

Planetas e exoplanetas

Rosa M. Ros, Hans Deeg

União Astronómica Internacional

Universidade Politécnica da Catalunha, Espanha

Instituto de Astrofísica das Canárias, Espanha



Objetivos

- Compreender o significado dos valores numéricos das tabelas de dados referentes aos planetas do Sistema Solar.
- Compreender as principais características dos sistemas planetários extrassolares.



Sistema Solar

Procuramos modelos que nos forneçam outras informações que não sejam apenas trabalhos manuais.



De acordo com o conteúdo

Procuramos modelos com conteúdo científico e que mostrem alguns aspectos específicos.



Atividade 1: Maquete para as distâncias ao Sol

Mercúrio	57 900 000 km		6 cm	0,4 ua
Vénus	108 300 000 km		11 cm	0,7 ua
Terra	149 700 000 km		15 cm	1,0 ua
Marte	228 100 000 km		23 cm	1,5 ua
Júpiter	778 700 000 km		78 cm	5,2 ua
Saturno	1 430 100 000 km		143 cm	9,6 ua
Urano	2 876 500 000 km		288 cm	19,2 ua
Neptuno	4 506 600 000 km		450 cm	30,1 ua



Atividade 2: Maquete para os diâmetros

Sol	1 392 000 km		139,0 cm
Mercúrio	4 878 km		0,5 cm
Vénus	12 180 km		1,2 cm
Terra	12 756 km		1,3 cm
Marte	6 760 km		0,7 cm
Júpiter	142 800 km		14,3 cm
Saturno	120 000 km		12,0 cm
Urano	50 000 km		5,0 cm
Neptuno	45 000 km		4,5 cm

Atividade 2: Maquete para os diâmetros



T-shirt com os diâmetros, à escala, dos planetas.



Atividade 3: Diâmetros e distâncias ao Sol

Sol	1 392 000 km			25,0 cm	
Mercúrio	4 878 km	57 900 000 km		0,1 cm	10 m
Vênus	12 180 km	108 300 000 km		0,2 cm	19 m
Terra	12 756 km	149 700 000 km		0,2 cm	27 m
Marte	6 760 km	228 100 000 km		0,1 cm	41 m
Júpiter	142 800 km	778 700 000 km		2,5 cm	140 m
Saturno	120 000 km	1 430 100 000 km		2,0 cm	250 m
Urano	50 000 km	2 876 500 000 km		1,0 cm	500 m
Neptuno	45 000 km	4 506 600 000 km		1,0 cm	800 m

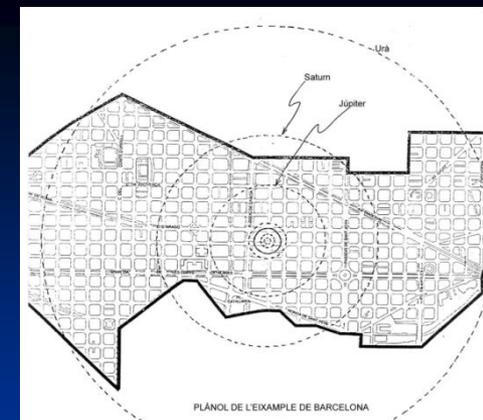
Normalmente, nas escolas não existe espaço suficiente para fazer a construção para além de Marte.



Atividade 3: Modelo para diâmetros e distâncias no quintal...



Atividade 4: Modelo na Cidade (Barcelona)



Sol	Máquina de lavar louça	<i>Puerta Instituto</i>
Mercúrio	ovo de caviar	<i>Puerta Hotel Diplomatic</i>
Vénus	ervilha	<i>Pasaje Méndez Vigo</i>
Terra	ervilha	<i>Entre Méndez Vigo y Bruc</i>
Marte	grão de pimenta	<i>Paseo de Gracia</i>
Júpiter	laranja	<i>Calle Balmes</i>
Saturno	tangerina	<i>Pasaje Valeri Serra</i>
Urano	noz	<i>Calle Entenza</i>
Neptuno	noz	<i>Estación de Sants</i>

Modelo na cidade de Metz (França)



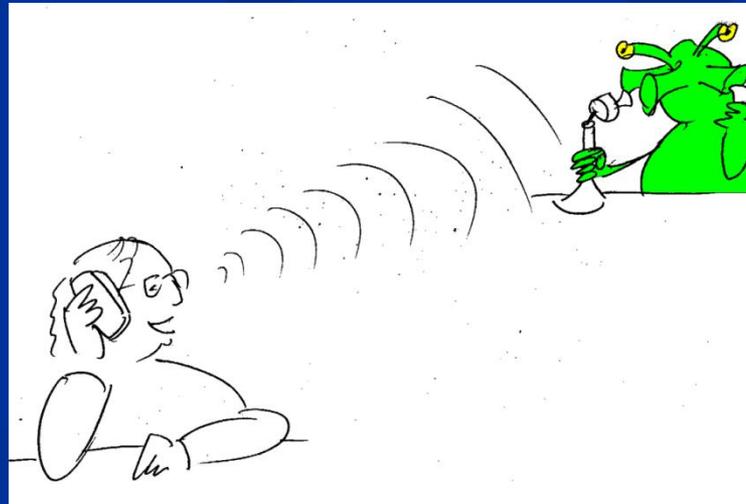
Atividade 5: Modelo para os tempos

- $c = 300\,000 \text{ km/s}$

O tempo que a luz demora da Lua à Terra é:

$$t = \frac{d_{\text{Terra-Lua}}}{c} = \frac{384\,000 \text{ km}}{300\,000 \text{ km s}^{-1}} = 1,3 \text{ s}$$

Como é que seria
uma conversa, entre
os planetas, por
“videoconferência”?

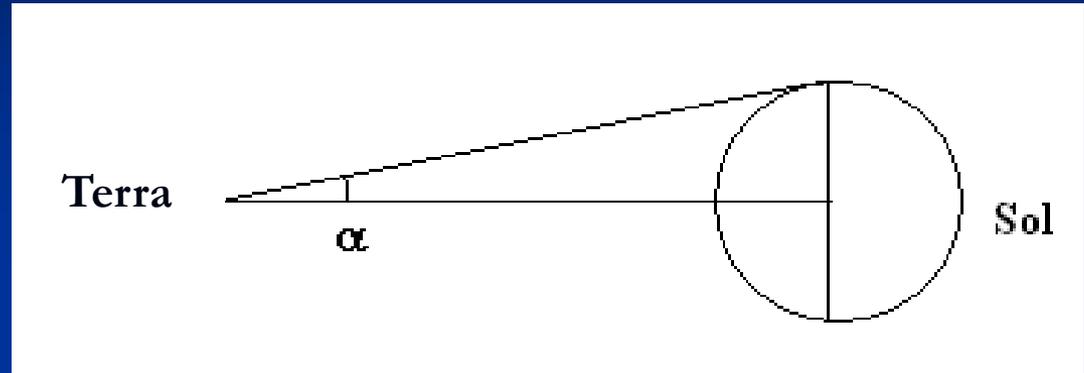


A luz solar demora a chegar...

Mercúrio	57 900 000 km		3,3 minutos
Vénus	108 300 000 km		6,0 minutos
Terra	149 700 000 km		8,3 minutos
Marte	228 100 000 km		12,7 minutos
Júpiter	778 700 000 km		43,2 minutos
Saturno	1 430 100 000 km		1,32 horas
Urano	2 876 500 000 km		2,66 horas
Neptuno	4 506 600 000 km		4,16 horas

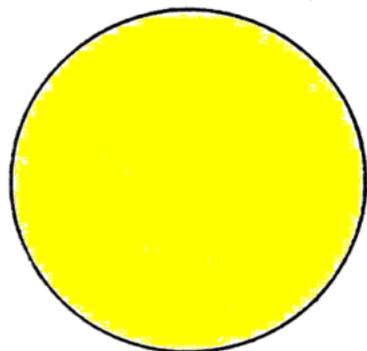


Atividade 6: O Sol visto a partir dos planetas

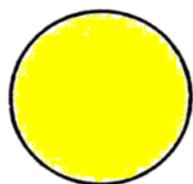


- $\alpha = \tan \alpha = \frac{r_{Sol}}{d_{Terra-Sol}} = \frac{700\ 000}{150\ 000\ 000} = 0,0045\ \text{rad}$
 $\alpha = 0,255^\circ$
- A partir da Terra, o Sol mede $2\alpha = 0,51^\circ$

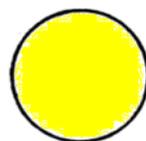
Atividade 6: O Sol visto a partir dos planetas



de Mercúrio



de Vénus



da Terra



de Marte



de Júpiter



de Saturno



de Urano



de Neptuno

Atividade 7: Densidades

Mercúrio	5,41 g/cm³		Pirite (5,2)
Vénus	5,25 g/cm³		Pirite (5,2)
Terra	5,52 g/cm³		Pirite (5,2)
Marte	3,90 g/cm³		Blenda (4,0)
Júpiter	1,33 g/cm³		Enxofre (1,1-2,2)
Saturno	0,71 g/cm³		Pinho (0,55)
Urano	1,30 g/cm³		Enxofre (1,1-2,2)
Neptuno	1,70 g/cm³		Argila (1,8-2,5)



Atividade 8: Modelo para o achatamento

- Corte tiras de cartolina de dimensões 35×1 cm.
- Fixe-as apenas na parte superior de uma vara de 50 cm de comprimento e 1 cm de diâmetro, enquanto que na parte inferior devem ser colocadas de forma a permitir o seu deslocamento ao longo da mesma.
- Gire a vara, situando-a entre as duas mãos e fazendo um rápido movimento de rotação num sentido e noutro. A força centrífuga que deforma as bandas de cartolina atua também nos planetas, deformando-os.



Atividade 8: Achatamento

Planetas	$(\text{raio equatorial} - \text{raio polar}) / \text{raio equatorial}$
Mercúrio	0,0
Vénus	0,0
Terra	0,003 4
Marte	0,005
Júpiter	0,064
Saturno	0,108
Urano	0,03
Neptuno	0,03



Atividade 9: Modelo dos períodos orbitais

- Ate um objeto pesado à ponta de um cordão e agarre na ponta oposta do cordão. Rode o cordão acima da sua cabeça.
- À medida que for soltando mais corda o objeto demora mais tempo a completar uma volta.
- Se remover corda demorará menos tempo.



Dados da órbita da Terra

Velocidade orbital média: $v = \frac{2\pi R}{T}$

Para a Terra

$$v = \frac{2\pi \times 150 \times 10^6 \text{ km}}{365 \text{ dias}}$$

$$v = 2\,582\,100 \text{ km/dia} = 107\,590 \text{ km/h} = 29,9 \text{ km/s}$$

(A velocidade orbital média do Sol em torno do centro da galáxia é 220 km/s ou 800 000 km/h.)



Dados das órbitas

Planeta	Período orbital (dias)	Distância ao Sol (km)	Velocidade orbital média (km/s)	Velocidade orbital média (km/h)
Mercúrio	87,97	$57,9 \times 10^6$	47,90	172 440
Vénus	224,70	$108,3 \times 10^6$	35,02	126 072
Terra	365,26	$149,7 \times 10^6$	29,78	107 208
Marte	686,97	$228,1 \times 10^6$	24,08	86 688
Júpiter	4 331,57	$778,7 \times 10^6$	13,07	47 052
Saturno	10 759,22	$1 430,1 \times 10^6$	9,69	34 884
Urano	30 799,10	$2 876,5 \times 10^6$	6,81	24 876
Neptuno	60 190,00	$4 506,6 \times 10^6$	5,43	19 558



Atividade 10: Modelo para gravidade à superfície

- Gravidade à superfície, $F = G \frac{M m}{d^2}$, com $m = 1$ e $d = R$.

Então $g = G \frac{M}{R^2}$, onde $M = \frac{4 \pi R^3 \rho}{3}$

- Substituindo, $g = \frac{4 \pi G R \rho}{3}$



Gravidade à superfície

Planeta	Raio equatorial	Densidade		Gravidade calculada	Gravidade à superfície real	
Mercúrio	2 439 km	5,4 g/cm ³		0,378	3,70 m/s ²	0,37
Vénus	6 052 km	5,3 g/cm ³		0,894	8,87 m/s ²	0,86
Terra	6 378 km	5,5 g/cm ³		1,000	9,80 m/s ²	1,00
Marte	3 397 km	3,9 g/cm ³		0,379	3,71 m/s ²	0,38
Júpiter	71 492 km	1,3 g/cm ³		2,540	23,12 m/s ²	2,36
Saturno	60 268 km	0,7 g/cm ³		1,070	8,96 m/s ²	0,91
Urano	25 559 km	1,2 g/cm ³		0,800	8,69 m/s ²	0,88
Neptuno	25 269 km	1,7 g/cm ³		1,200	11,00 m/s ²	1,12
Lua					1,62 m/s ²	0,16

Atividade 11: Modelo para “crateras de impacto”

- Cobrir o chão com jornais para não o sujar e depois poder recolher a farinha.
- Coloque, com uma peneira ou coador, uma camada de 1 ou 2 cm de farinha de modo que a superfície fique lisa.
- Coloque, com uma peneira ou coador, uma camada de alguns milímetros de cacau em pó sobre a farinha.
- De uma altura de cerca de 2 m, deixe cair uma colher de sopa de cacau em pó que, ao cair, deixará marcas semelhantes às crateras de impacto.
- A farinha usada pode ser reciclada para uma nova simulação.



Atividade 12: Velocidade de escape

- $E_c = \frac{1}{2} m v^2$

- $E_p = -\frac{G M_{planeta} m}{R_{planeta}}$

- $E_m = E_c + E_p = 0$

- $g_{planeta} = \frac{G M_{planeta}}{R_{planeta}^2}$

Então: $-\frac{G M_{planeta} m}{R_{planeta}} + \frac{1}{2} m v^2 = 0$

$$\frac{1}{2} m v^2 = g_{planeta} m R_{planeta}$$

a velocidade de escape: $v = \sqrt{2 g_{planeta} R_{planeta}}$

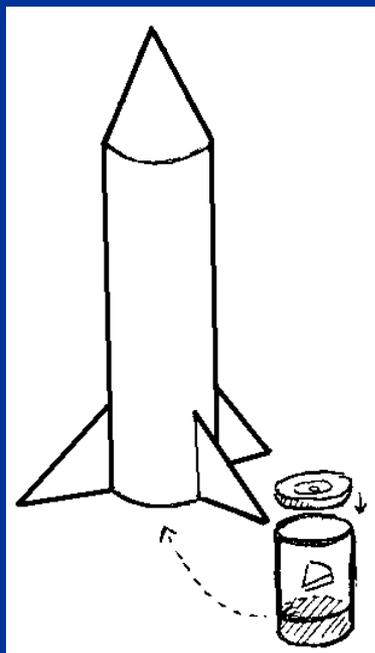


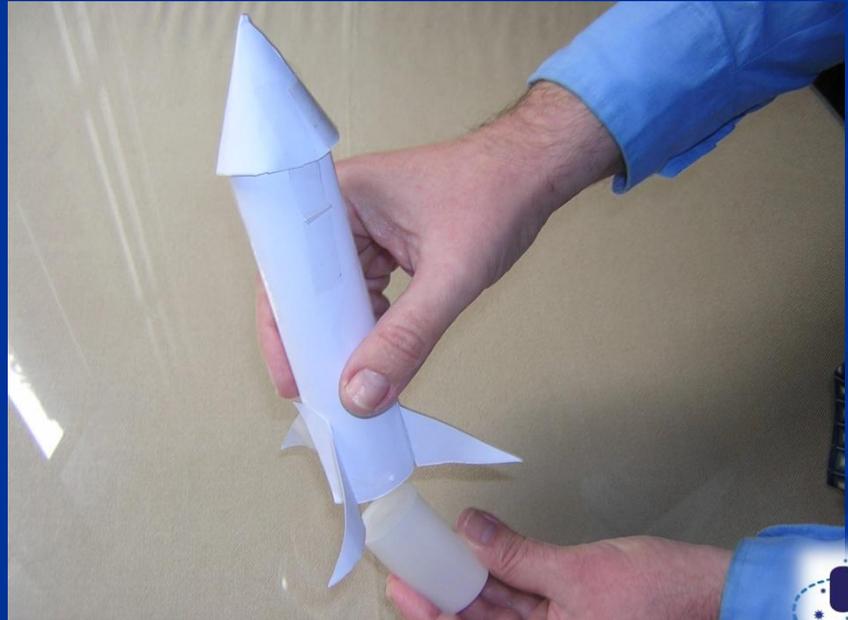
Atividade 12: Velocidade de escape

Planeta	Raio equatorial	Gravidade superficial		Velocidade de escape
Mercúrio	2 439 km	0,378		4,3 km/s
Vénus	6 052 km	0,894		10,3 km/s
Terra	6 378 km	1,000		11,2 km/s
Marte	3 397 km	0,379		5,0 km/s
Júpiter	71 492 km	2,540		59,5 km/s
Saturno	60 268 km	1,070		35,6 km/s
Urano	25 559 km	0,800		21,2 km/s
Neptuno	25 269 km	1,200		23,6 km/s

Atividade 12: Lançamento de foguetes

- Cartolina.
- Embalagem de rolo de fotografia.
- $\frac{1}{4}$ comprimido efervescente.

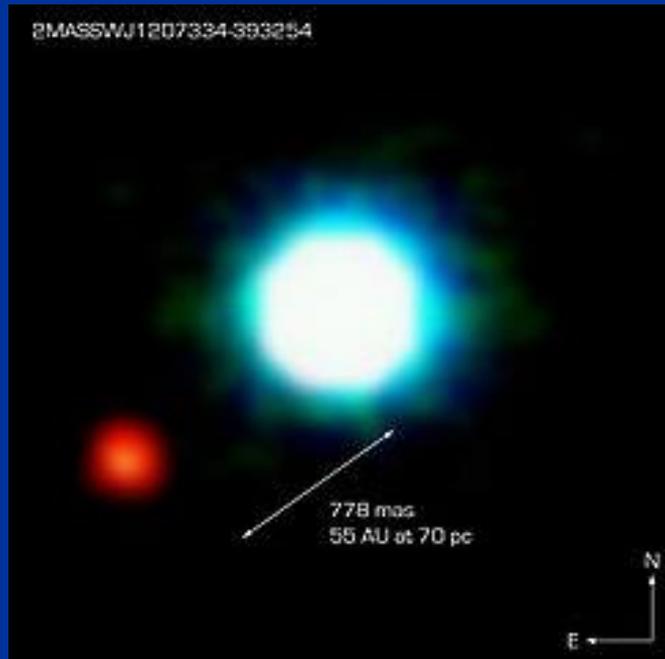




Sistemas planetários extrassolares



1995 Michael Mayor e Didier Queloz anunciaram a detecção de um exoplaneta orbitando 51 Pegasi.



2M1207b observado diretamente (ESO)

A primeira imagem
de um exoplaneta
16 de março de 2003



Dependemos da tecnologia



Em 1610, Galileo observa Saturno pela primeira vez com o seu telescópio mas não vê um anel, interpretando a observação como sendo um astro com três corpos. Foi preciso esperar que Huygens (1659), com um telescópio melhor, pudesse observar um anel. É por esse motivo que a pintura de Rubens (1636-1638) simboliza Saturno com três objetos, tal como a observação de Galileu.

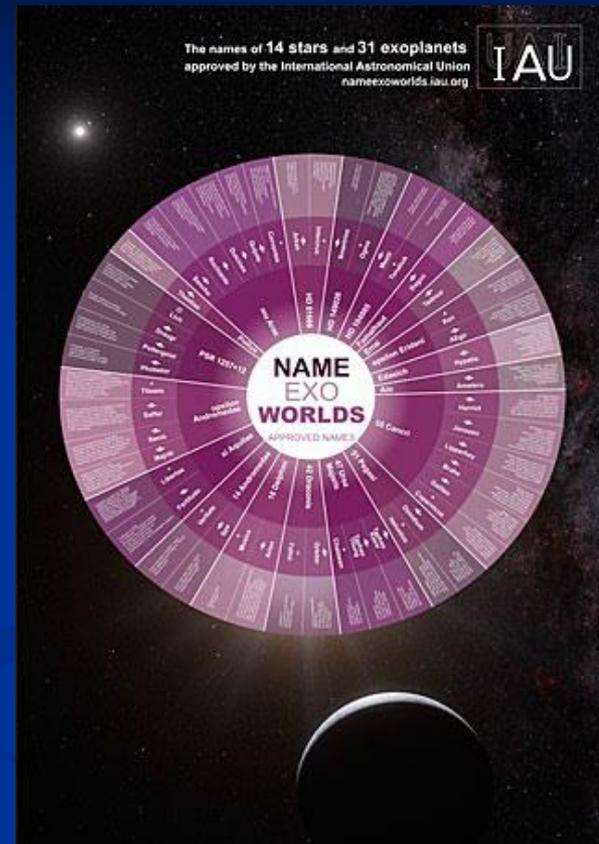


Nomes dos exoplanetas

Coloca-se uma letra minúscula após o nome da estrela principal, começando por “b” para o primeiro planeta encontrado no sistema (por exemplo, *51 Pegasi b*).

O planeta seguinte é nomeado seguindo a ordem alfabética *c*, *d*, *e*, *f*, etc.

(*51 Pegasi c*, *51 Pegasi d*, *51 Pegasi e*, *51 Pegasi f*, ...)



Métodos utilizados para detetar exoplanetas

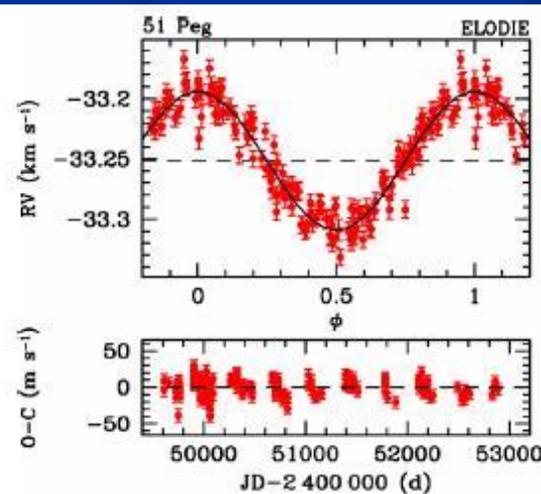
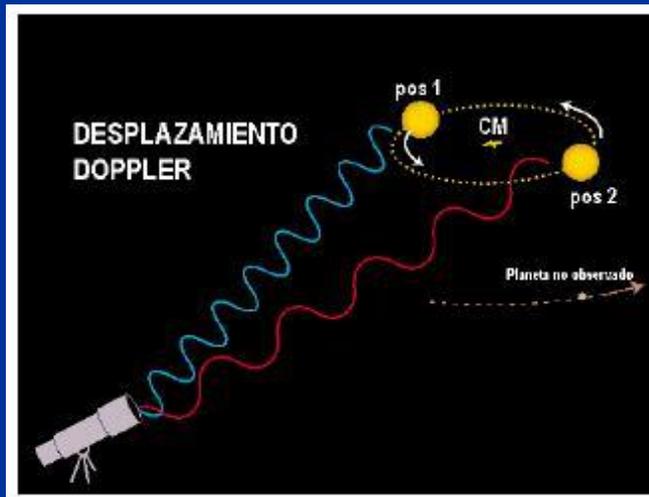
São usados vários métodos, por exemplo:

- Velocidade radial ou efeito de Doppler;
- Método do trânsito;
- Microlente gravitacional;
- Outros.



Método de deteção: Velocidade radial

Mede-se a variação da velocidade radial da estrela, causada pelo efeito Doppler, ao orbitar em redor do centro de massa do sistema planeta+estrela. Foi com este método que se detetou o primeiro exoplaneta, 51 Pegaso b.

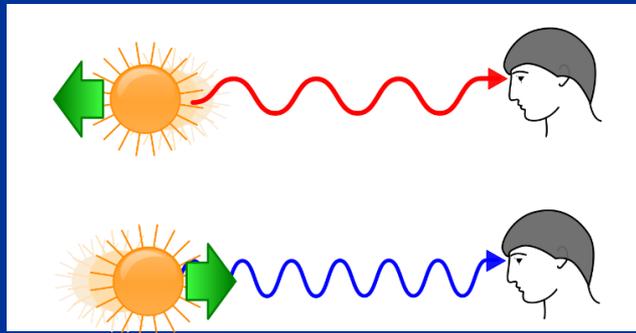


Atividade 13: Efeito Doppler

O efeito Doppler também provoca a variação do comprimento de onda de um som quando a fonte está em movimento.

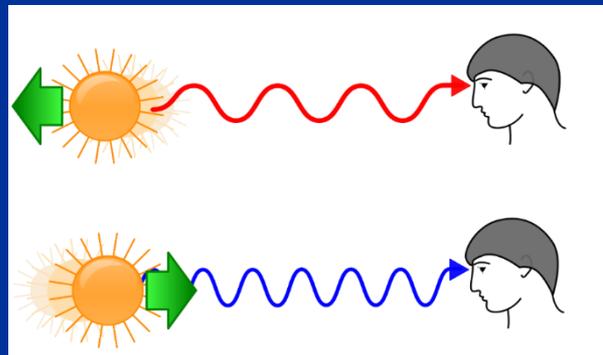
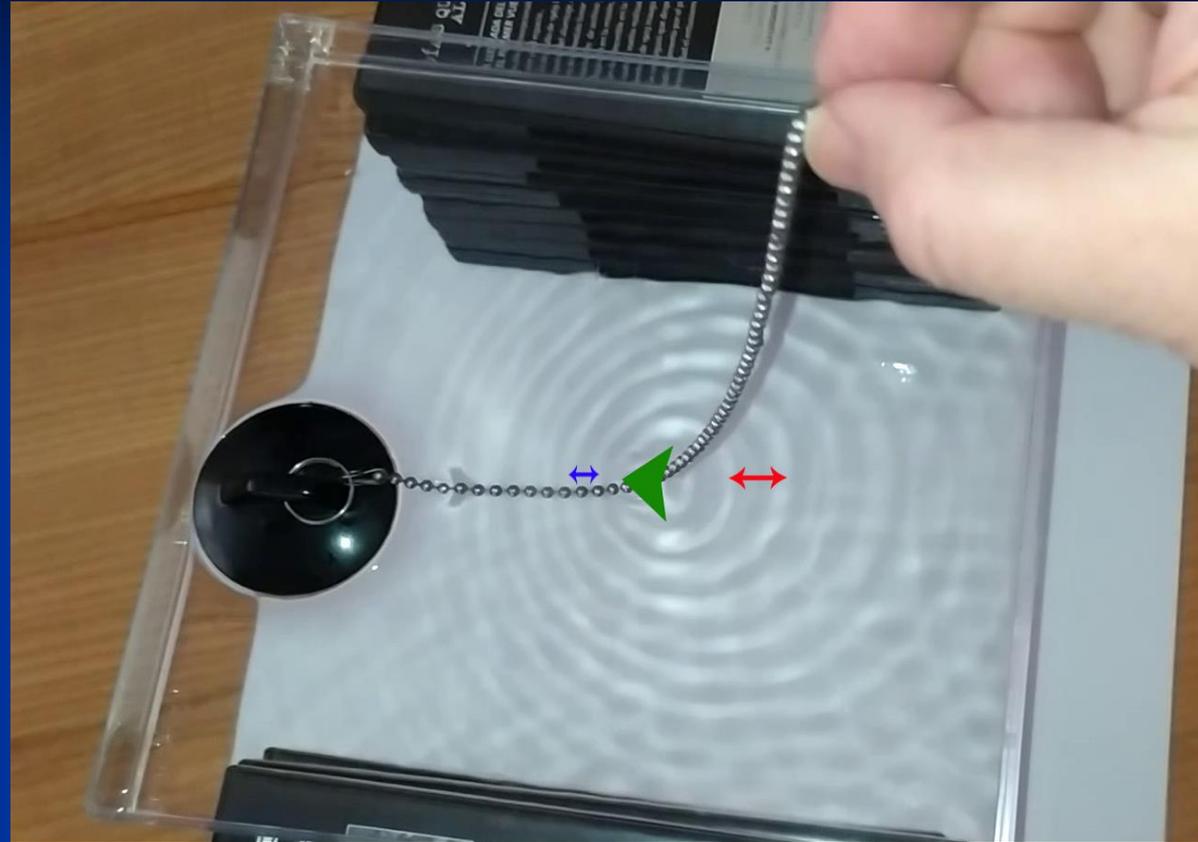
Quando uma fonte se aproxima de nós, o comprimento de onda aparente da radiação diminui, e a luz desvia-se para a região azul do espectro visível.

Quando a fonte luminosa se afasta de nós o comprimento de onda aparente aumenta e a sua luz desvia-se para a região vermelha do espectro visível.



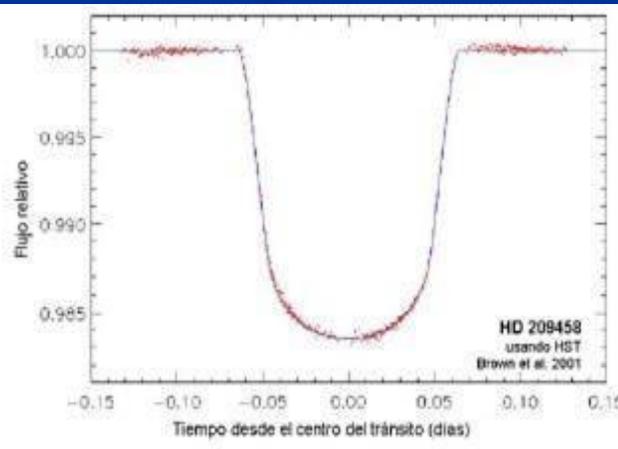
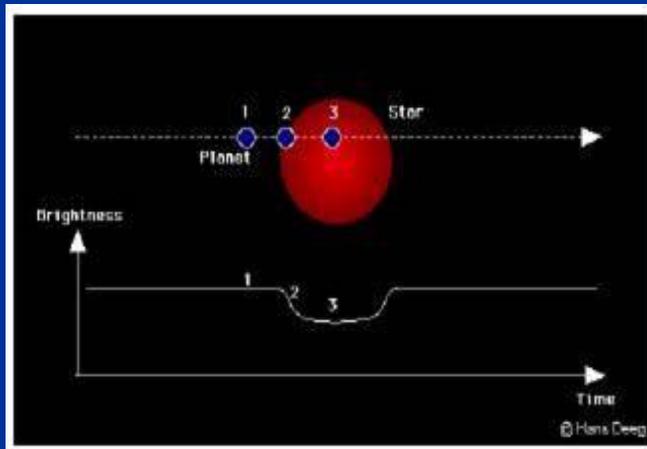
Atividade 13: Efeito Doppler

Foi reproduzido com uma tina de água, uma tampa com corrente e o flash de um telemóvel.



Método de detecção: Trânsitos

Durante o trânsito de um exoplaneta, o brilho da estrela sofre uma pequena diminuição. Para estrelas do tipo solar e planetas do tamanho de Júpiter, a diminuição do brilho é de aproximadamente 1%, e no caso de planetas do tamanho da Terra a diminuição é cerca de 0,03%.

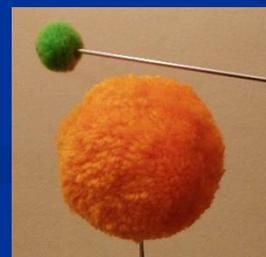


Atividade 14: Simulação de um trânsito

Usando duas bolas: uma grande para a estrela e uma pequena para o exoplaneta girando em torno da estrela.

Com o observador no mesmo plano do movimento, observará o planeta a passar em frente da estrela e uma alteração na curva de luminosidade.

Mas se o observador não estiver no mesmo plano do movimento, não observará nenhuma alteração na curva de luminosidade.

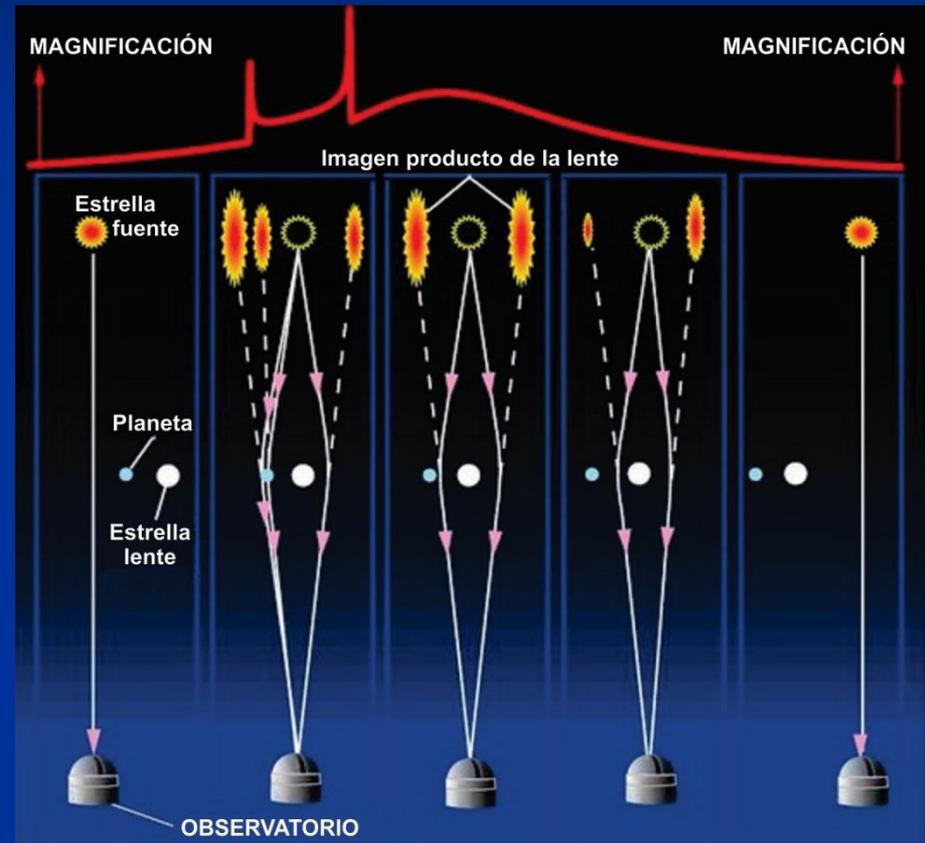


Observador no plano do movimento Observador fora do plano do movimento



Método de deteção: Microlentes

Ocorre uma ampliação, ou distorção, que evidencia o sistema estrela-exoplaneta devido ao alinhamento do referido sistema com uma estrela ou objeto que contém uma lente gravitacional.



Deve existir um alinhamento visual entre os 3 corpos (Terra, objeto-lente e estrela-exoplaneta).

Atividade 15: Simulação de microlente



Com apenas um pé de copo de vidro não se observa nada.

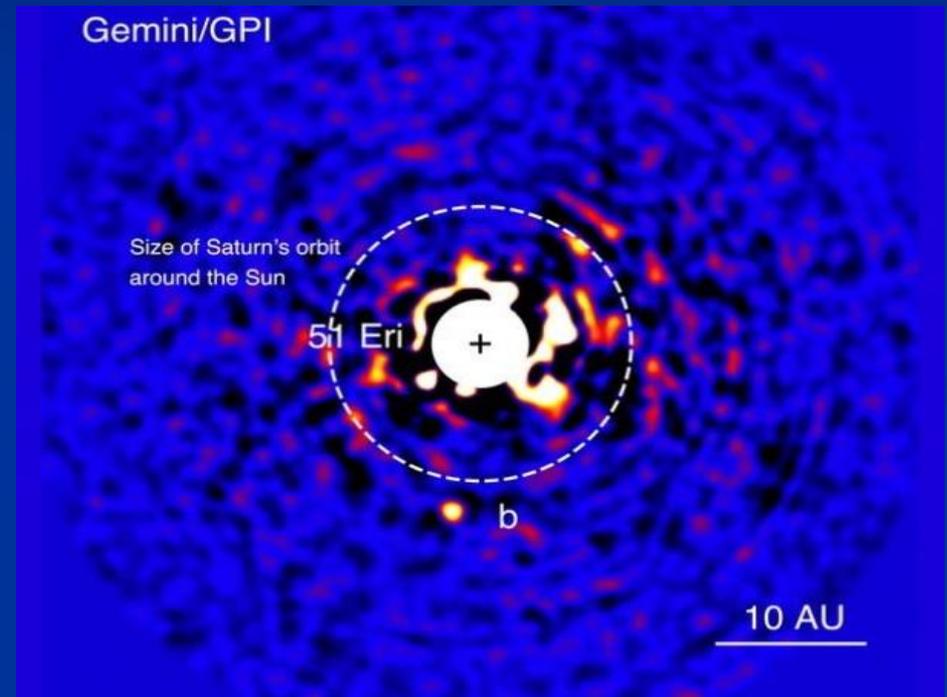


Com um par de pés de copo

Depois passamos à frente com o outro e surge um ponto e depois dois.

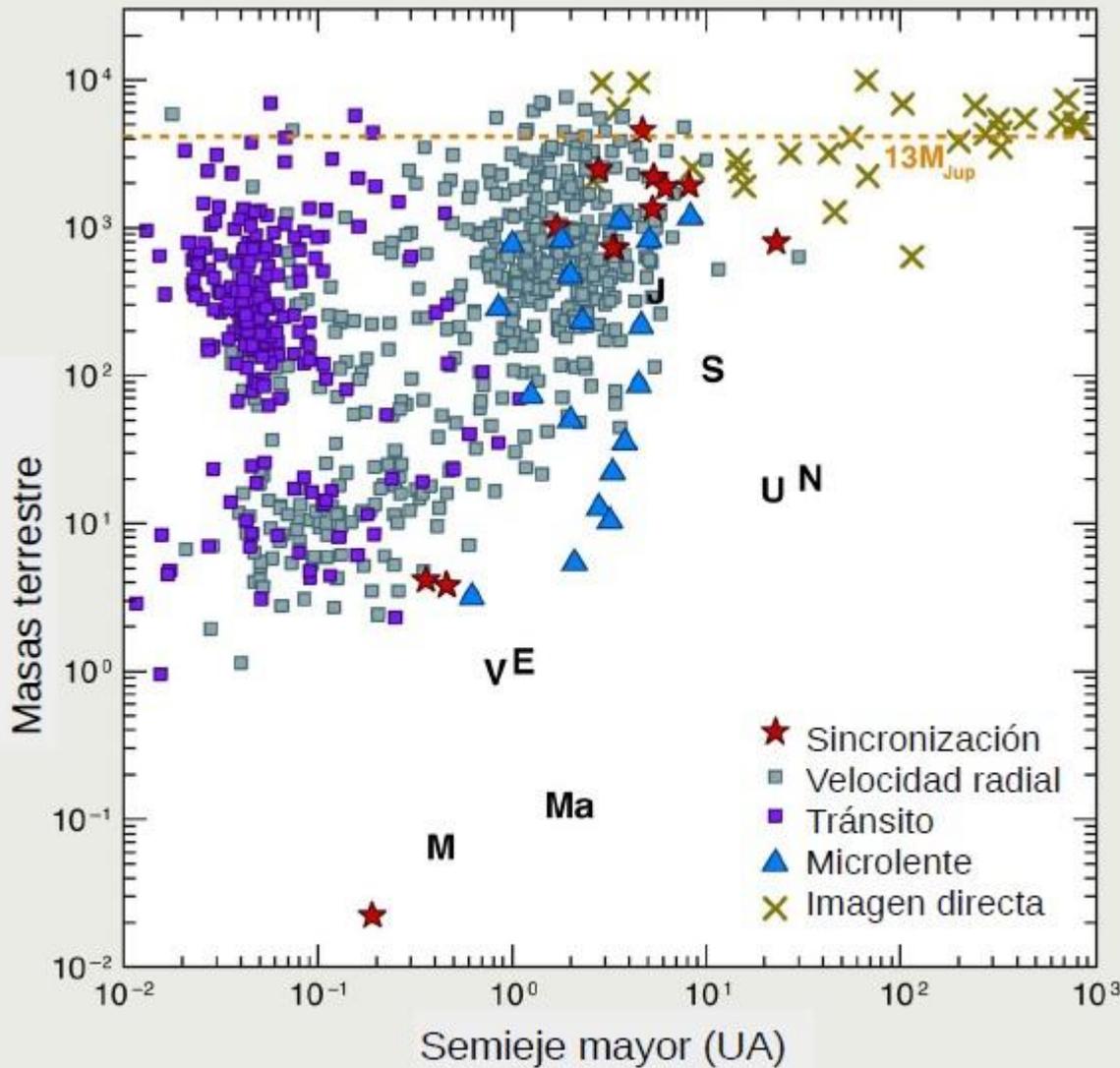
Método de detecção: direta

Estuda-se a imagem da estrela para determinar os exoplanetas em seu redor.



Devido à quantidade de luz emitida pela estrela, não é simples de executar.

Exoplanetas conhecidos 2013 segundo o método de deteção



Modelo para sistemas de exoplanetas

Os sistemas de exoplanetas descobertos e confirmados são mais de 2000 e há vários milhares de exoplanetas candidatos.

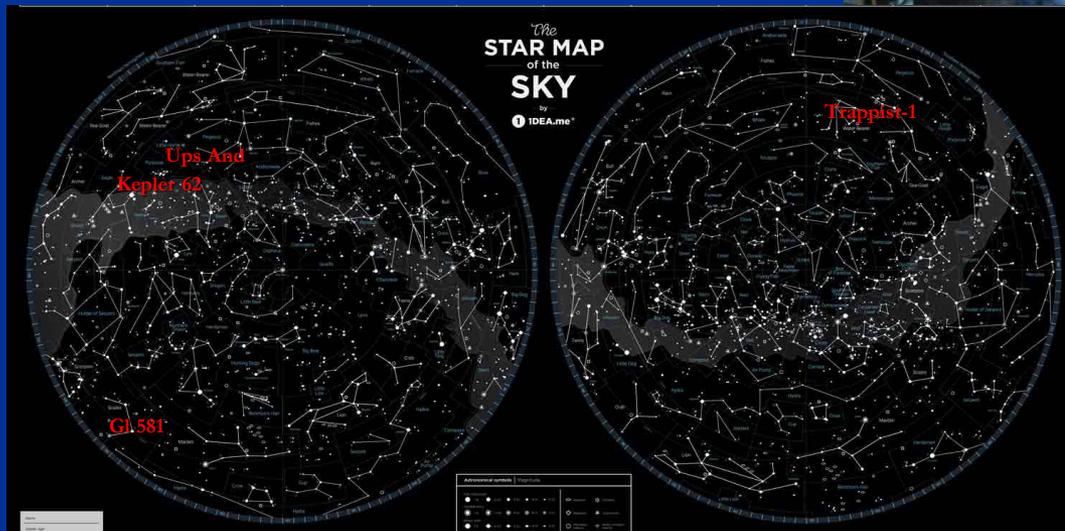
Jet Propulsion Laboratory (NASA; <http://planetquest.jpl.nasa.gov/>)

As massas são semelhantes à de Júpiter ($1,9 \times 10^{27}$ kg) ou à da Terra ($5,97 \times 10^{24}$ kg).

O motivo deve-se às limitações tecnológicas.



Atividade 16: Modelos à escala de sistemas exoplanetários



Distância 1 ua = 1 m

Diâmetro 10 000 km = 0,5 cm

Atividade 16: Construir o Sistema Solar:

Sistema Solar	Distância (ua)	Diâmetro (km)	Modelo: distância	Modelo: diâmetro
Mercúrio	0,39	4 879	40 cm	0,2 cm
Vénus	0,72	12 104	70 cm	0,6 cm
Terra	1	12 756	1m	0,6 cm
Marte	1,52	6 794	1,5 m	0,3 cm
Júpiter	5,2	142 984	5 m	7 cm
Saturno	9,55	120 536	10 m	6 cm
Urano	19,22	51 118	19 m	2,5 cm
Neptuno	30,11	49 528	30 m	2,5 cm

Estrela anfitriã Sol G2V, Diâmetro do Sol no modelo é 35 cm

Distância 1 ua = 1 m , Diâmetro 10 000 km = 0,5 cm



Atividade 16: Construir (1º sist exoplanetário):

Upsilon Andromedae Titawin	Descob. ano	Distância (ua)	Diâmetro (km)	Modelo: distância	Modelo: diâmetro
Ups And b/Saffar	1996	0,059	108 000	6 cm	5,5 cm
Ups And c/Samh	1999	0,830	200 000	83 cm	10 cm
Ups And d/Majriti	1999	2,510	188 000	2,5 m	9 cm
Ups And e/Titawin e	2010	5,240	140 000	5,2 m	7 cm

Estrela anfitriã Upsilon Andromedae F8V a 44 a.l. em And.,
Diâmetro 1,28 do Sol que no modelo é 45 cm

Distância 1 ua = 1 m

Diâmetro 10 000 km = 0,5 cm



Atividade 16: Construir (com planetas “terrestres”)

Gliese 581	Descob. ano	Distância (ua)	Diâmetro (km)	Modelo: distância	Modelo: diâmetro
Gl.581 e	2009	0,030	15 200	3 cm	0,8 cm
Gl.581 b	2005	0,041	32 000	4 cm	1,6 cm
Gl.581 c	2007	0,073	22 000	7 cm	1,1 cm

Estrela anfitriã Gliese 581 M2,5V a 20,5 a.l. em Libra,
Diâmetro 0,29 do Sol que no modelo é 10 cm

Distância 1 ua = 1 m

Diâmetro 10 000 km = 0,5 cm



Atividade 16: Construir (planetas “terrestres habitáveis”)

Kepler 62	Descob. ano	Distância (ua)	Diâmetro (km)	Modelo: distância	Modelo: diâmetro
Kepler-62 b	2013	0,056	33 600	5,6 cm	1,7 cm
Kepler-62 c	2013	0,093	13 600	9 cm	0,7 cm
Kepler-62 d	2013	0,120	48 000	12 cm	2,4 cm
Kepler-62 e	2013	0,427	40 000	43 cm	2 cm
Kepler-62 f	2013	0,718	36 000	72 cm	1,8 cm

Estrela anfitriã Kepler 62 K2V a 1 200 a.l. em Lira,
Diâmetro 0,64 do Sol que no modelo é 22 cm

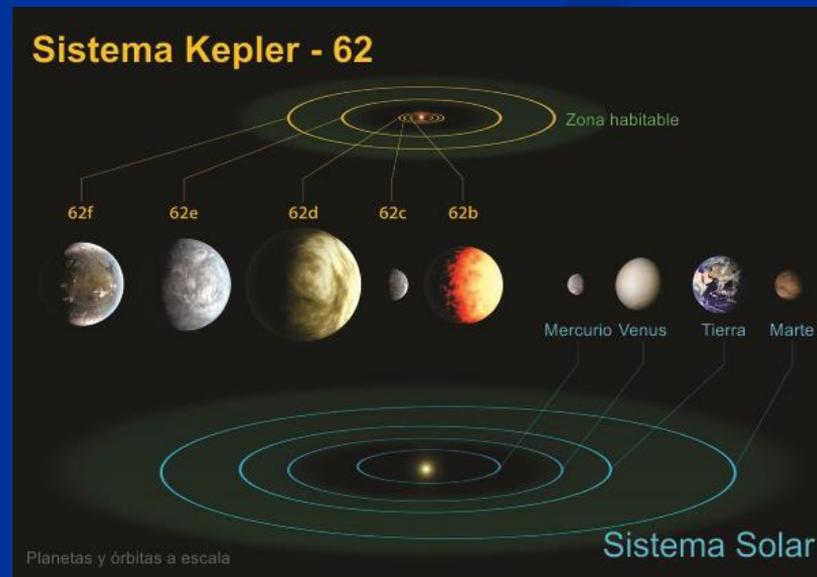
Distância 1 ua = 1 m

Diâmetro 10 000 km = 0,5 cm



Possível habitabilidade de exoplanetas

- Na zona habitável de Kepler-62: dois exoplanetas poderão ter água líquida à superfície. Para Kepler-62e, que está perto do limite interior da zona habitável, isto requer uma cobertura de nuvens refletoras que reduza a radiação que aquece a superfície. Kepler-62f, por outro lado, está no limite exterior da zona habitável.



Atividade 16: Construir (planetas “terrestres habitáveis”)

Nome do exoplaneta	Descob. ano	Distância (ua)	Diâmetro (km)	Modelo Distância	Modelo Diâmetro
Trappist-1 b	2016	0,012	28 400	1,2 cm	1,4 cm
Trappist-1 c	2016	0,016	28 000	1,6 cm	1,4 cm
Trappist-1 d	2016	0,022	20 000	2,2 cm	1,0 cm
Trappist-1 e	2017	0,030	23 200	3,0 cm	1,2 cm
Trappist-1 f	2017	0,039	26 800	3,9 cm	1,3 cm
Trappist-1 g	2017	0,047	29 200	4,7 cm	1,5 cm
Trappist-1 h	2017	0,062	19 600	6,2 cm	1,0 cm

Estrela anfitriã Trappist 1 M8V a 40 a.l. em Aquário,

Diâmetro 0,1 do Sol que no modelo é 4 cm

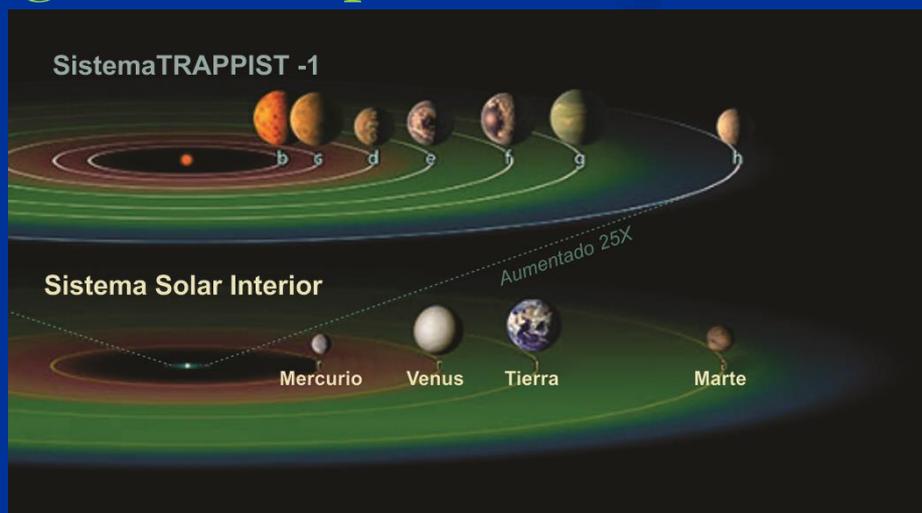
Distância 1 ua = 1 m

Diâmetro 10 000 km = 0,5 cm



Possível habitabilidade de exoplanetas

- Os exoplanetas do sistema Trappist-1 são rochosos e poderão ter grandes quantidades de água na sua superfície, quer na forma líquida, em vapor, ou numa camada de gelo. Na zona habitável de Trappist 1 encontra-se **Trappist-1e** que parece ter um núcleo denso, comparável ao da **Terra** o que parece indicar que, de todos os planetas deste sistema, este é o mais parecido com a Terra e é provável que tenha uma magnetosfera protetora.



Conclusões

- Conhecimento mais “detalhado” dos planetas.
- Estabelecer relações entre “parâmetros” que permitem uma melhor compreensão das dimensões.
- O Sistema Solar “está vazio”.
- Introdução aos exoplanetas. Reconhecer os métodos de deteção.



Muito obrigado
pela sua atenção!

