
A CRÔNICA DA GRAVITAÇÃO. PARTE I: DAS PRIMEIRAS CIVILIZAÇÕES À GRÉCIA ANTIGA¹

José Maria Filardo Bassalo
Depto. de Física – UFPA
Belém – PA

*Neste trabalho, apresentamos a primeira parte da **Crônica da Gravitação** na qual, basicamente, procuramos mostrar como evoluíram as idéias sobre os diversos modelos planetários formulados no sentido de explicar o movimento dos astros em nosso universo, modelos esses desenvolvidos pelas primeiras civilizações até a Grécia Antiga. Iniciamos com os registros dos complicados movimentos dos astros feitos, principalmente, pelos povos que se localizaram no Oriente Médio, na região denominada Mesopotâmia. Em seguida, apresentamos os primeiros modelos de esferas homocêntricas à Terra (Anaximandro, Anaxímenes, Platão, Eudoxo, Calipo, Aristóteles) ou a um fogo central (Pitágoras, Filolau). Descrevemos também nossos modelos planetários como o semi-geoheliocêntrico (Heraclides de Pontos), o heliocêntrico (Aristarco de Samos, Seleuco), o geoheliocêntrico com epiciclos (Apolônio de Perga) e o geostático com epiciclos (Hiparco de Nicéia), modelos esses construídos na tentativa de sanar dificuldades apresentadas pelos de esferas homocêntricas.*

É bem provável que as primeiras observações sistemáticas dos fenômenos celestes tenham sido realizadas na Babilônia e em Níneveh, duas cidades situadas na Mesopotâmia⁽¹⁾ que existiram há milhares de anos antes de nossa era. Essas observações foram feitas por sacerdotes dessas cidades-estados, que tinham por hábito verificar as posições da Lua, do Sol, dos planetas e das estrelas, registrando-as em tabuinhas de argila, para poderem, com tais registros, preparar horóscopos, prever a posição futura dos astros, bem como dos eclipses do Sol e da Lua, determinar, a hora e estabelecer calendários⁽²⁾. Os Sumerianos, por exemplo, que habitavam a Mesopotâmia por volta de 3000 a.C., exerciam sua atividade astronômica tendo em vista a Astrologia. Assim, a principal Deusa dos Sumerianos – **Inanna**, que quer dizer **Rainha dos Céus** – estava associada ao planeta Vênus. (É oportuno dizer que, mais tarde, essa divindade foi identificada com **Isthar**), a Deusa semítica do Amor e da Guerra.)

Apesar dos povos mesopotâmicos terem sistematizado as observações celestes, muitas dessas observações já haviam sido registradas por outras civilizações diferen-

¹ Essa Crônica é dedicada ao Professor da UFPA, Miguel Ayan Gaia, o primeiro astrônomo paraense.

tes daquelas que se localizaram principalmente no Oriente Médio, e dentre as quais se destacaram a dos egípcios e a dos chineses. No entanto, enquanto, na Mesopotâmia a Astrologia e a Astronomia caminhavam juntas, a Astrologia não era praticada pelos egípcios, já que não acreditavam no caráter divinatório dos astros. Sua Astronomia era dirigida, basicamente, para entender as cheias do Nilo, uma vez que, sendo o Egito banhado por esse rio, a sobrevivência de seus habitantes dependia, fundamentalmente, de sua inundação anual, que fertilizava a terra e permitia fazer germinar as plantas nas colinas e o trigo nos vales⁽³⁾. Desse modo, entende-se porque os egípcios, por volta do ano 3000 a.C., já haviam estabelecido o ano solar de 365 dias. Não é por outra razão, também, que os egípcios consideravam bastante a estrela Sírius, a mais brilhante do céu, já que sua ascensão heliaca coincidia com a cheia do Nilo. Por fim, foram os egípcios que descobriram a revolução de Mercúrio e de Vênus em torno do Sol.

Outro povo que se destacou nas observações astronômicas e que, também, não era mesopotâmico como os egípcios foi o chinês. Com efeito, foi desse povo a descoberta, bem antes que os babilônios, do **Saros**, um ciclo que regula os eclipses, principalmente os lunares e os solares⁽⁴⁾. Em 2608 a.C., o imperador Houg-Ti construiu um observatório com o propósito de elaborar um calendário confiável. Por volta de 2377 a.C., sob o império do chinês Yao, o zodíaco foi dividido em 28 constelações⁽⁵⁾. Outros povos não-mesopotâmicos, tais como os hindus e os fenícios, pouco contribuíram para o desenvolvimento da Astronomia, por essa época. Eles utilizavam, basicamente, os conhecimentos adquiridos na Mesopotâmia e no Egito.

Conforme frisamos acima, foram os babilônios que sistematizaram os conhecimentos astronômicos, quer os próprios quer os de outrem. Assim, durante a Dinastia de Hammurabi (1800-1400), realizaram observações das transições de Vênus através do Sol, das fases da lua organizaram um calendário lunisolar. Sob o império dos Kassites e dos Assírios (1400-900), organizou-se uma lista de constelações heliacas e elaborou-se as primeiras regras aritméticas para o cálculo da duração do dia e da noite. Durante o império neo-babilônio e persa (620-330), o chamado **período da iluminação**, foram estabelecidos os fundamentos da Astronomia matemática. Nesse período, destacaram-se dois astrônomos nascidos na Babilônia: Nabu-Rimanni (f.c. 491 a.C.) e Kidinnu (f.c. 379 a.C.). Ambos elaboraram uma tabela de efemérides contendo o registro das posições da Lua, do Sol e dos planetas em dado momento, que ficaram conhecidas como, respectivamente, Sistema A e Sistema B. Esses astrônomos também calcularam o intervalo do mês sinódico (de Lua Nova a Lua Nova) como sendo de 29,530614 dias (valor real: 29,530596), e do ano solar em 365 dias, 6 horas, 15 minutos e 41 segundos (valor esse obtido por Nabu-Rimanni) e que foi modificado por Kidinnu graças à descoberta que fez da **precessão dos equinócios**, esta resultante de uma ligeira rotação do eixo da Terra. (Tal descoberta antecedeu de alguns séculos a de Hiparco, como veremos mais adiante). É ainda nesse período que os astrônomos babilônios redescobriram o **Saros**. Por fim, como últimas grandes contribuições dos babilônios ao desenvolvimento da Astronomia, destacam-se a introdução do **grau de arco** (°) (círculo de 360°, correspondente à rotação aparente anual do Sol para o oeste e em torno da Terra) como unidade angular, e a do

grau de tempo (da ordem de 4 minutos) como unidade de tempo, contribuições essas ocorridas na **época seleucida** (311 a.C. - 75 A. D.)⁽⁶⁾.

Muito embora os astrônomos mesopotâmicos tenham registrado os complicados astros de nosso Universo, pelo que se sabe, contudo, eles não elaboraram nenhum modelo para explicar aqueles movimentos, o que só aconteceu com os astrônomos da Grécia Antiga. Com efeito, o filósofo grego Anaximandro de Mileto (610-547) concebeu os planetas como sendo rodas de fogo girando em torno da Terra. Embora tenha introduzido o conceito de **esfericidade** no campo da Astronomia, ao representar o céu como uma esfera completa, no entanto, para Anaximandro a Terra tinha a forma cilíndrica, que repousava sobre um eixo orientado no sentido leste-oeste e cuja altura correspondia a um terço de seu diâmetro⁽⁷⁾. O modelo de Anaximandro foi desenvolvido por seu discípulo, o filósofo grego Anaxímenes de Mileto (c. 570 - c. 500), ao conceber os astros como corpos fixos a esferas de revolução. Todavia, assim como o filósofo grego Tales de Mileto (624-546), ele acreditava que a Terra era plana e que, por sua vez, flutuava no ar, sendo este a sua substância primordial. O mesmo pensava Anaxímenes do Sol. Parece ter sido ainda Anaxímenes o primeiro a fazer distinção entre planetas e estrela, e esta, para ele, não esquentava como o Sol por se encontrar a grande distância da Terra⁽⁸⁾.

O conceito de esfericidade da Terra foi formulado pelo filósofo grego Pitágoras de Samos (c. 582 - c. 497), na crença de que o Universo inteiro deveria ter essa forma geométrica perfeita. Parece ter sido ele o primeiro a reconhecer que a estrela matutina (estrela – d'alva) e a estrela vespertina (Vésper ou Hésper) eram o mesmo planetas Vênus. Observou ainda que o Sol, a Lua, e os planetas não possuíam o mesmo movimento uniforme das estrelas. Foi dele, também, a observação de que a órbita da Lua não se situava no plano do equador terrestre. Pitágoras e seus seguidores, principalmente o filósofo grego Filolau de Tarento (ou de Crotona) (c. 480 - ?), acreditavam na existência de um fogo central⁽⁹⁾ representando o centro de seu Universo esférico, fogo esse que era envolvido por dez esferas concêntricas correspondendo aos astros então conhecidos, sendo que na décima delas estavam situadas as estrelas⁽¹⁰⁾. Cada uma dessas esferas girava de oeste para leste, completando uma revolução no período correspondente ao do astro que a mesma representava. É oportuno observar que o filósofo grego, o pitagórico Hiketas de Siracusa (f. século V a.C.), modificou o sistema de Filolau postulando um movimento de rotação diurna da Terra em torno do seu eixo, enquanto um outro filósofo grego e também pitagórico, Ecphantos de Siracusa (f. 400 a.C.), substituiu o fogo central filolauniano pela Terra⁽¹¹⁾.

Esses primeiros modelos de esferas permitiram aos astrônomos gregos explicar os fenômenos celestes mais familiares, como o movimento dos astros no céu, decorrente do movimento da Terra em torno do fogo central, bem como os eclipses. No entanto, os movimentos retrógrados dos planetas permaneciam sem explicação⁽¹²⁾. A fim de responder melhor às observações celestes, um outro sistema de esferas homocêntricas, desta vez tendo a Terra como centro, foi considerado pelo filósofo grego Platão de Atenas (c. 427 - c. 347) em seus famosos diálogos **Timeu**, **A República** e **Epinomis**. Segundo Platão, a Terra imóvel era envolvida por quatro capas esféricas. A primeira, de

espessura igual a dois raios terrestres, era composta do elemento **água**. A segunda era composta do elemento **ar**, com a espessura de cinco raios terrestres, e constituindo a atmosfera. Em seguida, há uma camada do elemento **fogo** de dez raios terrestres, tendo em sua parte superior a quarta capa esférica na qual se encontravam as estrelas. Os sete planetas então conhecidos evoluíam entre a atmosfera e as estrelas⁽¹³⁾.

Nessa Astronomia platônica, cada planeta possuía dois movimentos circulares uniformes: uma rotação diária de leste para oeste em torno dos pólos da eclíptica (caminho percorrido pelo Sol) de oeste para leste. Esse modelo platônico não era melhor do que o pitagórico, já ambos explicavam quase as mesmas coisas e não explicavam o intrigante movimento retrógrado dos planetas. Este teve uma primeira tentativa de explicação através do modelo formulado pelo discípulo de Plantão, astrônomo e matemático grego Eudoxo de Cnido (c. 408 - c. 355), segundo o qual, basicamente, o movimento dos astros no Universo era consequência de um conjunto de 27 esferas homocêntricas à Terra, seguindo o esquema: quatro para cada planeta até então conhecido (Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno⁽¹⁴⁾), três para o Sol, três para a Lua e um para as estrelas fixas.

Esse modelo de Eudoxo foi aperfeiçoado por seu aluno, o astrônomo grego Calipo de Cízico (c. 370 - c. 300), que lhe adicionou mais 8 esferas, com o objetivo de explicar os complicados movimentos de Mercúrio e de Vênus. Esse modelo de Calipo-Eudoxo foi aperfeiçoado ainda mais pelo filósofo grego Aristóteles de Estagira (384-332), tendo-lhe acrescentado outras esferas homocêntricas, perfazendo um total de 55. No entanto, ao que parece, Aristóteles supunha serem essas esferas reais ao contrário de Eudoxo que as considerava apenas para auxiliar seus cálculos. As esferas acrescentadas por Aristóteles ao modelo de Calipo-Eudoxo destinavam-se a impedir que o movimento de um dado planeta se transmitisse ao seu vizinho⁽¹⁵⁾. Aristóteles era ainda partidário da esfericidade da Terra bem como da teoria platônica sobre as quatro capas esféricas envoltivas da Terra⁽¹⁶⁾. Essas idéias foram defendidas no Livro II de seu **Sobre os Céus**⁽¹⁷⁾.

Apesar da engenhosidade do modelo das esferas homocêntricas de Aristóteles-Calipo-Eudoxo principalmente no que se refere à explicação dos movimentos retrógrados dos planetas (excluindo o Sol e a Lua), o mesmo apresentava três grandes dificuldade, a saber: por que os planetas se tornam mais brilhantes em seus movimentos retrógrados? Por que havia variação na velocidade dos planetas em suas órbitas? Por que havia afastamentos limitados para Mercúrio (~ 24°) e Vênus (~ 48°) a partir do Sol? Na tentativa de explicar tais questões e, principalmente, as anomalias dos movimentos de Mercúrio e Vênus, o astrônomo grego Heraclides de Pontos (c. 388 - c. 310), discípulo de Platão, formulou um modelo **geoheliocêntrico** segundo o qual esses dois planetas giravam em torno do Sol⁽¹⁸⁾ e este juntamente com os demais planetas (incluindo a Lua) giravam em torno de uma Terra também girante, porém em torno de seu eixo, de oeste para leste, e diariamente⁽¹⁹⁾.

Por outro lado um modelo puramente heliocêntrico, que parece ter sido formulado pela primeira vez pelo astrônomo grego Aristarco de Samos (c. 32 - c. 250), por volta de 260 a.C., tentava explicar também as dificuldades acima apontadas. No entanto,

Aristarco teve que fazer duas suposições em seu modelo. A primeira delas era no sentido de justificar porque as esferas pareciam imóveis, isto é porque as posições aparentes das estrelas não mudavam em consequência do movimento anual da Terra em torno do Sol. Essa imobilidade, afirmava Aristarco, decorria da imensa distância em que se encontravam as estrelas em relação à Terra⁽²⁰⁾. A sua segunda suposição não era original, pois outros astrônomos já a haviam considerado, conforme vimos anteriormente: a rotação da Terra em torno de seu eixo. Em estudos astronômicos, Aristarco preocupou-se também em determinar as distâncias Terra-Sol e Terra-Lua, bem como a relação entre os diâmetros desses três astros. Tais medidas, apresentadas em seu livro **Sobre os Tamanhos e as Distâncias do Sol e da Lua**, feitas usando os conhecimentos geométricos de Tales de Mileto e do matemático grego Euclides de Alexandria (c. 325 - c. 285) e deficientes observações, mostraram-se incorretas⁽²¹⁾. O heliocentrismo de Aristarco foi pouco considerado. Apenas o matemático grego Arquimedes de Siracusa (c. 287 - c. 212) fez referência ao mesmo no prefácio de seu texto **A Ampulheta**, e o astrônomo babilônio Seleuco (c. 190 a.C. - ?) foi também seu defensor, segundo afirmou o biólogo grego Plutarco (c. 46 - c. 120)⁽²²⁾.

Os modelos de esferas concêntricas (geo, hélio e geoheliocêntricas), que acabamos de examinar, lograram relativo êxito no sentido de salvar as aparências celestes. Porém tais modelos não conseguiam explicar, principalmente, a variação na luminosidade e na velocidade dos planetas, fatos esses que indicavam haver mudanças de suas distâncias em relação à Terra. Tais fatos levaram à invenção de um novo modelo planetário, composto basicamente de **epíclios** e **excêntricos**, e elaborado pelas últimas escolas pitagóricas do sul da Itália, de onde se propagou para Alexandria, sendo seus principais mentores Apolônio, Hiparco e Ptolomeu⁽²³⁾.

O matemático grego Apolônio de Perga (c. 261 - c. 190) se tornou célebre por ter escrito um tratado de oito volumes sobre as secções cônicas: elipse, parábola e hipérbole (essa última não havia sido estudada por Euclides). Tais secções são obtidas ao cortar-se um cone sob determinados ângulos: elipse, se o corte for inclinado ao eixo; parábola, se for paralelo à geratriz; e hipérbole, se o corte for paralelo ao eixo⁽²⁴⁾. Apolônio interessou-se, também em estudar o movimento dos planetas e para isso, segundo registra Ptolomeu em seu **Almagest**⁽²⁵⁾, usou o sistema epiciclo-deferente, sistema em que o centro de um círculo menor (epiciclo) se desloca ao longo de um círculo maior (deferente). O epiciclo representa o movimento circular do planeta e o deferente é um círculo em cujo centro situa-se o astro em torno do qual órbita o planeta. Em seu modelo planetário, Apolônio considerava os planetas girando em torno do Sol, e este, por sua vez, girava em torno da Terra, antecipando-se de dezoito séculos ao astrônomo dinamarquês Tycho Brahe (1546-1601) que formulou hipótese semelhante. Parece que Apolônio era particularmente interessado nos movimentos da Lua, tanto que alexandrinos chamavam-no épsilon (ϵ), pois a forma dessa letra grega é semelhante ao crescente da Lua⁽²⁶⁾. A idéia de representar o movimento dos planetas por intermédio do sistema epiciclo-deferente foi retomada pelo astrônomo grego Hiparco de Nicéia (c. 190 - c. 120), porém aplicada a um modelo planetário geostático, conforme Ptolomeu também registrou em

seu **Almagest**⁽²⁷⁾. Com efeito, explicar as variações nas velocidades dos planetas, principalmente na do Sol, que era considerado um planeta, Hiparco lançou mão do conceito de **excentricidade**, isto é, ele admitiu que o círculo descrito pelo Sol é excêntrico em relação ao centro da Terra. Feita essa hipótese, demonstrou então que o círculo excêntrico é equivalente ao sistema geométrico epiciclo-deferente utilizado por Apolônio, porém às avessas⁽²⁸⁾.

Hiparco destacou-se quer como astrônomo teórico, quer como astrônomo experimental. Como observador dos céus, ele é considerado o maior da Antiguidade Clássica. Nessa atividade, fez algumas descobertas importantes. Por exemplo, ao observar em 134 a.C. uma nova estrela na constelação do Escorpião, decidiu preparar um catálogo de estrelas e ao concluí-lo, em 129 a.C., havia registrado cerca de 1080 estrelas⁽²⁹⁾, adotando a classificação por grandezas⁽³⁰⁾ a qual ainda hoje está em uso. Suas observações foram na maior parte realizadas com instrumentos usuais de seu tempo, quais sejam, a esfera armilar ou astrolábio esférico, o mostrador circular e o dioptré, tendo ainda acrescentando a esse conjunto de aparelhos o astrolábio plano⁽³¹⁾. No referido catálogo, Hiparco registrou as longitudes e as latitudes eclípticas das estrelas, isto é, os seus deslocamentos angulares ao longo, ao norte e ao sul da eclíptica, respectivamente. Esses deslocamentos eram contados a partir do ponto de intersecção da eclíptica com o equador celeste (círculo na esfera celeste que coincide com o equador terrestre), ponto esse que marca o **equinócio**, e no qual os dias e as noites têm a mesma duração⁽³²⁾.

Pois bem, examinado o seu mapa celeste e comparando-o com os mais antigos (por exemplo, o de Timocharis, feitos por volta de 283 a.C.)⁽³³⁾, Hiparco fez uma grande descoberta: a **precessão dos equinócios**. Com efeito, ele observou que o ano sideral do Sol (tempo gasto para voltar à mesma estrela) era um pouco mais longo que seu ano tropical (tempo gasto para chegar ao mesmo equinócio), indicando tal diferença como sendo devido a um movimento relativo das estrelas fixas com relação aos equinócios. Embora tal descoberta não tenha sido inédita, pois Kidinnu já a fizera, conforme vimos anteriormente, Hiparco, contudo, é considerado o seu descobridor, pois chegou a calcular o valor desse lento movimento circular dos equinócios como sendo em torno de 1° por século (valor atual 1,38°), correspondendo a uma volta completa em cerca de 26.000 anos. É oportuno observar que, somente no século XVII de nossa era, o físico e matemático inglês Sir Isaac Newton (1642-1727) explicou a precessão dos equinócios como sendo devido à ação da força de gravitação do Sol e da Lua agindo no plano equatorial da Terra, provocando, em consequência, uma lenta oscilação do eixo terrestre⁽³⁴⁾.

Hiparco destacou-se ainda na determinação das distâncias entre o nosso planeta e o Sol e a Lua, bem como na mensuração do tamanho desses astros, usando, para isso, o método do eclipse lunar de Aristarco. Assim, observando os eclipses da Lua, mediu o tempo em que a mesma entra e sai do cone de penumbra, bem como o tempo em que ela entra e sai do cone de sombra da Terra. Com esses valores e usando uma tabela de cordas⁽³⁵⁾ e a divisão do círculo de 360°, com as subdivisões do grau em 60 minutos e estes em 60 segundos, como haviam considerado os babilônios, Hiparco encontrou os seguintes resultados, em termos do raio terrestre R_T : distância Terra-Sol $\cong 2500 R_T$; dis-

tância Terra-Lua $\cong 60 R_T$, raio do Sol $\cong 12 R_T$ e raio da Lua $\cong 0,29 R_T$. Hiparco utilizou-se ainda de suas observações dos eclipses solares e lunares para calcular as latitudes e as longitudes geográficas, principalmente estas últimas que dependem do tempo local. Para Hiparco, a observação de um mesmo eclipse em dois lugares diferentes, e ao serem registrados em tempos também diferentes, daria um resultado que seria igual à diferença de longitude entre aqueles lugares⁽³⁶⁾. Como esse método dependia da ocorrência dos eclipses e sendo estes raros, Hiparco estabeleceu uma lista de futuros eclipses pelo período de 600 anos⁽³⁷⁾. Seus trabalhos sobre os eclipses lunares levaram-no a ser considerado como o primeiro a medir a paralaxe de um astro, já que em 150 a.C. ele mediu a paralaxe da Lua, encontrando um valor em torno de $58'$, contra $57' 2,6''$ atuais⁽³⁸⁾. Por fim, é oportuno salientar que Hiparco calculou também a duração do ano com ótima precisão, encontrando 365, 2467 dias (valor atual: 365,2422 dias⁽³⁹⁾).

Notas e Referências Bibliográficas

1. Uma boa parte da mesopotâmia está hoje na República do Iraque. (EDZARD, O. D. History of Mesopotâmia and Iraq. In: ENCYCLOPAEDIA Britannica: macropaedia. Chicago, 1978. v. 11, p. 963-979.)
2. Essa Crônica tem como base os seguintes textos:
ROY, J. R. **L'astronomie et son histoire**. Presses de l'Université du Québec, Masson, 1982.
RONAN, C. A. (ed.) **História ilustrada da ciência**. (s.l.): Jorge Zahar, 1987. v. 1, 2.
ASIMOV, I. **Os gênios da humanidade**. Bloch Editores, 1974.
HOYLE, F. **Astronomia**. Barcelona: Ediciones Destino, 1967.
ÉVORA, F. R. R. **A revolução copernicana-galileana**. Campinas: Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência, 1988. t. 1. (Coleção CLE, v. 3)
3. Provavelmente, essa é a razão pela qual o historiador, grego HERODOTUS (c. 484 - c. 430) definiu o Egito como sendo a dádiva do Nilo (BRISSAUD, J. M. **O Egito dos Faraós**. Otto Pierre Editora, 1978.)
4. O **Saros** é o intervalo de 18 anos e 11 1/3 dias após o qual a Terra, o Sol e a Lua **re-tornam**, aproximadamente, às mesmas posições relativas. Cada **Saros** contém cerca de 43 eclipses solares e 28 lunares. (ENCYCLOPEDIA Britannica: micropaedia. Chicago, 1978. v. 8.)

5. O tamanho e o número de constelações zodiacais variaram na Antiguidade e só se **tornaram** as hoje 12 fixas com o desenvolvimento da Astronomia matemática. Assim ela representa uma faixa nos céus estendendo-se de 9° para cada lado da eclítica, que é o plano da órbita da terra em torno do Sol. A história de seus símbolos é desconhecida; parece que surgiram pela primeira vez nos manuscritos gregos do final da Idade Média. Aliás, a origem do Zodíaco deriva de uma expressão grega **Kyklos zokiakos** que significa **círculo de animais**. (ENCYCLOPAEDIA Britannica: micropaedia. Chicago 1978. v. 10.)
6. ECYCLOPAEDIA Britannica: Chicago, 1978. v. 5, 7.
7. ASIMOV, I. op. cit..
8. ENCYCLOPAEDIA Britannica: Chicago, 1978. v. 1.
9. Esse “fogo d’Hestia” era invisível, pois ele está sempre encoberto pelo Sol. Hestia era a Deusa da lareira sagrada, nas casas e nos edifícios públicos. É oportuno salientar que Filolau acreditava na existência de um décimo planeta – o **antichton** (anti-Terra). (ROY, J. R. op. cit.; ÉVORA, F. R. R. op. cit..)
10. As dez esferas eram assim distribuídas: Terra, Sol, Lua, Mercúrio, Vênus, Júpiter, Saturno, Antiterra (planeta sempre oculto para os terráqueos e situado do outro lado do Sol) e estrelas. É oportuno observar que, para Filolau, o Sol (visível) era um reflexo do fogo central (invisível). (ASIMOV, I. op. cit..)
11. ROY, J. R. op. cit..
12. ROY, J. R. (op. cit.) levanta a hipótese de que talvez esses movimentos ainda não fossem conhecidos à época.
13. ROY, J. R. op. cit.; ÉVORA, F. R. R. op. cit..
14. As quatro esferas distribuíram-se da seguinte maneira: o planeta se encontra fixo no equador de uma esfera que gira em torno da Terra; os pólos dessa esfera são deslocados por uma segunda esfera que gira em torno de um eixo normal ao plano da eclítica; uma terceira esfera exterior às duas anteriores dá o movimento do planeta em relação ao céu das estrelas fixas; uma quarta esfera explicava o movimento retrógrado. (HOYLE, F. op. cit..)
15. OSLER, M. J.; SPENCER, J. B. **History of physical sciences**. In: ECYCLOPAEDIA Britannica: macropaedia. Chicago, 1978. v. 14.
16. ASIMOV, I. op. cit.

17. ARISTOTLE. In: GREAT books of the western world. Chicago: Encyclopaedia Britannica, 1971. v. 8.
18. O astrônomo grego Sosígenes de Alexandria (c. 90 a.C. - ?) também sustentava a opinião de que Mercúrio girava em torno do Sol. Convém lembrar que é de Sosígenes a idéia do ano bissexto, proposto por ocasião em que o imperador Júlio César (100-44) criou o calendário conhecido como Juliano. (ENCYCLOPAEDIA Britannica: micropaedia. Chicago, 1978. v. 2, 9.)
19. OSLER, M. J.; SPENCER, J. B. op cit.; ÉVORA, F. R. R. op cit..
20. A primeira medida precisa da paralaxe das estrelas foi feita pelo astrônomo, matemático e físico alemão Friedrich Wilhelm Bessel (1784-1846), pois, em 1838, mediu a paralaxe da estrela 61 Cygni. (ROY, J. R. op. cit..)
21. Para fazer essas medidas, observou Aristarco que quando a metade da Lua está iluminada pelo Sol, este, a Terra e seu satélite formam um triângulo retângulo, sendo a hipotenusa a distância Terra-Sol. Assim, medindo a distância angular entre a Lua e o Sol, tendo a Terra como vértice, Aristarco encontrou 87° (valor atual: $89^\circ 51'$). De posse desse resultado e por meio de uma construção geométrica simples, determinou ser de $1/20$ a relação entre a distância Terra-Lua e Terra-Sol. A relação correta é da ordem de $1/400$. Por outro lado, das observações dos eclipses da Lua e lançando mão, também, de construções geométricas, Aristarco concluiu que as relações entre os diâmetros da Lua e Terra e da Terra e Sol valiam, respectivamente, $1/3$ e $1/7$. Os valores corretos são da ordem da de $1/3,67$ e $1/10,9$. É oportuno salientar que foi o astrônomo grego Eratóstenes de Cirena (c. 276 - c. 196), por volta de 240 a.C., o primeiro a calcular o diâmetro da Terra, usando o fato de que no solstício de verão – o dia mais longo do ano – na cidade de Siene, atual Assuã, o Sol fica a pino ao meio-dia. No entanto, nessa hora, em Alexandria, a sombra de uma torre era projetada de um ângulo de aproximadamente 7° . Assim, consultando os mapas oficiais, verificou que a distância entre as duas cidades era de aproximadamente 5.000 estádios, cerca de 789 km, presumivelmente. Desse modo, foi fácil para Eratóstenes calcular a circunferência da Terra como sendo 39.425 km (valor correto: 40.075 km). Ele calculou ainda a obliquidade da eclíptica, desenhou um mapa celeste com cerca de 675 estrelas e teve a idéia do ano bissexto, com o intuito de ajustar o calendário egípcio às estações. Um outro cálculo da circunferência da Terra foi feito pelo filósofo grego Possidônio de Apaméia (c. 135 - c. 51) usando, para isso, a posição da estrela Canopo em lugar do Sol. Contudo, talvez por não levar em consideração o deslocamento da posição da estrela devido à refração atmosférica, encontrou o valor de aproximadamente 30.000 km. Esse valor foi considerado pelos astrônomos que se seguiram, inclusive o grande Ptolomeu. (ENCYCLOPAEDIA Britannica: micropaedia. Chicago, 1978, v. 3, 8; ÉVORA, F. R. R. op. cit.)

22. ROY, J. R. op. cit..
23. FARRINGTON, B. **A ciência grega**. Ibrasa, 1961; KOYRÉ, A. **Estudos de história do pensamento científico**. Editora Universidade de Brasília e Forense Universitária, 1982.
24. APOLÔNIO DE PERGA. On conic sections. In: **GREAT books of the western Word**. Chicago: Encyclopaedia Britannica, 1971.v. 11.
25. PTOLOMEU, C. The almagest. In: **GREAT book of the western Word**. Chicago: Encyclopaedia Britannica, 1971. v. 16.
26. RONAN, C. A. op. cit..
27. PTOLOMEU, C. op. cit..
28. FARRINGTON, B. op.cit.; OSLER, M. J., SPENCER, J. B. op. cit..
29. SEDGWICK, W. T.; TYLER, H. W.; BIGELOW, R. P. **História da ciência**. Editora Globo, 1950. É oportuno esclarecer que nem todos os historiadores da ciência são unânimes em afirmar o número de estrelas do catálogo de Hiparco. ROY, J. R., op. cit., por exemplo, fala em 850. Convém salientar ainda que a observação de uma nova estrela no céu, por parte de Hiparco, veio quebrar a crença aristotélica sobre a incorruptibilidade dos céus.
30. Em sua classificação, Hiparco foi até a sexta grandeza na magnitude. (DAMPIER, W. C. **Pequena história da ciência**. Ibrasa, 1961.)
31. O astrolábio plano de Hiparco era um disco onde um mapa móvel do céu permitia que fossem calculados o nascente e o poente dos astros. (RONAN, C. A. op. cit..)
32. Há dois equinócio, o de **outono**, que ocorre aproximadamente a 23 de setembro, e o da **primavera**, que ocorre aproximadamente a 21 de março. No movimento aparente do Sol, há dois outros pontos notáveis: os **solstícios**, que são pontos nos quais o Sol se encontra mais afastado do equador celeste. O **solstício de verão** acontece aproximadamente a 21 de dezembro e o **solstício de inverno** ocorre aproximadamente a 21 de junho. Nessas últimas datas, parece que a trajetória do Sol fica estacionária. (LUCIE, P. **A gênese do método científico**. Editora Campus, 1977; RONAN, C. A. op. cit..)
33. Évora, F. R. R. op. cit..

34. Na época de Copérnico já se havia descoberto que a precessão dos equinócios era devido a uma lenta oscilação do eixo terrestre. (ASIMOV, I. op. cit..)
35. Hiparco preparou uma tabela de cordas ligando dois pontos localizados em um círculo de raio unitário. Como tais cordas representam o dobro do seno da metade do ângulo central correspondente a esses dois pontos, Hiparco foi considerado o criador da **Trigonometria**. (RONAN, C. A. op. cit..)
36. Hiparco calculava a latitude de um determinado lugar medindo a relação entre o dia mais longo e o dia mais curto que acontecia nesse mesmo lugar.
37. ROY, J. R. op. cit..
38. STRAND, K. A. **Astronomical parallax**. In: ENCYCLOPAEDIA Britannica: macroaedia. Chicago, 1978.
39. RONAN, C. A. op. cit.