



FABIO CHALUB
Universidade
Nova de Lisboa
chalub@fct.unl.pt

OS PONTOS DE LAGRANGE E O TELESCÓPIO JAMES WEBB

Estão a começar a chegar as primeiras fotos do telescópio espacial James Webb. Quando o leitor estiver a saborear as páginas deste número da *Gazeta*, provavelmente o equipamento já estará 100% operacional. Por ora, tudo o que temos são as fotos do processo de calibragem e alinhamento que mostram – e muito bem – as potencialidades deste novo observatório.

O telescópio espacial James Webb foi desenvolvido durante mais de 20 anos, numa operação liderada pela agência espacial norte-americana (NASA), com grande colaboração da sua congénere europeia (ESA). Por um custo superior a 500 milhões de dólares, após muitos contratemplos, foi finalmente lançado no espaço em dezembro de 2021, em direção ao seu destino final, o ponto L_2 do sistema Sol-Terra. Após a finalização de todo o lento e trabalhoso processo de calibração, substituirá, para todos os efeitos práticos, o telescópio Hubble. Mais detalhes podem ser encontrados em [1]. Para admirar a incrível qualidade das imagens deste novo observatório espacial, veja a figura 1. Mas o que é o ponto L_2 do sistema Sol-Terra?

Em 1772, J. L. Lagrange escreveu o trabalho *Essai sur le Problème des Trois Corps*, onde estuda quais as configurações gravitacionais de três corpos que são mantidas constantes pela dinâmica [3]. A pergunta a que queria responder é: supondo que três corpos celestes interagem apenas através da gravidade, será possível que as suas posições relativas sejam invariantes no tempo?

O problema ainda não está resolvido em toda a sua generalidade. No entanto, o físico-matemático franco-italiano percebeu que algumas soluções parciais poderiam ser obtidas.

Mais exatamente, considerou dois objetos massivos a orbitar um ao redor do outro em órbita circular, e um terceiro, chamado *massa de prova*, a se movimentar atraído pela gravidade dos dois primeiros. A expressão *massa de prova* significa que a sua massa é muito pequena para alterar os movimentos dos dois grandes corpos. Para simplificar a notação, vamos pensar no Sol, na Terra (com massa muito menor do que a do Sol) e num asteroide (com massa muito menor do que a da Terra).

Lagrange encontrou cinco posições de equilíbrio, dentre as quais três já eram conhecidas (devido ao trabalho de Euler) e duas eram novas configurações. Apenas estas últimas duas podem formar configurações estáveis (ou seja, que não se desfazem de forma quase espontânea).

Não iremos fazer aqui as contas (podem consultar [2]), mas apenas indicar os principais conceitos. Inicialmente, temos de calcular a órbita do planeta ao redor do Sol. Vamos supor que esta seja uma circunferência. Desta forma, as possíveis posições da massa do asteroide que mantém uma configuração de equilíbrio terão de estar no mesmo plano da órbita.

As três primeiras posições de equilíbrio localizam-se na linha que liga o Sol à Terra, sendo a primeira entre os dois corpos (ponto L_1), a segunda atrás da Terra (ponto L_2 , onde está agora o telescópio James Webb) e um terceiro

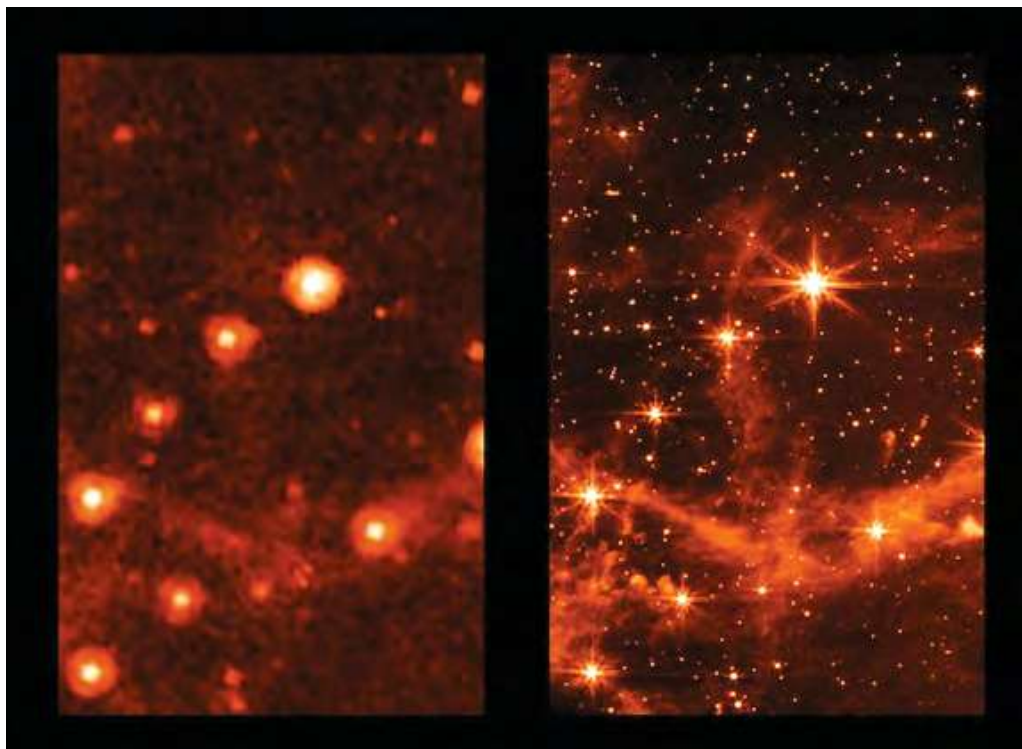


Figura 1. Uma das primeiras fotos do telescópio James Webb, ainda em processo de calibração. À esquerda, a melhor foto até agora da mesma localização, parte da Nuvem de Magalhães (NASA/JPL-Caltech). À direita, foto da mesma região, feita pelo telescópio James Webb (NASA/ESA/CSA/STScI).

ponto atrás do Sol (ponto L_3). É importante notar que um objeto em cada uma destas posições não está parado, mas, na verdade, gira em torno do Sol com o mesmo período da Terra, mantendo a sua posição relativa em relação à linha que une o Sol ao nosso planeta.

Dois outros pontos estão fora deste eixo. São os pontos L_4 e L_5 . Cada um deles se localiza na órbita da Terra, avançado (no primeiro caso) ou atrasado (no segundo) de um ângulo de 60 graus em relação à Terra. Estes pontos também são conhecidos como *pontos troianos*.

Lagrange teve de esperar mais de 100 anos (obviamente uma força de expressão...), até 1907, quando foi descoberto o primeiro objeto a orbitar em sincronia com Júpiter no seu ponto L_4 (ou seja, no ponto L_4 do sistema Sol-Júpiter). Mais de 100 anos se passaram até que o primeiro destes objetos fosse encontrado no ponto L_4 do sistema Sol-Terra. Em 2020, o segundo foi encontrado [4].

Atualmente, mais de 10 000 pequenos objetos já foram catalogados a orbitar o Sol em sincronia com o maior planeta do nosso sistema. Isto indica que estes asteroides não escapam com facilidade da gravidade conjunta do Sol e de Júpiter, mostrando a estabilidade desta

configuração. O que será sempre verdade, desde que a massa do Sol seja, pelo menos, cerca de $\frac{\sqrt{27}+\sqrt{23}}{\sqrt{27}-\sqrt{23}} \approx 25$ vezes maior do que a do planeta de referência.

Como dito no início, um objeto colocado no ponto L_1 , L_2 ou L_3 estará em equilíbrio com o sistema Sol-planeta, mas este equilíbrio é *instável*: a pequena massa acabará por rapidamente se distanciar. Por que, então, colocar o James Webb no L_2 ? Em primeiro lugar, porque os pontos L_4 e L_5 são muito distantes da Terra, dificultando a comunicação entre o telescópio e as bases operacionais na Terra. Ademais, o ponto L_2 está na sombra da Terra, garantindo que a interferência do Sol nas imagens astronômicas será minimizada. O ponto negativo, evidentemente, é que a sua órbita tem de ser constantemente corrigida (o telescópio não fica parado neste ponto, mas orbita circularmente o ponto L_2).

Mas os outros pontos também têm o seu interesse, na ciência ou na ficção científica...

O ponto L_1 tem sido usado para missões de observação solar. A missão *Solar and Heliospheric Observatory* (SOHO), da ESA, instalou um telescópio para constante observa-

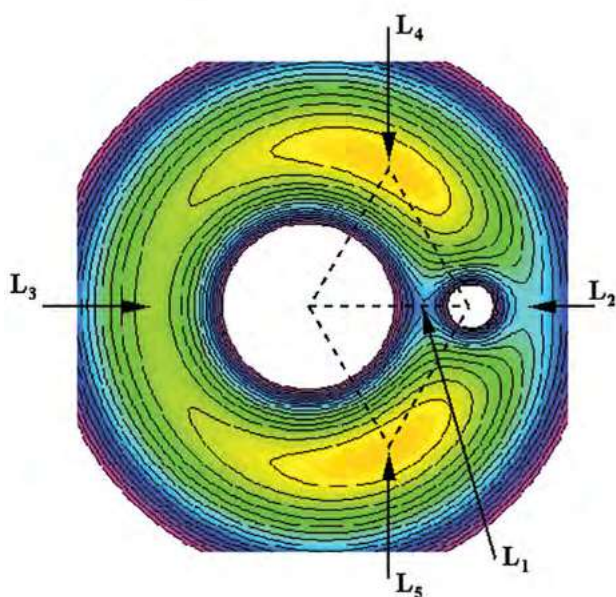


Figura 2. Potencial gravitacional de um sistema dado por um planeta a orbitar ao redor do Sol, com linhas equipotenciais. O Sol está no centro da figura, enquanto o planeta é representado pelo círculo branco à direita. Gráfico fora de escala. **Domínio público**, <https://commons.wikimedia.org/wl/index.php?curid=38174>.

ção da coroa solar exatamente neste ponto. Também serve para observar o nosso planeta de um ponto fixo, como pode ser observado no vídeo disponível em <https://youtu.be/CFrP6QfbC2g>. Esta colagem sequencial de milhares de fotos feitas pelo satélite DSCOVR mostra a Terra durante um ano, com as mudanças sazonais vistas claramente.

Em oposição ao Sol, está o ponto L_3 , eternamente escondido de nós. Assim, não há muito interesse em enviar uma missão até lá, pois quaisquer que fossem os seus achados, seria difícil enviar informação de volta. No entanto, é um ponto cheio de mistério, pois, quem sabe?, não há por lá um planeta cheio de vida, eternamente fora do nosso alcance? (Pouco provável, este ponto é instável, lembrem-se? Além disto, não poderia ter muita massa, já que seria detetado pelos seus efeitos gravitacionais. Estes factos nunca detiveram a ficção científica.)

Também o sistema Terra-Lua tem os seus pontos de Lagrange. A questão da estabilidade é, no entanto, muito mais crítica, pois a influência da gravidade do Sol não pode ser negligenciada, como fizemos na análise anterior. De facto, há planos para a colocação de satélites de comunicação nestes pontos, que facilitarão

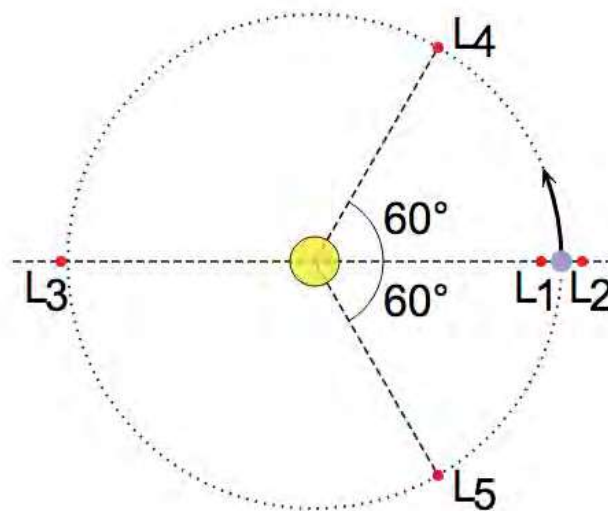


Figura 3. Localização dos pontos de Lagrange, em escala, para o sistema Sol-Terra. Veja que os pontos estáveis L_4 e L_5 são substancialmente mais distantes da Terra do que os pontos instáveis L_1 e L_2 . Disponível em By EnEdC - Own work using: Inkscape, **Public Domain**, <https://commons.wikimedia.org/wl/index.php?curid=1639194>.

uma futura instalação de bases lunares permanentes. Os chineses chegaram primeiro ao L_4 , e já há lá um satélite em fase de testes, capaz de, futuramente, ser um potente ponto para transmissão de informações entre uma base terrestre e outra no nosso único satélite natural.

REFERÊNCIAS

- [1] <https://blogs.nasa.gov/webb/2022/05/09/miris-sharper-view-hints-at-new-possibilities-for-science> em 10 de maio de 2022.
- [2] K. R. Symon. *Mechanics*. Addison-Wesley; 3rd edition (1971).
- [3] J. L. Lagrange, *Essai sur le Problème des Trois Corps*, Oeuvres de Lagrange, Vol. 6, 1772, pp. 229-332.
- [4] Santana-Ros, T., Micheli, M., Faggioli, L. et al. *Orbital Stability Analysis and Photometric Characterization of the Second Earth Trojan asteroid 2020 XL5*. Nat Commun 13, 447 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41467-022-27988-4>