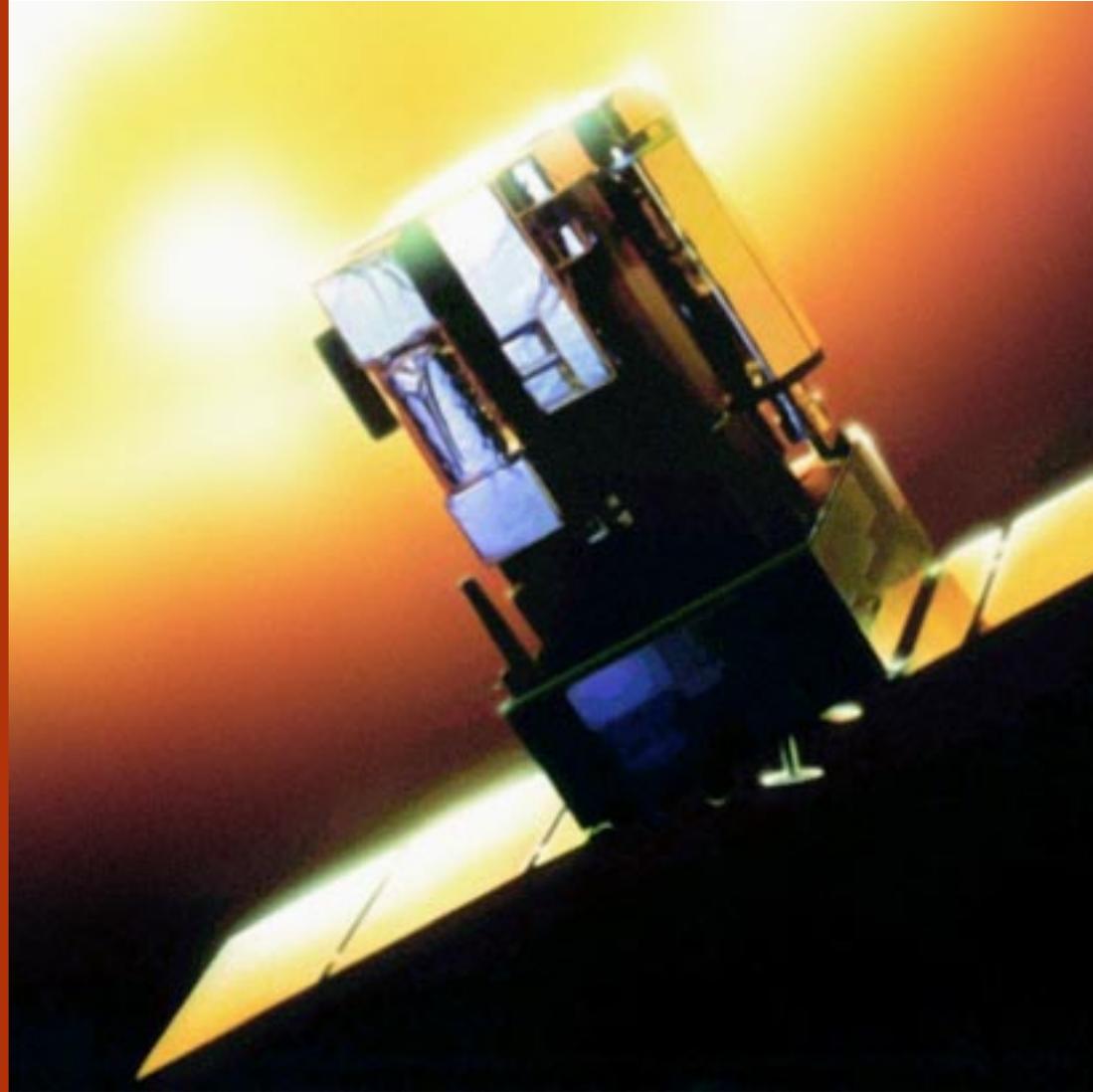


Algumas missões espaciais já realizadas e várias previstas para os próximos 15 anos pretendem instalar instrumentos de pesquisa (telescópios e outros) nos chamados pontos de libração do sistema Sol-Terra. A descoberta desses pontos, onde se equilibram as forças gravitacionais dos astros envolvidos, constitui um capítulo importante da história da astronomia, e os observatórios espaciais que eles deverão abrigar podem ajudar na busca de respostas para certas questões essenciais que desafiam a humanidade.



Desde o lançamento do primeiro Sputnik, em 1957, a corrida espacial fez progressos extraordinários, tornando-se um dos símbolos dos tempos atuais. Boa parte do avanço científico, tecnológico e econômico das últimas décadas baseou-se nos resultados da pesquisa espacial, que também vem fornecendo respostas para problemas e metas que a civilização coloca para si mesma.

Entre tais problemas, alguns mais relevantes são (1) entender e preservar o entorno da Terra, algo estreitamente ligado ao conhecimento do Sol, de suas mudanças e dos efeitos destas no nosso planeta, (2) explorar e estudar os corpos do sistema solar, para entender sua origem e evolução, e procurar neles sinais de vida presente ou extinta, (3) buscar planetas junto a outras estrelas, em especial os que possam ser habitáveis, (4) investigar a origem e a evolução do universo, com o uso de observatórios espaciais que permitam sua exploração detalhada.

Quase nenhum desses problemas é novo e exclusivo dos tempos atuais. A reprodução do Sol em imagens, desde a mais remota Antigüidade, revela que esse astro e seu entorno sempre fascinaram o homem. A personificação do Sol como um deus

Gerard Gomez

Departamento de Matemática Aplicada e Análise, Universidade de Barcelona (Espanha)

Teresa J. Stuchi

Departamento de Física Matemática, Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro

Os novos observatórios espaciais

benévolo, provedor, saneador e amigo da humanidade faz parte de quase todas as culturas antigas e mesmo de algumas ainda existentes.

Conhecer melhor o Sol e sua influência sobre a nossa vida e sobre os corpos à sua volta (figura 1), procurar outros sistemas planetários e resolver as questões cosmológicas e cosmogônicas que esses estudos apontam continuará a ser uma preocupação do homem do século 21. Isso é confirmado pela recente chamada da revista *Nature* (v. 409, 8/2/2001), *'The day the solar wind nearly died'* ('O dia em que o vento solar quase acabou'), segundo a qual a drástica redução da densidade do vento solar, em 11 de maio de 1999, representou "uma rara oportunidade de estudar a complexa relação entre a Terra e o Sol".

O SOL, O TEMPO E O CLIMA

O Sol é o principal instrumento que a maioria das culturas do mundo utiliza para medir o tempo. Sua presença ou ausência indica a divisão do dia em horas de luz e de trevas. A órbita da Terra em torno

do Sol configura a duração temporal denominada ano, e a inclinação do eixo de rotação da Terra, em relação ao plano de sua órbita, é responsável pela alternância das quatro estações.

A estrela no centro de nosso sistema planetário é também a fonte de luz e calor para a vida na Terra, mas a quantidade e a qualidade da luz e do calor

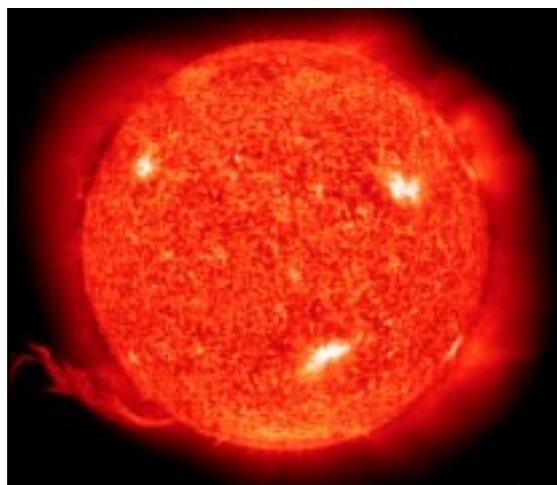


Figura 1. Conhecer melhor o Sol pode ajudar a compreender e preservar o entorno de nosso planeta

Figura 2. As manchas solares, geradas por alterações no campo magnético solar, provocam emissões de radiação que afetam a atmosfera terrestre



variam em escalas temporais mais complexas que as escalas do ano e das suas estações. Essas outras escalas abrangem de frações de segundo a milhões de anos e determinam não só as variações meteorológicas a que a Terra está sujeita, mas também têm repercursões sobre a evolução do clima no planeta.

Em 1610, pouco depois de ter visto o Sol pela primeira vez com seu novo telescópio, o físico e astrônomo italiano Galileu Galilei (1564-1642) descobriu as manchas solares (figura 2), áreas da superfície solar que, por serem um pouco mais frias que seu entorno, parecem mais escuras. Sabe-se hoje que elas têm origem nas alterações das linhas de fluxo do campo magnético solar. A atividade magnética que acompanha tais mudanças gera emissões de radiação ultravioleta e de raios X, que têm influência nas camadas mais altas da atmosfera terrestre.

Registros antigos de manchas solares mostram que, de 1645 a 1715, o Sol viveu um período de

inatividade, com raras manchas. Esse período corresponde à chamada 'pequena idade do gelo', quando muitos rios que normalmente não congelavam atingiram esse estado. Mesmo em latitudes relativamente próximas do Equador, a neve cobriu os campos o ano inteiro. Há evidências de que o Sol passou por períodos semelhantes no passado e, atualmente, estuda-se a relação entre as glaciações terrestres e os períodos de baixa atividade solar.

UM 'TEMPO' ESPACIAL

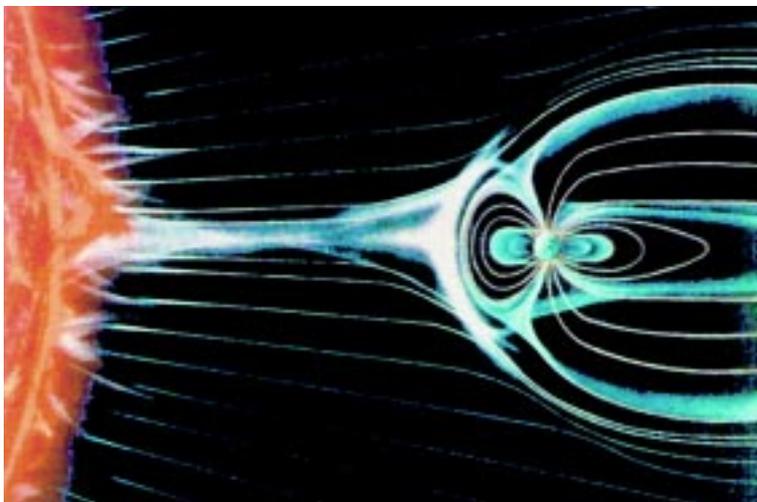
Do Sol parte também o chamado vento solar, um fluxo de gases ejetado de sua coroa (figura 3). Como o vento comum, o vento solar não é uniforme, e algumas de suas correntes passam pela Terra a uma velocidade superior a 500 km por segundo. Ainda não se sabe, porém, como esses gases podem alcançar velocidades tão altas, capazes de perturbar o campo magnético da Terra, alterando a energia das partículas carregadas que arrastam em seu trajeto e originando fenômenos tão belos como as auroras boreais.

Esse conjunto de atividades – o vento solar e as emissões de luz ultravioleta e raios X – recebe o nome de tempo espacial (*space weather*). Em breve será possível prever esse tempo, assim como temos as previsões de chuva, neve, sol, tempestades etc. Os fenômenos do tempo espacial podem alterar as órbitas dos satélites e encurtar a duração de missões espaciais. Um excesso de radiação pode fazer mal aos astronautas e também danificar satélites. As 'sacudidelas' do campo magnético terrestre podem ainda sobrecarregar as linhas de alta tensão, danificando a rede elétrica (da mesma forma que os relâmpagos) e provocando apagões (*blackouts*) em grandes áreas. À medida que a vida humana depender mais dos satélites, precisaremos de uma boa previsão do tempo espacial.

Para conhecer mais tais fenômenos solares, a Agência Espacial dos Estados Unidos (Nasa) lançou, em agosto de 1978, o International Sun-Earth Explorer (Isee-3). Esse satélite de pesquisa, após uma viagem de seis meses no espaço, foi posicionado entre a Terra e o Sol, no ponto de liberação L1 – nesse ponto, a 1,5 milhão de km da Terra e a 148,5 milhões de km do Sol, as atrações gravitacionais desses dois corpos se compensam.

Um satélite nas proximidades de L1 pode fornecer dados a

Figura 3. O vento solar, fluxo de gases ejetado da coroa do Sol às vezes a altas velocidades, é capaz de perturbar o campo magnético da Terra



respeito do vento solar cerca de uma hora antes que ele chegue à magnetosfera terrestre. Ele não pode, porém, ficar muito perto de L1, pois o Sol, visto da Terra, está sempre atrás desse ponto, e o intenso 'ruído' solar de fundo impediria a comunicação com o nosso planeta. Para evitar essa região de interferências, o satélite deve percorrer uma órbita do tipo halo (figura 4), que – vista da Terra – rodeia o disco solar como o halo na cabeça de um santo (a órbita completa, de formato 'achatado', demora cerca de seis meses).

Por cerca de cinco anos, o Isee-3 monitorou as condições do vento solar que se aproximava da Terra, constituindo o primeiro sistema de alerta, em tempo real, das tempestades geomagnéticas. Depois, o satélite foi usado em outros estudos, inclusive para 'olhar' de perto o cometa Halley, em 1986 (figura 5). Para continuar a acompanhar o vento solar e realizar mais pesquisas, a Nasa e a Agência Espacial Européia (Esa) lançaram, em dezembro de 1995, o Solar and Heliospheric Observatory (Soho), com trajetória semelhante à do Isee-3. O Soho registrará a atividade solar por cerca de 11 anos (um ciclo solar completo). Suas informações estão permitindo conhecer melhor os fenômenos estruturais e dinâmicos que acontecem no Sol e sua influência sobre a Terra.

Outro satélite, o Advanced Composition Explorer (Ace), lançado em agosto de 1997, também percorre uma órbita de halo próxima a L1. Seus instrumentos medem o vento solar, complementando as observações do Soho, e ainda analisam a composição (elementos e isótopos) da matéria existente no espaço (poeira cósmica ou partículas arrastadas pelo vento solar).

O PROBLEMA DE TRÊS CORPOS

O estudo das perturbações induzidas no movimento de um corpo ao redor de outro, quando um terceiro corpo está presente e os três interagem segundo as leis da



Figura 4. Vista da Terra, uma órbita do tipo halo no ponto L1 contorna o disco do Sol, evitando que as radiações solares interfiram nas comunicações com um satélite ali colocado

gravitação do físico inglês Isaac Newton (1642-1727), representa o chamado problema de três corpos. O cálculo dessas perturbações é importante para saber a trajetória correta de um corpo celeste. No entanto, as dificuldades para esse cálculo levaram a simplificações (ou aproximações), como o problema restrito de três corpos, que considera dois dos corpos muito mais massivos que o terceiro, de forma que a influência deste sobre os outros é desprezível.

O ponto L1 é um dos três pontos de equilíbrio da chamada solução colinear do problema restrito de três corpos. Nesses pontos, como o nome revela, as forças que agem nos três corpos se equilibram: um corpo com velocidade nula colocado em um dos pontos (L1, L2 ou

Figura 5. Trajeto do Isee-3 desde seu lançamento, em 1978, rumo à órbita de halo em L1 e a outras explorações no espaço – as passagens junto à Terra tiveram como objetivo ganhar velocidade para as diferentes viagens

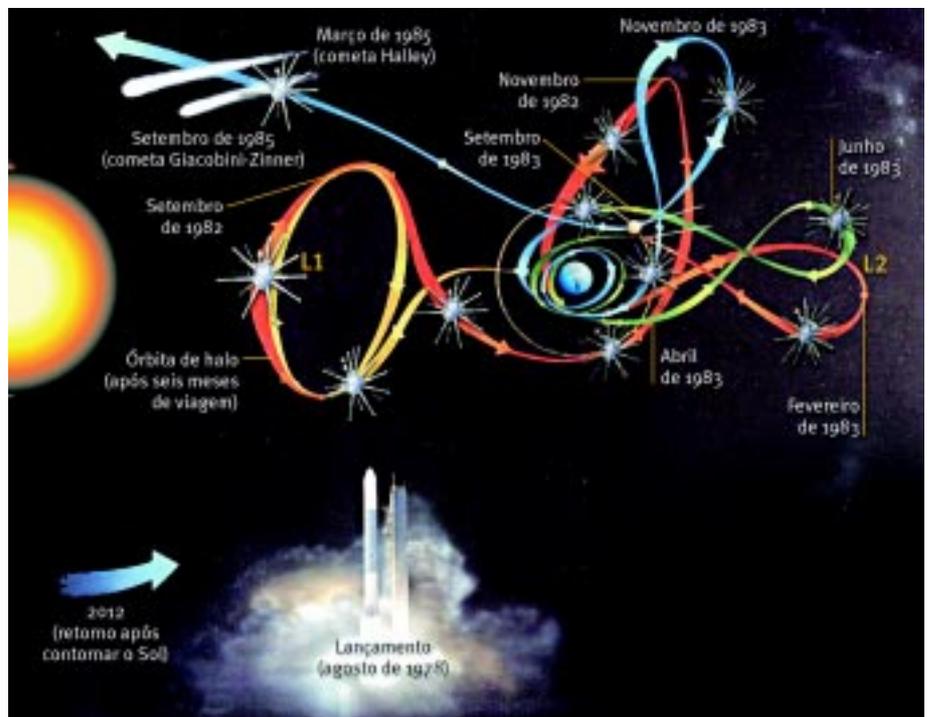
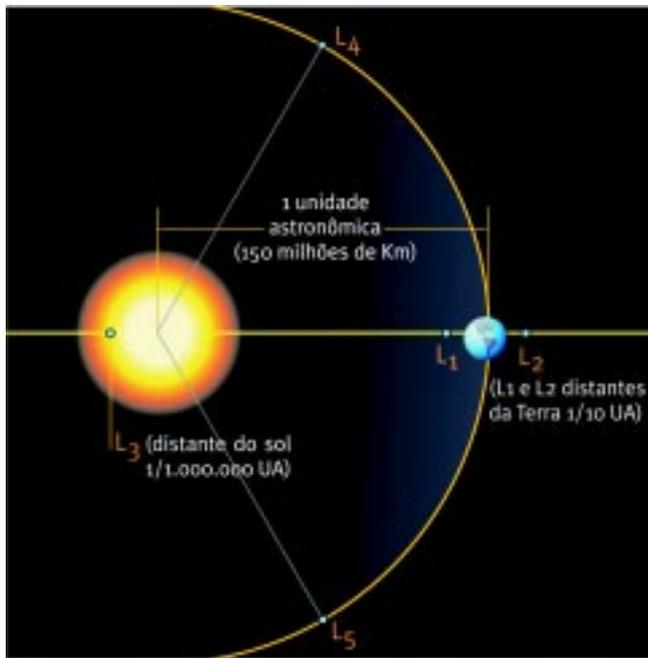


Figura 6. Pontos de libração relativos ao sistema Sol-Terra na solução colinear (L_1 , L_2 e L_3) e na solução triangular (L_4 e L_5) – os mesmos pontos de equilíbrio podem ser calculados para outros sistemas (Terra-Lua, por exemplo)



L_3) permaneceria alinhado com os outros dois, muito mais massivos. Em outra solução (triangular), um corpo colocado em pontos (L_4 ou L_5) que formassem um triângulo equilátero com os outros dois (mais massivos) também manteria essa relação (figura 6).

Cinco matemáticos, o suíço Leonhard Euler (1707-1783), os franceses Alexis Clairaut (1713-1765), Jean d’Alembert (1717-1783) e Pierre Laplace (1749-1827) e o italiano Joseph Lagrange (1736-1813), desenvolveram, quase exclusivamente, o problema de três corpos. A maquinaria de cálculo usada nesses trabalhos superou qualquer teoria matemática anterior destinada ao estudo de fenômenos naturais. A astronomia física – ou, como Laplace a chamou, a ‘mecânica celeste’ – foi, nas primeiras décadas do século 19, a indiscutível rainha das ciências. Os estudos de Laplace, nessa época, tornaram possível determinar a posição da Lua e da maior parte dos planetas com uma precisão de uns poucos segundos de arco.

O desenvolvimento da mecânica celeste só começou em meados do século 18, mas antes disso já havia motivo para o seu início. Para saber a posição exata de um navio, em viagens longe da terra firme, era preciso determinar a longitude no mar. Essa necessidade levou o Parlamento Britânico a oferecer, em 1714, um prêmio a quem criasse um método confiável para isso: 20 mil libras, se a longitude fosse obtida com precisão de meio grau, e metade, se a precisão fosse de 1 grau.

Essa determinação baseava-se na comparação entre a hora local, no navio, e o ‘tempo universal’: cada hora de diferença entre ambos corresponde a 15 graus de longitude. Saber a hora local (média) não oferecia grandes problemas, pois era possível

determiná-la a partir do nascimento e do pôr-do-sol, e essa hora podia ser conservada por todo um dia com os relógios da época. O difícil era saber a hora universal, dada pelo movimento de um astro conhecido com precisão ou por um dispositivo independente da posição do navio.

No século 18, três candidatas a fornecer o tempo universal eram os satélites de Júpiter, o cronômetro (então denominado cronógrafo) e a Lua. Tabelas com as ocultações das luas de Júpiter pelo disco do planeta já existiam, mas era difícil observar essas luas em alto mar. Cronógrafos marinhos começaram a ser usados naquele século, e os mais famosos foram os construídos pelo inglês John Harrison (1693-1776) entre 1729 e 1759, que funcionam até hoje. Um desses relógios de precisão (batizado de H4) foi usado em uma viagem Inglaterra-Jamaica-Inglaterra, que durou cinco meses, acumulando

um erro de menos de dois minutos no tempo, e portanto menos de meio grau na longitude.

Harrison ganhou o prêmio, mas com alguma dificuldade, por não pertencer à comunidade científica. O preço dessas jóias técnicas, porém, era proibitivo para a maioria dos navegantes, o que estimulou a busca de outra solução.

O PROBLEMA SOL-TERRA-LUA

A possibilidade de usar a Lua para determinar a longitude começou a ser considerada a partir das teorias de Newton. No entanto, como a Lua percorre sua órbita em um tempo 27 vezes maior que o gasto pela Terra para girar em torno do próprio eixo, um erro de um minuto de arco na longitude celeste lunar implica uma falha de 27 minutos de arco na longitude terrestre. Assim, para obter esta última com precisão de um grau (como no segundo prêmio), a longitude da Lua deve ser medida com erro máximo de dois minutos de arco, o que é dificultado ainda por fatores como a refração atmosférica e a paralaxe (o desvio da posição aparente de um astro em função do movimento do observador).

Até a primeira metade do século 18 não existia um conjunto de equações que descrevesse o movimento da Lua (figura 7) com precisão suficiente, porque ainda não eram conhecidas as técnicas matemáticas necessárias. Em astronomia, tal conjunto é denominado uma teoria de um astro. Newton acreditava que obteria uma teoria da Lua com precisão de dois minutos de arco, adicionando termos obtidos de suas leis da gravitação universal e de

observações à teoria anterior do astrônomo inglês Jeremiah Horrocks (1619-1641). Seus resultados foram satisfatórios: o erro médio de sua teoria era de quatro minutos.

Outro astrônomo inglês, Edmond Halley (1656-1742), propôs comparar a teoria com as observações ao longo de um ciclo de Saros (intervalo de 18 anos solares, com 223 lunações, após o qual os eclipses do Sol e da Lua repetem-se na mesma seqüência), esperando confirmar a teoria com as observações diretas em seu mandato de astrônomo real (1720-1738). Mas quando os resultados foram publicados, em 1749, já estavam superados por trabalhos de Euler e do astrônomo alemão Johann T. Mayer (1723-1762), baseados apenas na teoria da gravitação.

Os métodos para o cálculo infinitesimal introduzidos pelo matemático alemão Gottfried Leibniz (1646-1716) ajudaram Euler, Clairaut, d'Alembert, Lagrange e Laplace a desenvolver, depois, a teoria analítica das perturbações gravitacionais, que depende da integração de funções trigonométricas. Os avanços no cálculo dessas funções foi muito mais lento que no de outras, como as logarítmicas e as exponenciais, embora as tábuas trigonométricas já fossem amplamente usadas desde os tempos do astrônomo e geógrafo egípcio Claudius Ptolomeu (c. 90-150).

Euler foi o primeiro a usar sistematicamente as regras do cálculo infinitesimal de Leibniz, após 1740, para tentar deduzir as 'desigualdades' lunares (os desvios do modelo tido como correto). Um desses desvios – a desigualdade de eveção – foi descoberto por Ptolomeu, por observação direta: ele notou que a órbita da Lua não é circular e que o raio dessa órbita varia de mês para mês, afastando-se da Terra de forma não uniforme. Em 1736, em sua *Mechanica*, Euler já havia aplicado esses métodos a muitos problemas tratados antes por Newton, mas ainda não havia considerado o problema de três corpos.

Em torno de 1744, Euler já tinha elaborado tabelas lunares que incorporavam as desigualdades causadas pela atração do Sol no movimento da Lua, usando como primeira aproximação as leis sobre o movimento dos planetas do astrônomo alemão Johannes Kepler (1571-1630). Ele publicou as tabelas em livro, em 1746, mas não forneceu qualquer explicação sobre os cálculos, comentando apenas, no prefácio, que incluí-los exigiria muito espaço.

A primeira utilização do chamado problema restrito dos três corpos como uma aproximação para a teoria de um astro apareceu em duas memórias de Euler, de 1762 e 1763. O tratamento restrito simplifica o problema geral dos três corpos, supondo dois deles muito mais massivos que o terceiro (este, portanto, não exerce perturbação sobre os outros). Nesse caso, os dois maiores movem-se segundo as leis do movimento planetário de Kepler. Como é bem conhecido, dois corpos movendo-se sob a atração gravitacional mútua têm elipses como trajetórias fechadas e hipérbolas ou parábolas como trajetórias de escape.

O movimento da Lua, quando a Terra gira em torno do Sol (para facilitar os cálculos, é tomada uma órbita 'aproximadamente' circular, e não uma elipse), é o problema restrito de três corpos em questão. Euler encontrou três soluções para o problema, ou seja, posições nas quais o corpo sem massa (a Lua) permaneceria alinhado com a Terra e o Sol (ou oscilaria em torno dessas posições). Às vezes, essa descoberta é atribuída a Lagrange, que só publicou sua solução (a triangular) em 1772, sem referências ao trabalho de Euler, que ele certamente conhecia. As posições colineares ocupadas pelo terceiro corpo, conhecidas como pontos de libração, são representadas com os símbolos L1, L2 e L3. O 'L', por ironia, é uma homenagem a Lagrange, que aparentemente não acreditava na unicidade da



Figura 7. A aplicação do problema restrito dos três corpos ao sistema Terra-Sol-Lua permitiu a elaboração de tabelas mais precisas do movimento da Lua

Figura 8.
Missões espaciais (já realizadas e futuras) aos pontos de libração

MISSÃO	PONTO	DATA	OBJETIVO DA MISSÃO
Isee-3 (Nasa)	L1	1978	Vento solar, raios cósmicos
Soho (Esa-Nasa)	L1	1996	Observatório solar
Ace (Nasa)	L1	1997	Vento solar, partículas
Map (Nasa)	L2	2001	Radiação cósmica de fundo
Gênesis (Nasa)	L1 e L2	2001	Composição do vento solar
Triana (Nasa)	L1	2002	Observação da Terra
Nexus (Nasa)	L2	2004	Teste tecnológico para o NGST
First (Esa)	L2	2007	Telescópio de infravermelho
Plank (Esa)	L2	2007	Radiação cósmica de fundo
NSGT (Nasa)	L2	2009	Telescópio espacial
Gaia (Esa)	L2	2009	Estrutura galáctica e astrometria
Constellation-X (Nasa)	L2	2011	Astronomia de raios X
TPF (Nasa)	L2	2012	Busca de sistemas planetários
Safir (Nasa)	L2	2014	Observatório de infravermelho

Obs.: Isee (International Sun-Earth Explorer), Soho (Solar Heliosphere Observatory), Ace (Advanced Composition Explorer), Map (Microwave Anisotropy Probe), First (Far Infrared Submillimeter Telescope), NGST (Next Generation Space Telescope), Gaia (Global Astrometric Interferometer for Astrophysics), TPF (Terrestrial Planet Finder), Safir (Single-Aperture Far InfraRed Observatory).

solução de Euler. Mais tarde, o norte-americano George Hill (1838-1914) incluiu parte da perturbação do Sol, aperfeiçoando a teoria, que viria a ser completada pelo inglês Ernest Brown (1866-1938). Conhecida como teoria de Hill-Brown, ela levou a tabelas mais corretas para o movimento da Lua, utilizadas até bem pouco tempo atrás.

É importante notar que, no contexto do problema geral dos três corpos, o descobrimento de L1 aparece pela primeira vez no *Essai sur le problème des trois corps*, com o qual Lagrange ganhou o concurso que a Academia de Paris realizou, em 1772, para aperfeiçoar os métodos que embasavam a teoria do movimento da Lua. Talvez por isso se atribua todo o mérito a Lagrange, embora o prêmio tenha sido compartilhado com Euler, que apresentou um trabalho no qual melhorava seus cálculos anteriores do movimento da Lua.

Em seu ensaio, Lagrange abordou diversas ques-

tões sobre os movimentos dos corpos e conseguiu reduzir a complexidade dos cálculos nesse campo, além de mostrar como suas teorias podiam ser aplicadas ao movimento da Lua. Ele encontrou dois tipos de soluções do problema de três corpos: no primeiro caso, os três corpos ficam alinhados (solução colinear), e, no segundo, as distâncias entre os corpos são iguais e eles formam um triângulo equilátero (solução triangular). Em ambos os casos, os movimentos restringem-se a um plano.

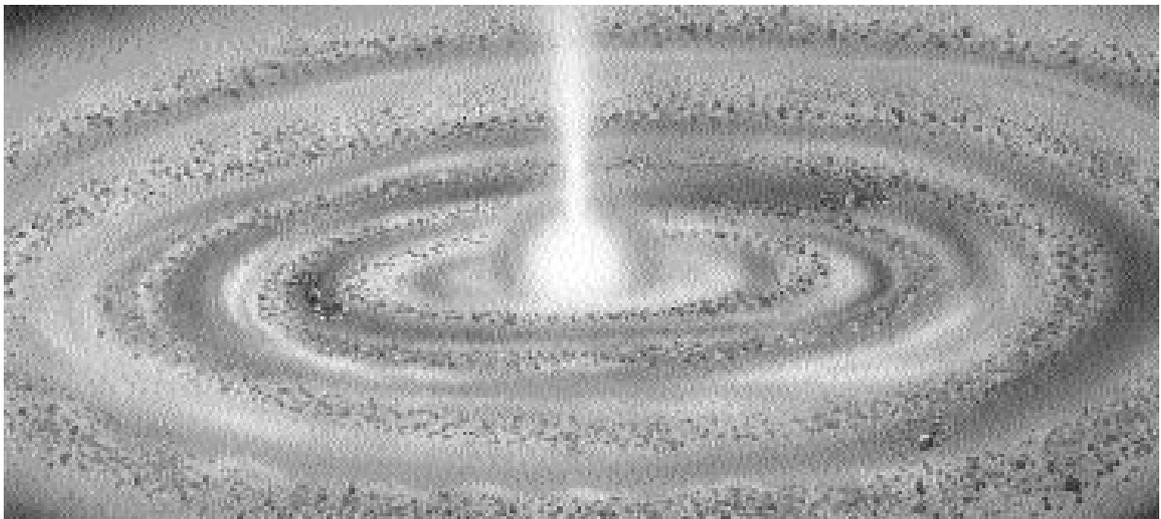
Lagrange acreditava que nenhuma dessas soluções era viável no chamado ‘sistema do mundo’, mas no século 20 elas foram observadas. A solução triangular ocorre com os asteróides troianos.

Esses asteróides giram em torno do Sol, em dois grupos, com o mesmo período que Júpiter, e cada grupo forma um triângulo equilátero com o próprio Sol e o planeta. A solução colinear, porém, só foi confirmada quando o satélite Isee-3 foi enviado, em 1978, ao ponto L1. Hoje, a lista de missões aos pontos de Lagrange é extensa (figura 8).

OBSERVATÓRIOS NO PONTO L2

Se o ponto L1 é bom para observatórios solares, o ponto L2, situado quase à mesma distância da Terra que L1, mas na direção oposta, é excelente para a maioria dos demais observatórios astronômicos espaciais. Como o Sol e a Terra estão sempre alinhados em relação a esse ponto, a Terra oculta o Sol, permitindo que um satélite ali colocado tenha como campo de observação quase a totalidade da esfera celeste. Por isso, muitas futuras missões – como o Telescópio

Figura 9.
A teoria da nebulosa propõe que os planetas se formam pela agregação de matéria em nuvens de poeira e gás em rotação



EXTRAÍDO DO LIVRO ESPAÇO & PLANETAS/ABRIL LIVROS

Espacial da Próxima Geração (NGST) ou o grupo de satélites Localizador de Planetas do tipo Terrestre (TPF), que vai estudar outros sistemas planetários – têm como destino a vizinhança de L2.

Pelo caráter inovador, a missão TPF, que visa ampliar o conhecimento sobre a formação de estrelas e de planetas, merece alguns comentários. A hipótese da nebulosa, proposta pelo filósofo alemão Immanuel Kant (1724-1804) e por Laplace, diz que os planetas surgiram a partir da agregação de matéria em uma nuvem de poeira e gás em rotação. Tal hipótese foi reforçada pela obser-

vação de enormes discos protaestelares (figura 9) e pela descoberta recente, em estrelas distantes, de planetas com propriedades orbitais muito diversas, sugerindo que os sistemas planetários seriam de início muito dinâmicos e que os planetas poderiam migrar de suas posições originais. Entretanto, sabe-se pouco sobre as regiões internas desses discos, onde se acredita que os planetas se formam.

Outro grande objetivo é detectar, em planetas extra-solares, a presença de ozônio, oxigênio e metano, indícios de vida primitiva – sua presença simultânea é difícil de justificar apenas por processos físicos. A realização desses estudos, no entanto, requer grandes avanços na tecnologia de observação de objetos muito tênues e distantes. A qualidade de um telescópio (chamada de resolução angular) é dada por sua capacidade de observar objetos e detalhes pequenos. Em tese, quanto maior o diâmetro do espelho de um telescópio, menores os objetos que ele pode distinguir e maior sua resolução angular.

A interferometria, que combina a luz de dois ou mais telescópios separados entre si e apontados para um mesmo objeto, permite conseguir boas resoluções angulares sem necessidade de aumentar o diâmetro dos espelhos. A resolução da imagem combinada é igual à que seria obtida por um telescópio de reflexão tão grande quanto a distância entre os dois ou mais telescópios do interferômetro.

Já existem interferômetros que permitem resolução 100 vezes maior que a do Telescópio Espacial Hubble (com espelho de 4 m), mas como os objetos situados a grandes distâncias são muito tênues, a técnica só é viável no espaço, além da turbulenta e opaca atmosfera terrestre. Essa resolução permitiria detectar estrelas muito próximas entre si ou estrelas binárias, indistinguíveis umas das outras por outras técnicas, localizar planetas em órbita de outras estrelas ou ainda medir com precisão distâncias em escala cósmica.

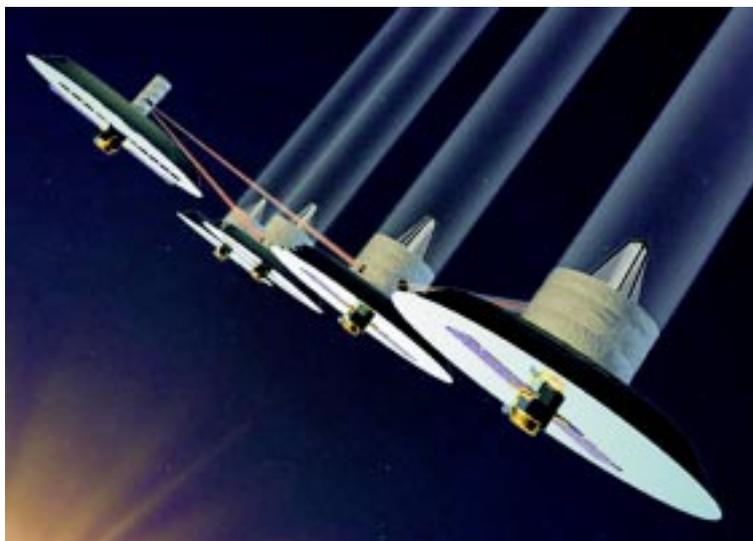


Figura 10. Esquema do conjunto de telescópios Terrestrial Planet Finder, a ser lançado em 2011, para investigar estrelas distantes em busca de planetas semelhantes à Terra

A missão TPF pretende formar – com cinco satélites dispostos de maneira precisa (figura 10) – um interferômetro capaz de obter imagens de planetas do tamanho da Terra e analisar os espectros de suas atmosferas para buscar traços de atividade biológica. A combinação das imagens que cada um deles produzir garantirá a clareza e a ampliação necessárias. No entanto, isso exigirá que as distâncias entre os telescópios e os caminhos ópticos que a luz percorre até o ponto de interferência (onde se combinam as imagens) sejam medidos e controlados com uma precisão de fração do comprimento de onda da radiação observada.

A interferometria foi aplicada de início às ondas de rádio vindas do espaço, com comprimento entre 1 mm e cerca de 10 km. Se ondas de 1 mm já exigem alto grau de precisão tecnológica, imagine-se a dificuldade na interferometria óptica, que lida com comprimentos de onda, da luz violeta à vermelha, entre 400 e 700 nanômetros – um nm equivale a um bilionésimo do metro. A interferometria na faixa das ondas de rádio é usada há muito tempo, mas a interferometria óptica é ainda um desafio mesmo para telescópios estacionados na Terra.

A missão TPF, prevista para 2011, ainda depende da solução de problemas na questão do vôo em formação: os satélites com os telescópios, distantes uns dos outros de 40 m a 600 m, não podem sofrer variações maiores que 1 cm nessas distâncias, ou maiores que 3 minutos de arco na orientação. Também é importante que o grupo de satélites possa girar em conjunto sobre um plano perpendicular à direção da observação, a uma velocidade controlada, o que facilita a detecção de planetas. Finalmente, seria desejável que se pudesse mudar, a um custo de combustível razoável e em tempo relativamente curto, o posicionamento de todo o grupo, para mudar o objeto de observação. ■

Sugestões para leitura

KIMMERLING, B. & MIGDAL, J. S. *Palestinians: the making of a people*, Cambridge, Harvard University Press, 1995.

MORRIS, B. *Righteous victims: a history of the Zionist-Arab conflict, 1881-1999*, Nova York, Knopf, 2001.

PELEG, I. (ed.). *The Middle East peace process: interdisciplinary perspectives*, Nova York, Suny, 1998.

SILBERSTEIN, L. J. *The postzionism debates: knowledge and power in Israeli culture*, Nova York-Londres, Routledge, 1999.