



SEARA DA CIÊNCIA CURIOSIDADES DA FÍSICA



José Maria Bassalo

Heraclides de Pontos, Apolônio de Perga e Tycho-Brahe: Modelo Geo-Heliocêntrico; Aristarco de Samos e Copérnico: Modelo Heliocêntrico.

Neste verbete, mostraremos que os modelos planetários - o **geo-heliocêntrico** e o **heliocêntrico**, foram formulados em épocas bastante distantes: na Grécia Antiga, antes da Era Cristã (E.C.), e no Século 16, já nesta Era. Maiores detalhes desses modelos podem ser encontrados em vários textos, dentre os quais destacamos: Fred Hoyle, **Astronomia** (Ediciones Destino, 1967); J. R. Roy, **L'Astronomie et son Histoire** (Presses de l'Université du Québec); Carl Sagan, **Cosmos** (Francisco Alves, 1982); Colin A. Ronan, **História Ilustrada da Ciência, Volumes I, I, III** (Jorge Zahar Editor, 1983); Fátima Regina Rodrigues Évora, **A Revolução Copernicana-Galileana I, II** (EDUNICAMP, 1988); Arthur Koestler, **O Homem e o Universo** (Ibrasa, 1989); Roberto de Andrade Martins, **Universo: Teorias sobre a sua Evolução** (Editora Moderna, 1994); José Maria Filardo Bassalo, **Crônicas da Física, Tomo 4** (EDUFPA, 1994); Marcelo Gleiser, **A Dança do Universo: Dos Mitos de Criação ao Big-Bang** (Companhia das Letras, 1997); Alexandre Cherman, **Cosmo-o-quê? Uma Introdução à Cosmologia** (Fundação Planetária do Rio de Janeiro, 2000); Ronaldo Rogério de Freitas Mourão, **Kepler: A Descoberta das Leis do Movimento Planetário e Copérnico: Pioneiro da Revolução Astronômica** (Odysseus, 2003; 2004); Stephen William Hawking, **Os Gênios da Ciência: Sobre os Ombros de Gigantes** (Editora Campus, 2005); e Antonio S. T. Pires, **Evolução das Idéias da Física** (Editora Livraria da Física, 2008).

É bem provável que as primeiras observações sistemáticas dos fenômenos celestes hajam sido realizadas por sacerdotes na Babilônia e em Níneveh, duas cidades-estados situadas na Mesopotâmia (hoje, uma boa parte do Iraque) que existiram há milhares de anos antes da E.C. Registre-se que observações análogas a essas dos mesopotâmicos também foram realizadas por outras civilizações, dentre as quais se destacam os egípcios e os chineses, por volta de 3.000 anos antes da E.C. Os egípcios, por exemplo, descobriram a revolução de Mercúrio e Vênus, em torno do Sol. Os chineses, por sua vez, descobriram o **Saros**, um ciclo que regula os eclipses lunares e solares. Nesse ciclo de 18 anos, 11 dias e 8 horas, a Terra, o Sol e a Lua retornam, aproximadamente, às mesmas posições relativas. Cada **Saros** contém cerca de 43 eclipses solares e 28 lunares.

Muito embora esses primeiros observadores astronômicos hajam registrado os complicados movimentos dos astros nos céus, contudo, pelo que se sabe, eles não elaboraram nenhum modelo para explicar esses movimentos, o que só aconteceu com os filósofos-astrônomos da Grécia Antiga. Nessa época, o principal modelo planetário era o das **esferas-homocêntricas** formulado, inicialmente, pelo astrônomo e matemático grego Eudoxo de Cnido (c.408-c.355), segundo o qual o movimento dos astros no céu era resultante de um conjunto de 27 esferas homocêntricas à Terra segundo o esquema: quatro para cada planeta (Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno), três para o Sol, três para a Lua e uma para as estrelas fixas. Essas esferas eram assim distribuídas: o planeta se encontra fixo no equador de uma esfera que gira em torno da

Terra fixa. Por sua vez, os pólos dessa esfera são deslocados por uma segunda esfera que gira em torno de um eixo normal ao **plano da eclíptica** (trajetória aparente do Sol entre as estrelas fixas e recebeu esse nome porque eclipses podem acontecer quando a Lua atravessa esse plano). Uma terceira esfera, exterior às duas antecedentes, é responsável pelo movimento do planeta em relação ao céu das estrelas fixas. Por fim, uma quarta esfera era necessária para explicar o movimento retrógrado de cada planeta, isto é, o movimento no qual o planeta, no céu das estrelas fixas, se move em um determinado sentido até um “ponto estacionário”; depois, volta no sentido oposto até um outro “ponto estacionário”, retomando então o primeiro sentido, assim por diante, formando laços (cúspides). É oportuno notar que Eudoxo inventou a curva *hipópede* (resultante da intersecção de uma esfera com um cilindro) com o objetivo de explicar esse seu modelo planetário.

Conforme vimos acima, os egípcios haviam observado que Mercúrio e Vênus tinham um afastamento limitado em relação ao Sol (em valores atuais): $\sim 24^{\circ}$ e $\sim 48^{\circ}$, respectivamente. Tentando explicar essa anomalia, o astrônomo grego Calipo de Cízico (c.370-c.300), discípulo de Eudoxo, aperfeiçoou o modelo de seu mestre, adicionando mais oito esferas. O agora *Modelo de Eudoxo-Calipo* foi aperfeiçoado pelo filósofo grego Aristóteles de Estagira (384-322), acrescentando-lhe outras esferas homocêntricas, perfazendo um total de 55. Além disso, Aristóteles admitiu ainda que além da esfera das estrelas fixas existia o *Primum Mobile* (“Primeiro Móvel”) acionado por DEUS, o motor primordial e imóvel, e que além dele não havia nem movimento, nem tempo e nem lugar. No entanto, as esferas consideradas por Aristóteles destinavam-se a impedir que o movimento de um dado planeta se transmitisse ao seu vizinho, já que, ao que parece, ele as considerava como reais, ao contrário de Eudoxo que as considerava apenas como auxiliares de seus cálculos. Essas idéias foram apresentadas por Aristóteles no Livro II de seu **De Caelo** (“Dos Céus”).

Como o *Modelo de Eudoxo-Calipo-Aristóteles* não foi capaz de explicar o comportamento dos planetas Mercúrio e Vênus, o astrônomo grego Heraclides de Pontos (c.388-c.310) formulou um **modelo geo-heliocêntrico** segundo o qual esses dois planetas giravam em torno do Sol 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. Registre-se que a idéia de considerar a Terra girante foi utilizada por Heraclides para explicar o movimento diário da esfera (“céu”) das estrelas fixas. Contudo, esse modelo não conseguia explicar o movimento retrógrado dos planetas.

Para explicar o movimento retrógrado planetário, o matemático grego Apolônio de Perga (c.261-c.190) usou o **sistema epiciclo-deferente**, sistema em que o centro de um círculo menor (**epiciclo**) se desloca ao longo de um círculo maior (**deferente**). Desse modo, 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. Para poder explicar os movimentos de Mercúrio e Vênus próximos do Sol, Apolônio tomou o **Modelo Geo-heliocêntrico de Heraclides**, porém com uma nova hipótese: os planetas giram em torno do Sol, e este, gira em torno da Terra. É oportuno salientar que Apolônio se tornou célebre por haver escrito um tratado de oito volumes sobre as secções cônicas: elipse, parábola e hipérbole. 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 for paralelo ao eixo. Como Apolônio era particularmente interessado nos movimentos da Lua, os antigos gregos, particularmente, os alexandrinos, o chamavam de *épsilon* (ϵ), pois a forma dessa letra grega é semelhante ao crescente da Lua.

A idéia de representar o movimento dos planetas por intermédio do **sistema epiciclo-deferente** foi retomada pelos astrônomos gregos Hiparco de Nicéia (c.190-c.120) e Cláudio Ptolomeu (85-165), porém, diferentemente de Apolônio, eles consideravam os astros celestes conhecidos até então girando em torno de uma Terra estática. Portanto, o modelo planetário que defendiam era **geocêntrico**. Destaquemos que Hiparco introduziu o conceito de **excentricidade** para

explicar as variações das velocidades dos planetas em torno da Terra. Por exemplo, admitiu que o círculo descrito pelo Sol é excêntrico em relação ao centro da Terra em torno do qual gira. Com essa hipótese, demonstrou que a **excentricidade** era equivalente ao **sistema epiciclo-deferente** de Apolônio, porém às avessas. Por sua vez, Ptolomeu retomou o **sistema epiciclo-deferente-excêntrico** porém, introduziu um novo conceito, o **equante**; este era um ponto que não correspondia nem ao centro da Terra, nem ao centro do **deferente** e, de tal modo, que um objeto colocado nele veria o centro do **epiciclo** se deslocar com velocidade angular uniforme. Com esse artifício, ele explicou a variedade das velocidades dos planetas. Ptolomeu descreveu esse modelo em seu famoso livro **Hè Mathèmatikè Syntaxis** (“A Compilação Matemática”), escrito entre 151 e 157 de nossa E. C., e que foi traduzido pelos árabes, por volta do Século 9 da E. C., com o nome de **Almagest**, que é uma corruptela do nome hispano-árabe **Al-Majisti** (“O Grande Tratado”).

Ainda na Grécia Antiga, por volta de 290 antes da E. C., o astrônomo grego Aristarco de Samos (c.320-c.250) formulou pela primeira o **modelo heliocêntrico**, isto é, que os planetas (inclusive a Terra) giravam em torno do Sol. No entanto, para defender seu modelo, teve de fazer duas hipóteses. A primeira delas era no sentido de justificar a razão de as estrelas parecerem imóveis (fixas), isto é, por que as posições aparentes (paralaxe) das estrelas não mudavam em virtude 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 ao nosso planeta. A sua segunda hipótese, a rotação da Terra em torno de seu eixo, não era original, pois Heraclides já a havia considerado, conforme vimos acima. Registre-se que a primeira medida precisa da paralaxe estelar só foi realizada pelo astrônomo, matemático e físico alemão Friedrich Wilhelm Bessel (1784-1846), em 1838, ao medir a paralaxe da estrela *61 Cygni*, da *Constelação de Cisne*. Ele obteve o valor de 0,3136” (valor atual: **0,30” ± 0,003”**).

Concluindo este verbete, registramos que os modelos planetários aqui tratados - **geo-heliocêntrico** e **heliocêntrico** -, foram retomados quase dois mil anos depois. O **geo-heliocêntrico** foi proposto pelo astrônomo dinamarquês Tyge (Tycho) Brahe (1546-1601) que o formulou tendo em vista duas dificuldades: uma de ordem conceitual, qual seja, a não observação das paralaxes anuais das estrelas. A outra, era de ordem religiosa, já que a Bíblia afirmava que a Terra era o centro do Universo. Além do mais, a Igreja Católica, por intermédio da *Santa Inquisição*, excomungava e condenava a morrer queimado quem afirmasse ao contrário. Foi isso que aconteceu com o filósofo e teólogo italiano Giordano Bruno (1548-1600) que, por haver defendido ardorosamente o heliocentrismo em seu livro **De l’Infinito Universo i Mondi**, publicado em 1584, foi queimado vivo em 17 de fevereiro de 1600 (vide verbete nesta série). Será que Tycho Brahe, muito embora sendo protestante, não queria sofrer a mesma punição?

O modelo **heliocêntrico** foi apresentado pelo padre e astrônomo polonês Nicolau Copérnico (1473-1543) em um livro denominado **Commentariolus** (“Pequeno Comentário”), publicado em 1530 e distribuído apenas entre amigos. No entanto, as idéias do heliocentrismo contidas nesse pequeno livro foram difundidas por seu amigo e aluno, o matemático e astrônomo austríaco Georg Joachim von Lauchen (Rheticus) (1514-1576), professor da *Universidade de Wittenberg*, no livro **Narratio Prima** (“Primeiro Relato”), publicado em 1540. Estimulado por Rheticus, Copérnico publicou, em 1543, seu famoso livro: **De Revolutionibus Orbium Coelestium** (“Das Revoluções dos Corpos Celestes”). É oportuno salientar que, embora Rheticus tenha sido o encarregado da impressão desse livro, o responsável por sua supervisão técnica foi o clérigo luterano, o alemão Andréas Osiander (1498-1552). No Prefácio, não assinado, escrito por Osiander [conforme foi constatado pelo astrônomo alemão Johannes Kepler (1571-1630)], era expresso o ponto de vista de que as hipóteses apresentadas no livro não eram necessariamente verdadeiras e que nem sequer exigiam que fossem prováveis. Os que leram esse livro de Copérnico pensaram que o Prefácio fora escrito por ele para evitar o *Santo Ofício*. Talvez fosse essa a real intenção de Osiander já que, antes mesmo do livro ser publicado, o clérigo alemão

Martinho Lutero (1483-1546), idealizador da *Reforma Protestante*, afirmara: *O louco (Copérnico) vai virar toda a ciência da Astronomia de cabeça para baixo. Mas, como declara o Livro Sagrado, foi ao Sol e não à Terra que Josué mandou parar.* Saliente-se, também, que o livro de Copérnico foi às suas mãos no dia em que morreu, 24 de maio de 1543. Ele, contudo, já havia perdido a memória e suas faculdades mentais, portanto, nada mais poderia fazer com relação ao Prefácio (ver textos citados acima).



[ANTERIOR](#)

[SEGUINTE](#)