenas dele. Essa exigência o levou a rejeitar o emprego de equantes nas teorias astronômicas e a procurar uma alternativa a eles. "(...) eu refleti muitas vezes se poderia talvez ser encontrado um arranjo de círculos mais razoável, a partir do qual toda irregularidade aparente fosse derivada e no qual tudo se movesse uniformemente em torno do seu próprio centro, como requer a norma do movimento absoluto." (Copérnico 8, pp. 57-58). Rhético, o discípulo de Copérnico, aponta a concordância da teo-

ria de seu mestre com o princípio dos movimentos circulares e uniformes como um dos pontos favoráveis à sua aceitação: "(...) meu mestre percebeu que apenas em sua teoria todos os círculos no universo poderiam satisfatoriamente girar uniforme e regularmente em torno de seus próprios centros, e não em torno de outros centros - uma propriedade essencial do movimento circular." (24, p. 137). O emprego de equantes consistiria, pois, numa violação das propriedades 'essenciais' do movimento circular. Também no prefácio do 'De Revolutionibus', dedicado ao Papa Paulo III, Copérnico se volta contra os equantes ao se referir à tradição astronômica. "Contudo mesmo que aqueles que conceberam círculos excêntricos pareçam ter sido capazes de computar numericamente a maior parte dos movimentos por esses meios, eles têm admitido entretanto muita coisa que parece contradizer os primeiros princípios da regularidade do movimento." (Copérnico 9, p. iiib). Parece fora de dúvida que essa referência seja uma crítica dirigida contra o emprego dos equantes; e trata-se de uma objeção de natureza dinâmica, pois o equante viola o princípio de regularidade do movimento. Restaria, ainda, examinar as opiniões de Copérnico a respeito do movimento dos corpos celestes no capítulo correspondente do 'De Revolutionibus' (I.4). Abriremos, porém, um pequeno parêntese, com o objetivo de abordar uma questão relativa à suposição dos movimentos circulares e uniformes. Essa suposição, com efeito, equivale ao chamado 'axioma Platônico', segundo o qual as teorias astronômicas devem ser constituídas de uma composição de movimentos circulares e uniformes; esse fato levou a que se considerasse Copérnico um Platônico ou, ao menos, Neoplatônico. Procuraremos fazer um ligeiro comentário acerca dessa questão.

O desenvolvimento do movimento humanista na Renascença, por exemplo, é acentuado por Kuhn como um dos aspectos do 'clima' intelectual que favoreceu a mudança na Astronomia. Esse movimento teria favorecido a crença de que há regularidades matemáticas simples na Natureza, encorajando, portanto, sua descoberta. A adesão a essa crença seria motivada pela tradição filosófica na

qual estaria inserido o movimento, cujas raízes remontariam a Platão. “Essa tradição, ao contrário da Aristotélica, encontrara realidade num mundo imutável do espírito antes que nas questões transitórias da vida cotidiana. Platão, o qual é a fonte fundamental da tradição, parece deixar de lado frequentemente os objetos deste mundo como meras sombras imperfeitas de um mundo eterno de objetos ideais ou ‘formas’ existente fora do espaço e tempo.” (Kuhn 16, p. 127). Uma das características básicas, portanto, da concepção filosófica da qual derivou o humanismo seria a distinção, de origem Platônica, entre dois níveis de existência: o primeiro deles corresponde ao mundo eterno e imutável das ‘formas’, e o segundo a este mundo que habitamos, mutável e transitório, onde podem ser reconhecidas as sombras ou projeções das formas eternas. Os Neoplatônicos, por sua vez, teriam avançado ainda mais nessa distinção: “Seus seguidores, os chamados Neoplatônicos enfatizaram esta tendência do pensamento de seu mestre até o ponto de excluir todas as outras. Sua filosofia mística, a qual muitos humanistas tomaram por modelo, reconhecia apenas uma realidade transcendente.” (Kuhn 16, p. 127). Assim, entre os Neoplatônicos o nível de existência correspondente ao nosso próprio mundo, transitório e mutável, tornara-se pouco importante como objeto de conhecimento; não chegava sequer a constituir uma realidade, justamente por não ser eterno e imutável. Em outras palavras, apenas a realidade do mundo eterno e imutável das ‘formas’ era aceita, e conseqüentemente, apenas o conhecimento desse mundo era considerado relevante. Deveria haver, então, um meio de penetrar nesse mundo que não habitamos, que possibilitasse o seu conhecimento. Esse meio seria proporcionado pela Matemática: “Para eles a matemática exemplificava o eterno e real entre as aparências imperfeitas e oscilantes do mundo terrestre. Os triângulos e círculos da geometria plana eram os arquétipos de todas as formas Platônicas.” (Kuhn 16, p. 127). Poder-se-ia dizer, então, que a concepção ontológica abraçada por esses Neoplatônicos, constituída pela separação entre dois níveis de realidade - uma reali-

dade 'forte' representada pelo mundo eterno e imutável das formas, e uma realidade 'fraca' representada por nosso transitório mundo material - corresponderia uma concepção metodológica, qual seja, o emprego de meios adequados ao propósito de obter conhecimento acerca do mundo das formas. E o meio mais adequado a esse fim seria o emprego da Matemática.

Kuhn conclui que o Neoplatonismo dos humanista da Renascença teria exercido grande influência sobre os cientistas da época (pois geralmente aqueles humanistas não eram eles próprios homens de ciência). Esses cientistas teriam passado a se empenhar bastante na busca de regularidades matemáticas simples na Natureza. Dentre eles estaria o próprio mestre de Copérnico: "O amigo e professor de Copérnico em Bologna, Domenico Maria de Novara, foi um íntimo associados dos Neoplatônicos Florentinos que traduziram Proclus e outros autores de sua escola." (Kuhn 16, p. 128). Tal como seu mestre, Copérnico estaria também entre os cientistas influenciados pelas idéias Neoplatônicas. "Quando o discípulo de Novara, Copérnico, queixou-se de que os astrônomos Ptolomaicos 'parecem violar o primeiro princípio de uniformidade do movimento' (...) ele estava participando da mesma tradição Neoplatônica." (Kuhn 16, p. 128).

Embora identificando em Copérnico a concordância com alguns aspectos do Neoplatonismo, Kuhn tem uma atitude cuidadosa quanto ao problema de determinar o exato momento em que ele teria recebido essa influência. "Porém muitas vezes é difícil dizer se qualquer atitude Neoplatônica dada é posterior ou anterior à invenção de sua nova astronomia no pensamento de Copérnico." (Kuhn 16, p. 130). Assim sendo, não teríamos muitos meios de saber qual das duas assertivas descreveria mais fielmente o que ocorreu a Copérnico: se ele, um Neoplatônico convicto, teria criticado os astrônomos Ptolomaicos com base em suas convicções e chegado, finalmente, a reformular a Astronomia; ou se, diferentemente, teria elaborado o sistema heliocêntrico e então, sob influência dos resultados obtidos, teria aderido ao Neoplatonismo. De uma forma ou

de outra, porém, a interpretação de Kuhn conclui pelo fato de que Copérnico tomou parte, indiscutivelmente, da tradição Neoplatônica. Julgamos que há alguns problemas com essa interpretação.

Um primeiro ponto problemático se refere a um aspecto puramente histórico: a afirmação de que o mestre de Copérnico, Domenico Novara, foi um integrante do grupo de Neoplatônicos Florentinos. Esse grupo se reunia em torno da Academia Platônica de Florença, fundada por Marsilio Ficino, a qual não possuía formalidades muito rígidas no que se refere ao registro dos associados e atividades. Mas há uma lista dos sócios preparada por Ficino quando este "(...) foi solicitado por um Alemão de tendência semelhante a fornecer um 'catálogo de seus amigos', como seus associados na Academia eram considerados por Ficino. Sua resposta menciona oitenta nomes. Estes não incluíam o 'amigo e professor em Bologna' de Copérnico, Domenico Maria Novara (...)" (Roser 26, p. 667). Rosen acredita que Francesco Marescalchi - este sim um associado da Academia Florentina - tenha sido confundido com Novara, uma vez que ambos eram nascidos em Ferrara e costumavam assinar seus nomes finalizando com a expressão 'de Ferrara'. Porém, Novara começou a lecionar Astronomia na Universidade de Bologna em 1483, um ano após a morte de Marescalchi. Entretanto, antes que especular sobre as inclinações filosóficas de Novara, nosso objetivo deve ser o de tentar descobrir se há algum comprometimento mais profundo de Copérnico com as idéias Platônicas ou Neoplatônicas acerca dos movimentos celestes. Nesse ponto surge a primeira dificuldade, uma vez que parece não haver nenhuma passagem em sua obra que torne explícito esse comprometimento; assim sendo, devemos procurar por alguma indicação indireta. A indicação, segundo a interpretação de Kuhn, seria dada pela forma como Copérnico teria se dedicado a procurar regularidades matemáticas simples na Natureza. Mas, mesmo aceitando sem qualquer objeção que o propósito de Copérnico foi esse, haveria um problema: seria essa indicação suficiente para incluí-lo entre os Neoplatônicos? De fato, alguém que privilegia a realidade do mundo imaterial,

eterno e imutável das formas, e considera - seguindo a tradição Pitagórica - as figuras geométricas e os números como arquétipos das formas eternas, deve, naturalmente, inclinar-se por uma metodologia que veja na busca das 'regularidades matemáticas simples' o meio mais eficaz de obter conhecimento. Contudo, não se pode afirmar que a recíproca seja verdadeira: o cientista que procura as tais regularidades matemáticas simples, seja lá o que isso signifique, não precisa ser, necessariamente, um Platônico ou Neoplatônico. Portanto, para se atribuir esse rótulo a Copérnico deveria ser encontrada outra justificativa.

Passemos, agora, a outra questão: o que se entende, de fato, por 'regularidades matemáticas simples'? Tentemos vislumbrar o problema de um ponto de vista concreto, tomando em consideração as teorias que estão efetivamente em jogo. Desse ponto de vista, e tendo em conta as palavras de Copérnico (mencionadas pouco acima) o elemento menos aceitável das teorias de seus antecessores era representado pelo emprego de equantes. Em suas próprias teorias - seja na versão do 'Commentariolus' ou na versão final, do 'De Revolutionibus' - ele aboliu os equantes e empregou apenas movimentos circulares uniformes (no sentido definido mais acima). Teria ele abandonado os equantes por considerá-los muito complexos? Não é fácil responder. De fato, parece natural considerar o movimento circular uniforme mais simples que o movimento variado produzido pelo equante. Todavia, sabemos que a solução de Kepler para o problema dos planetas emprega movimentos que, além de não-uniformes são também não-circulares, e, entretanto, é unânime (salvo alguma exceção) a opinião de que ele simplificou a Astronomia. Para contornar essa discussão sobre a simplicidade de teorias - mas não só por isso, também para empregar o procedimento que julgamos mais adequado - propomos uma outra estratégia: examinaremos na própria obra de Platão o modo como ele tratou a questão dos movimentos celestes (sempre focalizando a atenção sobre os pontos menos polêmicos) de modo a poder comparar suas opiniões com as de Copérnico.

O diálogo de Platão mais voltado às questões cosmológicas é o *Timeu*. Ele contém a interessantíssima *Cosmogonia*, segundo a qual o mundo (cosmos) é constituído a partir do caos primitivo. O mundo tem início quando o demiurgo resolve ordenar a matéria que se encontrava caoticamente dispersa. O demiurgo pode ser entendido num sentido personalizado (uma espécie de divindade) ou apenas como um princípio ordenador. Ele executa seu trabalho tomando sempre por modelo as formas eternas e conclui, com base na observação do modelo, que o cosmos deve ser como um ser vivo - dotado de intelecto - e como o intelecto tem sua sede na alma, o cosmos deve possuir uma alma. Além disso deve ser único, pois deve compreender dentro de si todas as outras coisas. Se houvesse mais de um cosmos, eles fariam parte de um outro, mais amplo; portanto, é essa idéia de um recipiente primário (o mais amplo) que inspira o demiurgo. No que se refere à sua forma, finalmente, o cosmos é esférico. Assim, o mundo se assemelha a um grande ser vivo, dotado de alma e intelecto, que compreende dentro dos limites de sua forma esférica todos os demais viventes.

Passemos, agora, ao ponto que nos interessa mais de perto: os movimentos celestes. Após haver moldado o mundo em forma esférica, o demiurgo lhe atribui movimento. "Com efeito, ele lhe atribuiu o movimento corporal que lhe convinha, aquele dentre os sete movimentos que concerne principalmente ao intelecto e à reflexão. Imprimindo-lhe uma revolução uniforme sobre si mesmo, no mesmo lugar, ele o fez mover-se com uma rotação circular; privando-o dos outros seis movimentos ele o impediu de vagar por eles." (Platão 21, p. 34a). Esse trecho requer algum esclarecimento. Platão sustenta, basicamente, que dentre as sete categorias de movimento, o movimento atribuído ao mundo (circular) é o mais adequado a ele por ser atinente ao intelecto e à reflexão. Os sete movimentos compreendem, de um lado o movimento circular, e de outro os seis movimentos retilíneos efetuados nos seguintes sentidos: para frente, para trás, para a esquerda, para a direita, para cima e para baixo. Ou seja, os deslocamentos ao longo dos

três eixos ortogonais no espaço tridimensional (R^3). Dentre as sete categorias, portanto, é a circular que permite ao mundo permanecer em movimento (rotação sobre o eixo) ainda que jamais se afaste do seu lugar. Mas qual será a relação existente entre o movimento circular e o 'intelecto e a reflexão'? A sede do intelecto é a alma; e da mesma forma como a alma de um animal comanda os seus movimentos, o mundo é comandado por sua alma. "Mas, esta Alma da qual começamos a falar depois do corpo, Deus não formou seu mecanismo em data mais recente que o do corpo. Pois, assim procedendo, não seria permitido que o termo mais antigo se submetesse ao mais novo. (...) Mas Deus formou a Alma antes do corpo: feita mais antiga que o corpo em idade e virtude, para comandar e o corpo para obedecer." (Platão 21, p. 34 b-c). Assim, os movimentos circulares dos corpos celestes são movimentos do 'corpo' do mundo, comandados pela alma. Têm, nesse sentido, afinidade com os 'pensamentos' ou com a reflexão da alma do mundo, a ponto de ser possível localizar na alma as contrapartidas dos movimentos celestes. Vejamos: a alma do mundo é composta por três substâncias - o 'mesmo', o 'outro' e uma substância intermediária - as quais são misturadas pelo demiurgo. Ele separa, a seguir, porções dessa mistura inicial, de tal modo que essas porções guardam entre si as mesmas relações existentes entre os termos das progressões geométricas 1, 2, 4, 8 e 1, 3, 9, 27. As porções são agrupadas segundo a ordem 1, 2, 3, 4, 8, 9, 27 e esse novo todo é dividido em duas partes pelo demiurgo que "(...) tendo cruzado as duas metades uma sobre a outra, fazendo coincidir seus centros, como um X, curva-as para juntá-las em círculo, unindo entre si as extremidades de cada uma, no ponto oposto ao de sua interseção. Envolveu-as com o movimento uniforme que gira no mesmo lugar, e, dos dois círculos, fez um exterior, e outro interior. O movimento do círculo exterior, é destinado a ser o movimento da substância do Mesmo; o do círculo interior o da substância do Outro." (Platão 21, p. 36b-c). A alma do mundo possui, portanto, dois círculos concêntricos e oblíquos - o círculo do 'mesmo' e o círculo do



'outro'. Tais círculos correspondem, de fato, às contrapartidas na alma do mundo do equador celeste e da eclíptica, respectivamente. Assim, os pontos onde os círculos do 'mesmo' e do 'outro' se cruzam em X correspondem, na esfera celeste, aos pontos de interseção entre o equador celeste e a eclíptica (os pontos equinoctiais). A atividade da alma do mundo - seus 'pensamentos' - efetua-se pela rotação dos círculos do 'mesmo' e do 'outro', sendo que eles se movem em sentidos opostos e com proeminência do círculo do 'outro'. Essa atividade da alma do mundo comanda os movimentos correspondentes do 'corpo' do mundo, ou seja, da esfera celeste. O movimento do círculo do 'mesmo' produz o movimento diário dos corpos celestes em círculos paralelos ao equador, carregando consigo a eclíptica; ao passo que a rotação do círculo do 'outro' comanda os movimentos do Sol, da Lua e dos planetas ao longo da eclíptica, cada qual com seu período peculiar.

A teoria Platônica dos movimentos celestes, de forma coerente com a suposição de que o Universo se assemelha a um grande ser vivo, busca o fundamento desses movimentos no princípio vital do mundo, qual seja, sua alma. É a inteligência, ou o funcionamento da alma do mundo, que comanda os movimentos celestes. O ponto central dessa teoria reside na associação mais ou menos direta que Platão faz entre o intelecto e o movimento circular. Há duas categorias de movimentos: aquela na qual um corpo muda de lugar e a outra na qual um corpo se move sobre o mesmo lugar; e, "(...) desses dois tipos de movimentos: aquela que se move num lugar move-se necessariamente sempre em torno de um centro, à maneira das esferas giradas, e que este é, estritamente, o movimento que apresenta, com a translação do intelecto, o maior parentesco e semelhança possível." (20, p. 898a). Portanto, o movimento circular e uniforme produzido pela incessante reflexão da alma do mundo (ela se ocupa dos próprios pensamentos, uma vez que não há objetos exteriores ao mundo) é responsável pelo movimento circular e uniforme das estrelas fixas, bem como pelo movimento do Sol, da Lua e dos planetas ao longo da eclíptica. Esse último movimento,

embora não estritamente uniforme, não pode ser considerado irregular pois apresenta ciclos de anomalia que se repetem regularmente.

Após essa pequena digressão podemos retornar à leitura de Copérnico. Ele escreve no 'De Revolutionibus': "Depois disso lembraremos que o movimento dos corpos celestes é circular. Pois o movimento de uma esfera é girar em círculo; exprimindo sua forma por esse próprio ato, no corpo mais simples, onde início e fim não podem ser encontrados ou distintos um do outro (...)" (Copérnico 9, I.4 p. 2b). A respeito da idéia de que o movimento circular é a própria expressão da forma esférica, é bem conhecida a interpretação de Koyré segundo a qual Copérnico teria 'geometrizado' a Natureza, ao apontar a forma geométrica (e não a forma substancial, por exemplo) como causa de movimento (cf. Koyré 15, pp. 61 et seq.). O problema consiste, mais precisamente, em decidir se Copérnico admitia que a forma esférica pode mesmo causar o movimento circular, ou, de outro modo, se ele apenas acreditava ser essa a forma mais adequada a tal movimento (como a grande maioria, ou mesmo unanimidade, dos teóricos que o antecederam). Assim, começaremos a examinar essa questão aqui e prosseguiremos no Capítulo VII, ao tratar do movimento da Terra, quando teremos mais elementos para comentar a interpretação de Koyré.

Voltemos, pois, às palavras de Copérnico sobre os movimentos celestes: "Devemos contudo admitir que esses movimentos são circulares ou compostos de muitos movimentos circulares, nos quais mantêm aquelas irregularidades de acordo com uma lei constante e com retornos periódicos precisos: e isso não poderia ocorrer se eles não fossem circulares. Pois apenas o círculo pode repetir o que se passou (...) Muitos movimentos são identificados nesse deslocamento, já que é impossível que um corpo celeste simples seja movido irregularmente por uma esfera única. Pois isso ocorreria devido à inconstância da força motriz - em razão de uma causa externa ou de sua natureza intrínseca - ou devido a uma irregularidade entre ela e o corpo movido." (Copérnico 9, I. 4, pp.

2b-3a). Ele confirma sua adesão ao chamado 'axioma Platônico': os corpos celestes se movem em trajetórias compostas de movimentos circulares e uniformes. O que nos interessa, entretanto, é a maneira como ele procura justificar essa opção. Temos, a esse respeito, dois pontos principais: (i) a suposição de que apenas o círculo é compatível com a recorrência precisa dos movimentos celestes (que são perfeitamente uniformes, ou então têm ciclos de anomalia bem definidos); (ii) a suposição de que um corpo celeste é impulsionado por uma força motriz constante (ela é em si constante e não há nenhum agente externo que a faça variar), e de que o corpo movido recebe o impulso de modo também constante, quer dizer, a uniformidade do movimento é preservada durante a transmissão, fazendo com que a ação da força constante resulte numa velocidade sempre uniforme. Dadas essas duas suposições, podemos concluir que o deslocamento aparentemente irregular de um corpo celeste é devido a uma composição de movimentos circulares.

Podemos, agora, retomar à questão da vinculação de Copérnico ao Platonismo ou Neoplatonismo. Vimos que Platão admite a perfeita uniformidade do movimento diário, a qual é explicada pela semelhança existente entre o movimento circular e uniforme e a reflexão da alma do mundo (o movimento do círculo do 'mesmo', mais precisamente). Quanto a Copérnico, ele diz apenas que os corpos celestes são impulsionados por uma força motriz constante. Não faz nenhuma referência à alma do mundo, que é a causa do movimento para um Platônico. Assim, ele não justifica sua posição com base no Platonismo. Não queremos com isso descartar uma possível influência do Platonismo ou de qualquer outra doutrina na descoberta da nova teoria; apenas nos mantemos em nossa posição de discutir primordialmente problemas de justificação de teorias.

Quanto ao Neoplatonismo, a situação se complica um pouco em face da nuvem de indeterminação trazida - como de hábito - pelo prefixo 'neo'. De fato, o rótulo de Neoplatônica é atribuído a uma extensa gama de teorias, nem sempre muito aparentadas. Contudo, se admitirmos que o Neoplatonismo, para merecer a denomina-

ção, deve preservar ao menos a doutrina Platônica da alma do mundo - o que parece razoável - devemos admitir que a fundamentação Copernicana para os movimentos celestes não é tributária do Neoplatonismo, assim como não o é de Platão.

E o que dizer da interessante tese de Koyré? Ele sustenta, em resumo, que Copérnico teria ido além de seus antecessores ao admitir que a forma esférica não é apenas a mais apropriada ao movimento circular, mas que ela é a causa suficiente desse movimento. É o que Koyré chama de geometrização do conceito de forma: o movimento circular de um corpo não é devido à sua substância - ou forma substancial - mas simplesmente à sua forma esférica (forma geométrica). Esse movimento não necessita de um motor: "Com efeito, na dinâmica de Copérnico, o movimento (circular) é causado pela (ou devido à) forma (esférica) dos corpos. Os corpos giram porque são redondos sem necessitar, para fazê-lo, de um motor externo, nem mesmo de um motor interno. Ponha um corpo redondo (uma esfera) no espaço: ele vai girar." (Koyré 15, p. 62). Ademais, o movimento gerado pela esfera seria uniforme, o que, segundo Koyré, teria levado Copérnico a rejeitar os equantes. Trata-se de uma interpretação engenhosa, que merece ser examinada mais de perto.

Copérnico admite, como vimos, que a matéria possui uma tendência natural a se agrupar em esferas; trata-se de uma propriedade da substância ou da 'forma substancial', se usássemos a terminologia Aristotélica. Após assumir a forma esférica um corpo deveria começar espontaneamente a girar, de acordo com a tese de Koyré, não devido à sua substância mas simplesmente devido à sua forma geométrica. Nesse ponto, todavia, surgem algumas dificuldades: se a causa da rotação fosse apenas a forma geométrica, todos os objetos esféricos deveriam girar espontaneamente. Isso inclui todas as esferas que estejam na Terra, a própria Terra, o Sol, a Lua, os planetas, as estrelas fixas e, finalmente, o próprio Universo. Das esferas citadas, Copérnico nos confirma que a Terra gira e que o Universo é imóvel; os objetos esféricos localizados

na Terra - como é evidente - também não giram espontaneamente. Assim, em resumo, algumas esferas giram e outras não; portanto, a teoria que relaciona a rotação à forma geométrica necessita de suposições adicionais (para explicar as exceções). Copérnico pode solucionar facilmente o problema da imobilidade dos objetos terrestres (eles são parte da Terra e participam do seu movimento) e do Universo (veremos a razão oportunamente), mas não se pronuncia a respeito do Sol, Lua e planetas. Estaria ele admitindo implicitamente a rotação axial dos astros errantes, uma vez que não coloca nenhuma cláusula proibindo-a? Não seria esse um fato muito importante para permanecer implícito? Há ainda uma outra dificuldade com a tese de Koyré: ele afirma que uma esfera gira sem necessidade de nenhum motor, interno ou externo (cf. o trecho citado), o que está em aparente contradição com a menção de Copérnico (trecho citado acima) a uma força motriz constante. Essas pequenas dificuldades não têm força, evidentemente, para refutar a tese de Koyré; nem é esse o nosso propósito. Pretendemos apenas sugerir uma interpretação que evite esses problemas sem criar outros ainda maiores.

Há uma curiosa semelhança entre o último trecho citado do 'De Revolutionibus' e uma passagem do 'De Caelo' de Aristóteles: "Além disso, já que tudo que se move é movido por algo, a causa da irregularidade do movimento tem que estar no motor ou no móvel ou ambos. Pois se o motor não atuasse sempre com a mesma força, ou se o móvel se alterasse e não permanecesse o mesmo, ou se ambos se alterassem, o resultado certamente poderia ser um deslocamento irregular do móvel." (Aristóteles I, II. 6, p. 288a). Essa semelhança, aliás, foi notada por uma figura ilustre na história da Astronomia: Michael Maestlin - professor de Kepler - que fez uma anotação a respeito em seu exemplar do 'De Revolutionibus' (cf. Westman 29, p. 115). Nossa sugestão é de que a semelhança não é gratuita, mas fruto da concordância de Copérnico com alguns princípios Aristotélicos básicos sobre o movimento. Copérnico introduz esses princípios no Capítulo 4 do Livro I do 'De Revolu-

tionibus', o qual é aberto com a frase: "lembraremos que o movimento dos corpos celestes é circular" (trecho citado acima). Como ele não fizera menção anterior aos movimentos celestes, fica claro que o leitor é convidado a recordar alguma doutrina bem estabelecida mas situada fora do corpo de sua obra. Assim, sugerimos que Copérnico reproduz, nesse Capítulo 4, a solução Aristotélica para o problema de encontrar a trajetória mais adequada a um movimento uniforme e perpétuo. A solução de Copérnico pode ser descrita do seguinte modo: os corpos celestes são impulsionados por uma força motriz constante. Como resultado temos um deslocamento uniforme e perpétuo. Uniforme porque um móvel necessita da ação contínua da força motriz para se manter em movimento; quer dizer, a ação prolongada da força não produz um movimento acelerado, mas apenas mantém a velocidade constante (se, por outro lado, a ação cessasse, aí então o móvel entraria em repouso; o que evidencia a diferença da concepção de Copérnico em relação à de Newton). Além de uniforme o deslocamento é perpétuo, pois a força motriz perdura indefinidamente. O movimento uniforme e perpétuo dos corpos celestes deve, ainda, ser entendido no sentido mais estrito do termo: é um movimento contínuo; ou seja, $\frac{ds}{dt} \neq 0$ onde (s) representa a posição do móvel e (t) o tempo de deslocamento.

Temos, portanto, um movimento uniforme e perpétuo, mas que necessita ser contido dentro dos limites do Universo finito. O movimento em círculo se impõe, então, como o único capaz de satisfazer a esses requisitos. É um movimento que retorna sobre si mesmo, no qual não se distingue início e fim (cf. Copérnico 9, I.4, p. 2b, trecho citado acima) pois apenas arbitrariamente esses limites poderiam ser apontados num círculo. O fato de não ter início e fim e de retornar sobre si próprio permite que o deslocamento circular seja perpétuo e periódico - exatamente como os movimentos celestes (cf. Copérnico 9, I.4, p. 2b, trecho citado acima) - pois tal movimento se comporta como uma função matemática periódica; uma função trigonométrica, por exemplo, cujo valor se repete exatamente a cada intervalo de variação do argumento de

2π rad, não importando qual o valor inicial do argumento. A não identificação de início e fim no movimento circular o torna, ainda, o mais adequado ao corpo que se move uniformemente, pois Copérnico - como Aristóteles - associa a não-uniformidade do movimento à existência de limites. No trecho do 'De Caelo' imediatamente anterior ao já citado lemos: "Se o movimento é irregular, claramente haverá aceleração, velocidade máxima, e desaceleração, já que estes ocorrem em todos os movimentos irregulares. O máximo pode ocorrer no ponto de partida ou no término ou entre os dois (...) Mas o movimento circular, não tendo início ou limite ou meio no sentido preciso das palavras, não tem origem nem destino nem intermédio: pois no tempo ele é eterno, e em extensão retorna sobre si mesmo sem interrupção." (Aristóteles I, II. 6, p. 288a). A não-uniformidade só pode ocorrer nos movimentos temporal e espacialmente finitos, como é o caso dos movimentos retilíneos limitados por um ponto inicial e um ponto terminal. Assim, o movimento de queda dos corpos pesados, por exemplo - o qual é retilíneo e finito - é um movimento acelerado, cuja velocidade é zero no ponto inicial e cresce progressivamente até atingir um máximo no momento em que o corpo toca o solo. O movimento circular, por sua vez, não tem ponto de partida e de chegada, pois é definido por apenas um ponto: o centro do círculo (é um movimento em torno do centro) e pode perdurar indefinidamente, sempre com velocidade uniforme. A novidade trazida por Copérnico em relação a Aristóteles é a possibilidade da composição do movimento circular ao retilíneo: um objeto situado na Terra, por exemplo, compartilha do seu movimento circular (uniforme e perpétuo) mas pode apresentar, em adição, um movimento retilíneo (não-uniforme e finito). Quando abordarmos o movimento da Terra, no Capítulo VII, teremos a concepção clara de Copérnico em relação à composição dos movimentos retilíneo e circular, e poderemos reunir mais elementos em favor de nossa interpretação.

CAPÍTULO VI

A POSIÇÃO DA TERRA

A questão da posição da Terra no Universo - se ela permanece imóvel bem no centro ou se fica afastada dele e possui algum tipo de deslocamento - é tratada no 'De Revolutionibus' em imediata sequência à discussão das características fundamentais dos movimentos celestes. O fato de Copérnico reexaminar a questão da posição da Terra (e de sua imobilidade) quando era bem estabelecida a doutrina de que ela permanecia perfeitamente estática no centro do mundo é notável, e constitui o ponto de partida para sua grande contribuição à Astronomia: a elaboração do sistema heliocêntrico. Mas, de que maneira a questão da posição da Terra se relaciona à dos movimentos celestes? Como vimos no capítulo anterior, Copérnico havia concluído que os corpos celestes se movem em trajetórias compostas de movimentos circulares e uniformes. A observação astronômica, porém, revela grandes irregularidades; sobretudo no movimento dos planetas, que apresentam períodos de movimento retrógrado intercalados aos de movimento direto e exibem uma considerável variação de brilho (magnitude visual). Por sua vez, essa variação no brilho dos planetas foi interpretada como uma modificação de sua distância à Terra (movimento em altitude), uma vez que sua magnitude absoluta foi considerada constante. É preciso, então, conceber um adequado arranjo de círculos, capaz de compatibilizar os dados da observação astronômica às suposições sobre o movimento e brilho dos planetas. Dessa forma, as irregularidades observadas no movimento dos planetas seriam originadas "(...) quer em virtude de seus círculos terem centros diversos ou até porque a Terra não está no centro dos círculos

terem centros diversos ou até porque a terra não está no centro dos círculos nos quais eles orbitam. E assim para nós que observamos da Terra, ocorre que as passagens dos planetas, devido estarem a distâncias desiguais da Terra, parecem maiores quando estão mais próximos do que quando estão mais afastados (...)" (Copérnico 9, I.4, p. 3a). Num outro trecho ele menciona muito claramente a questão da variação de altitude dos planetas: "pois o fato de que as estrelas errantes são vistas às vezes mais próximas da Terra e outras vezes mais afastadas prova necessariamente que o centro da Terra não é o centro de seus círculos." (Copérnico 9, I.5, p. 3b). A observação astronômica torna patente, portanto que os planetas não se movem em círculos concêntricos à Terra - situação na qual apresentariam magnitude constante - mas segundo alguma disposição na qual suas distâncias sejam variáveis. Copérnico considera, então, duas classes de sistemas astronômicos capazes de atender a esse requisito: (i) aquela na qual os planetas se movem em círculos com centros distintos (os epiciclos maiores do sistema de Ptolomeu e seus equivalentes; (ii) uma outra classe, ainda não explorada a fundo, na qual os círculos deferentes dos planetas não são centrados na Terra (nessa classe se inclui o sistema de Copérnico e também o seu sistema dual, que é o de Tycho Brahe).

O ponto crucial, portanto, na trajetória de Copérnico em direção ao sistema geocinético é representado pelo abandono da primeira classe de sistemas em favor da segunda. Ambas as classes procuram solucionar o problema da variabilidade do brilho dos planetas. Nos sistemas com epiciclos o fenômeno é devido à aproximação e afastamento do planeta em relação ao observador. No sistema de Copérnico, por sua vez, tanto o observador - transportado pelo movimento da Terra - quanto o planeta se movem, aproximando-se e se afastando. Quanto ao sistema de Tycho Brahe, tudo se processa exatamente como no sistema heliocêntrico (são cinematicamente equivalentes), porém com a grande diferença dinâmica de que a Terra permanece imóvel (e o observador sobre ela), de modo

que a variação da magnitude dos planetas é explicada pela aproximação e afastamento deles em relação ao observador imóvel, à medida em que se deslocam ao longo de seus epiciclos em torno do Sol.

Rhético menciona o problema da variabilidade do brilho dos planetas - especialmente a de Marte - ao discutir as vantagens do sistema Copernicano: "Durante seu nascimento vespertino Marte parece igualar-se a Júpiter em tamanho, de modo que se diferencia apenas por seu esplendor de fogo, quando nasce na manhã pouco antes do sol e é então extinto na luz do sol, pode ser distinguido com dificuldade entre estrelas de segunda magnitude. Consequentemente em seu nascimento vespertino ele se aproxima ao máximo da Terra, enquanto seu nascimento matutino está afastado ao máximo; seguramente isso não pode ocorrer de modo algum na teoria de um epiciclo." (Rhético 24, p. 137). Nesse trecho Rhético alude ao fato de que o perigeu de Marte (correspondente à máxima magnitude visual desse astro) coincide com sua oposição ao Sol, ao passo que seu apogeu se dá na conjunção com o Sol. Para explicar esse fato Ptolomeu precisa supor que o período de revolução do planeta em torno do epiciclo é idêntico ao período sinódico. A dificuldade criada por esse arranjo é justamente a suposição de uma relação não explicada entre o movimento do Sol e o dos planetas. Não há uma suposição similar no sistema heliocêntrico; o que é apontado como uma vantagem do novo sistema por Copérnico e pelo próprio Rhético. Mas Copérnico não afirma que as teorias com epiciclos são incompatíveis com o fenômeno da variação de brilho dos planetas, e não pretende refutar as teorias de Ptolomeu por essa via. Ele apenas abre o caminho para um reexame da posição da Terra, argumentando que a teoria dos epiciclos é apenas uma das formas de abordar o problema, e que outras podem ser tentadas. Mais que isso, como as teorias existentes violavam o princípio da uniformidade do movimento circular - ao admitir os equantes - tornava-se mesmo imperioso buscar novas alternativas.

Abrindo um pequeno parêntese, seria interessante mencionar que o teólogo Osiander utiliza em seu prefácio ao 'De Revolutionibus' um argumento envolvendo a variabilidade de Vênus, pelo qual procura mostrar que seria absurdo conceber a Astronomia de Copérnico como uma representação fiel da realidade, e que ela deve ser vista apenas como um meio de cálculo, capaz de se adequar às observações. Pois. "(...) a não ser que haja por acaso alguém tão ignorante em geometria e ótica que considere provável o epí-ciclo de Vênus e acredite que seja esta a causa pela qual Vênus precede e sucede alternadamente o sol a uma distância angular de 40° ou mais. Pois quem não vê que dessa suposição segue necessariamente que o diâmetro do planeta no perigeu deveria parecer mais de quatro vezes maior, e a área do planeta mais de dezesseis vezes maior que no apogeu?" (Copérnico 9, p. ib). A objeção de Osiander estaria perfeitamente correta se se supusesse que Vênus possui luminosidade própria; se, ao contrário, supõe-se que ele é iluminado pelo Sol, seu deslocamento em torno desse astro acarretaria o surgimento de fases (como as fases da Lua), sendo que a fase 'cheia' ocorreria exatamente no apogeu e as fases 'crescente' e 'minguante' entre o apogeu e o perigeu. Haveria, assim, uma compensação entre a distância do planeta e a extensão da porção efetivamente iluminada de sua superfície, e isso reduziria em muito sua variabilidade (cf. Koyré 15, p. 98, nota 10). Talvez Osiander tenha se inspirado na objeção de Rhético (baseada na variabilidade de Marte) contra a teoria dos epí-ciclos.

Uma vez que Copérnico se dispôs a reexaminar a questão da posição - e da imobilidade - da Terra, seria pertinente indagar por que ele não teria chegado a uma solução intermediária e desenvolvido um sistema semelhante ao de Tycho Brahe. Seria uma solução intermediária entre as alternativas Ptolomaica e Copernicana, pois conservaria a característica dinâmica da imobilidade da Terra, presente na primeira, ao mesmo tempo em que seria cinema-

ticamente equivalente à segunda. Todavia, vamos adiar a resposta a essa questão até o final do capítulo, pois há um problema prioritário neste momento. Como Copérnico pôde questionar a posição da Terra no Universo? Não havia nenhuma prova considerada segura de que ela se situa no centro? Ele nos informa, a esse respeito, que: "Muitos contudo têm acreditado poder mostrar por raciocínio geométrico que a Terra está no centro do mundo; que ela tem a proporção de um ponto em relação à imensidão dos céus, ocupa a posição central, e por essa razão é imóvel, porque, quando o universo se move, o centro permanece imóvel e as coisas que estão mais próximas do centro se movem mais lentamente." (Copérnico 9, I.5, pp. 3b-4a). Essa é uma referência à prática comum entre os astrônomos geocentristas, de apresentar argumentos geométricos para sustentar a posição de que a Terra ocupa o centro do mundo. O argumento consiste em mostrar que a projeção do plano do horizonte do observador até a esfera celeste divide essa esfera em duas metades exatamente iguais; daí se conclui que o observador só pode estar situado bem no centro do Universo, e portanto, que essa posição da Terra. Nós já examinamos com algum detalhe a utilização desse argumento por Ptolomeu (cf. Capítulo II acima) e vimos como ele analisa cuidadosamente a questão, considerando as consequências que adviriam se a Terra estivesse situada mais ao Norte ou ao Sul da esfera celeste, ou, de outro modo, se estivesse fora do eixo Norte-Sul, para concluir, finalmente, que ela só pode estar no centro. Veremos, agora, a maneira como Copérnico procura fugir à conclusão que parecia tão certa a Ptolomeu.

Ele apresenta, nesse sentido, sua própria versão do argumento do plano do horizonte, e pondera que, a rigor, ele não prova que a Terra fica no centro do Universo. Consideremos, a esse respeito, a seguinte figura, reproduzida do 'De Revolutionibus':

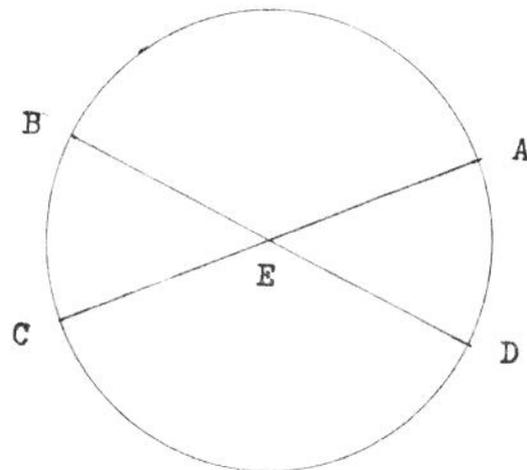


Figura 13

Seja o círculo ABCD o horizonte do observador, e o ponto E a Terra (não fica muito claro no texto de Copérnico se ele já supõe de antemão que a Terra está situada no centro do círculo do horizonte - o que seria um vício do argumento - ou se ele considera que essa é uma hipótese a ser provada; todavia, o argumento não necessita dessa suposição, e, dessa forma, permanece válido). O observador registra, num dado momento, o início da constelação de Câncer nascendo no ponto C, ao passo que, no mesmo instante, o início de Capricórnio começa a se pôr em A. Como o intervalo que vai do início de Câncer ao início de Capricórnio compreende exatamente um semicírculo da eclíptica, e como os respectivos pontos de visada estão alinhados com a posição do observador (pelo segmento de reta AEC), conclui-se que o observador está sobre o diâmetro da eclíptica. Numa outra observação, quando o início de Capricórnio surge em B, verifica-se que o início de Câncer se põe, simultaneamente, em D, enquanto o alinhamento BED confirma que o

observador se mantém sobre o diâmetro da eclíptica. Logo, como AEC e BED são ambos diâmetros da eclíptica, o ponto de interseção E - onde se encontra o observador - será necessariamente o centro da eclíptica; e sendo a eclíptica um círculo máximo da esfera do mundo, seu centro coincide com o centro do mundo. O observador, portanto, está exatamente no centro do mundo (cf. Copérnico 9, I.6, p. 4a). Trata-se de uma versão elegante para o velho argumento envolvendo o plano do horizonte, embora esbarre nas dificuldades práticas que sempre dificultam a observação astronômica de alvos situados na linha do horizonte (como a refração atmosférica). Mas o que temos de indagar é sobre a real força do argumento. O que ele prova afinal? A chave para responder a essa pergunta vem da constatação de que se a Terra ocupasse de fato o centro do mundo, o observador estaria necessariamente afastado do centro, pois ele está na superfície da Terra. No entanto, ele efetua as observações descritas e conclui que está no centro. Tal conclusão só é possível se a distância do observador ao centro for muito pequena se comparada à distância aos astros que ele observa, tornando-se desprezível para efeitos práticos. Portanto, "Por esse argumento fica suficientemente claro sem dúvida que os céus são imensos em comparação com a Terra e têm a aparência de uma grandeza infinita, e que segundo o juízo dos sentidos a Terra está para os céus assim como um ponto para um corpo e como uma grandeza finita para uma infinita. Mas vemos que nada mais que isso foi provado, e não se segue que a Terra deve estar em repouso no centro do mundo." (Copérnico 9, I.6, p. 4b). Assim como o argumento dá abrigo a uma aparente contradição - pois conclui que o observador está no centro do mundo, quando na verdade ele não pode estar lá, pois está na superfície da Terra - ele também permitiria que a Terra se movesse a alguma distância do centro, sem que esse fato fosse notado. Isso porque a força do argumento se restringe a mostrar que a esfera celeste é muito grande. Esse é o sentido da ponderação de Copérnico.

Quanto à idéia de que estando no centro do mundo a Terra certamente permaneceria imóvel, pois quando uma esfera - no caso o Universo - gira, seu centro permanece imóvel, Copérnico replica que, nesse caso "(...) a Terra se moverá, sendo um corpo e não um centro, e descreverá ao mesmo tempo arcos semelhantes, porém menores, que os arcos do círculo celeste. É claro como a luz do dia o quão falso é isto; pois necessariamente seria sempre meio-dia em um local e meia-noite em outro (...)" (9. I.6, p. 4b). De fato, se todas as esferas se deslocassem conjuntamente, a Terra não permaneceria em repouso, e ainda assim, não seria notada nenhuma alteração nas posições dos astros. É bom mencionar que essa idéia não se encontra em Ptolomeu, e Copérnico parece utilizá-la como pretexto para suscitar o problema dos períodos de revolução dos diversos astros.

Como não havia nenhuma prova - merecedora do título - de que a Terra ocupa o centro do Universo e lá se mantém imóvel, pois a eficácia dos argumentos apresentados em favor dessa tese podia ser contestada, Copérnico considerou que a questão não estava ainda decidida e havia lugar para novas soluções. Uma solução que considerasse a Terra em movimento, por exemplo, seria geometricamente possível, em virtude da relatividade do movimento. "Pois toda mudança aparente de lugar ocorre devido ao movimento da coisa vista ou do espectador, ou devido ao movimento necessariamente diverso de ambos. (...) Ora é da Terra que o circuito celeste é contemplado e apresentado à nossa vista. Portanto, se algum movimento pertencesse à Terra ele apareceria, nas outras partes do universo, como o mesmo movimento mas em direção oposta (...)" (Copérnico 9, I. 5, pp. 3a-3b). Todo movimento só pode ser percebido como movimento relativo, ou seja, como uma mudança de posição em relação a algum sistema de referência. No caso dos movimentos celestes, as estrelas fixas servem como referencial para o deslocamento dos astros errantes - Sol, Lua e planetas - mas elas próprias se deslocam em conjunto - no movimento diário - e o referencial desse segundo movimento é a pró-

pria Terra, ou o plano do horizonte. Assim, por estar situado na Terra, o observador decide arbitrariamente que ele próprio se mantém imóvel, junto com o seu sistema de referência, e as estrelas se movem em redor, embora seja perfeitamente possível – ao menos geometricamente – que se dê o contrário. Dada a possibilidade geométrica do movimento da Terra, Copérnico não se surpreende com o fato de alguns astrônomos antigos terem feito essa suposição: “De fato, os Pitagóricos Heráclides e Ecfanto tinham essa opinião e também Hicetas o Siracusano segundo Cícero; eles colocaram a Terra girando no centro do mundo.” (Copérnico 9, I. 5, p. 3b). Pelo mesmo princípio da relatividade do movimento é possível imaginar, também, soluções alternativas para a questão da variabilidade do brilho dos planetas, pois ela pode ser causada tanto pela aproximação e afastamento deles em relação ao observador imóvel – como é o caso dos epiciclos – quanto pelo deslocamento da Terra (e do observador) em relação aos planetas. Logo, não é de admirar que algum deslocamento da Terra já tenha sido suposto: “E assim não seria surpreendente se alguém atribuísse algum outro movimento à Terra além da rotação diária. De fato, Filolau o Pitagórico – matemático invulgar, do qual os biógrafos de Platão contam que este foi à Itália para vê-lo – teria mantido que a Terra se moveria em círculo e vagaria com outros movimentos e seria um dos planetas.” (Copérnico 9, I.5, p. 3b). Diante da menção de tantas autoridades Pitagóricas, parece que estamos novamente às voltas com a velha questão da tendência Pitagórica-Platônica de Copérnico. Todavia, se atentarmos bem para o contexto no qual essas referências são feitas, veremos que a situação é aproximadamente a seguinte: Copérnico havia argumentado – invocando o princípio da relatividade do movimento – que a hipótese do movimento da Terra seria cinematicamente equivalente à de sua imobilidade, pois o observador, que está sobre a Terra, julgaria estar imóvel e veria os corpos celestes se deslocando de modo idêntico nos dois casos; em sequência ele cita os Pitagóricos que haviam concebido o movimento da Terra. Dessa forma, os Pitagóricos são

mencionados simplesmente como astrônomos precursores das teorias geocinéticas, sem que esteja envolvido nenhum aspecto doutrinário. Essa interpretação está de acordo com o que se lê no prefácio dedicado ao Papa Paulo III, onde, após mencionar a grande diversidade de opiniões reinantes entre os astrônomos, Copérnico conta que: "Por isso me dei ao trabalho de reler os livros de todos os filósofos que pudesse obter, para ver se algum deles não teria suposto que os movimentos das esferas do mundo fossem diferentes daqueles admitidos pelos que ensinam matemática nas escolas. E de fato, descobri primeiro em Cícero que Nicetas (sic!) imaginou que a Terra se move. Mais tarde descobri em Plutarco que haviam outros da mesma opinião: "Segue-se uma citação de pseudo-Plutarco onde figuram Filolau, Heráclides e Ecfanto, e a conclusão: "Portanto eu também, tendo encontrado a ocasião, comecei a meditar sobre a mobilidade da Terra." (Copérnico 9, pp. iiib-iva).

Além do mais, para que se possa atribuir satisfatoriamente alguma inclinação Pitagórica a Copérnico, seria preciso, naturalmente, definir com antecedência qual seria o 'corpo' teórico mínimo dessa escola. Não é uma tarefa fácil, tanto por razões práticas - a falta de documentação adequada - como em razão das oscilações que parecem marcar o desenvolvimento da escola. O que sabemos dos antigos Pitagóricos é proveniente de fontes secundárias - como as doxografias - as quais podem ter distorcido o sentido original das proposições teóricas. A menção de Copérnico a Filolau, por exemplo, de que Platão teria ido à Itália visitá-lo, deve ter sido obtida em Diógenes Laércio: "Em seguida ele foi a Cirena, até Teodoro o matemático, e de lá à Itália, até Filolau e Eurito, ambos pitagóricos, a seguir ao Egito, junto aos profetas." (Diógenes Laércio II, p. 165). Parece que Diógenes foi o único 'biógrafo' de Platão a mencionar sua ida à Itália, sem falar na costumeira viagem ao Egito, que ele habitualmente atribuía a todos os grandes filósofos. Nosso conhecimento acerca das idéias surgidas dentro da escola Pitagórica deve, assim, ser en-

carado com reservas. Mas há alguns pontos que parecem fora de dúvida. A principal característica do Pitagorismo é a grande ênfase sobre os números: números e relações numéricas não são apenas úteis para se estudar a Natureza, mas constituem a própria realidade (ou sua essência, conforme a interpretação) e a causa de todos os fenômenos. Quanto às questões cosmológicas, é certo que Pitágoras admitia que a Terra fica no centro do Universo, e que ambos são esféricos. Já seu seguidor, Filolau, admitia o movimento orbital da Terra em torno do 'fogo central' (e não do Sol, que permanece numa órbita mais externa) de tal modo que sempre a mesma face da Terra está voltada para o centro (assim como a Lua exhibe sempre a mesma face para a Terra). Acompanhando o movimento da Terra, e mantendo-se sempre do lado oposto do 'fogo central' havia a 'anti-Terra'; o fato dos eclipses da Lua serem mais numerosos que os do Sol era explicado, então, pelo fato dela receber também a sombra da 'anti-Terra', além da sombra da Terra. O movimento celeste diário decorre, no sistema de Filolau, da translação da Terra em sua órbita; mas a esfera de estrelas fixas não é imóvel (gira lentamente). O avanço subsequente da Astronomia Pitagórica se deu em Siracusa: Hicetas e Ecfanto supuseram a rotação axial da Terra no centro do Universo; enquanto a esfera de estrelas fixas permanecia perfeitamente imóvel. Hicetas talvez tenha desenvolvido essa idéia anteriormente ao sistema de Filolau; mas como Ecfanto - que seguramente foi posterior - manteve a mesma posição, é possível falar que o desenvolvimento da escola se deu no sentido de abolir a 'anti-Terra' e o 'fogo central'. Quanto a Heráclides - a outra autoridade mencionada por Copérnico - teria mantido uma posição semelhante à de Ecfanto, como a rotação da Terra sobre o eixo no centro do mundo, mas admitiu que Vênus e Mercúrio orbitam em torno do Sol (em epiciclos).

Aproveitando a oportunidade, seria interessante mencionar uma polêmica referente à pretensa suposição, por Platão, do movimento da Terra. Ela tem origem num pequeno trecho do *Timeu*: "Quanto à Terra, nossa nutriz, que está comprimida com justeza em

torno do eixo que atravessa o Todo, o Deus assim a dispôs para ser a guardiã e a protetora da Noite e do Dia. (...)” (Platão 21, p. 40b-c). Esse trecho dá margem à interpretação de que a rotação axial da Terra seria responsável pela geração do dia e da noite, ou seja, pelo movimento diário dos astros. Há, no entanto, inúmeras passagens do Timeu e dos outros diálogos que contradizem essa interpretação. O sentido correto do texto parece ser o de que o cone de sombra produzida pela Terra ao ser iluminada pelo Sol, ao se deslocar (acompanhando o movimento do Sol), gera os dias e as noites; desse modo a Terra seria participante do processo. Essa é a interpretação clássica de Proclus (cf. Proclus 22, pp. 139-140).

Retornando, porém, ao Pitagorismo, defrontamo-nos com o problema de como caracterizar os fundamentos de uma escola sujeita a tanta turbulência. Pois a Terra foi suposta, sucessivamente, no centro do mundo, em órbita ao centro e novamente no centro com movimento axial. O ‘fogo central’, que deveria permanecer no centro, foi aparentemente abandonado, da mesma forma que a ‘anti-Terra’. A esfera de estrelas fixas foi suposta em movimento – pois prevalecia o postulado de que todas as esferas se movem – e, depois, em repouso. Qual seria, então, o ponto em comum a essas opiniões? Um deles nos parece ser o da importância atribuída aos números e às relações numéricas, juntamente com a questão associada da harmonia musical. Sabe-se que os Pitagóricos foram os primeiros a descobrir que alguns dos intervalos harmônicos mais empregados na música correspondem a relações numéricas simples entre, por exemplo, os comprimentos das cordas de harpas e outros instrumentos de sopro.

A existência da ‘anti-Terra’, por exemplo, teria sido postulada, talvez, para completar o número de dez corpos celestes – ao lado da esfera de estrelas fixas, dos cinco planetas, do Sol, da Lua e da Terra – pois esse número era considerado perfeito, sendo resultante da soma de 1, 2, 3 e 4. Já a idéia de que as esferas celestes emitem sons harmônicos, pois as distâncias entre

elas obedecem aos intervalos harmônicos, pode ter tido alguma influência na concepção do sistema geocêntrico, pois o número resultante de oito esferas - estrelas fixas, cinco planetas, Sol e Lua - seria compatível com um intervalo de uma oitava na escala musical diatônica, conhecida na época. Esteja ou não associada à harmonia musical, a postulação de relações numéricas consideradas especiais entre as distâncias planetárias parece, justificadamente, ser uma característica fundamental para um Pitagórico: tal como se vê no *Timeu* com os intervalos 'duplos' e 'triplos'. Um outro ponto que, ao que tudo indica, pode ser considerado uma preocupação comum entre os membros da escola Pitagórica se refere ao 'fogo central'. Apesar dele ter sido aparentemente abandonado após Filolau, é bem possível que Ecfanto ou Heráclides tenham considerado, em sua hipótese geocêntrica, que o 'fogo central' fica localizado no centro da Terra (e do Universo, portanto) sendo responsável, inclusive, por fenômenos geotérmicos como as erupções vulcânicas. Em vista disso, uma possibilidade para se tentar estabelecer a vinculação de Copérnico a essa escola seria a de identificar uma preocupação de sua parte com as relações numéricas entre as distâncias planetárias. Uma outra forma seria interpretar sua hipótese heliocêntrica como uma solução para o velho problema do 'fogo central', segundo o qual o próprio Sol seria identificado com ele. Esses dois tópicos são relacionados ao problema da ordem das esferas, que será tratado no Capítulo VIII, mas podemos adiantar que: (i) quanto às distâncias planetárias, a própria hipótese heliocêntrica dificulta a postulação de relações pré-determinadas, pois o movimento orbital da Terra (e do observador) permite que se calcule as distâncias por métodos trigonométricos, não restando ao proponente da hipótese outra alternativa senão acatar os resultados; (ii) quanto à questão do 'fogo central', não há nenhuma referência de Copérnico que funcione como uma indicação nesse sentido.

Concluindo, poderíamos dizer que tudo que se lê na obra de Copérnico parece corroborar a interpretação de que ele teria che-

gado à hipótese heliocêntrica como resultado de um processo analítico voltado à solução de problemas astronômicos. A opinião contrária, de que ele teria sustentado a hipótese 'a priori', é estimulada pela forma axiomática do início do 'Commentariolus' onde se encontram as 'suposições'; em especial: "3. Todas as esferas giram em torno do sol como seu ponto médio, e portanto o sol é o centro do universo." (Copérnico 8, p. 58). Mas a axiomática do 'Commentariolus' representa apenas a forma sintética de expor o sistema e de apresentar os resultados obtidos no processo de análise, segundo o método matemático de análise e síntese.

Antes de finalizar temos de responder a uma questão pendente: por que Copérnico não teria desenvolvido, em lugar do sistema heliocêntrico, um sistema semelhante ao de Tycho Brahe? Trata-se de um sistema geocêntrico que, em virtude das órbitas dos planetas serem centradas no Sol, torna-se cinematicamente equivalente ao heliocêntrico. Porém, da forma como foi cruamente formulada, a pergunta nem pode ser respondida, pois equivale a indagar por que certa pessoa deixou de tomar determinada atitude. Entretanto, é possível investigar se haveriam motivos que tornassem a hipótese heliocêntrica preferível; e esses motivos existem. Um deles se refere ao problema, reiteradamente citado por Copérnico, do movimento da esfera de estrelas fixas. "E como é o céu que contém e engloba todas as coisas como o lugar do universo, não é claro de imediato por que o movimento não deve ser atribuído de preferência ao conteúdo que ao continente, à coisa localizada de preferência à que dá o lugar." (Copérnico 9, I. 5, p. 3b). Como a esfera de estrelas fixas é a fronteira, ou limite, do Universo, e contém em seu interior todas as coisas, ou seja, é o lugar de todas as coisas; Copérnico acha estranho - e mesmo absurdo - que ao invés de se admitir o movimento das coisas em relação ao lugar, se admita o oposto: o movimento do lugar. E é justamente isso que ocorre ao se supor o movimento da esfera de estrelas fixas. Além disso, a atribuição do movimento celeste mais rápido - o diário - à maior esfera - das estrelas - abre uma exceção à regra de que o



período orbital cresce com o tamanho das esferas. Esses temas serão discutidos no capítulo sobre a ordem das esferas, mas a simples menção a eles é suficiente para mostrar que mesmo que Copérnico houvesse aventado a hipótese de um sistema semelhante ao Tircônico, ele ainda teria razões para preferir a solução heliocêntrica.

CAPÍTULO VI I

O MOVIMENTO DA TERRA

Após termos acompanhado os contra-argumentos levantados por Copérnico no sentido de neutralizar as razões dos que procuraram demonstrar, em bases geométricas, que a Terra se encontra perfeitamente imóvel no centro do Universo, chegamos ao ponto de examinar um problema crucial na história do sistema heliocêntrico. Veremos, agora, como ele procura neutralizar as objeções físicas levantadas contra o movimento da Terra, e mostrar que os fenômenos terrestres são totalmente compatíveis com o seu movimento. As razões que os 'antigos' (isto é, Aristóteles e Ptolomeu) dispunham para crer na imobilidade da Terra diziam respeito especialmente aos movimentos naturais dos corpos, às qualidades substanciais associadas a eles (como o peso ou a leveza) e, finalmente, aos lugares naturais correspondentes a esses corpos. "Pois uma vez que a Terra é uma esfera em direção à qual as coisas pesadas vindas de todas as direções se deslocam por sua própria natureza em ângulos retos à sua superfície, as coisas pesadas colidiriam entre si no centro se não fossem detidas na superfície; (...) E as coisas que se deslocam para o centro parecem fazê-lo para permanecer em repouso no centro." (Copérnico 9, I, 7, p. 5a). A queda dos corpos pesados em trajetórias sempre perpendiculares à superfície funcionaria, então, como um indicador de sua tendência a se dirigir ao centro (pois a reta perpendicular ao plano que tangencia a superfície da esfera sempre passa pelo centro), e mesmo de que o centro é o seu lugar natural. Trata-se de uma maneira um tanto imprecisa de colocar a questão, mas Copérnico busca, logo em sequência, esclarecer o assunto. Para

tanto, ele cita nominalmente Aristóteles e a teoria de que aos corpos simples correspondem movimentos simples (isto é, retilíneo e circular), sendo que o movimento retilíneo pode ter dois sentidos: para o centro e para fora do centro. E conclui: "De fato cabe à terra e à água, que são considerados pesados, deslocarem-se para baixo, isto é, em busca do centro: pois o ar e o fogo, que são dotados de leveza, movem-se para cima, isto é, afastando-se do centro. Parece adequado atribuir movimento retilíneo a esses quatro elementos e conceder aos corpos celestes um movimento circular em torno do centro. Assim disse Aristóteles." (Copérnico 9, I. 7, p. 7a).

O quadro pintado por Copérnico acerca das idéias de Aristóteles pode não ser considerado completo, mas não chega a ser inadequado. O mesmo não se pode dizer, entretanto, do tratamento dispensado a Ptolomeu, pois parece impossível conciliar as palavras desse astrônomo com as que Copérnico lhe atribui. Vamos começar pela versão de Copérnico: "Portanto, disse Ptolomeu de Alexandria, se a Terra se movesse, mesmo que apenas com rotação diária, ocorreria necessariamente o contrário do que foi dito acima. Pois esse movimento que percorreria toda a circunferência da Terra em vinte e quatro horas seria necessariamente muito violento e de velocidade insuperável. E as coisas que são violenta e subitamente giradas dificilmente se reagrupam, e as mais unidas se dispesam, a não ser que alguma força constante as mantenha agrupadas. E há muito tempo, diz ele, a Terra desagregada teria se espalhado para além dos céus (...)" (Copérnico 9, I. 7, p. 5a). Mas isso não é tudo: "Além disso, os corpos em queda livre não atingiriam o solo nos locais apropriados, pois não obedeceriam à perpendicular que eles admitem tão prontamente. E veríamos as nuvens e outras coisas suspensas no ar se deslocando sempre para Oeste." (Copérnico 9, I. 7, p. 5b).

O que desperta a atenção de imediato nesse argumento é a aparente contradição entre a primeira e a segunda parte. Argumenta-se, na primeira parte, que a rotação da Terra em 24 horas

resultaria, em face de sua grande circunferência, numa velocidade extremamente elevada junto à superfície. A conseqüente força centrífuga (embora esse termo não seja utilizado) desencadeada no processo, faria com que fossem projetados não apenas os objetos situados na superfície da Terra, mas a própria Terra, em pedaços que se espalhariam até os confins do mundo e tenderiam mesmo a ultrapassar os limites do Universo. Dessa forma, a experiência cotidiana da queda dos corpos nem seria possível, pois a Terra teria há muito deixado de existir.

Já a segunda parte do argumento apresenta uma visão bem menos catastrófica: sustenta, apenas, que na presença da rotação da Terra, os objetos afastados do solo - como as nuvens - ficariam para trás, ou seja, para Oeste; e também, o que seria um caso especial dessa mesma situação, que os corpos em queda livre não tocariam o solo no lugar esperado (pois seriam ultrapassados pelo movimento da Terra e ficariam deslocados para Oeste enquanto estivessem sem contato com o solo). Há, portanto, uma grande distância entre as posições mantidas na primeira e na segunda parte do argumento. Mas é possível conciliar as duas: podemos supor que a primeira parte descreve uma conseqüência limite, por assim dizer, da rotação da Terra. Nesse sentido, a rotação produziria no mínimo as conseqüências descritas na segunda parte, mas haveria a possibilidade de que ocorresse o descrito na primeira parte do argumento. Deixemos, todavia, a versão de Copérnico por um momento, e passemos a considerar a posição original de Ptolomeu.

Como vimos em outra oportunidade (cf. Capítulo II acima) Ptolomeu havia argumentado em favor da imobilidade da Terra no Capítulo 7 do Livro I do 'Almagesto'. É a esse trecho, certamente, que Copérnico alude ao mencionar a posição de Ptolomeu, embora sua descrição fuja ao sentido original do texto. Naquele capítulo, Ptolomeu descreve, inicialmente, o movimento de queda dos corpos pesados em direção ao centro do mundo. Por se dirigirem ao centro, ele caem perpendicularmente à superfície da Terra, a qual, por sua vez, permanece imóvel no centro, como é natural a

um corpo pesado. Esse argumento se encontra também em Aristóteles e é o primeiro a ser mencionado por Copérnico. O passo subsequente da argumentação de Ptolomeu, é dado no sentido de criticar a posição dos que acham paradoxal que um corpo tão pesado como a Terra fique como que suspenso no centro do mundo, sem nenhum apoio, ao invés de 'cair', como ocorre com todos os objetos pesados. Ele recorda, então, que apesar de muito grande, a Terra tem a dimensão de um ponto se comparada ao tamanho do Universo, e além disso, não há uma região do Universo que possa ser considerada 'abaixo' da Terra - assim como não há uma 'acima' - para onde ela pudesse cair. E conclui: "E se ela tivesse algum movimento natural, o mesmo dos outros pesos, certamente deixaria todos eles para trás devido ao seu muito maior tamanho. E os animais e outros pesos ficariam suspensos no ar, e a terra cairia muito rapidamente para fora dos céus." (Ptolomeu 23, I. 7, p. 11).

Após haver assegurado que não há possibilidade da Terra cair da sua posição no centro do mundo. Ptolomeu se volta para a hipótese da rotação diária da Terra. Ele questiona o quão absurdo seria atribuir movimento perpétuo à matéria mais pesada, enquanto a mais sutil (da qual são constituídos os corpos celestes) permaneceria imóvel; argumenta que o movimento seria muito rápido, devido à grande circunferência da Terra, e aponta as consequências que adviriam da rotação diária: "(...) e jamais uma nuvem se moveria para leste nem outra coisa qualquer que voasse ou fosse atirada para cima. Pois a terra sempre as ultrapassaria em seu movimento para leste, de modo que todos os outros corpos seriam deixados para trás e se moveriam para oeste." (Ptolomeu 23, I. 7, p. 12). Ptolomeu aborda, portanto, duas possibilidades de movimento da Terra: retilíneo e circular. Se a Terra 'caísse' como os demais corpos pesados (a primeira hipótese), sua velocidade seria muito elevada, pois se tinha como certo que a velocidade de queda é maior para os objetos mais pesados; e, nesse caso, todos os objetos sobre a Terra ficariam para trás e ela ultrapassaria rapidamente os limites do Universo. Se, de outro modo, a Terra giras-

se (a segunda hipótese), a velocidade junto à superfície seria muito elevada, e os objetos que não estivessem em contato com o solo – nuvens, pássaros, pedras atiradas para cima, etc. – ficariam deslocados para Oeste. Vemos que a segunda hipótese foi reportada muito adequadamente por Copérnico, mas não a primeira; em nenhum momento Ptolomeu menciona a possibilidade da Terra se desfazer pela rotação e se esparramar pelo Universo. Não vamos, contudo, dedicar muito esforço à tarefa de tentar desvendar o motivo que teria levado Copérnico a fazer essa pequena confusão. Alguns, como Koyré, acreditam que ele pode ter pretendido interpretar o verdadeiro sentido da concepção de Ptolomeu, ou ainda colocar a questão de maneira mais favorável às suas objeções (cf. Koyré 15, pp. 111-112, nota 9). Já Hill considera muito mais provável a segunda alternativa, de que "(...) o curioso manejo do texto de Ptolomeu feito por Copérnico pode ser entendido em grande medida como um esforço para manter a discussão num terreno retoricamente favorável." (Hill 14. p. 115). A hipótese de Hill é plausível, pois Copérnico combina prontamente a opinião atribuída a Ptolomeu a alguns resultados de Aristóteles para compor um engenhoso contra-argumento em favor do movimento da Terra.

Copérnico argumenta que o temor, manifestado por Ptolomeu, de que a Terra se fragmente ao girar é infundado, pois se ela girasse o seu movimento seria natural, e o movimento natural não tem 'efeitos violentos'. "De fato as coisas que estão de acordo com a natureza produzem efeitos contrários aos daquelas que são violentas. Pois as coisas às quais é aplicada a força ou violência são desfeitas e não são capazes de subsistir por muito tempo. Mas as coisas causadas pela natureza estão numa condição adequada e se mantêm no melhor estado." (Copérnico 9, I. 8, p. 5b). Realmente, a maneira como ele estende a distinção natural-violento para os efeitos do movimento, ao invés de limitá-lo às causas, parece mesmo ter sido concebida com um propósito retórico. Mas o contra-argumento se desenvolve da maneira seguinte. O temor de que o movimento natural de rotação da Terra fizesse com que ela

se fragmentasse e fosse projetada para a periferia do Universo deveria, coerentemente, ser estendido também a rotação da esfera de estrelas fixas, com o agravante de que o efeito seria muito mais violento, em virtude da muito maior dimensão dessa esfera e da conseqüente velocidade. Nesse caso, haveria uma contínua expansão do Universo, acompanhada da correspondente elevação da velocidade (pois a esfera de estrelas continuaria executando uma revolução a cada 24 horas) de maneira que a dimensão do mundo tenderia ao infinito, juntamente com a velocidade. Como consequência, a esfera de estrelas necessariamente entraria em repouso, uma vez que é impossível percorrer uma distância infinita. E quanto à objeção clássica de que a expansão do Universo seria impossível, pois não há nada – nem lugar, nem vazio – para além dele, Copérnico considera que a situação seria ainda mais absurda, pois a violenta expansão teria que ser contida pelo nada. Uma alternativa seria a de admitir a infinitude do Universo, pois assim poderia ser dito com muita propriedade que não há nada além dele, embora nesse caso o céu permaneceria imóvel.

Dessa forma, o sentido geral do contra-argumento parece ser o seguinte: a aceitação do argumento fundamentado na força centrífuga contra a rotação da Terra teria, necessariamente, que ser acompanhada do reconhecimento do mesmo fenômeno em relação à esfera das estrelas; nesse caso o Universo se expandiria até uma dimensão infinita e permaneceria em repouso, a não ser que se supusesse que a enorme força expansiva fosse contida pelo nada, o que seria um absurdo; a única maneira de escapar ao absurdo seria supor o Universo infinito (e imóvel), o que permitiria dizer mais apropriadamente que não nada além dele, mas que retornaria à primeira posição. A intenção de Copérnico parece ser a de tornar problemática a posição dos que usam o movimento do céu como argumento para a finitude do mundo. "Pois o movimento é a mais poderosa razão pela qual eles tentam concluir que o universo é finito." (Copérnico 9, I. 8, p. 6a). Isso se daria de tal forma, que tanto a finitude do mundo quanto o movimento das estrelas fica-

riam incertos. Mas, cautelosamente, ele deixa a questão da finitude do mundo para os filósofos naturais.

Tentemos entender melhor esse argumento (ou contra-argumento) de Copérnico. Como primeiro comentário, poderíamos dizer que o argumento parece conter alguma imprecisão formal, pois a suposta expansão do Universo não o levaria necessariamente ao repouso, uma vez que esse estudo só seria alcançado pelo Universo infinito. Ora, o Universo em expansão apenas tende para o infinito, mas não alcança esse estado de fato. Além disso, o argumento não seria suficiente para um Aristotélico, por ignorar a diferença substancial existente entre os corpos celestes e a Terra. Mas mesmo que o argumento fosse aceito, sua força seria muito limitada: faria com que o movimento da Terra fosse admitido com possibilidade, da mesma forma como manteria a possibilidade do movimento da esfera das estrelas. Todavia, trata-se de um argumento muito engenhoso, que tenta contrapor a posição (atribuída a Ptolomeu) de que a Terra seria desfeita se possuísse movimento de rotação, a um argumento de Aristóteles para a finitude do mundo. Pois certamente Copérnico tem em mente a argumentação do Estarígita para a finitude do elemento que compõe o envoltório do mundo e se move em círculo. O argumento é apresentado, em suas várias versões, no 'De Caelo' e é fundamentado na impossibilidade de se transpor uma distância infinita: "Novamente, se o céu é infinito e se move em círculo, teremos que admitir que ele teria transposto o infinito em um tempo finito. (...) Mas isto nós sabemos ser impossível." (Aristóteles I, I. 5, pp. 272b-273a). E sendo o envoltório do mundo finito, conclui-se que o mundo também é finito. Mas Copérnico exagera ao afirmar que o movimento é a mais forte razão pela qual a finitude do mundo seria demonstrada. Aristóteles emprega essa linha de argumentação no 'De Caelo', que é um tratado aplicado, mas ele dispõe de razões mais gerais para refutar a possibilidade de um mundo infinito. Na verdade, não pode haver uma coisa ou substância infinita: "Pois qualquer parte retirada dela será infinita, se ela tiver partes: pois 'ser infini-

to' e 'o infinito' são o mesmo, se se trata de uma substância e não do predicado de um sujeito. Portanto ela será indivisível ou divisível em infinitos. Mas a mesma coisa não pode ser muitos infinitos. (Assim como parte de ar é ar, também uma parte do infinito seria infinita, se ele é suposto uma substância e princípio). Portanto o infinito não tem partes e é indivisível. Mas isto não pode ser conforme ao que é infinito em sua plenitude: pois ele teria de ser uma quantidade precisa." (Aristóteles 4, III. 5, p. 204a). Assim, se houvesse uma coisa infinita ela seria divisível ou indivisível; no primeiro caso ela seria simultaneamente uma coisa e muitas, já no segundo caso ela não poderia ser infinita pois o que é indivisível deve ter uma quantidade definida, e chegaríamos a resultados absurdos em ambos os lados da disjuntiva. A posição geral de Aristóteles com relação ao infinito, em resumo, é a de que não pode haver um infinito atual, mas apenas coisas potencialmente infinitas por adição ou por divisão, tais como uma série de números, o tempo (por adição), ou uma distância (por divisão - que torna o movimento local divisível ao infinito, ou contínuo).

Após haver considerado o argumento referente à força centrífuga, Copérnico passa a responder à objeção de que a rotação da Terra faria com que os objetos sem contato com a superfície (como as nuvens) fossem deslocados para Oeste. Em sua resposta, muito breve, ele afirma que o ar participa do movimento da Terra, "(...) seja porque o ar circundante, o qual está misturado à matéria terrestre e à aquosa, obedece à mesma natureza da Terra ou porque o movimento do ar é um movimento adquirido, do qual ele toma parte sem resistência devido à contiguidade e à rotação perpétua da Terra." (Copérnico 9, I. 8, p. 6a). Desse modo, a atmosfera estaria em repouso em relação à superfície da Terra, tornando a situação equivalente à da Terra imóvel. O movimento simultâneo do ar e da Terra integra, também, as suposições do 'Commentariolus': "A Terra juntamente com seus elementos adjacentes executa uma rotação completa (...)" (Copérnico 8, p. 58). Mas

ele nem se dá ao trabalho de responder à objeção que o próprio Ptolomeu fizera a essa hipótese: prevendo o uso da hipótese do movimento simultâneo do ar para viabilizar a rotação da Terra, Ptolomeu havia dito (cf. Capítulo II acima) que nesse caso todos os corpos afastados da superfície seriam movidos em conjunto pelo ar, e não haveria nenhum movimento relativo entre eles (devido, certamente, à extraordinária velocidade com a qual o ar os arrastaria). Ao invés de se defender dessa objeção, Copérnico passa à ofensiva: "(...) não é menos surpreendente para eles dizer que região mais alta do ar acompanha o movimento celeste, como é demonstrado pelas estrelas que aparecem subitamente - digo aquelas chamadas 'cometas' ou 'estrelas barbadas' pelos gregos." (Copérnico 9, I. 8, p. 6a). Com certeza essa menção é endereçada a Aristóteles: os cometas não podiam ser considerados corpos celestes devido ao seu aparecimento súbito (uma vez que a região celeste era tida como imutável), por isso foram atribuídos a um fenômeno atmosférico; mas há o problema de que eles acompanham o movimento das estrelas, para o qual se encontrou a solução de que as partes altas da atmosfera (na região da esfera de fogo) seriam deslocadas pelo movimento celeste. Assim, os cometas teriam sua formação nessa região mais alta, que acompanha o movimento celeste, e seriam provocados pela ignição e incandescência - por um tempo mais ou menos prolongado - de material aí presente (cf. Aristóteles 3, I. 7, p. 344a). Por esse argumento, Copérnico procura tornar plausível a hipótese da rotação da Terra ser acompanhada pela atmosfera circundante, mostrando que essa suposição não difere de outra, feita num ambiente tão familiar quanto o das teorias de Aristóteles.

Copérnico passa a considerar, em seguida, a questão da compatibilidade entre os movimentos dos corpos em geral (a queda livre, por exemplo) e o da própria Terra. Isso requer uma reformulação da teoria Aristotélica do movimento, mas ele aborda muito brevemente o problema e quase que apenas insinua a solução. Procuraremos, então, a partir de suas palavras, delinear as princi-

tais características que parecem estar presentes na solução do problema.

No Universo Aristotélico os movimentos retilíneos - dos graves e dos leves - ficavam circunscritos à região central, enquanto o movimento circular tinha lugar em toda a área restante, de modo que não havia em hipótese alguma a composição de movimentos circulares e retilíneos, ao menos no âmbito dos movimentos naturais. Entretanto, uma vez suposta a rotação da Terra, é evidente que um movimento aparentemente retilíneo, como a queda de um corpo pesado, será, em verdade, um movimento composto. Além disso, a suposição do movimento orbital da Terra, ou seja, o fato dela não se situar no centro do Universo, requer uma nova fundamentação para os movimentos dos graves e dos leves, diferente da adotada até então e que os relacionava ao centro do mundo. O problema consiste, portanto, em fornecer uma explicação para movimentos naturais que são compostos (têm um componente retilíneo e um circular), e não estão relacionados ao centro do mundo: um corpo não mais se desloca para o centro do mundo, nem se afasta do centro. Vejamos, então, como Copérnico caminha em direção a uma explicação desse tipo.

Começemos pelos movimentos retilíneos. O mais evidente deles é o dos corpos pesados, que caem perpendicularmente ao solo. Sua causa é claramente enunciada por Copérnico: "Por mim penso que a gravidade ou o peso não é nada que um certo desejo natural implantado nas partes pela providência divina do Artífice do universo, para que permaneçam unidas umas às outras em sua unidade e integridade e se reúnam na forma de uma esfera." (Copérnico 9, I.9 p. 7a). Desse modo, o que chamamos 'peso' é uma propriedade da matéria que a faz agregar-se em esferas. É fácil perceber a relevância dessa suposição para a manutenção da hipótese heliocêntrica: ela se torna possível explicar o movimento natural dos corpos pesados sem que seja preciso relacioná-los ao centro do Universo, mas apenas se junta de volta à própria Terra, esteja ela no centro do Universo ou fora dele, imóvel ou em movimento.

Mas seria procedente questionar porque esse movimento ocorre sempre perpendicularmente, como se os objetos pesados procurassem atingir o centro da Terra (como um lugar natural, talvez). Esse problema pode ser solucionado no contexto da suposição de Copérnico, pois a tendência da matéria se agregar em esferas faz com que se defina naturalmente um centro de gravidade que é também o centro geométrico da esfera. Assim, os pequenos objetos pesados (pequenos em relação à dimensão da Terra) caem em direção ao centro de gravidade – e centro geométrico – da Terra, sempre perpendicularmente.

O movimento da queda dos corpos pesados não é, entretanto, o único movimento natural retilíneo. Há também o movimento ascendente dos corpos leves. A fumaça, por exemplo, se for mantida ao abrigo do vento, sobe em linha reta e perpendicular ao solo; a própria chama também obedece a esse padrão. Copérnico define esse movimento como um movimento de expansão, quando afirma: "... é uma propriedade do fogo fazer expandir aquilo que ele invade; (...) De fato o movimento de expansão se desloca do centro para a circunferência; assim se alguma parte da Terra se incendiasse, ela se deslocaria do centro para cima." (Copérnico 9, I.8 p. 6b). Não fica claro se essa idéia de expansão teria algo a ver com um conceito de densidade, por exemplo, caso em que a matéria aquecida se tornaria relativamente mais leve e subiria. Ou, então, se a ação do fogo teria o poder de deliberar os elementos leves (no sentido absoluto) e estes se deslocariam para cima. Nenhuma palavra é dita também sobre o ar: se ele se move para cima ou para baixo. O fato é que, com essa concepção, Copérnico procura relacionar os movimentos retilíneos 'para cima' e 'para baixo' ao centro de gravidade da Terra e não ao centro do mundo, de modo a compatibilizar o movimento dos graves e dos leves com a posição não central da Terra.

Para Copérnico, como para Aristóteles, os movimentos naturais retilíneos são movimentos finitos e não-uniformes, pois um corpo em queda livre se acelera. Nesse ponto, porém, cessam as

semelhanças e surge uma diferença que parece crucial para se entender a posição de Copérnico. Ele afirma que no decorrer de um movimento natural "(...) a aceleração cessa, porque, quando os corpos atingem seu lugar próprio, não são mais pesados ou leves, e assim o movimento cessa." (Copérnico 9, I. 8 p. 6b). Quer dizer, enquanto que para Aristóteles um corpo pesado, por exemplo, nunca deixa de ser pesado (a não ser que seus elementos constituintes se transmutem em elementos leves), para Copérnico o corpo só pesado enquanto estiver em movimento. Em outras palavras, o movimento retilíneo é finito pois sua causa é finita. Como consequência, só se pode falar apropriadamente que um corpo possui um princípio interno de movimento - invariável - se ele estiver em perpétuo movimento, e isso só é possível se o seu movimento for circular. Dessa forma, partindo da própria concepção Aristotélica de que a todo corpo corresponde algum tipo de movimento natural, Copérnico procura concluir que todos os corpos fornecem movimento circular (uniforme e perpétuo), e que o movimento retilíneo (não uniforme e finito) surge apenas em composição ao circular.

Quanto à causa do movimento, tudo o que sabemos é que há uma força motriz uniforme e perpétua. Poderíamos conjecturar, talvez, que ele admite um 'primeiro motor' exatamente igual ao de Aristóteles, com a única diferença de que estaria situado no centro do Universo. Essa hipótese permitiria oferecer uma explicação mecânica para o fato de que os períodos orbitais dos planetas são maiores para os planetas mais periféricos. Isso ocorreria devido à perda de parte da força motriz durante sua transmissão do centro para a periferia, de maneira análoga à que ocorre no sistema de Eudoxo-Calipo da periferia para o centro.

Temos, ainda, algo a dizer sobre a tese de Koyré de que o movimento circular é causado pela forma geométrica da esfera e não necessita de motor. O principal problema com essa concepção, como já dissemos, é o de que Copérnico menciona claramente a existência de uma força motriz. Além disso, o texto do 'De Revolutionibus' não nos autoriza a concluir que todos os planetas

possuem rotação axial: apenas com respeito à Terra isso pode ser assegurado. A suposição de que todas as coisas abaixo da esfera imóvel das estrelas fixas têm movimento circular, refere-se ao movimento orbital dos planetas e da Terra; não é preciso que, além desse movimento, eles ainda girem sobre o próprio eixo. Desse modo, a discussão feita por Copérnico acerca da esfera terrestre (Cf. capítulo IV acima) não tem a intenção de mostrar que sendo a Terra uma esfera ela irá girar. Naquela ocasião ele apenas argumentou que os corpos pesados tendem ao centro de gravidade da Terra, o qual coincide com o centro geométrico. Sua intenção era a de se afastar da concepção de que os graves tendem ao centro do mundo, e assim poder retirar a Terra do centro.

Não se pode deixar de notar que a composição de movimentos - retilíneo e circular - cria alguns problemas, especialmente no caso dos projéteis. O que faz com que um corpo lançado verticalmente, de baixo para cima, acompanhe a rotação da Terra e retorne ao ponto de onde partiu? Seria ele movido pelo ar? Copérnico não esclarece esse ponto. É possível que ele encare a questão da composição de movimentos como um fato tão natural que nem sequer necessita de explicação. Se assim for, ele se aproxima da solução de Oresme: um integrante da escola nominalista de Paris. Ao discutir a possibilidade do movimento da Terra, no século XIV, Oresme concluiu que os movimentos dos corpos não seriam afetados; da mesma forma como podem ocorrer diversos movimentos no interior de um navio, quer ele esteja em movimento ou em repouso (Cf. Oresme 19, p. 505). Oresme teria chegado a essa posição depois que Buridan - outro integrante da escola - rejeitou a possibilidade dos projéteis serem movidos pelo ar. Para Buridan o projétil receberia um impulso, ou 'impetus' (Cf. Buridan 5, p. 276); e, no caso do corpo atirado para cima, esse impulso prevaleceria sobre uma eventual pressão lateral exercida pelo ar no sentido da rotação da Terra. Quer dizer, se a Terra se movesse o projétil não retornaria ao ponto de onde partiu. Mas, voltando a Copérnico, o fato é que com os elementos textuais disponíveis não é possível esclarecer melhor a solução desse problema.

CAPÍTULO VIII

A ORDEM DAS ESFERAS CELESTES

Nosso interesse na questão da ordem das esferas celestes se prende à alegada harmonia que o sistema heliocêntrico revelaria em relação ao mundo. Como diz Copérnico: "E a ordem na qual esses corpos sucedem uns aos outros e a harmonia do mundo inteiro nos ensinam sua veracidade (...)" (Copérnico 9, I.9 p. 7b). Estaria ele subscrevendo alguma noção Pitagórica de harmonia? E quanto à posição central do Sol? Haveria algum motivo especial para ela? São essas as principais questões que procuraremos elucidar.

A maneira habitual de se decidir sobre a ordem dos planetas, no contexto geocêntrico, era dada pela suposição de uma relação direta entre os tamanhos de suas órbitas e os respectivos períodos orbitais. Assim, os planetas que levavam mais tempo para percorrer o Zodíaco eram considerados mais distantes, enquanto os que cumpriam esse percurso em menos tempo eram julgados mais próximos. Por esse método era possível estabelecer, sem margem de dúvida, que Saturno ocupa a órbita mais afastada e que Júpiter e Marte ficam abaixo dele. Também permitia estabelecer que a Lua é o astro mais próximo da Terra. Mas quanto ao Sol, Vênus e Mercúrio, o método se mostra inconclusivo, uma vez que esses astros possuem períodos orbitais idênticos (na média), de modo que é possível dizer que eles se localizam entre a Lua e os demais planetas; mas não há como determinar a ordem vigente entre eles. Isso deu margem a que se supusesse quase todas as relações possíveis entre eles: houve quem supusesse Mercúrio e Vênus abaixo do Sol (a ordem Caldaica), ou acima dele (a ordem Egípcia), e mesmo o Sol entre Mercúrio e Vênus. As razões apresentadas em favor de cada alternativa podem ser consideradas arbitrárias.

Uma das razões apresentadas para posicionar Mercúrio e Vênus abaixo do Sol, por exemplo, alegava que essa disposição seria adequada por preencher o grande espaço existente entre a Lua e o Sol. Ptolomeu adotou essa ordem, alegando que o Sol serviria como divisor entre os planetas capazes de assumir qualquer posição angular em relação ao próprio Sol (Saturno, Júpiter e Marte), e aqueles que se mantêm próximos ao Sol, com uma elongação restrita (Vênus e Mercúrio). Evidentemente esse critério é inadequado, pois a Lua fica abaixo do Sol (pelo método do período orbital) e se desloca livremente em relação a ele, quer dizer, assume todas as elongações possíveis.

Os que posicionavam Mercúrio e Vênus acima do Sol também possuíam suas razões. A principal delas afirmava que esses planetas não possuem luz própria e são iluminados pelo Sol; assim, se eles se posicionassem abaixo do Sol ficariam apenas parcialmente iluminados (apresentariam fases, como as da Lua), o que nunca tinha sido observado. Além disso, seria possível observar o seu trânsito sobre a superfície solar. Macróbio adotou essa ordem mas observou que Vênus e Mercúrio parecem, às vezes, estar abaixo do Sol, o que teria levado muitos a adotar essa falsa opinião: "Aqueles que atribuíram a eles uma posição abaixo do Sol fizeram suas observações num momento quando os cursos dos planetas pareciam estar abaixo do Sol (...)" (Macróbio 17, p. 29). Se as observações fossem feitas adequadamente, portanto, não haveria lugar para esse equívoco.

O fato mais importante, porém, em relação a toda essa discussão sobre as posições de Vênus e Mercúrio, é o de que tanto os defensores da ordem Caldaica quanto os da ordem Egípcia não tinham uma boa razão para explicar o fato desses planetas permanecerem sempre na vizinhança do Sol. A boa razão surgiu apenas quando se supôs o movimento orbital dos dois planetas em torno do Sol. Nas palavras de Copérnico: "(...) penso que o que Marciano Capela (...) e alguns outros Latinos supuseram não deve de modo algum ser desprezado. Pois eles sustentam que Vênus e Mercúrio

orbitam em torno do sol como um centro (...)" (Copérnico 9, I.10 p.8b). Assim, a velha suposição da órbita solar de Vênus e Mercúrio (a qual não foi idealizada pelos latinos, mas remonta, no mínimo, a Heráclides) seria vantajosa em relação a todas as demais: ela explica porque esses planetas mantêm uma elongação restrita em relação ao Sol; por que essa elongação é menor para Mercúrio (sua órbita é interior à de Vênus) e ainda, por que seus períodos orbitais são idênticos ao do Sol. Marciano Capela descreve claramente as órbitas solares desses dois planetas: "Pois, embora Vênus e Mercúrio sejam vistos nascendo e se pondo diariamente, suas órbitas não envolvem a terra, mas orbitam em torno do Sol (...)" (Marciano Capela 18, p.30). Ele não menciona, entretanto, o nome de Heráclides, nem a origem da teoria. Já Calcídio, autor latino que, ao lado de Capela, foi um dos principais divulgadores do movimento de Vênus e Mercúrio em torno do Sol, cita nominalmente Heráclides mas interpreta mal sua teoria e coloca esses dois planetas mais o Sol orbitando em torno de um ponto geométrico. "Por fim Heráclides Pôntico, ao descrever o círculo de Lúçifer bem como aquele do Sol, e ao atribuir aos dois círculos um ponto e um centro (...)" (Calcídio 7, p. 29). Ele menciona apenas Vênus (Lúçifer, na denominação latina), mas a presença de Mercúrio no mesmo sistema havia sido citada numa passagem anterior. Há, ainda, um outro latino ilustre que teria, talvez, mantido a mesma posição: Vitruvius. "Quanto a Mercúrio e Vênus, em torno dos raios do Sol que lhes serve de centro e que eles coram em seus deslocamentos (...)" (Vitruvius 28, p. 11). Mas há muita controvérsia em torno da interpretação desse pequeno trecho: ele pode ser interpretado como uma das órbitas de Mercúrio e Vênus em torno do Sol ou, então, como se referindo ao alinhamento dos centros dos epiciclos desses planetas com o vetor radial Terra-Sol.

Para Copérnico, portanto, a suposição do movimento orbital de Mercúrio e Vênus em torno do Sol, que ele atribui a Capela, possui inegáveis vantagens em relação às hipóteses concorrentes. Mais que isso, se o arranjo for estendido a todos os outros pla-

netas, bem como à Terra, o resultado estará de pleno acordo com a suposição de que o período orbital dos planetas é maior para os mais afastados do centro. De acordo com essa hipótese heliocêntrica plena a primeira esfera (a mais externa) seria a das estrelas fixas e estaria perfeitamente imóvel. E a imobilidade é o mais perfeito do estado no qual pode estar essa esfera: "De fato ela é o lugar do universo, i. e., é aquilo ao qual o movimento e a posição de todos os outros astros são referidos." (Copérnico 9, I. 10 p. 9a). Copérnico leva ao pé da letra a definição Aristotélica de lugar: é preciso que haja alguma coisa imóvel para que se possa sequer pensar em movimento; e não há outro corpo mais adequado a permanecer imóvel quanto a primeira esfera, pois ela é o lugar do Universo. Além disso, ele parece supor alguma diferença substancial entre a primeira esfera e os demais astros: "Pois o brilho de suas luzes mostra que há uma distância muito grande entre Saturno (...) e a esfera das estrelas fixas. É por essa marca em particular que elas se distinguem dos planetas, já que é apropriado haver a maior diferença entre o que se move e o imóvel." (Copérnico 9, I. 10 p. 10a). Assim como Aristóteles fazia uma distinção substancial entre a região sublunar (imóvel) e a região celeste (com movimento circular), é possível que Copérnico faça o mesmo entre a primeira esfera (imóvel) e toda a região inferior (onde há movimento circular).

Abaixo da primeira esfera viriam, pela ordem: Saturno, com período orbital de 30 anos; Júpiter, 12 anos; Marte, 2 anos; a Terra juntamente com seu satélite (a Lua), com período orbital de 1 ano; Vênus, 7 meses e meio; Mercúrio, 88 dias; e, finalmente, o Sol imóvel ao centro. Assim, a hipótese heliocêntrica é capaz de ordenar todos os astros de tal forma que suas posições se mantêm em estrito acordo com os períodos orbitais; os mais externos com períodos mais longos, e os mais internos com períodos menores, sem nenhuma dúvida ou exceção. O Sol, por sua vez, permaneceria na posição mais adequada que se possa imaginar para ele. A função do Sol é a de iluminar o Universo, e ele não poderia desempenhar

melhor esse papel de outro lugar que não o centro. "Pois quem colocaria essa lâmpada de um templo muito belo em outro ou melhor lugar que esse de onde ela pode iluminar tudo ao mesmo tempo?" (Copérnico 9, I. 10 p. 9b). Copérnico menciona, logo em sequência, algumas denominações atribuídas ao Sol por antigos autores: "(...) alguns o chamam a lanterna; outros, a mente e ainda outros, o piloto do mundo. Trimegisto o chama um 'deus visível'. Eletra de Sófocles, 'aquele que tudo vê'." (Copérnico 9, I. 10 p. 9b). Esse pequeno trecho pode fazer supor que ele nutria alguma simpatia pelas doutrinas Herméticas, originadas no antigo Egito onde o Sol

era adorado como divindade, e que esse compromisso teria tido importância capital para sua opção heliocêntrica. Trata-se de uma tese difícil de refutar, mas acreditamos ser pouco provável que seja esse o caso, especialmente depois que Rosen mostrou a pouca familiaridade de Copérnico com as fontes originais dessas citações sobre o Sol, e especialmente com o Hermetismo. A citação de Sófocles, por exemplo, é equivocada, pois a referência ao Sol como 'aquele que tudo vê' não é feita em Eletra, ao passo que a citação de Hermes Trimegisto também é errônea e deve ter sido obtida indiretamente, do teólogo Lactâncio: "(...) Lactâncio citou Hermes tendo dito (em grego) que 'o segundo deus foi criado visível'. Esse segundo deus visível foi confundido por Lactâncio com Jesus, embora Hermes obviamente quisesse dizer o universo visível." (Rosen 25, pp. 166-167). Sobre esse mesmo teólogo Copérnico havia dito (no prefácio ao 'De Revolutionibus') que ele falara infantilmente sobre a forma da Terra. Mas o ponto principal é que a única função seguramente atribuída ao Sol por Copérnico é a de iluminar o Universo, no que ele estava de acordo com todas as pessoas, desde o passado remoto até a bem pouco tempo, quando a explicação finalista parece ter sido abolida pelos cientistas.

Resta elucidar o sentido em que Copérnico compreende a 'harmonia' do mundo, revelada pelo sistema heliocêntrico. A tarefa não é difícil, pois ele expõe muito claramente o que pretende

dizer. "Portanto por essa ordenação vemos que o mundo possui uma maravilhosa comensurabilidade e que há um firme laço de harmonia entre o movimento e a magnitude dos círculos orbitais o qual não pode ser encontrado de nenhum outro modo." (Copérnico 9, I. 10 pp. 9b-10a). Ele diz, simplesmente, que mediante a hipótese heliocêntrica é possível relacionar de forma inequívoca as dimensões das órbitas planetárias aos seus respectivos períodos, inclusive nos casos de Vênus, Mercúrio e do Sol. E que, além disso, é possível medir as distâncias entre as órbitas (por métodos trigonométricos) e verificar como os planetas mais distantes possuem os maiores períodos. Ele não fala, de modo algum, em relações numéricas

especiais entre as distâncias a cada órbita; nem em uma harmonia musical do Universo. Mas Copérnico não deixa de mencionar o maior poder explicativo (se pudermos usar uma expressão contemporânea) da nova teoria. Ela é capaz de explicar a magnitude das retrogradações planetárias: sempre maior nos planetas mais próximos à Terra; é maior em Marte que em Júpiter, e maior em Vênus que em Mercúrio. Explica a frequência das retrogradações: ela aumenta com a diferença entre o período do planeta e o da Terra; é mais frequente em Júpiter que em Marte, em Mercúrio que em Vênus. E explica por que a magnitude visual dos planetas exteriores atinge o ponto máximo sempre durante a oposição ao Sol: é o ponto de máxima aproximação da Terra aos planetas.

REFERÊNCIAS

1. ARISTÓTELES. De Caelo. ROSS, W. D. (editor) The works of Aristotle. V. II Londres. Oxford University Press, 1970.
2. ARISTÓTELES. Metaphysica. ROSS, W. D. The works of Aristotle. V. VIII Londres. Oxford University Press, 1970.
3. ARISTÓTELES. Meteorologica. ROSS, W. D. The works of Aristotle. V. III Londres. Oxford University Press, 1970.
4. ARISTÓTELES. Physica. ROSS, W. D. The works of Aristotle. V. II Londres. Oxford University Press, 1970.
5. BURIDAN, Jean. Questions on the eight books of the Physics. GRANT, Edward. A source book in medieval science. Cambridge. Harvard University Press, 1974.
6. BURIDAN, Jean. Questions on the four books on the Heavens and World of Aristotle. GRANT, Edward. A source book in medieval science. Cambridge. Harvard University Press, 1974.
7. CALCÍDIO. Commentary on Plato's Timaeus. GRANT, Edward. A source book in medieval science. Cambridge. Harvard University Press, 1974.
8. COPÉRNICO, Nicolau. Commentariolus. ROSEN, Edward. Three copernican treatises. Nova Iorque. Octagon Books, 1971.
- 9a. COPÉRNICO, Nicolau. On the revolutions of the heavenly spheres. Great books of the western world, v. 16. Chicago, Londres, Toronto. Encyclopaedia Britannica, 1952.

- 9b. COPÉRNICO, Nicolau. As revoluções dos orbes celestes. Lisboa. Fundação Calouste-Gulbenkian, 1984.
- 9c. COPÉRNICO, Nicolau. Le rivoluzioni delle sfere celesti. Qae-
re. Turim. UTET, 1979.
10. DIJKSTERHUIS, E. J. The mechanization of the world picture.
Londres. Oxford University Press, 1961.
11. DIÓGENES LAÉRCIO. Vie, doctrines et sentences des philosophes
illustres. v.1. Paris. Garnier-Flammarion, 1965.
12. DREYER, J.L.E. A history of astronomy from Thales to Kepler.
Nova Iorque. Dover, 1953.
13. GRANT, Edward. A new look at medieval cosmology, 1200-1687.
Proceedings of the American Philosophical Society, v. 129, nº
4, 417-432, 1985.
14. HILL, David K. The projection argument in Galileo and Coper-
nicus: rhetorical strategy in the defence of the new system.
Annals of Science, v. 41, nº 2., 109-133, 1984.
15. KOYRÉ, Alexandre. La révolution astronomique. Paris. Hermann,
1974.
16. KUHN, Thomas S. The copernican revolution. Cambridge. Harvard
University Press, 1970.
17. MACRÓBIO. Commentary on the dream of Scipio. GRANT, Edward. A
source book in medieval science. Cambridge. Harvard Univer-
sity Press, 1974.
18. MARCIANO CAPELA. Marriage of Philology and Mercury. GRANT,
Edward. A source book in medieval science. Cambridge. Harvard
University Press, 1974.

19. DRESME. Le livre du ciel et du monde. GRANT, Edward. A source book in medieval science. Cambridge. Harvard University Press, 1974.
20. PLATÃO. Les Lois. Œuvres complètes. t. XI. Paris. Les Belles Lettres, 1970.
21. PLATÃO. Timée. Œuvres complètes. t. X. Paris, Les Belles Lettres, 1970.
22. PROCLUS. Commentaire sur le Timée. v. IV. Paris, J. Vrin, 1968.
23. PTOLOMEU, Cláudio. The Almagest. Great books of the western world. v. 16. Chicago, Londres, Toronto. Encyclopaedia Britannica, 1952.
24. RHÉTICO. Narratio Prima. ROSEN, Edward. Three copernican treatises. Nova Iorque. Octagon Books, 1971.
25. ROSEN, Edward. Was Copernicus a hermetist? Minnesota Studies in the Philosophy of Science. v. V. Minneapolis. University of Minnesota Press, 1970.
26. ROSEN, Edward. Was Copernicus a neoplatonist? Journal of the History of Ideas, v. XLIV, n° 4, 667-669, 1983.
27. ROSS, David. Aristotle. Londres. Methuen & Co. Ltd., 1971.
28. VITRÓVIO. De l'Architecture. Livro IX. Paris. Les Belles Lettres, 1969.
29. WESTMAN, Robert S. The astronomer's role in the sixteenth century: a preliminary study. History of Science, v. 18, n° 40, 105-147, 1980.