

# 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

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



# Atividade 2: Maquete para os diâmetros

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

# Atividade 2: Maquete para os diâmetros



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



# Atividade 3: Diâmetros e distâncias ao Sol

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

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

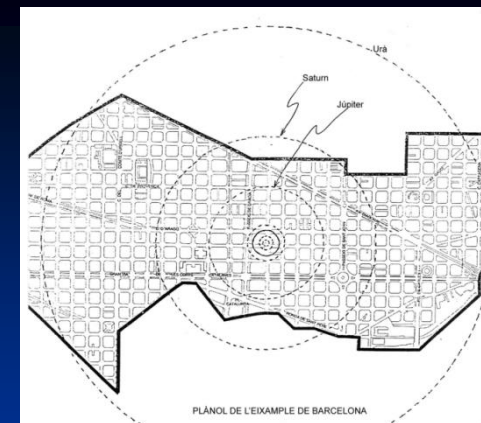




# Atividade 3: Modelo para diâmetros e distâncias no quintal...



# Atividade 4: Modelo na Cidade (Barcelona)



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



# Modelo na cidade de Metz (França)



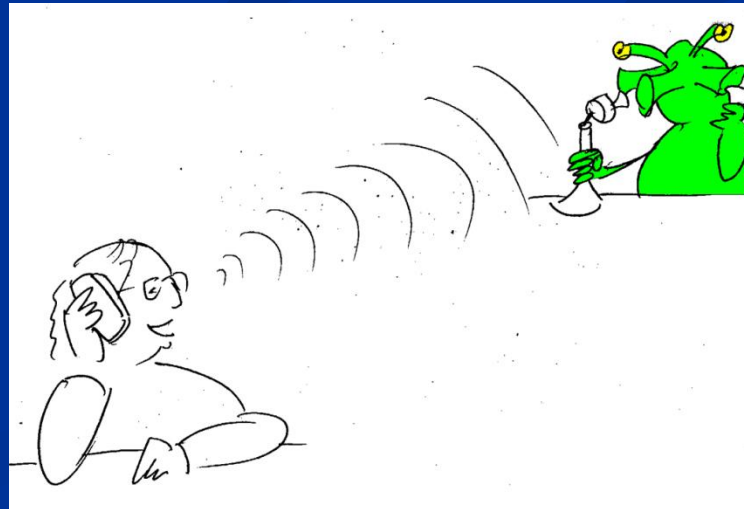
# Atividade 5: Modelo para os tempos

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

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”?



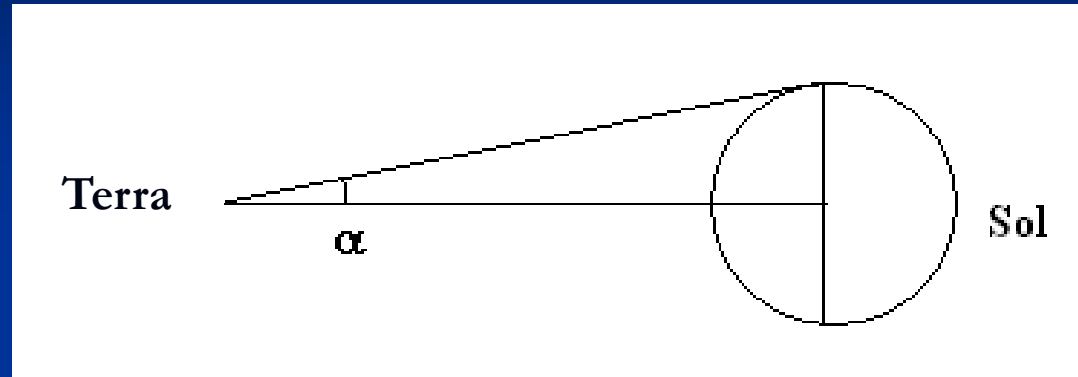


# A luz solar demora a chegar...

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

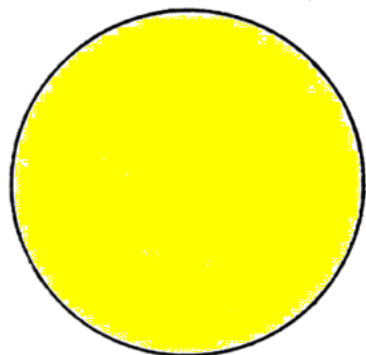


# Atividade 6: O Sol visto a partir dos planetas

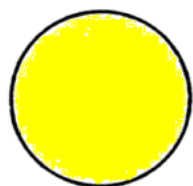


- $\alpha = \tan \alpha = \frac{r_{Sol}}{d_{Terra-Sol}} = \frac{700\ 000}{150\ 000\ 000} = 0,0045\ \text{rad}$   
 $\alpha = 0,255^\circ$
- A partir da Terra, o Sol mede  $2\alpha = 0,51^\circ$

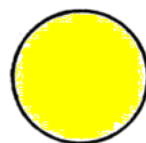
# Atividade 6: O Sol visto a partir dos planetas



de Mercúrio



de Vénus



da Terra



de Marte



de Júpiter



de Saturno











de Urano



de Neptuno

# Atividade 7: Densidades

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





# Atividade 8: Modelo para o achatamento

- Corte tiras de cartolina de dimensões  $35 \times 1$  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

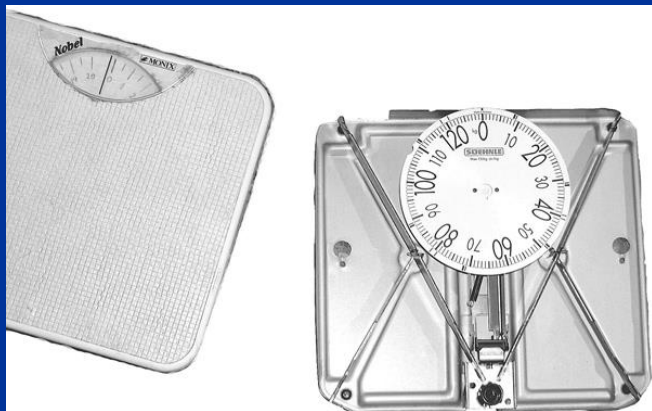


# Atividade 10: Modelo para gravidade à superfície










- 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 <sup>3</sup>		0,378	3,70 m/s <sup>2</sup>	0,37
Vénus	6 052 km	5,3 g/cm <sup>3</sup>		0,894	8,87 m/s <sup>2</sup>	0,86
Terra	6 378 km	5,5 g/cm <sup>3</sup>		1,000	9,80 m/s <sup>2</sup>	1,00
Marte	3 397 km	3,9 g/cm <sup>3</sup>		0,379	3,71 m/s <sup>2</sup>	0,38
Júpiter	71 492 km	1,3 g/cm <sup>3</sup>		2,540	23,12 m/s <sup>2</sup>	2,36
Saturno	60 268 km	0,7 g/cm <sup>3</sup>		1,070	8,96 m/s <sup>2</sup>	0,91
Urano	25 559 km	1,2 g/cm <sup>3</sup>		0,800	8,69 m/s <sup>2</sup>	0,88
Neptuno	25 269 km	1,7 g/cm <sup>3</sup>		1,200	11,00 m/s <sup>2</sup>	1,12
Lua					1,62 m/s <sup>2</sup>	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:  $v = \sqrt{2 g_{planeta} R_{planeta}}$

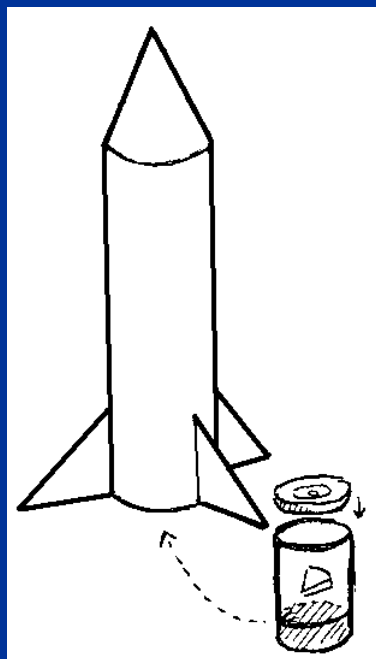


# Atividade 12: Velocidade de escape

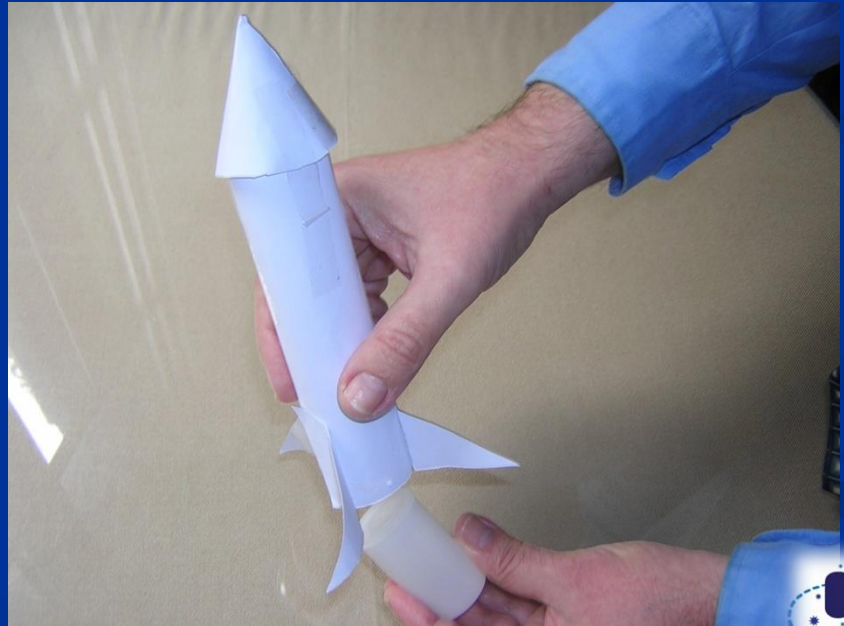
Planeta	Raio equatorial	Gravidade superficial		Velocidade de escape
Mercúrio	2 439 km	0,378		4,3 km/s
Vénus	6 052 km	0,894		10,3 km/s
Terra	6 378 km	1,000		11,2 km/s
Marte	3 397 km	0,379		5,0 km/s
Júpiter	71 492 km	2,540		59,5 km/s
Saturno	60 268 km	1,070		35,6 km/s
Urano	25 559 km	0,800		21,2 km/s
Neptuno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

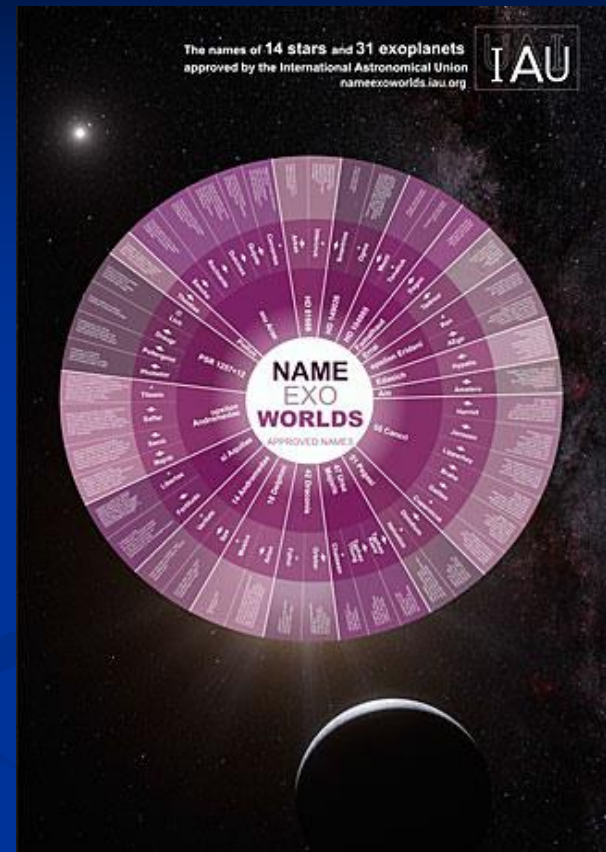


# Nomes dos exoplanetas

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

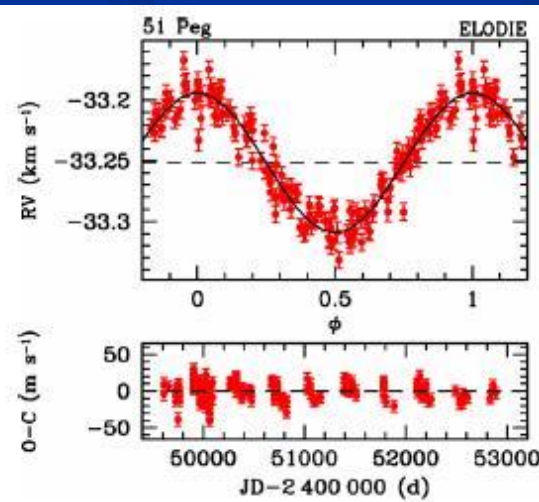
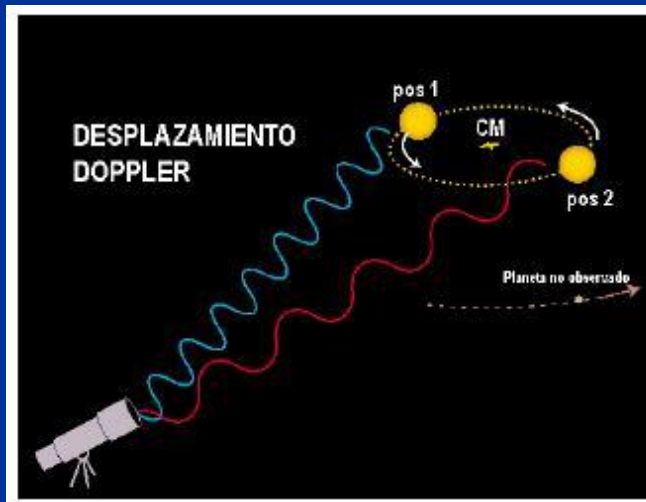
São usados vários métodos, por exemplo:

- 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.

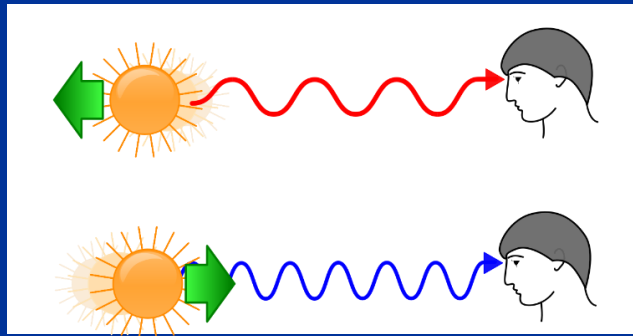


# Atividade 13: Efeito Doppler

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

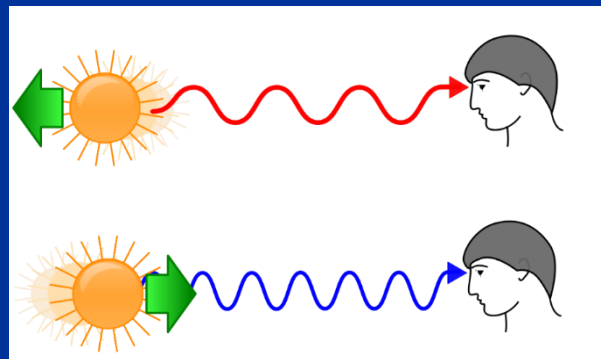
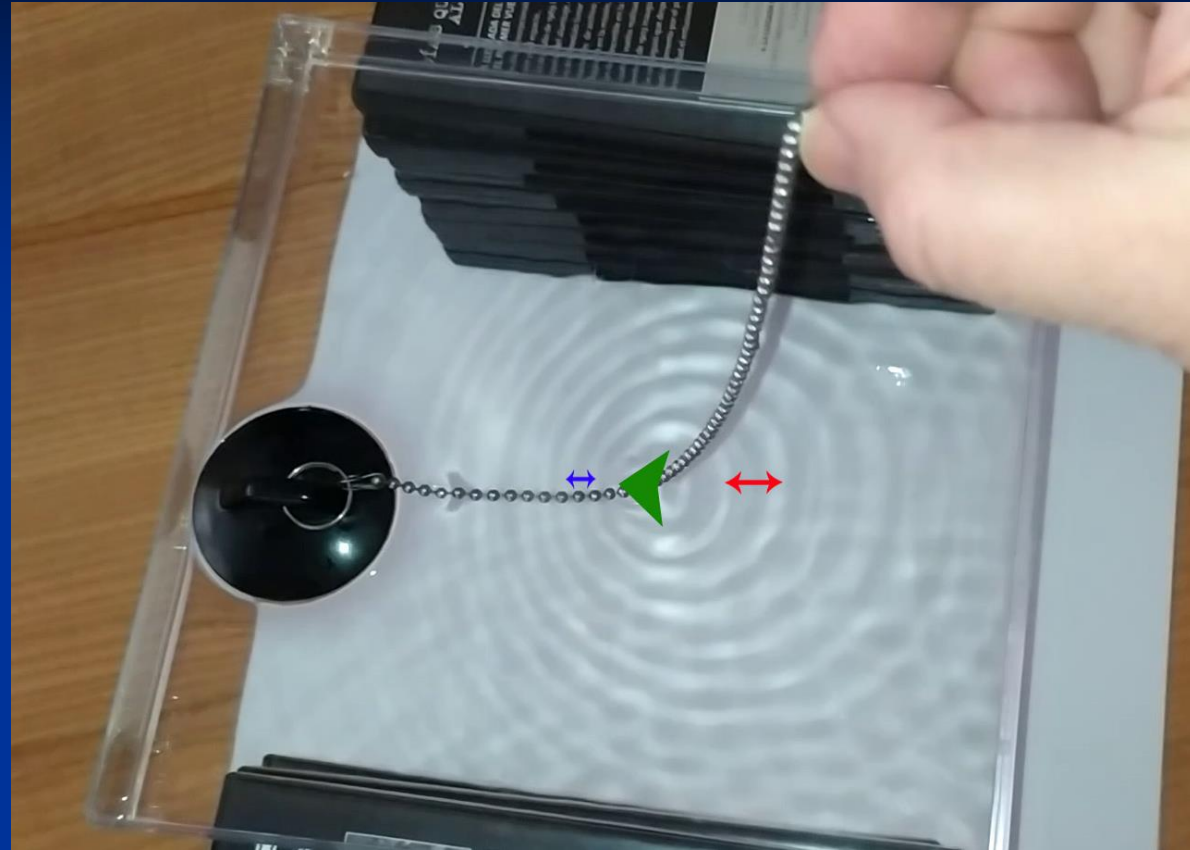
Quando uma fonte se aproxima de nós, o comprimento de onda aparente da radiação diminui, e a luz desvia-se para a região azul do espectro visível.

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

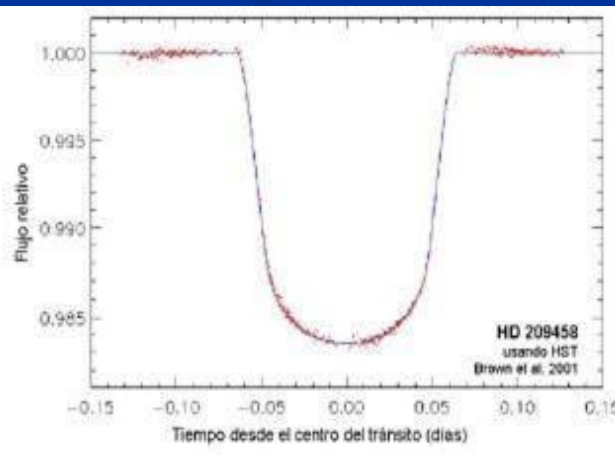
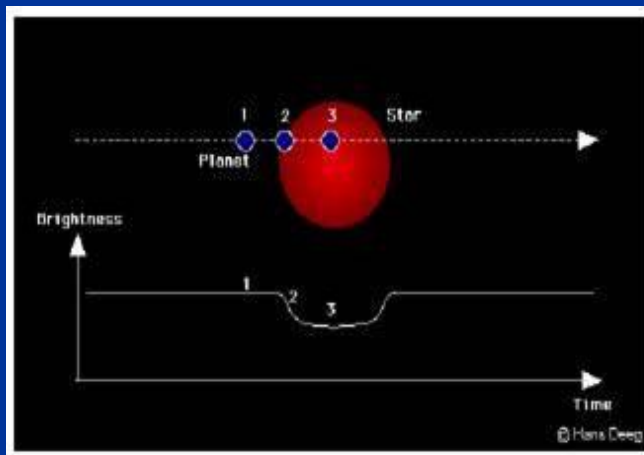
Foi reproduzido com uma tina de água, uma tampa com corrente e o flash de um telemóvel.





# 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.

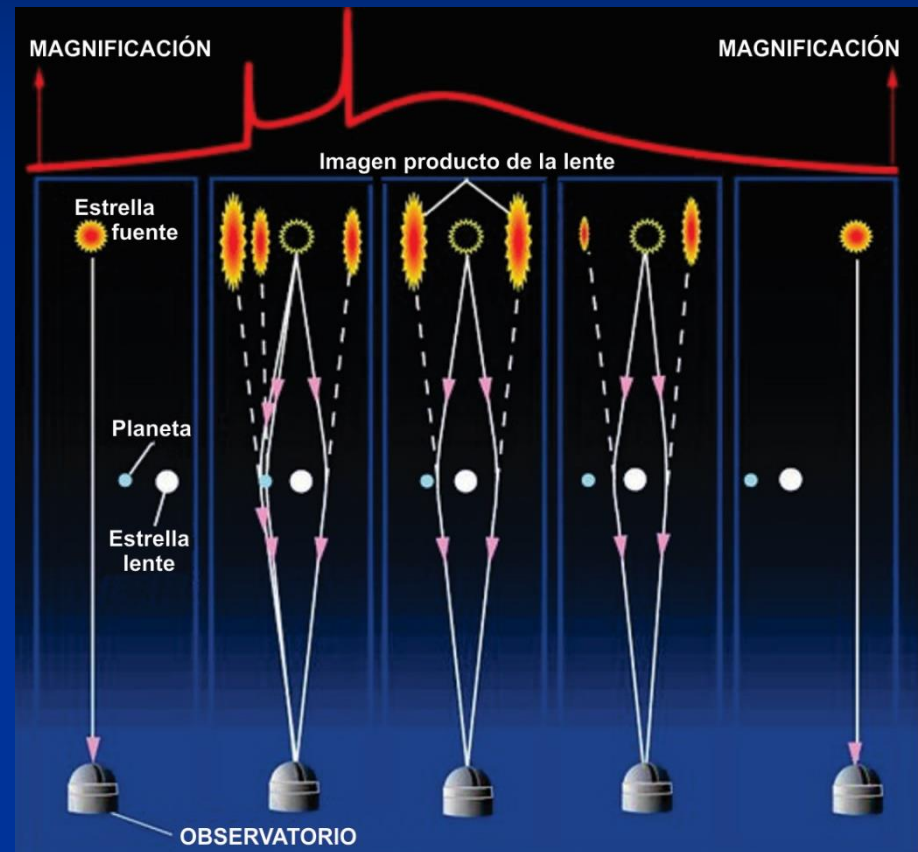


Observador no plano do movimento    Observador fora do plano do movimento



# 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.



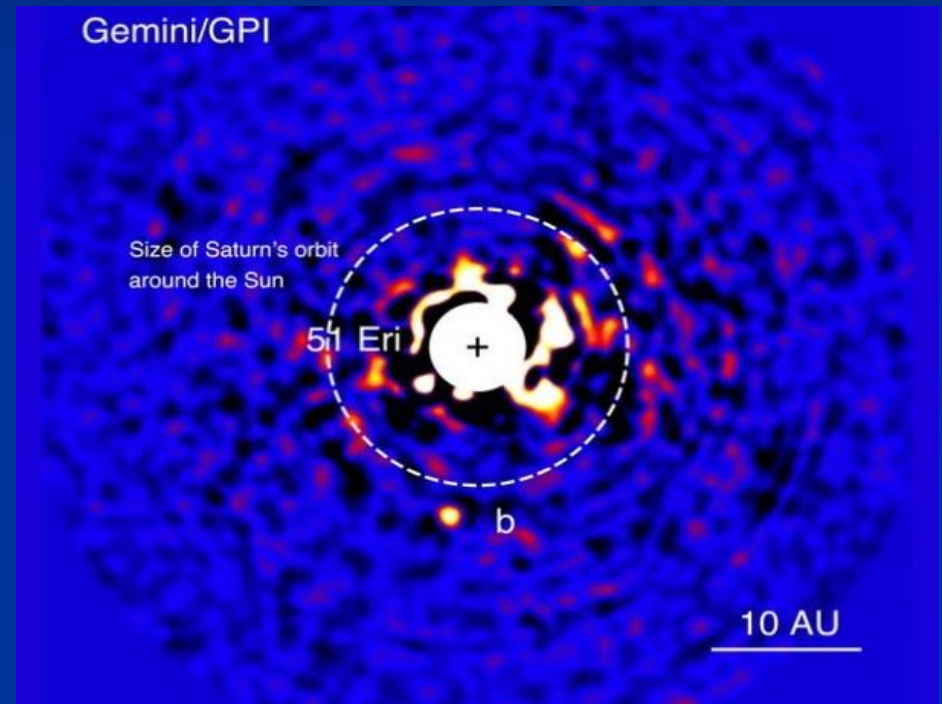
Com um par de pés de copo

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



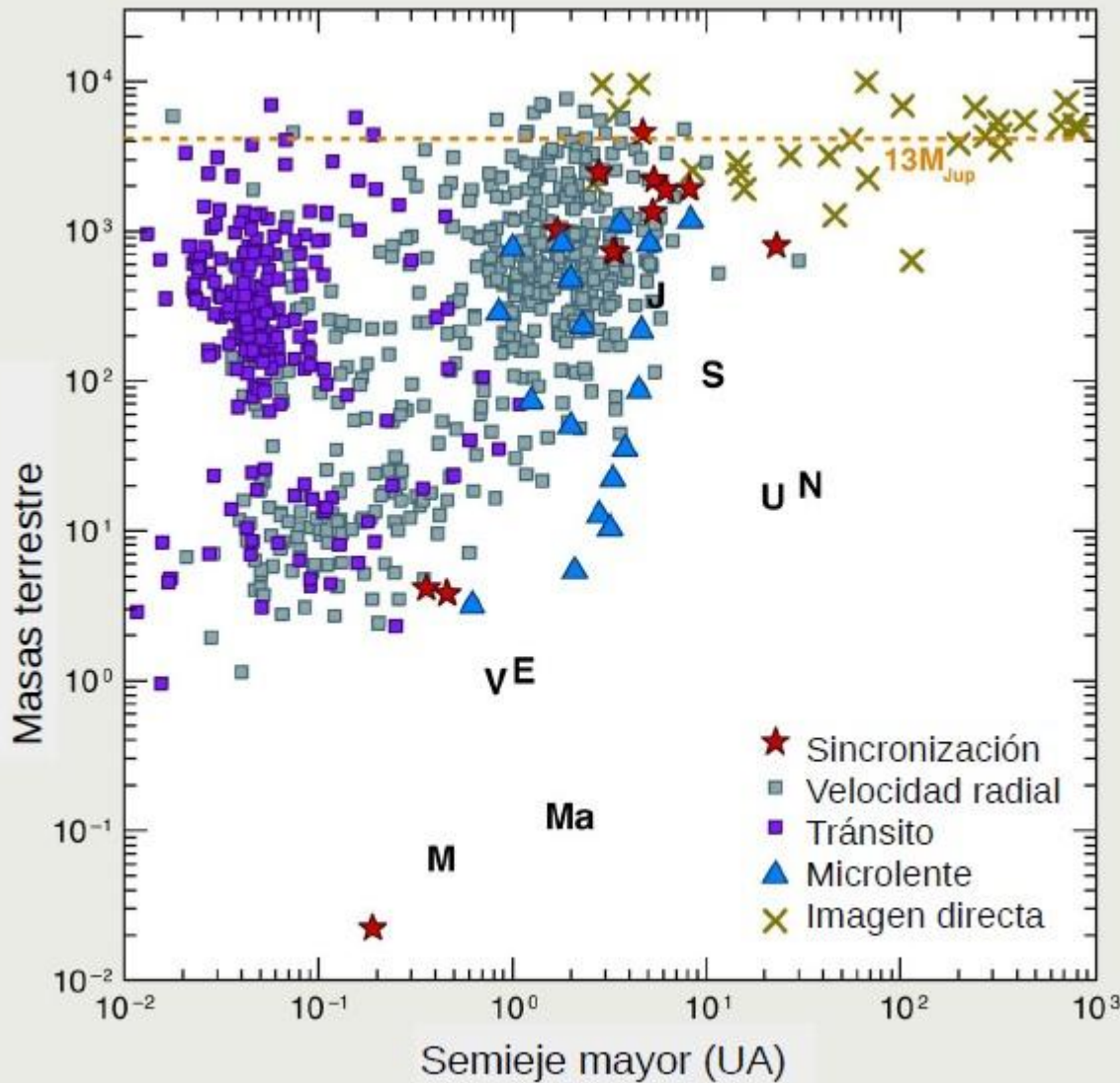
# Método de detecção: direta

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.

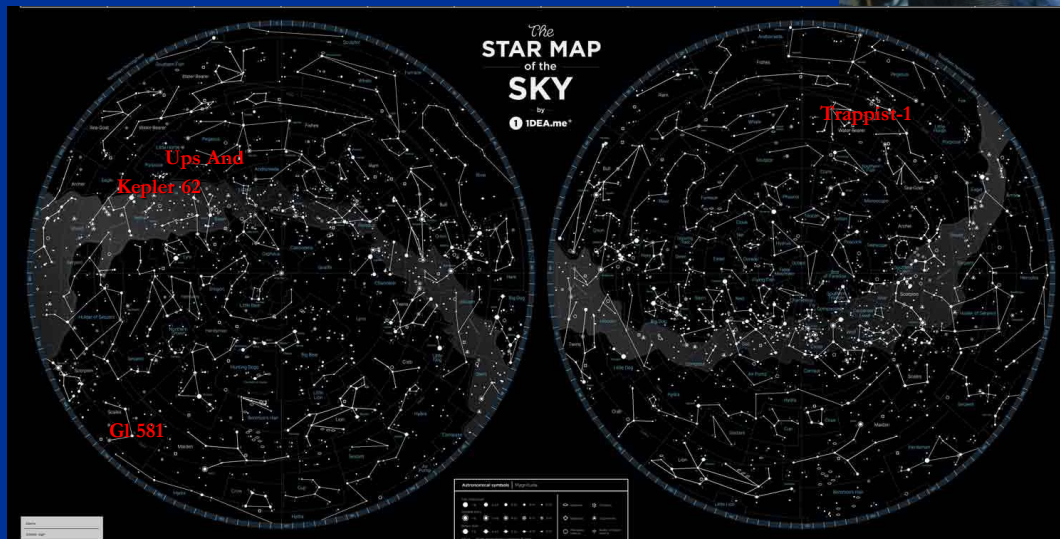
Jet Propulsion Laboratory (NASA; <http://planetquest.jpl.nasa.gov/>)

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

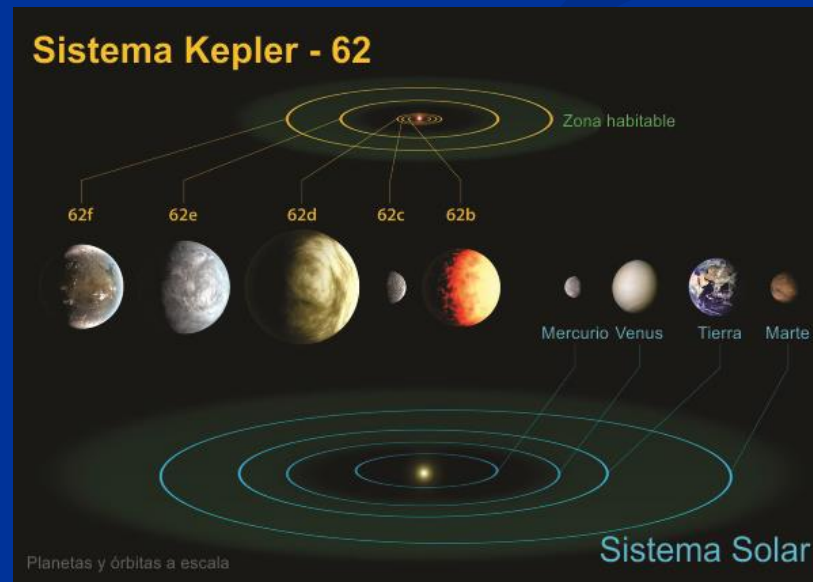
Diâmetro 10 000 km = 0,5 cm





# 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

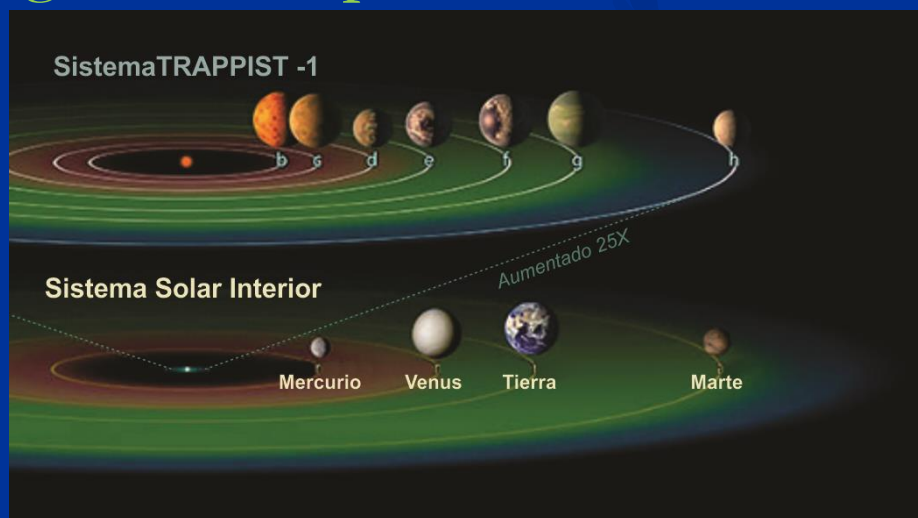
Distância 1 ua = 1 m

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!

