



As galáxias estão agrupadas em aglomerados que contêm centenas, às vezes milhares de galáxias, a distâncias de milhões de a.l. (foto do ESO).

8

A galáxia Andrômeda, visível a olho nu do hemisfério norte como uma mancha difusa, fica a uma distância de dois milhões de anos luz.



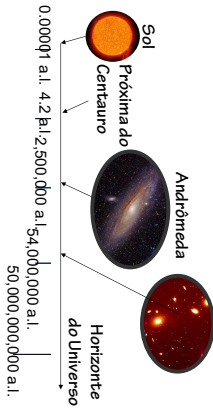
Nossa Galáxia, visível em uma noite clara como um caminho leitoso no céu, tem 103.000 a.l. de comprimento. Nosso Sol está a cerca de 27.000 a.l. do centro galáctico (foto do ESO).

**Nebulosas e galáxias**

Em 1900, a existência de galáxias além da nossa, a "Via Láctea", ainda não era conhecida. Manchas de luz "nebulosas" eram observadas e consideradas objetos dentro de nossa galáxia.

Esta suposição foi contestada por Heber D. Curtis em 1920, no "grande debate" entre ele e Harlow Shapley. Mas a questão se essas "nebulosas" pertenciam à nossa Galáxia permaneceu em aberto até ser possível determinar suas distâncias, graças ao método das Cefeidas, e mais tarde por meio de desvios de linhas espectrais (ver Tuirmp 2) através de prismas ou redes de difração.

9



A distância à Lua, o início de nossa viagem às fronteiras do Universo, é hoje melhor conhecida graças aos lasers: pulsos de luz enviados da Terra são refletidos por espelhos colocados na Lua durante as missões Apollo. Assim, obtemos uma medida muito precisa da distância ao nosso satélite e, portanto, das distâncias aos outros planetas do Sistema Solar.

Além disso, usa-se uma sucessão de métodos: Primeiro paralaxes, depois Cefeidas. Mais longe, onde já não se veem as Cefeidas, são utilizados objetos mais luminosos, como supernovas de tipo I. Esta sucessão de métodos é a "escada de distância" cosmológica, com cada degrau da escada baseado nos degraus anteriores.

**Aglomerado de Virgem**

**Medidas geométricas**

Observando a mesma estrela de dois lugares diferentes, obtemos um triângulo cuja base e dois ângulos são conhecidos, o que nos permite saber a distância até a estrela.

"Paralaxe" é o ângulo do vértice do triângulo cuja base é o raio da órbita da Terra. A estrela mais próxima, Próxima do Centauro, está a 4,2 a.l. de distância, o que implica uma paralaxe de apenas 0,74 segundos de arco ("). Em 1838, Friedrich Bessel fez a primeira medição da paralaxe: 0,3" para a estrela 61 da Ciena. Pouco depois, foi medida a paralaxe de 0,12" de Vega e também a de α Centauri. Outras se sucederam, mas os astrometros estavam limitados pela sensibilidade dos telescópios.

Os satélites europeus Hipparcos, na década de 1990, e Gaia, hoje, mediram milhões de paralaxes.

5

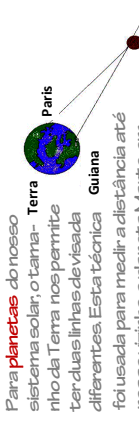
**O Universo**

As galáxias fogem mais rápido quanto mais longe estiverem. Ao generalizar esta relação, bem estabelecida e aceita pela comunidade científica após 1929, o redshift torna-se uma medida de distância para mais distantes, no qual não se pode mais observar as Variáveis ou o mesmo super-novas.

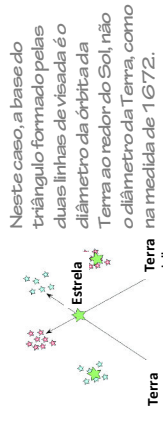
Na verdade, os astrônomos não utilizam o ano-luz como unidade para expressar as distâncias das galáxias ou quasaras mais distantes, mas simplesmente o redshift (desvio para o vermelho). Este redshift é denotado pela letra z, e o seu valor corresponde à mudança fracional do comprimento de onda no espectro observado.

O redshift da maioria das galáxias do aglomerado de Virgem situa-se entre 0,5 e 1, enquanto o redshift da galáxia mais distante conhecida até agora é 1,109.

13



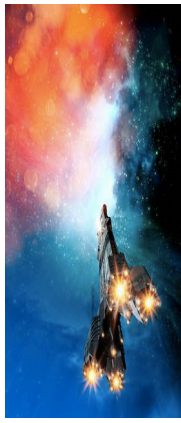
Para planetas do nosso sistema solar, o tamanho da Terra nos permite ter duas linhas de visada diferentes. Esta técnica foi usada para medir a distância até o nosso vizinho, o planeta Marte, em 1672. O ângulo entre as linhas de Visada de Paris e da Guiana Francesa permitiu-nos medir a distância a Marte, e assim obter a distância até o Sol. Como já sabemos as proporções das distâncias do Sol a Marte e do Sol à Terra, conhecer a distância Terra-Marte nos permitiu calcular a distância Terra-Sol. Uma estrela próxima é projetada sobre um fundo de estrelas distantes, supondo-se que esteja no infinito. Então, seis meses depois a estrela é vista sobre um fundo estelar diferente.



4

**Desafio**

Suponha que tenhamos uma nave espacial capaz de viajar a um décimo da velocidade da luz...

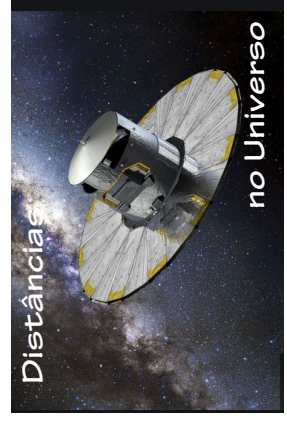


**Quanto tempo demoraríamos para chegar até:**

- O Sol?
- Próxima de Centauro?
- Vega?
- A galáxia Andrômeda?
- Galáxias do aglomerado de Virgem?

Respostas no verso

**O Universo no meu bolso**



Christiane Vilain  
Observatório de Paris

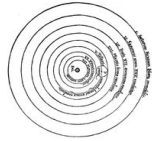
3

3

4

13

1



ao redor do Sol (veja a figura à esquerda), só conhecíamos as proporções das distâncias do Sol aos planetas Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno, e não as suas distâncias absolutas.

2

Tradução: Natalia Vale Asari  
TUMWP Creative Commons



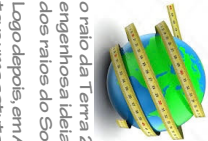
Para saber mais sobre essa série sobre os tópicos apresentados neste livro, por favor visite <https://www.tumwp.org>



As observações atuais permitem-nos medir distâncias cada vez maiores - até milhões de anos-luz de distância - graças aos grandes telescópios terrestres e aos telescópios espaciais em satélites.

5

Logo depois, em Alexandria, Arctarco de Samos teve uma estrutura idêia para medir a distância até a Lua. Ele mediu a duração de um eclipse da Lua pela Terra, isto lhe permitiu estimar que o diâmetro da Terra é três vezes o da Lua (na verdade, 3,7 vezes) e, portanto, deduzir o diâmetro da Lua, usando o tamanho de Eratóstenes para a Terra. Conhecendo o diâmetro da Lua e seu tamanho angular, ele pôde calcular sua distância.



Distâncias astronômicas não podem ser medidas com régua ou fita métrica. Precisamos de truques. O astrônomo grego Eratóstenes, o primeiro a estimar o raio da Terra 2 200 anos atrás, teve a engenhosa ideia de comparar a inclinação dos raios do Sol entre Assuá e Alexandria.

Quanto tempo demoraríamos para chegar até:

- O Sol: 80 minutos;
- Próxima de Centauro: 42 anos;
- Vega: 250 anos;
- A galáxia Andrômeda: 25 milhões de anos.
- Galáxias do aglomerado de Virgem: 540 milhões de anos.



## Respostas

A imagem na primeira página deste livrinho é uma representação artística do satélite Gaia, que mediu milhões de distâncias a estrelas e galáxias.

(Crédito: ESA)

O Universo no meu bolso No. 15

Este livrinho foi escrito em 2020 por Christiane Vilain e revisado por Grazyna Stasinska, ambas do Observatório de Paris, e Stan Kurtz, da UNAM (México). Infelizmente, Christiane faleceu enquanto este livrinho estava sendo processado.

## Distâncias no cosmos

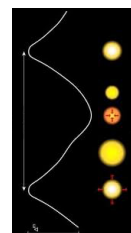
No início do século XX, a astrônoma americana Henrietta Leavitt (1868-1921) observou que certas estrelas têm um brilho variável com um período regular (ver figura abaixo). Ela primeiro observou essas estrelas na constelação Cefeú, por isso são chamadas de variáveis Cefeidas. Mais tarde, ela observou estrelas semelhantes em nossas galáxias vizinhas, as "nuvens de Magalhães". Seu período de variação de brilho dependia da luminosidade estelar, que podia ser calculada supondo que todas as estrelas estivessem à mesma distância que sua galáxia hospedeira.

Embora seu chefe, Edward Pickering, tenha tentado desencorajá-la, Henrietta persistiu e detectou quase duas mil Variáveis Cefeidas e pôde deduzir a proporcionalidade entre período e luminosidade. Ela morreu antes de saber o quão importante era sua descoberta.



A análise espectral da luz estelar revela linhas escuras devido à absorção de elementos químicos das camadas externas das estrelas (ver Tumwps 2 e 10). Em 1914, Vesto Slipher notou que linhas escuras nos espectros de galáxias estavam deslocadas para o vermelho. Este deslocamento foi interpretado como um "efeito Doppler": a frequência da onda de luz, e portanto sua cor, é modificada pela velocidade da fonte. Esse efeito é parecido com o que afeta o som de uma buzina, e mais agudo quando o veículo se aproxima e mais grave quando se afasta. A luz vermelha tem uma frequência menor; portanto, indica uma velocidade de recuo: as galáxias parecem estar "fugindo" de nós!

Em 1929, Edwin Hubble estimou distâncias a 46 galáxias usando as Cefeidas nelas contidas e mostrou que seus deslocamentos para o vermelho (ou redshifts) aumentavam com suas distâncias.



6



À esquerda, o telescópio Mount Wilson no qual Edwin Hubble fez suas observações. Em 1929, Hubble mostrou que a velocidade das galáxias aumenta com a distância em que estão de nós. Hubble não foi o primeiro a pensar em tal relação. O padre Georges Lemaitre, um astrônomo belga e cosmólogo, já havia sugerido que os desvios para o vermelho (ou redshifts) das galáxias eram proporcionais às suas distâncias. A "constante Hubble-Lemaître", que nos diz o quanto a velocidade da recessão das galáxias aumenta a cada Mpc de distância, foi inicialmente estimada em cerca de 500 km/s por Mpc (1 Mpc = um milhão de parsecs, com um parsec sendo 3,26 a.l.), mas, desde os anos 50, estimativas muito melhores dão um número entre 50 e 100 km/s por Mpc. Estima-se atualmente que seja de 73 km/s por Mpc, com uma incerteza de 2%.

Entretanto, os dados do satélite Planck, baseados em uma abundância cosmológica, dão um valor de  $67,4 \pm 0,5$  km/s por Mpc.

10

**Cefeidas**

A luz estelar nos chega enfraquecida por um fator igual ao quadrado da distância à estrela. Essa seria uma maneira de determinar sua distância se soubéssemos sua luminosidade. É por isso que a descoberta de Henrietta Leavitt foi tão importante. Estrelas variáveis do tipo que ela descobriu na constelação Cefeú e nas nuvens de Magalhães também são encontradas em outras galáxias. O período de sua variação indica sua luminosidade, e assim podemos inferir sua distância.

Tais estrelas podem ser detectadas hoje em dia a distâncias de até 80 milhões de anos luz usando o Telescópio Espacial Hubble, lançado em 1990.

7