

# Sistema Solar Exoplanetas

PARTE 2



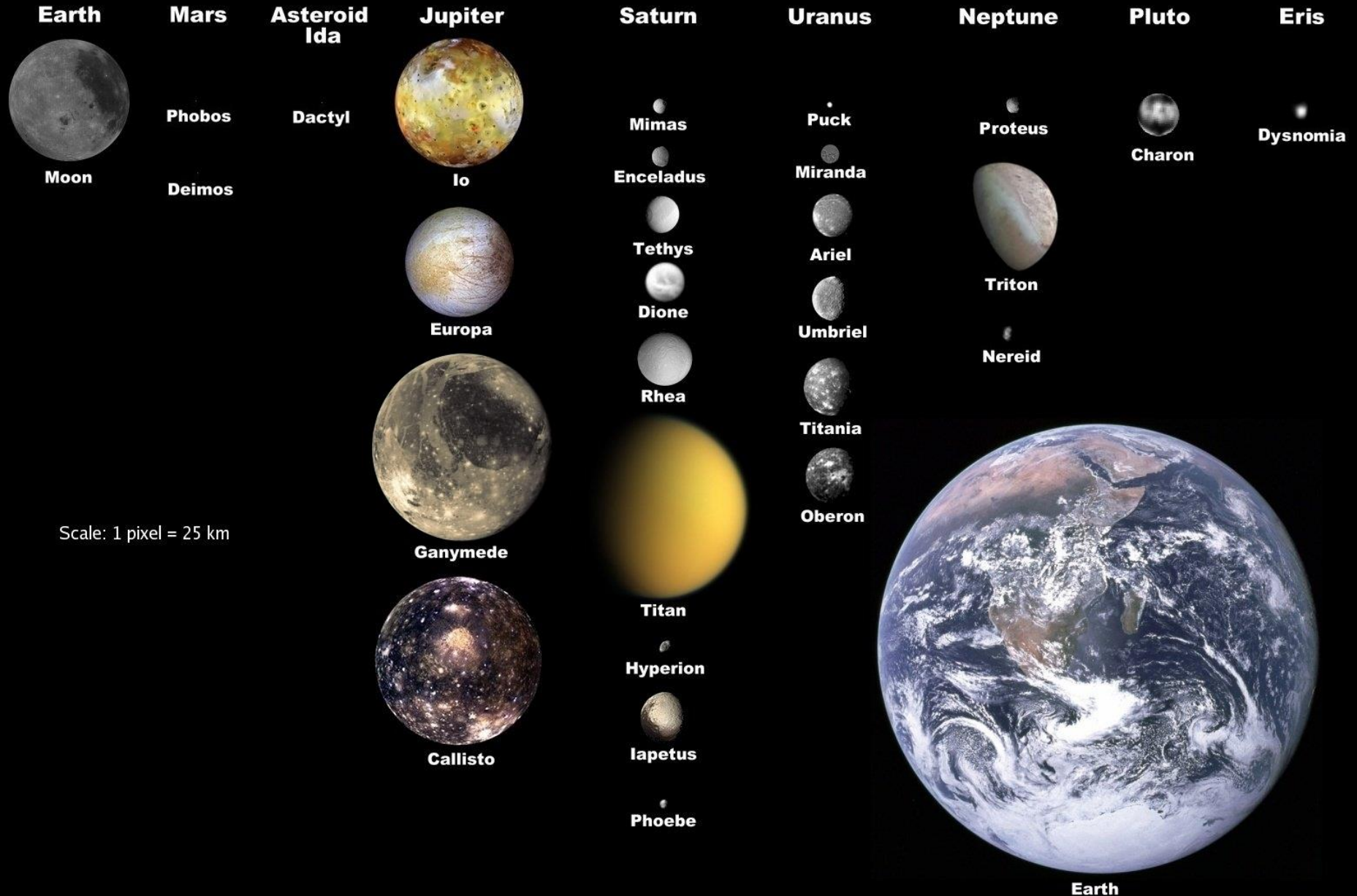
[solarsystem.nasa.gov](http://solarsystem.nasa.gov)

Conceitos Básicos no Ensino de Astronomia - MPA5001

Enos Picazzio - IAGUSP

*Notas de aula. Não é autorizada reprodução total ou parcial deste material para outras finalidades*

# Os principais satélites dos planetas e planetas-anões



## Satélites comparáveis à Mercúrio

		raio (km)	massa ( $10^{23}$ kg)
	<b>Mercúrio</b>	<b>2.440</b>	<b>3,3</b>
<b>JÚPITER</b>	{ Ganimedes	2.634	1,5
	Calisto	2.403	1,2
<b>SATURNO</b>	Titã	2.575	1,3

## Satélites comparáveis à Lua

		raio (km)	massa ( $10^{22}$ kg)
	<b>Lua</b>	<b>1.738</b>	<b>7,4</b>
<b>JÚPITER</b>	{ Io	1.821	8,9
	Europa	1.565	4,8
<b>NETUNO</b>	Tritão	1.353	2,2



## **SUPERFÍCIE LUNAR**

O vídeo feito com 110 mil fotos  
Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO)  
*NASA's Goddard Space Flight Center Scientific  
Visualization Studio*

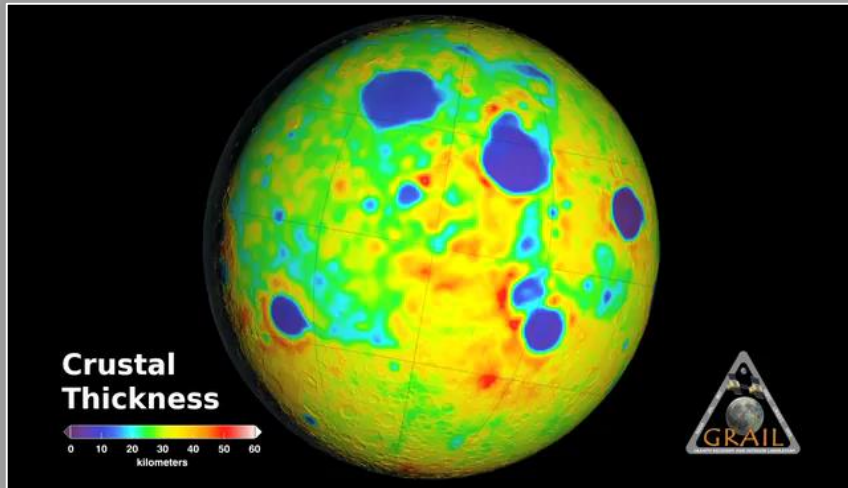


## **REGIÕES DE ESCURIDÃO PERMANENTE**

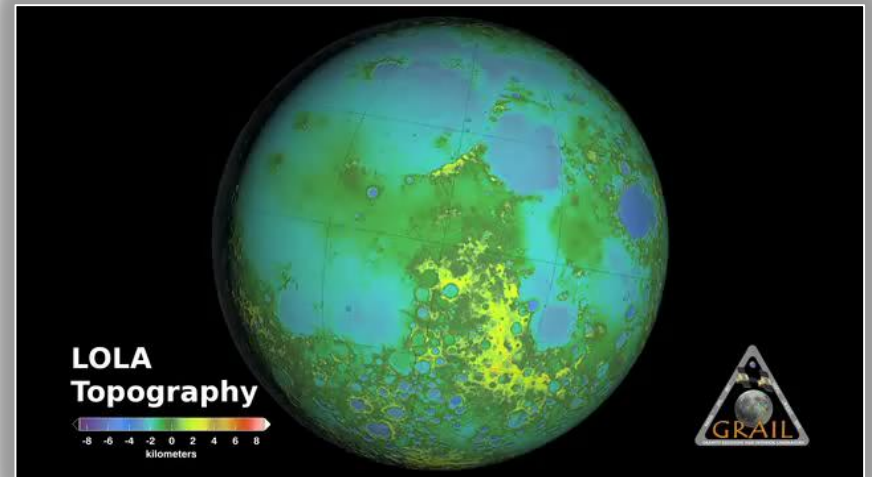
[http://svs.gsfc.nasa.gov/vis/a000000/a003500/a003577/permshadow\\_comp\\_512x288.m1v](http://svs.gsfc.nasa.gov/vis/a000000/a003500/a003577/permshadow_comp_512x288.m1v)



# Lua: topografia



[http://svs.gsfc.nasa.gov/vis/a000000/a004000/a004014/thickness\\_360p30.mov](http://svs.gsfc.nasa.gov/vis/a000000/a004000/a004014/thickness_360p30.mov)

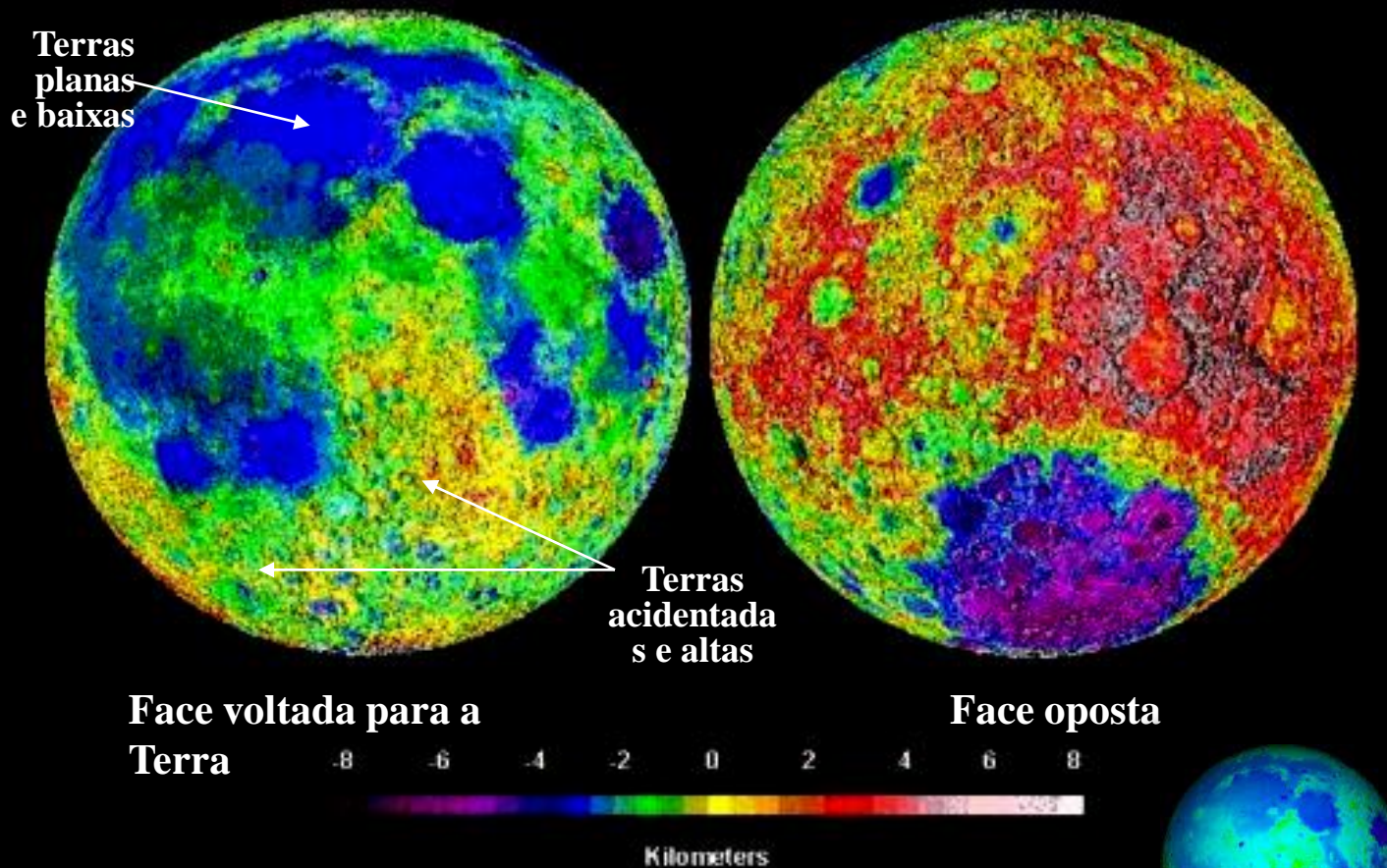


[http://svs.gsfc.nasa.gov/vis/a000000/a004000/a004014/topo\\_360p30.mov](http://svs.gsfc.nasa.gov/vis/a000000/a004000/a004014/topo_360p30.mov)

# Lua: topografia

## Clementine Topographic Map of the Moon

Contour Interval - 500 m



A Lua nos mostra sempre a mesma face porque os períodos de rotação e translação são iguais. Este fenômeno, conhecido por rotação síncrona, é decorrente do efeito de maré. A longo prazo, todos os satélites tendem à rotação síncrona.

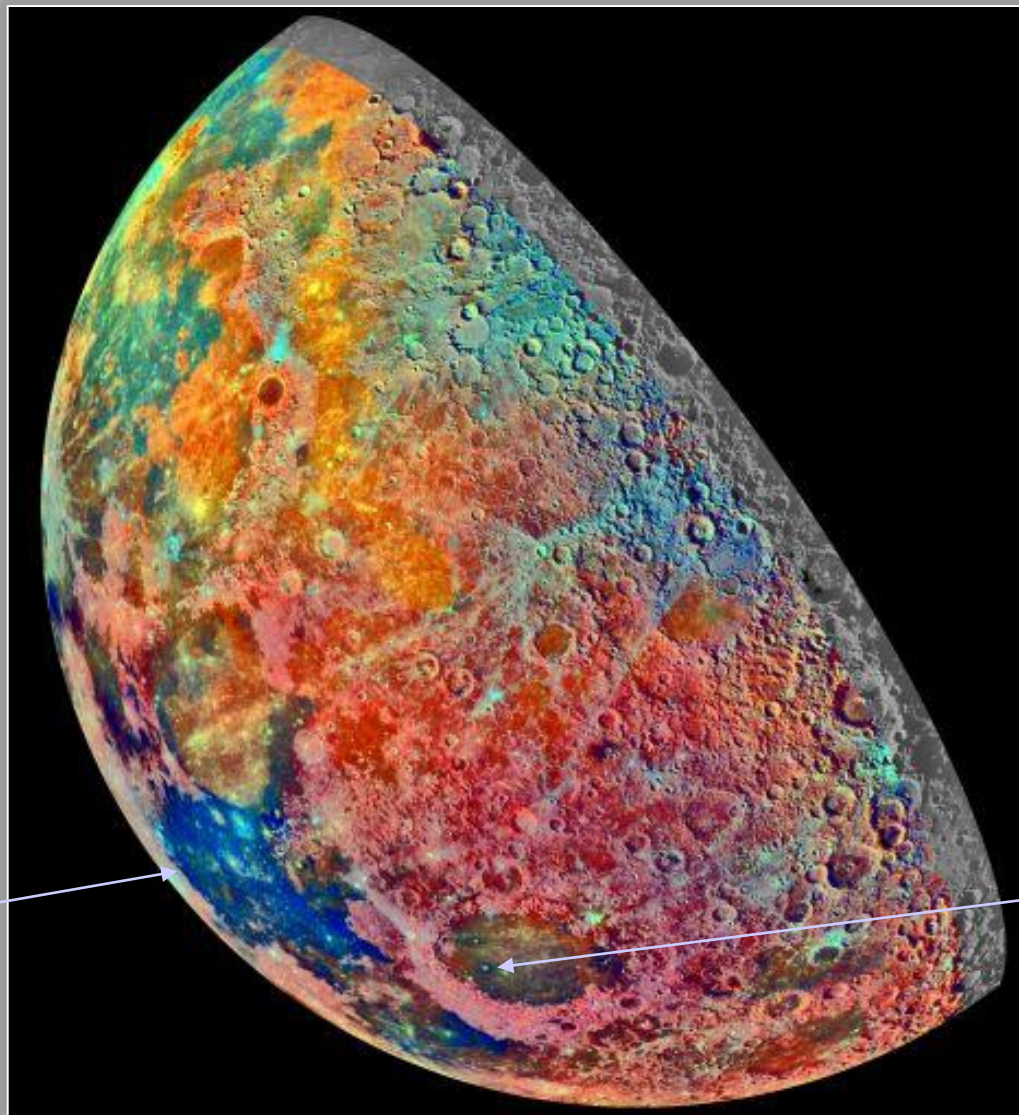
As fases ocorrem em ambos os hemisférios: na Lua Nova a face oposta é iluminada integralmente.

# Lua - topografia

Mosaico de 53 imagens obtidas com 3 filtros espectrais. Cores falsas.

Pólo Norte

Azul ao Laranja  
lavas vulcânicas



Mar da  
Tranquilidade  
terreno rico em  
titanium (cor  
azul escuro)

Mar das Crises  
circundado por  
material típico  
das terras altas  
(cor rosa)

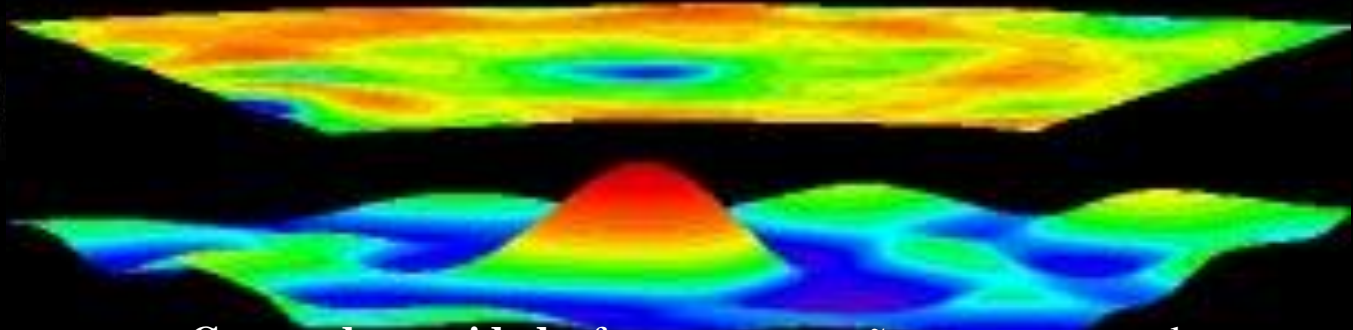
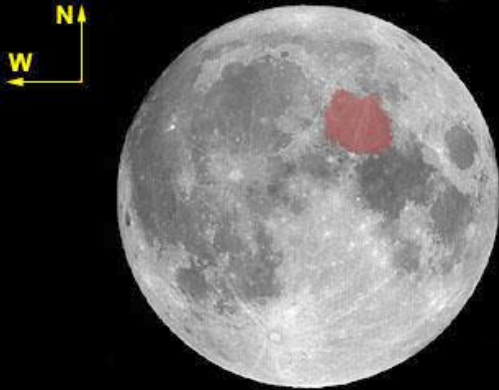
Galileo, 1992, NASA



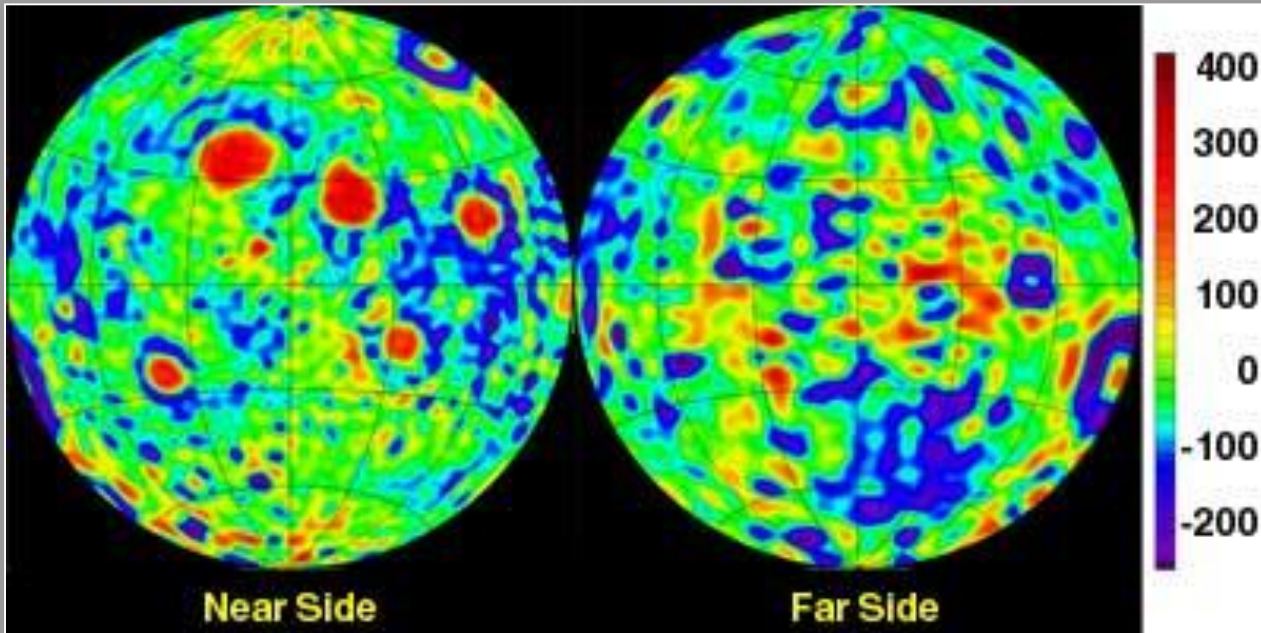
# Lua – MASCONS (concentração de massa)

Mar da Serenidade

Topografia: terreno relativamente plano



Campo de gravidade: forte concentração na parte central



Mapa de gravidade  
obtido pela sonda  
Lunar Prospector  
(NASA)



- **Mares**

- Regiões mais escuras, e
- Mais jovens (3 a 4 bilhões de anos).
- Regiões de lavas solidificadas (rochas basálticas).
- Terras baixas e superfície plana (primeiro pouso: Mar da Tranquilidade)



- **Continents**

- Regiões mais claras,
- Mais velhas (4 a 4,5 bilhões de anos), e
- Fortemente fragmentado por impactos de meteoróides (breccia: rochas compostas de fragmentos rochosos cimentados)

# Lua – estrutura interna



To the Earth direction

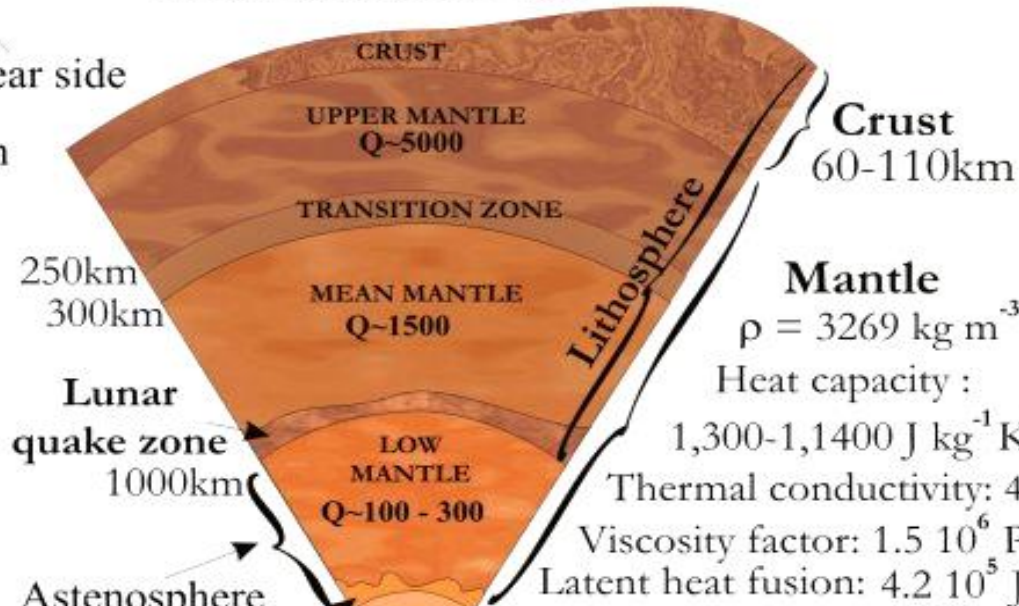
Surface heat flow:  $13.1-16.9 \text{ mW m}^{-2}$

Surface gravity:  $1.62 \text{ m s}^{-2}$

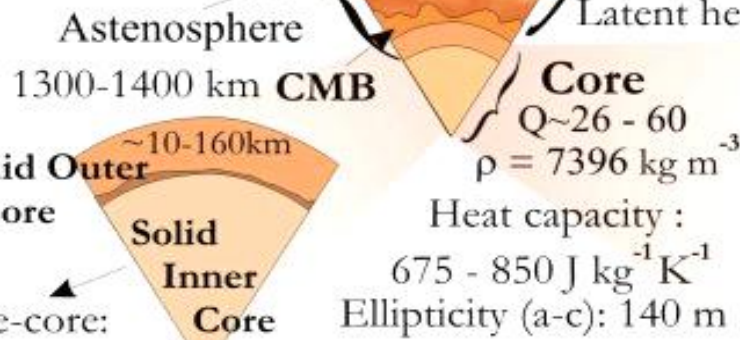
Average density:  $3344 \text{ kg m}^{-3}$  far side

near side

Mean radius  $R=1738.09\text{km}$



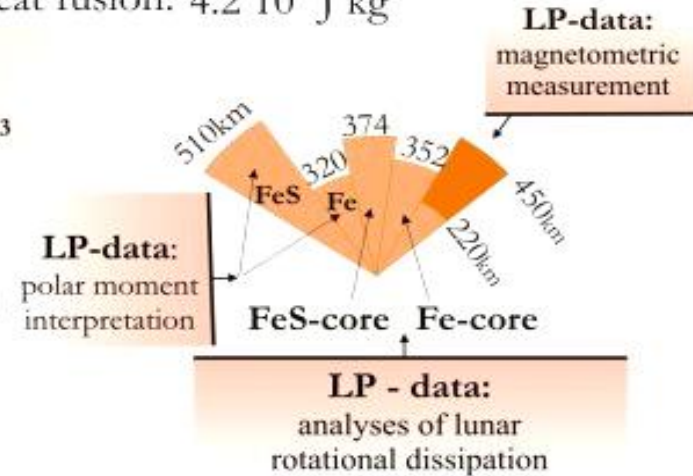
**Mantle**  
 $\rho = 3269 \text{ kg m}^{-3}$   
Heat capacity :  
 $1,300-1,1400 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$   
Thermal conductivity:  $4 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$   
Viscosity factor:  $1.5 \cdot 10^6 \text{ Pas}$   
Latent heat fusion:  $4.2 \cdot 10^5 \text{ J kg}^{-1}$



**Fe-core:**  
 $\rho = 7.0 \text{ gm cm}^{-3}$

**Fe-FeS eutectic core:**  
 $\rho = 5.3 \text{ gm cm}^{-3}$

**Fe-core:**  
 $\rho = 7.7 \text{ gm cm}^{-3}$



# Lua – estrutura interna



To the Earth direction



Mean radius  $R=1738.09\text{km}$

2

qu

A

Fe-core:

$$\rho = 7.0 \text{ gm cm}^{-3}$$

1300

Fluid O  
Core

Fe-FeS eutectic core:

$$\rho = 5.3 \text{ gm cm}^{-3}$$

Fe-cor

$$\rho = 7.7 \text{ gm}$$

Óxido	Terra (%)	Lua (%)
SiO <sub>2</sub>	49.9	43.5
TiO <sub>2</sub>	0.16	0.3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.64	6.0
FeO	8.0	13.0
MgO	35.1	32.0
CaO	2.89	4.5
Na <sub>2</sub> O	0.34	0.09
K <sub>2</sub> O	0.02	0.01

rust

110km

ntle

$9 \text{ kg m}^{-3}$

acity :

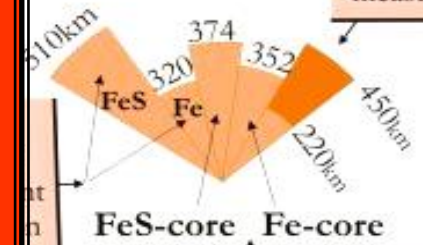
$0 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$

ctivity:  $4 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$

$1.5 \cdot 10^6 \text{ Pas}$

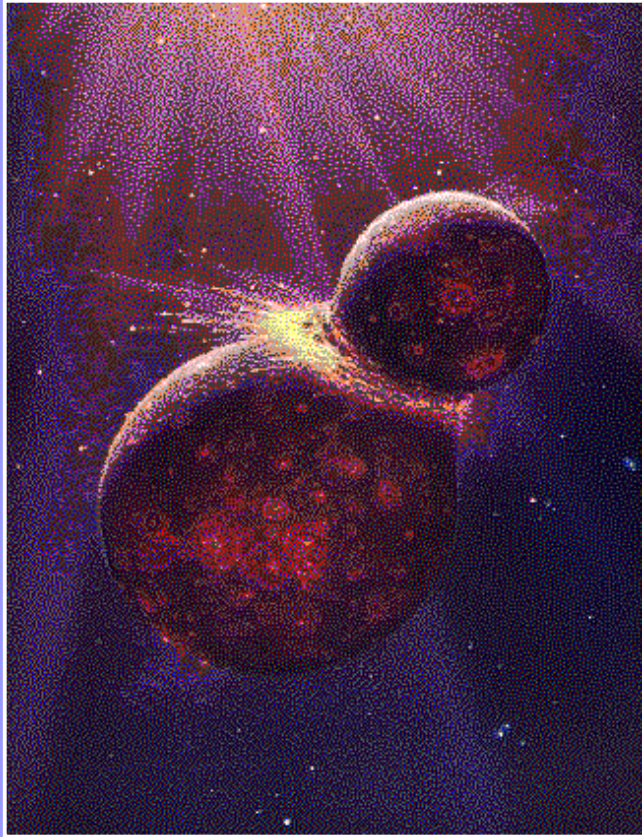
$4.2 \cdot 10^5 \text{ J kg}^{-1}$

LP-data:  
magnetometric  
measurement



LP - data:  
analyses of lunar  
rotational dissipation





Resumidamente:  
por que esta é uma boa hipótese?

\* **A Terra tem um grande núcleo de ferro, a Lua não.** Explicação: o ferro terrestre imergiu para o centro. No impacto, apenas o material das crostas dos dois corpos foi ejetado, o ferro do núcleo do corpo colidente fundiu e imergiu para o centro da Terra.

\* **A Terra tem densidade média ~ 5,5 g/cc, e a Lua tem ~ 3,3 g/cc.** Isso indica que a Lua é deficiente em ferro.

\* **Terra e Lua têm a mesma composição isotópica de oxigênio.** Marte e os meteoritos, que vêm de outras partes do Sistema Solar, têm composições diferentes. Isso indica que a Lua é formada do mesmo material que predominava nas vizinhanças da Terra.

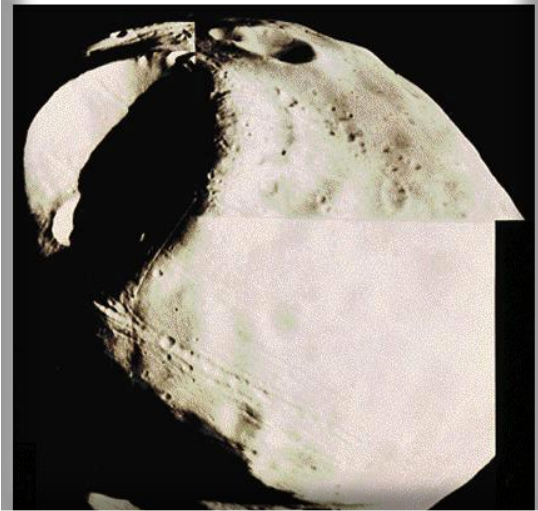
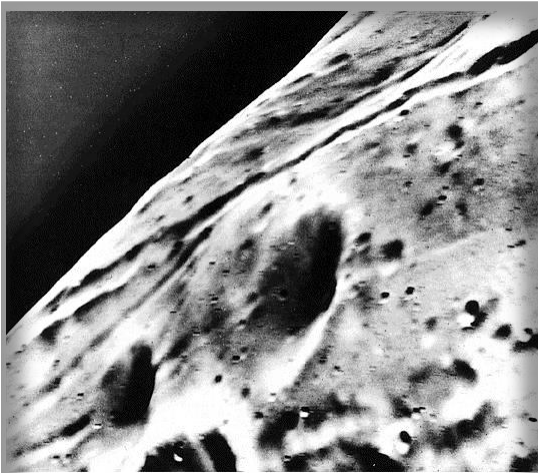
\* **Semelhança de composição química entre planeta e satélite só se encontra nos casos Terra-Lua e Plutão-Caronte, nos demais não.**



# Marte e seus dois satélites

**FOBOS:** ~27x21x19 km,  
move-se de O para L\*,  
em ~7h39m, a 9378 km  
de Marte; Dens: ~2g/cm<sup>3</sup>

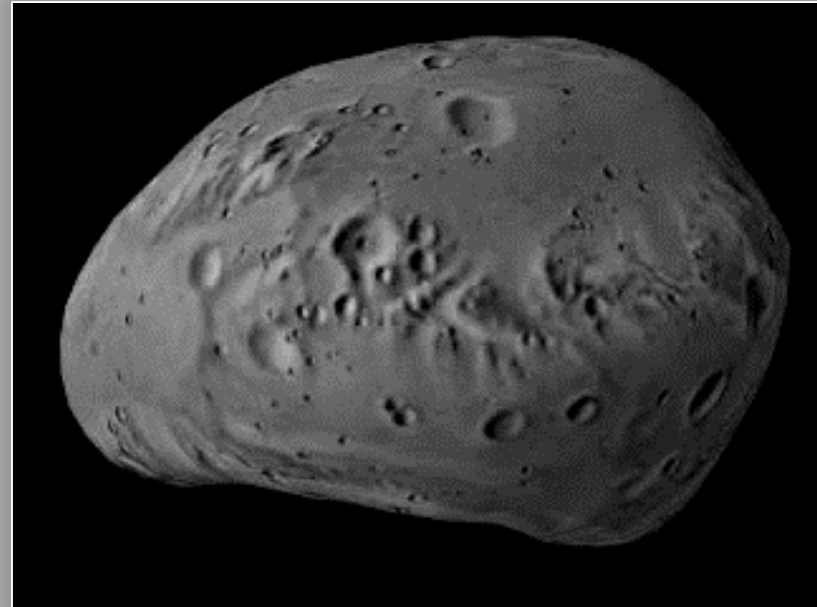
**Rotações sincronizadas. Devido à maré,  
Fobos está se aproximando de Marte**



**MARTE:**  
~24h37m  
Dens: ~4g/cm<sup>3</sup>

**DEIMOS:** ~15x12x11 km,  
move-se de L para O\*,  
em ~30h18m, a 23459 km  
de Marte; Dens: ~2g/cm<sup>3</sup>

**\* Movimento visto da superfície**



Embora suas órbitas sejam quase circulares e estejam próximas ao plano equatorial marciano, há muita diferença entre as densidades médias deles e de Marte. Provavelmente sejam asteróides capturados.

# Marte e seus dois satélites

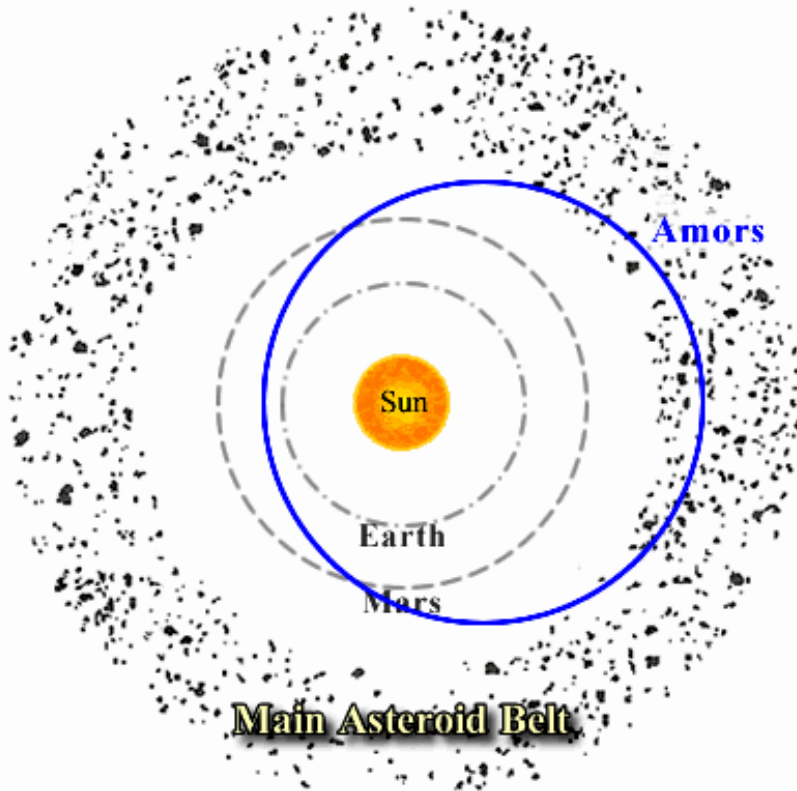
**FOBOS:** ~27x21x19 km,  
move-se de O para L\*,

**MARTE:**  
~24h37m  
4g/cm<sup>3</sup>

**DEIMOS:** ~15x12x11 km,  
move-se de L para O\*,  
em ~30h18m, a 23459 km  
de Marte; Dens: ~2g/cm<sup>3</sup>

Origem: provavelmente captura.  
Melhores candidatos:  
asteróides do grupo Amor

\* Movimento visto da superfície



suas órbitas sejam quase circulares e estejam  
ao plano equatorial marciano, há muita  
entre as densidades médias deles e de Marte.  
mente sejam asteroides capturados.

## 67 satélites

Nome(tamanho em km)

**Io(1821.6), Europa(1560.8), Ganymede(1481.9), Callisto(2410.3),**  
Metis(20),Andrastea(13x10x8), Amalthea(131x73x67),Thebe(55x45),  
Themisto(4), Leda(5), Himalia(85), Lysithea(12), Elara(40), S/2000 J11(2.0),  
Harpalyke(2.2), Praxidike(3.4), Iocaste(2.6), Ananke(10), Chaldene(1.9),  
Isonoe(1.9), Erinome(1.6), Taygete(2.5), Carme(15), Kalyke(2.6), Pasiphae(18),  
Megaclite(2.7), Sinope(14), Callirrhoe(4), Autonoe(2), Thyone(2), Hermippe(2),  
Eurydome(1.5), Sponde(1), Pasithee(1), Euanthe(1.5), Kale(11), Orthosie(1),  
Euporie(1) Aitne(1.5), S/2002 J1(1.5), S/2003 J1(4), S/2003 J2(2), S/2003 J3(2),  
S/2003 J4(2), S/2003 J5(4), /2003 J6(4), S/2003 J7(4), S/2003 J8(3), S/2003  
J9(1), S/2003 J10(2), S/2003 J11(2), S/2003 J12(1), S/2003 J13(2), S/2003 J14  
(2), S/2003 J15 (2), S/2003 J16(2), S/2003 J17(2), S/2003 J18(2), S/2003 J19(2),  
S/2003 J20(3), S/2003 J21(2)...

## Júpiter – satélites galileanos

No início do séc. 17, **Galileu Galilei** construiu para si um telescópio (inventado na Holanda) para observar o céu. A partir daí, a Astronomia passou por uma verdadeira revolução. Galileu observou, com detalhes jamais obtidos, a Lua (o termo “mar” foi utilizado por ele pioneiramente), o Sol (que lhe causou cegueira parcial) os planetas (Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter e Saturno) e a Via Láctea. Olhando para Júpiter descobriu seus quatro maiores satélites: Io, Europa, Ganimedes e Calisto. Em sua homenagem eles foram batizados como Galileanos.

Galileu era defensor do **Heliocentrismo** e rapidamente viu nesse sistema uma réplica do que se propunha para os planetas: as quatro “luas” giravam ao redor de Júpiter assim como os planetas giravam ao redor do Sol, ou seja, era um sistema solar em miniatura.

Esta foi a evidência observacional mais significativa na derrota definitiva da idéia **Geocentrista**. O modelo heliocêntrico foi proposto na Grécia, no séc. 3 a.C., por Aristarco, da cidade de Samos.

A maior parte dos satélites é de pequeno porte. Hoje contamos com 17 satélites, e a tendência é que este número cresça à medida em que observações com maior poder de resolução espacial ocorram.



# Júpiter – satélites galileanos

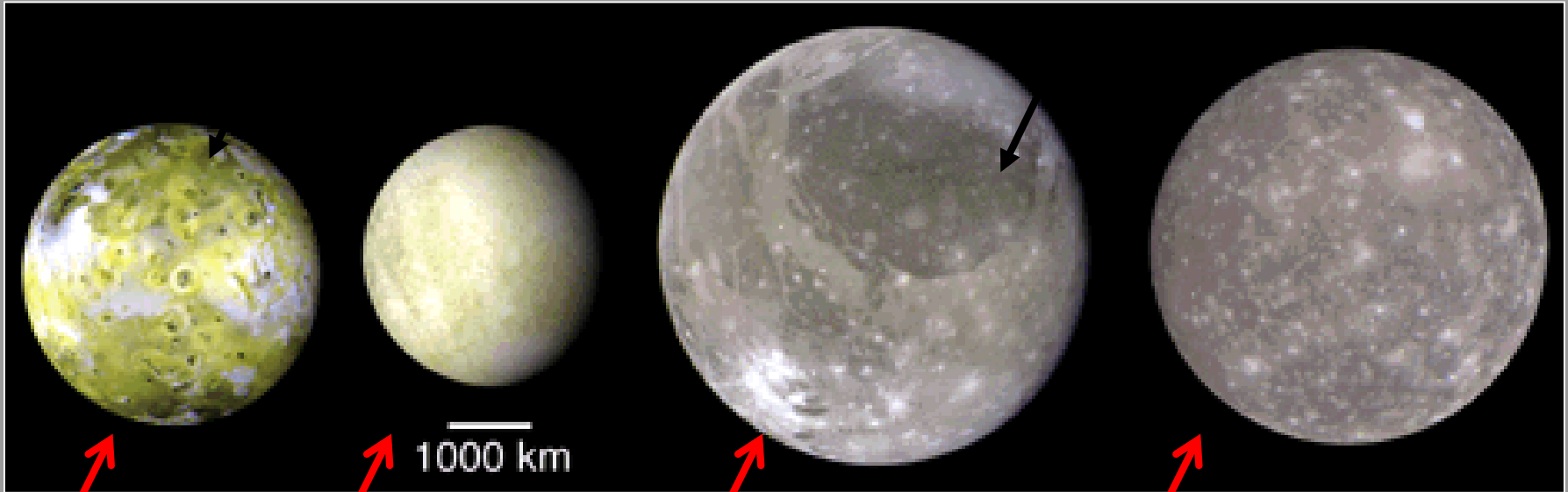
|----- 2:1 -----|

ressonância

|----- 4:1 -----|

comparáveis à Lua

comparáveis à Mercúrio



Io

42,5 h

Europa

85,2 h

Ganimedes

181 h

Calisto

400,6 h

período rotação

Rotação síncrona

## Satélites: Io é o mais ativo em vulcanismo

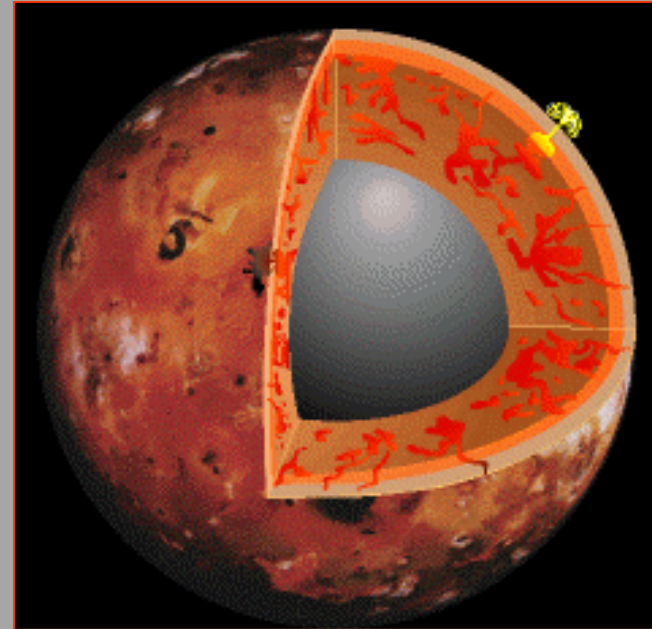


**Raio:** 1815 km

**Densidade média:** 3,53 g/cm<sup>3</sup>,  
(o mais denso dos 4)

**Órbita:** 6 R<sub>J</sub> (71540 km)

**Temp.:** -145 a -223 (°C)



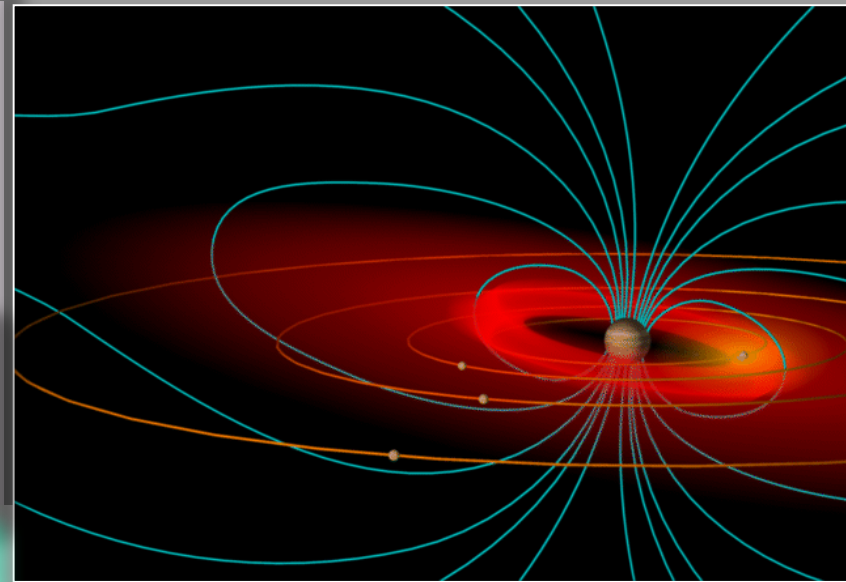
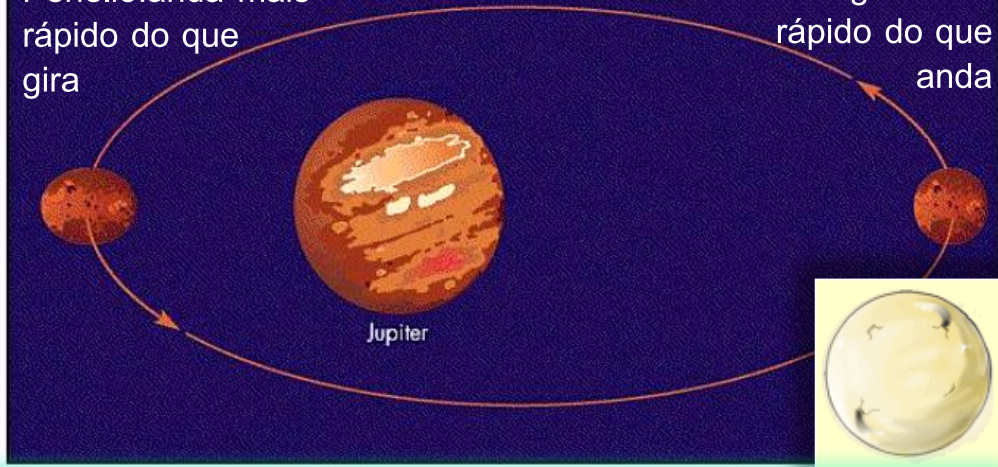
Características do interior são inferidas pela gravidade e campo magnético: núcleo metálico (ferro e níquel) circundado por camada rochosa que se estende até a superfície. (NASA – Galileo)

Densidade consistente com rocha, núcleo metálico, e crosta de sais de sódio e potássio, rico em enxofre. O Manto fundido contém enxofre, SO<sub>2</sub> e silicatos.

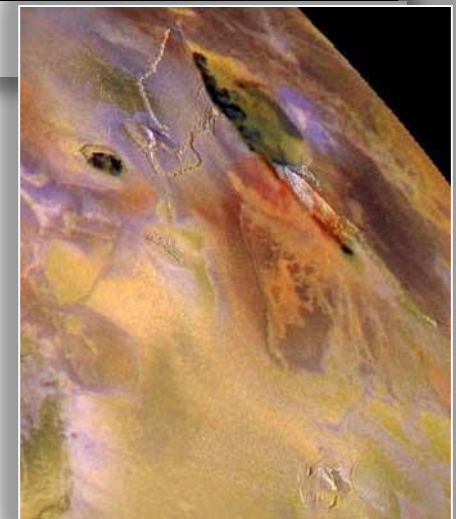
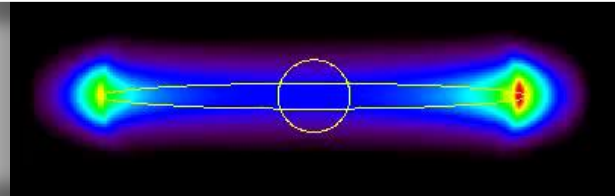
# Satélites: Io é o mais mais ativo em vulcanismo

Periélio: anda mais rápido do que gira

Afélio: gira mais rápido do que anda

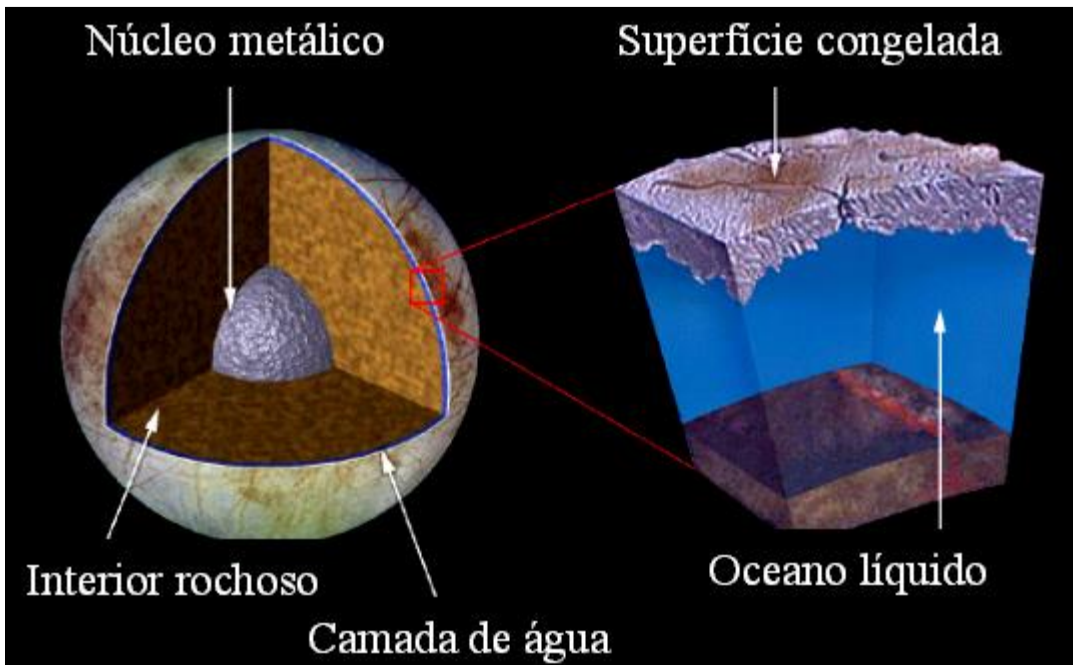


Marés em Io causam o vulcanismo: o movimento é sincronizado, mas a órbita é elíptica. Próximo do periastro e do apoastro o sincronismo desaparece e o satélite é contorcido.





# Satélites: Europa



- **RAIO: 1565 KM (POUCO MAIOR QUE A LUA)**
- **DENSIDADE MÉDIA: 3,03 G/CM<sup>3</sup>.**
- **RAIO ORBITAL: 9 R<sub>J</sub> (R<sub>J</sub> = 71.540 KM).**
- **REFLETIVIDADE: 70%.**
- **RELÊVO: ALTURAS < 1 KM.**
- **TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE : -180 °C (MEIO DIA LOCAL)**



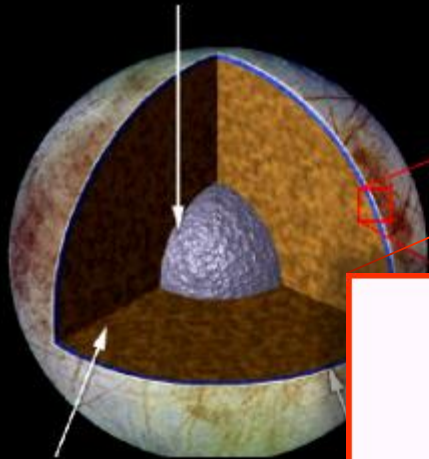
- Superfície marcada por intrincada rede de estrias, com dezenas de km de largura. Provavelmente sejam fraturas na crosta de gelo que recobre a superfície, provocadas por distorção de maré.
- Não há atmosfera. Possivelmente seja devido ao fato de que elementos voláteis expostos à baixíssima temperatura superficial se condensam imediatamente. Observa-se presença de O<sub>2</sub> nas vizinhanças.



# Satélites: Europa

Núcleo metálico

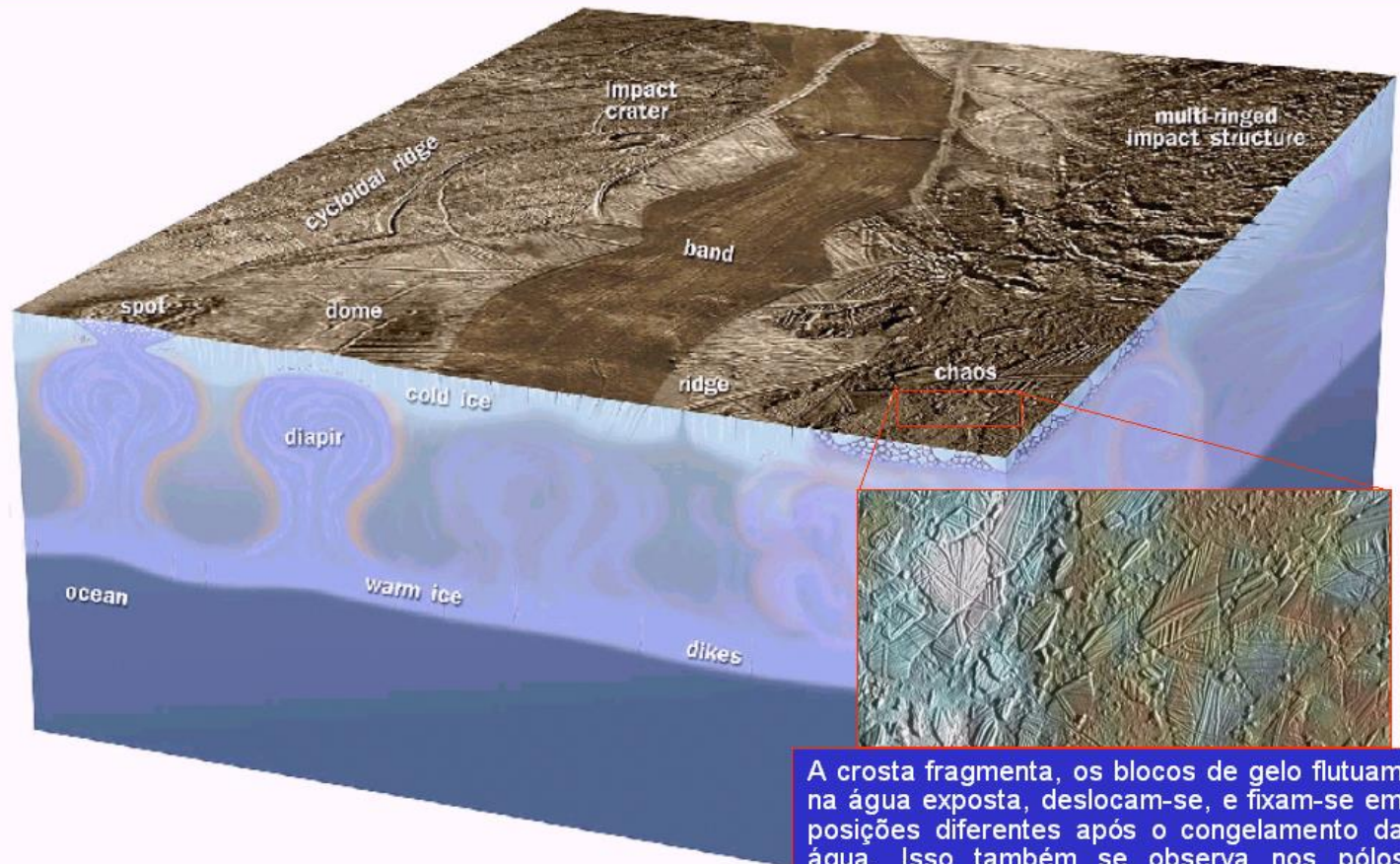
Superfície congelada



Interior rochoso

Camada

- **RAIO: 1565 KM (POUCO MAIOR QUE A LUA)**
- **DENSIDADE MÉDIA: 3,03 G/CM<sup>3</sup>.**
- **RAIO ORBITAL: 9 R<sub>J</sub> (R<sub>J</sub> = 71.540 KM).**

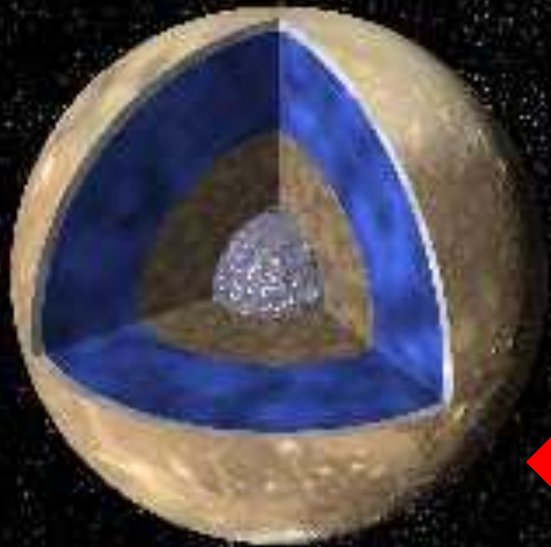
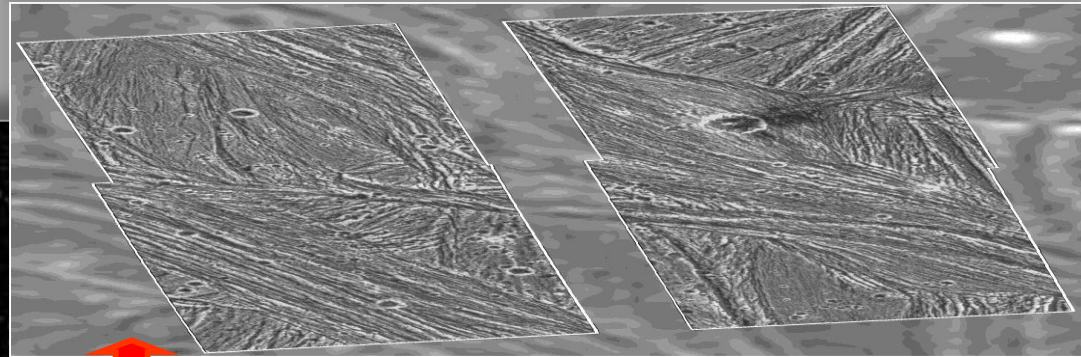


A crosta fragmenta, os blocos de gelo flutuam na água exposta, deslocam-se, e fixam-se em posições diferentes após o congelamento da água. Isso também se observa nos pólos terrestres.

# Satélites: Ganimedes



- Raio = 2630 km (maior que Mercúrio)
- Raio orbital  $\gg 15 R_J$  ( $R_J = 71.540$  km)
- Baixa densidade =  $1,93 \text{ g/cm}^3$ ,
  - 3o. satélite mais denso entre os galileanos
  - Talvez, composto por gases congelados e água.

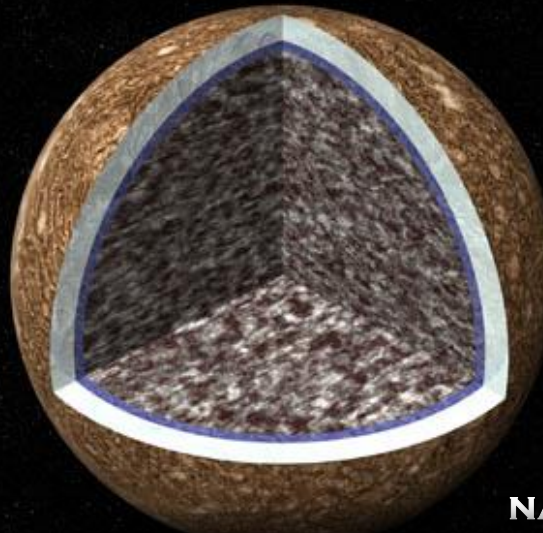


**Superfície:** congelada, rica em água e sais (condutora). Figuras desalinhadas sugerem rompimento e movimentação de placas.

**Interior:** pequeno núcleo metálico, manto rochoso. Presença de campo magnético sugere núcleo aquecido.



## Satélites: Calisto



- Raio = 2450 km (muito maior que a Lua, comparável a Mercúrio (2440 km))
- Dist. Média = 25 RJ (RJ = 71.540 km), o mais distante dentre os Galileanos.
- Densidade = 1,79 g/cm<sup>3</sup>, o menos denso dos satélites Galileanos. Crosta com ~ 200 km.
- Oceano de água salgada, até 10 km abaixo da crosta.
- Interior de rocha e gelo comprimidos, com abundância de rocha crescendo para o centro.
- Composição: ~ 40% de gelo e 60% de rocha e ferro.

## 62 satélites

Nome(tamanho em km)

Mimas(209x196x191), Enceladus(256x247x245), Tethys(536x528x526),  
Dione(560), Rhea(764), **Titã(2.575)**, Hyperion(185x140x113),  
Iapetus(718), Pan(10), Atlas(18.5x17.2x13.5), Prometheus(74x50x34),  
Pandora(55x44x31), Epimetheus(69x55x55), Janus(97x95x77),  
Calypso(15x8x8), Telesto(15x12.5x7.5), Helene(18x16x15),  
Phoebe(115x110x105), Ymir(~8), Paaliaq(~10), Siarnaq(~16),  
Tarvos(~7), Kiviuq(~7), Ijiraq(~5), Thrym(~3), Skadi(~3), Mundilfari(~3),  
Erriapo(~4), Albiorix(~13), Suttung(~3), S/2003 S1(~3), S/2004 S1(~3),  
S/2004 S2(~4)...



## Saturno e seus satélites

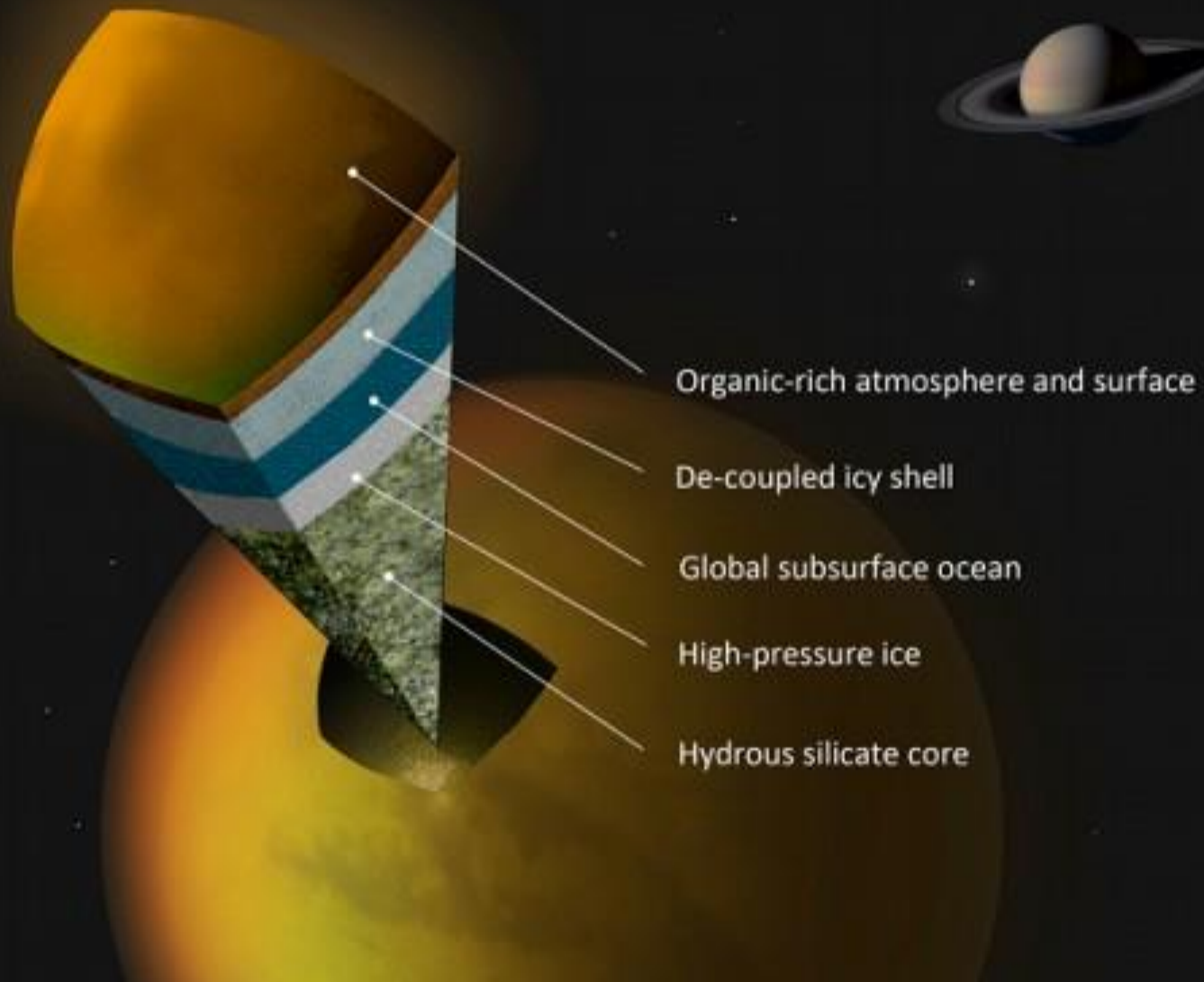
Apenas Titã tem atmosfera apreciável, com espessura suficiente para esconder detalhes de sua superfície. Muitos dos satélites têm rotação síncrona (mostram sempre a mesma face para o planeta). Isto só ocorre quando os períodos de rotação e translação são iguais.

As órbitas dos satélites são quase circulares e localizam-se praticamente no plano equatorial de Saturno. As duas exceções são Japeto e Febe. Indicativo de que foram formados no local.

Todos os satélites têm densidade menor que  $2 \text{ g/cm}^3$  (o dobro da densidade da água). Isto pode ser um indicativo de que eles sejam compostos por 30 a 40% de rochas e 60 a 70% de água gelada.

A maioria dos satélites refletem 60 a 90% da luz incidente. Os quatro satélites exteriores refletem menos do que isto e Febe reflete apenas 2% da luz incidente.

# Titã

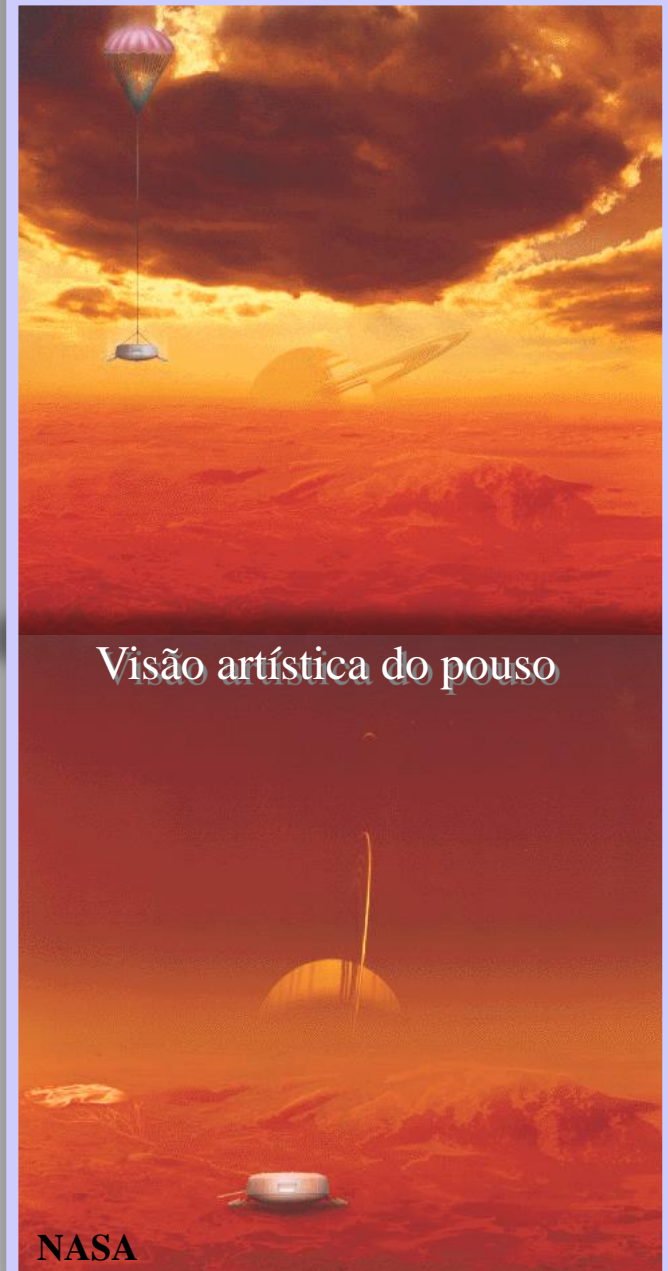




**Atmosfera mais espessa dentre os satélites,  
impede a observação da superfície**

**À bordo da sonda Cassini, a sonda de prova  
Huygens foi lançada sobre Titan em 2004**

<https://www.youtube.com/watch?v=VIZVy44zOm4>



Visão artística do pouso

NASA

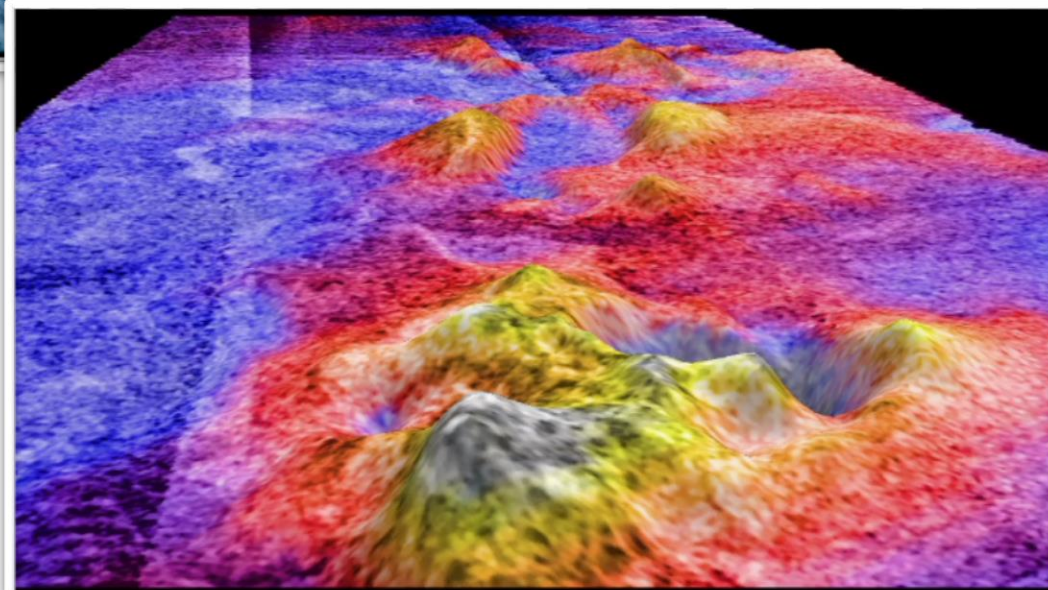
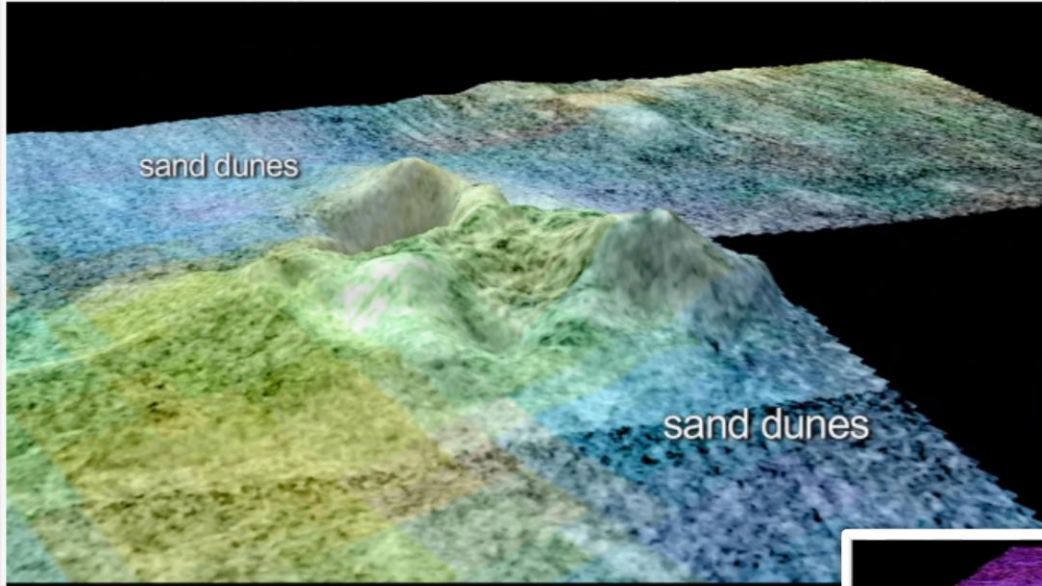


Jet Propulsion Laboratory  
California Institute of Technology

CASSINI MISSION TO SATURN

The Jo

## Sotra Facula, Titan





# Titã

Huygens: pousou em 14/01/2005

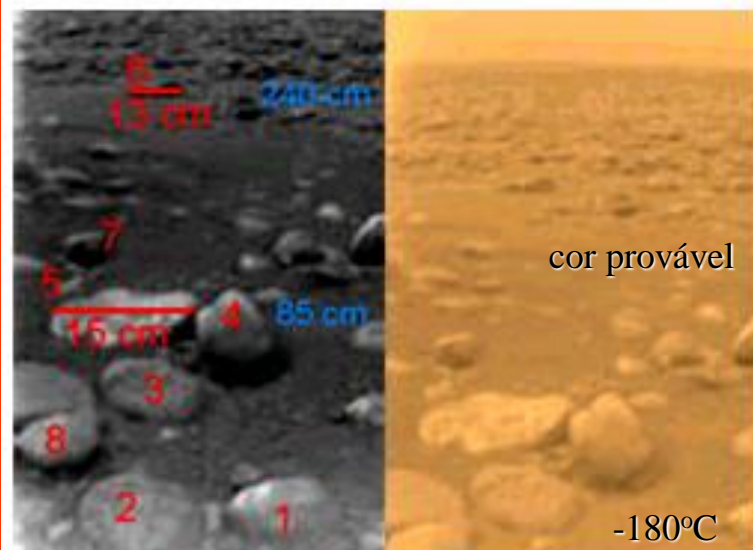
Canais de erosão produzidos por metano líquido

Lago: lama de hidrocarbonetos  
Temperatura próxima a de congelamento?

Ilhas de água congelada.

$^{40}\text{Ar}$  da atmosfera pode ter originado de atividade vulcânica, não de lava mas de água e amônia.

Solo não contém silicato, mas gelo sujo de água. Aquecido pela sonda liberou bolhas de gás metano.



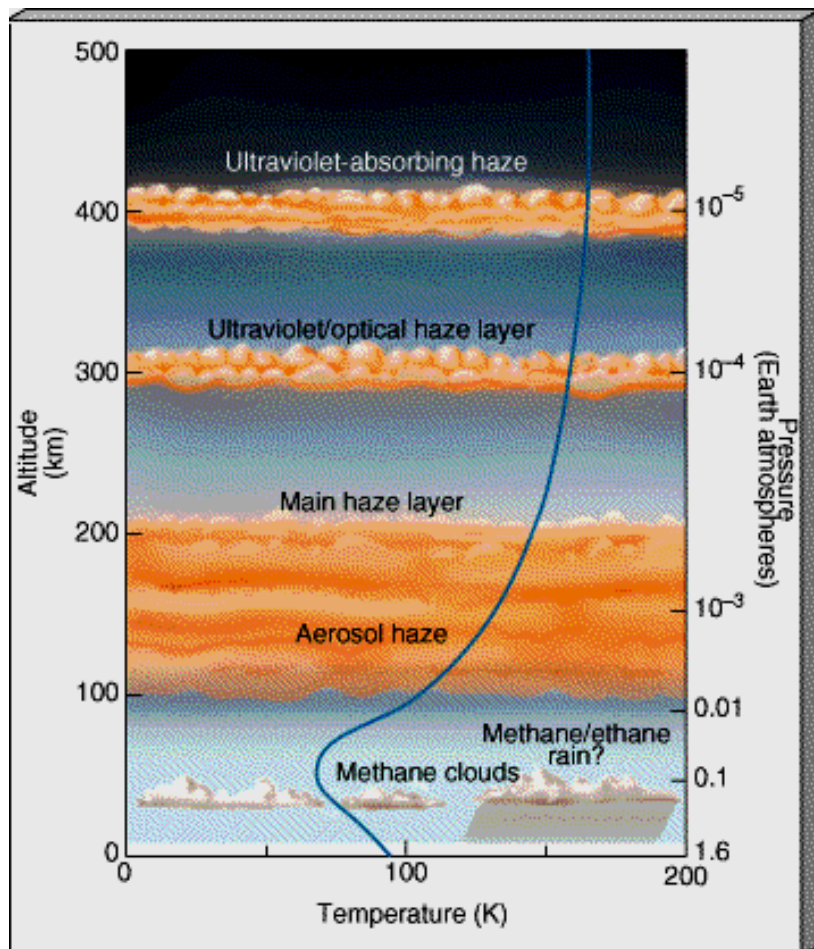
Solo úmido macio & blocos congelados



No alto, a primeira imagem do solo de Titã, com dados sobre o tamanho dos objetos e com a provável cor predominante na atmosfera; abaixo, imagem tomada a 8km de altitude.

Composição química predominante, em percentual: N (~90), Ar (~10) e traços de  $\text{CH}_4$ .

## Estrutura atmosférica



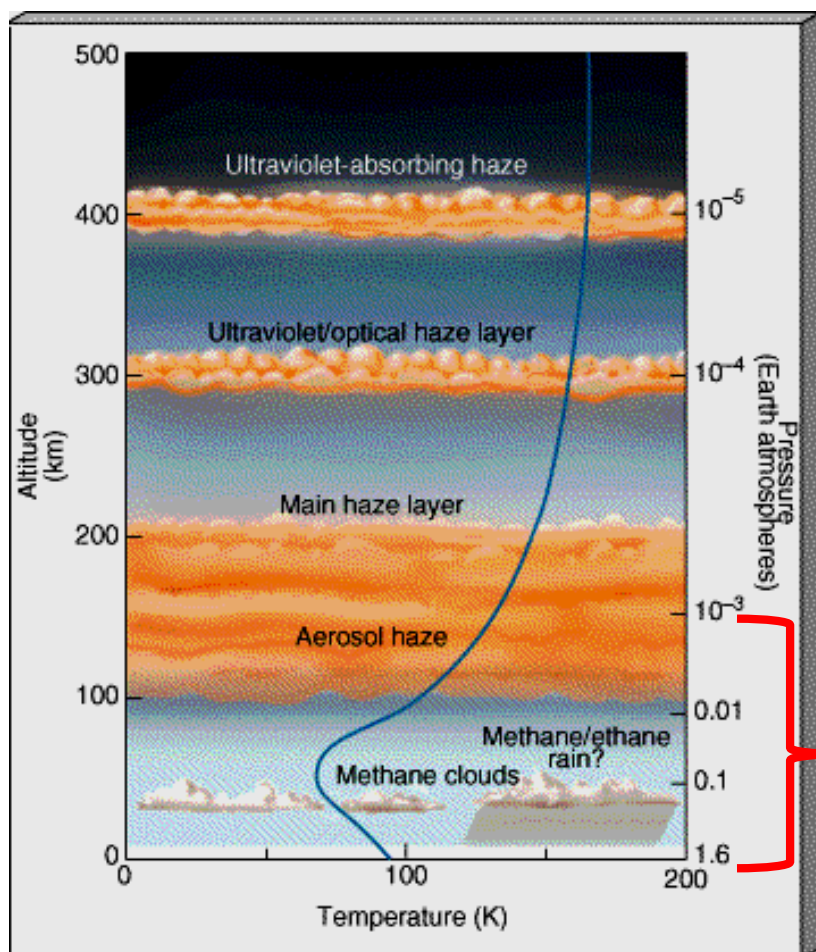
Mais densa e espessa que a terrestre, a atmosfera deste satélite de Saturno é única entre os satélites.

Uma química complexa que mantém níveis constantes de hidrogênio, etano, propano e monóxido de carbono.

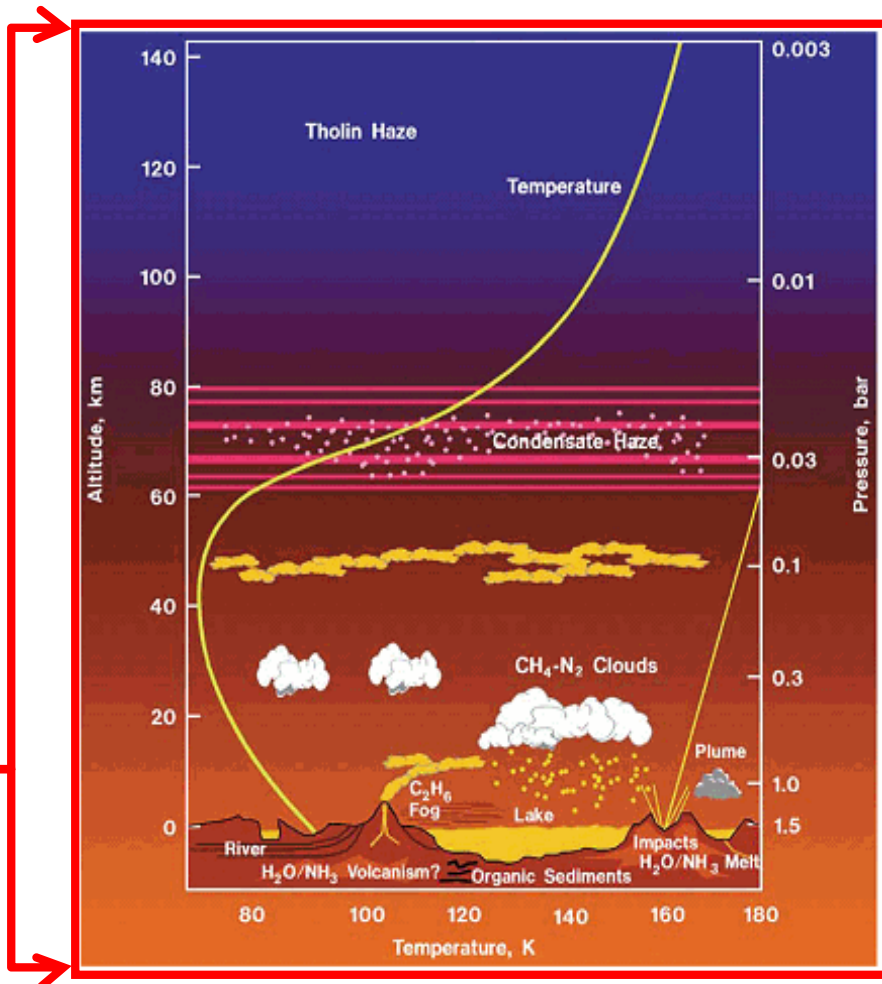
Especula-se a existência de oceanos de hidrocarbonetos, especialmente etano, e vales congelados contendo produtos petroquímicos.

Composição química predominante, em percentual: N (~90), Ar (~10) e traços de  $CH_4$ .

## Estrutura atmosférica



Astronomy Today, Chaisson & McMillan



NASA



A atmosfera de Titã, como a da Terra, possui uma troposfera (camada mais baixa, dinâmica, onde o clima acontece) e uma estratosfera (camada estável aquecida por radiação solar ultravioleta). Essas e outras camadas são definidas pela mudança da temperatura com a altura (à direita). A atmosfera de Titã é mais de 200 graus mais fria e, por causa de sua fraca gravidade, é mais esticada verticalmente. Múltiplas camadas de névoa seca, consistindo em partículas de hidrocarbonetos, semelhante ao *smog*, têm o mesmo papel que a camada de ozônio da Terra.





# UM DILÚVIO DE METANO

O metano tem um ciclo de curto prazo (em preto) muito semelhante ao ciclo da água na Terra. Sobre tempos geológicos existe um episódico fluxo de mão única de metano dos reservatórios interiores para a atmosfera superior (em branco), onde a radiação solar o converte em etano e hidrocarbonetos mais pesados – formando a névoa seca. As partículas caem sobre a superfície, como o que Carl Sagan chamava de "maná do céu".



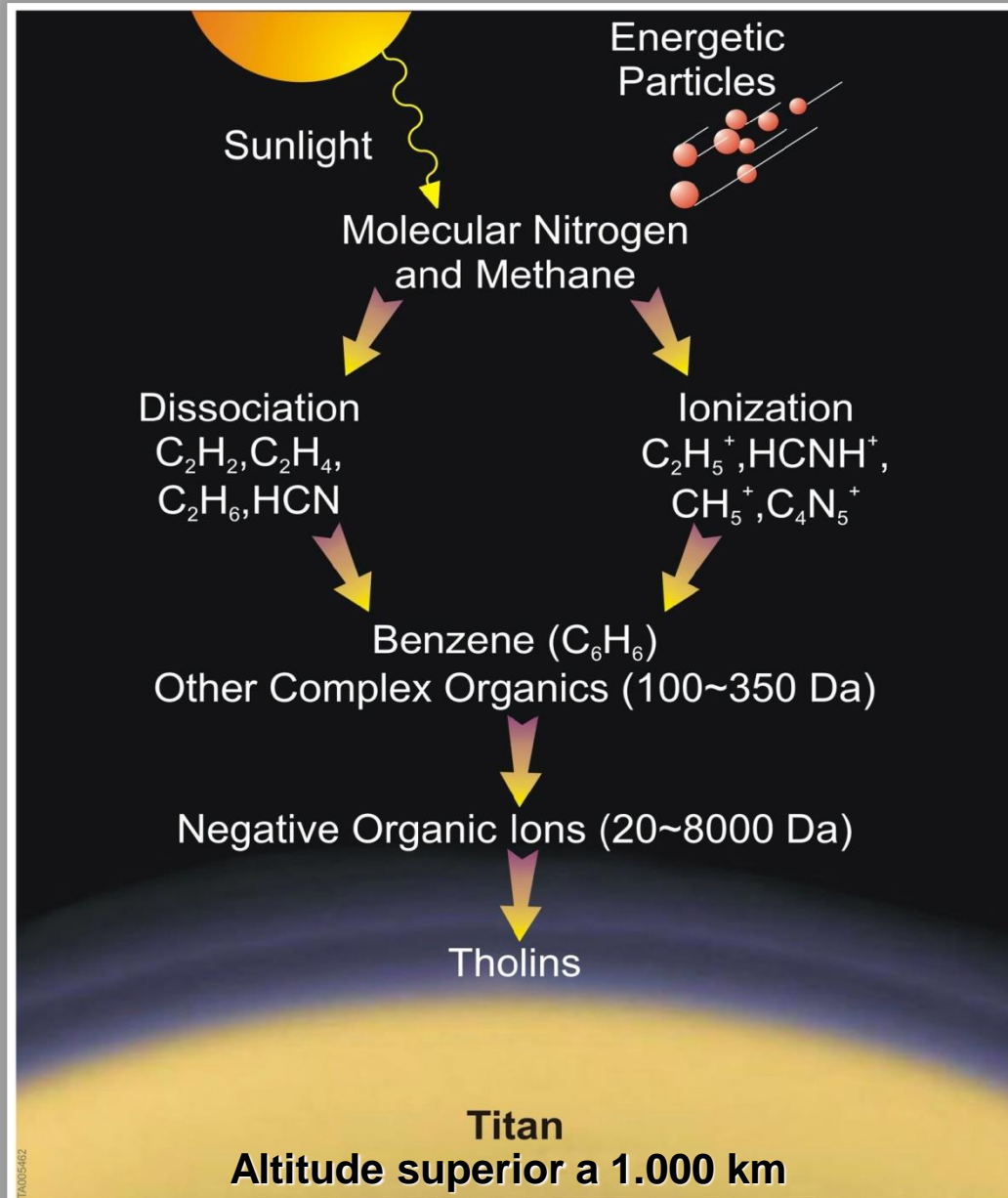
## Tholin

(do grego, “barrento”)

Substância orgânica – aminoácidos – formada no experimento de Urey-Miller (mistura de metano, amônia, hidrogênio e vapor d’água sujeita à descarga elétrica)

Heteropolímero (gde complexo de moléculas orgânicas) formado pela exposição de metano e/ou etano à luz ultravioleta.

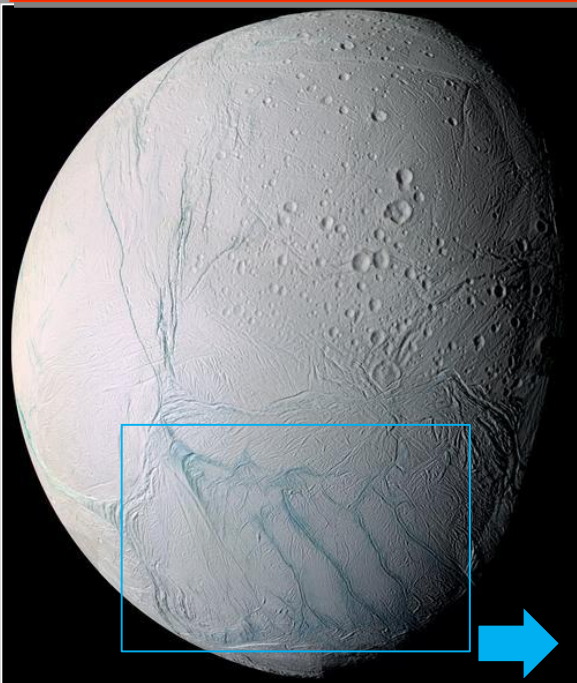
Tholins podem ser os precursores da vida.



Tholin formation in Titan's upper atmosphere



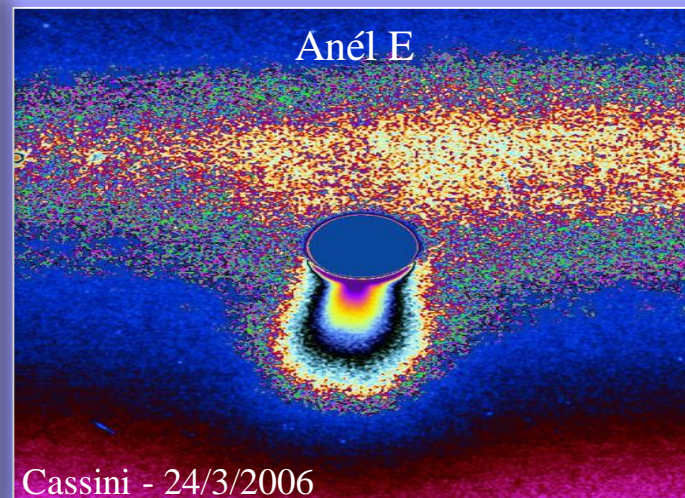
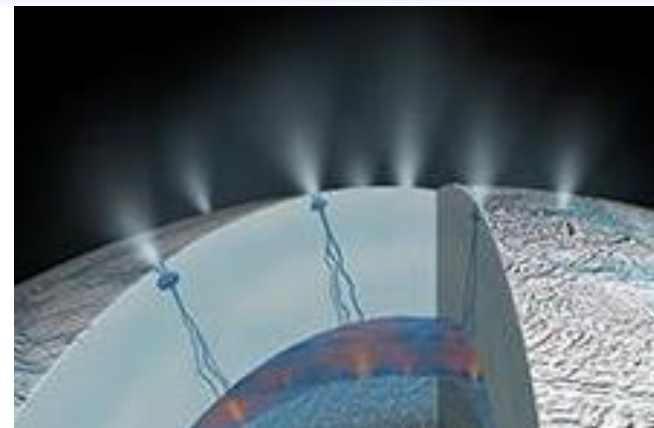
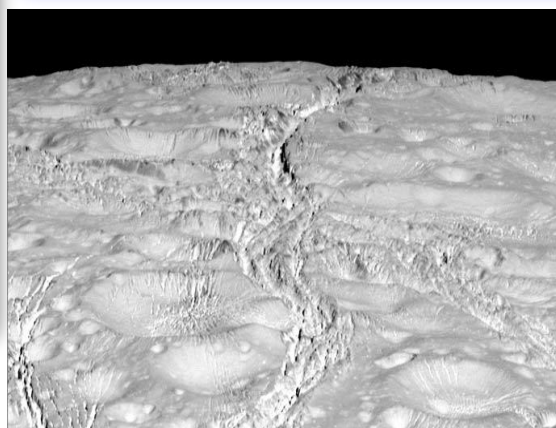
# Encélado



Sonda Cassini passa por jato vulcânico e revela que composição química é semelhante a dos cometas.

Medidas espectrométricas indicam densidade bem mais elevada que esperada de gases voláteis, vapor d'água, dióxido e monóxido de carbono, e material orgânico

Jatos de gelo lançam poeira a centenas de km acima da superfície no pólo sul. Parte dessa poeira escapa e forma o anél difuso E, por onde ele circula.





## 27 satélites

Nome(tamanho em km)

Miranda(240x234.2x232.9), Ariel(581.1x577.9x577.7),  
Umbriel(584.7), **Titania(788.9)**, **Oberon(761.4)**, Cordelia(20),  
Ophelia(21), Bianca(27), Cressida(40), Desdemona(32), Juliet(47),  
Portia(68), Rosalind(36), Belinda(40), Puck(81), Caliban(48),  
Stephano(10), Sycorax(95), Prospero(15), Setebos(15), Trinculo(5),  
S2001/U2(6), S2001/U3(6), S2003/U1(16), S2003/U2(12),  
S2003/U3(6)

## Propriedades

Satélite	Raio (km)	Período (h)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
Miranda	242	33.9	1.26
Ariel	580	60.5	1.65
Umbriel	595	99.5	1.44
Titania	805	208.9	1.59
Oberão	775	323.1	1.50

Miranda mostra sinais de atividade tectônica, uma grande surpresa dado seu tamanho pequeno e baixa temperatura (86°). Deve haver uma fonte de calor (maré?)

# Urano e seus satélites

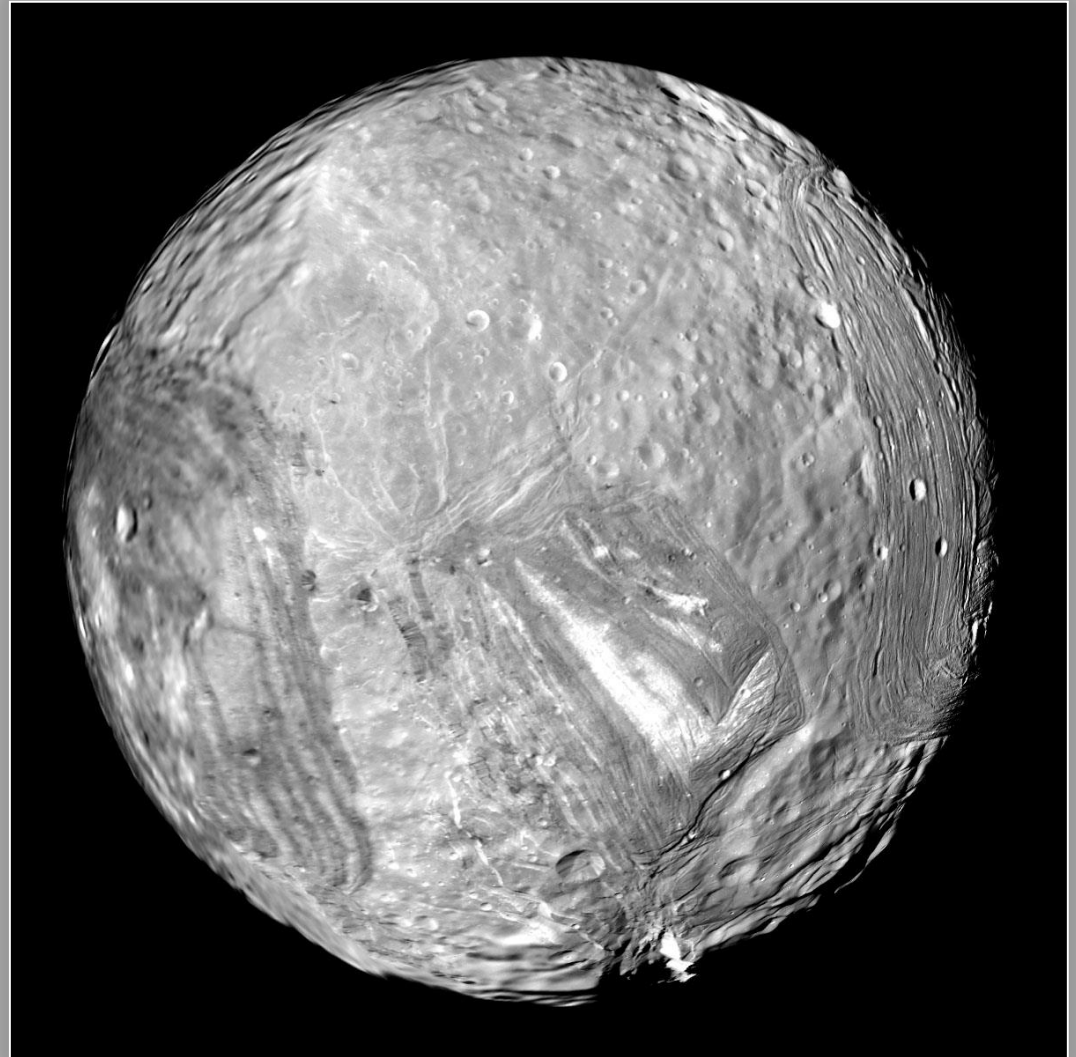


Pode-se dividir seus satélites em 3 classes distintas::

- 11 pequenos, muito escuros, mais internos, descobertos pela Voyager 2,
- 5 grandes
- a maioria tem órbitas circulares no plano equatorial de Urano (portanto bem inclinados relação ao plano da eclíptica);
- os 4 mais externos têm órbitas mais elípticas.

# Miranda

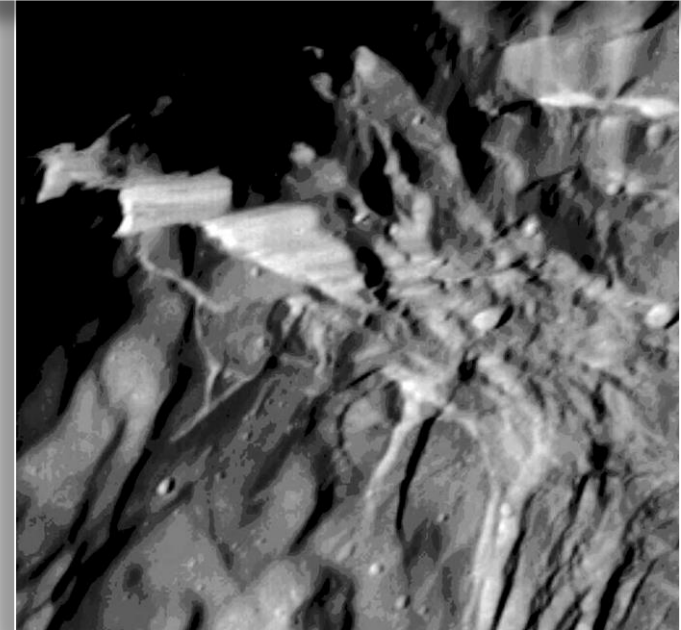
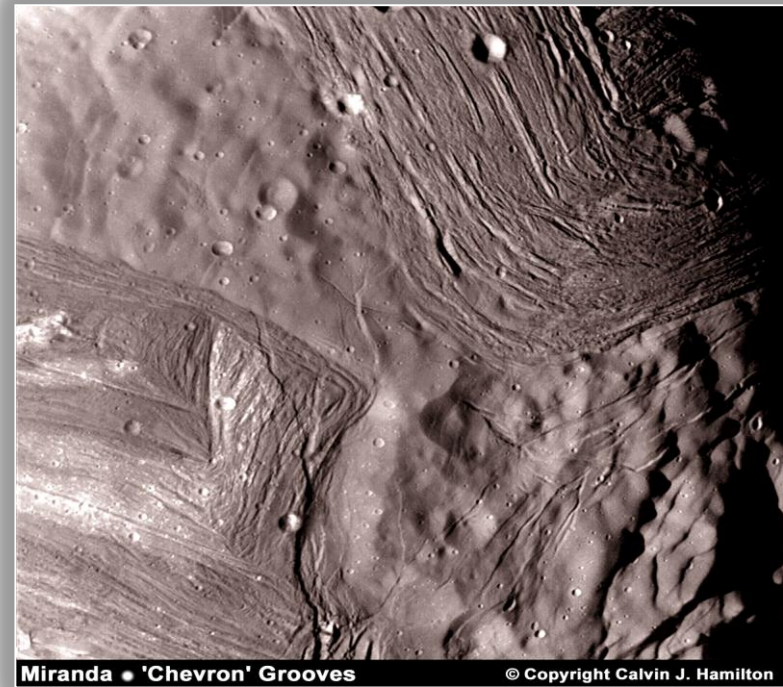
- 11° satélite.
- o mais interno dentre os maiores satélites.
- diâmetro: 472 km
- composição provável:  
50% de água, 50 % de material rochoso.





# Miranda

- Superfície composta de terrenos diferentes, como fortemente marcados por crateras de colisão, ranhuras, vales e penhascos (com até 5 km de altura).
- Inicialmente pensou-se que Miranda tivesse sofrido vários processos de fragmentação e reagrupamento durante sua vida, cada vez destruindo parte de sua superfície original e expondo parte de seu interior.
- atualmente, acredita-se que o processo predominante seja o afloramento de gelos parcialmente derretidos.

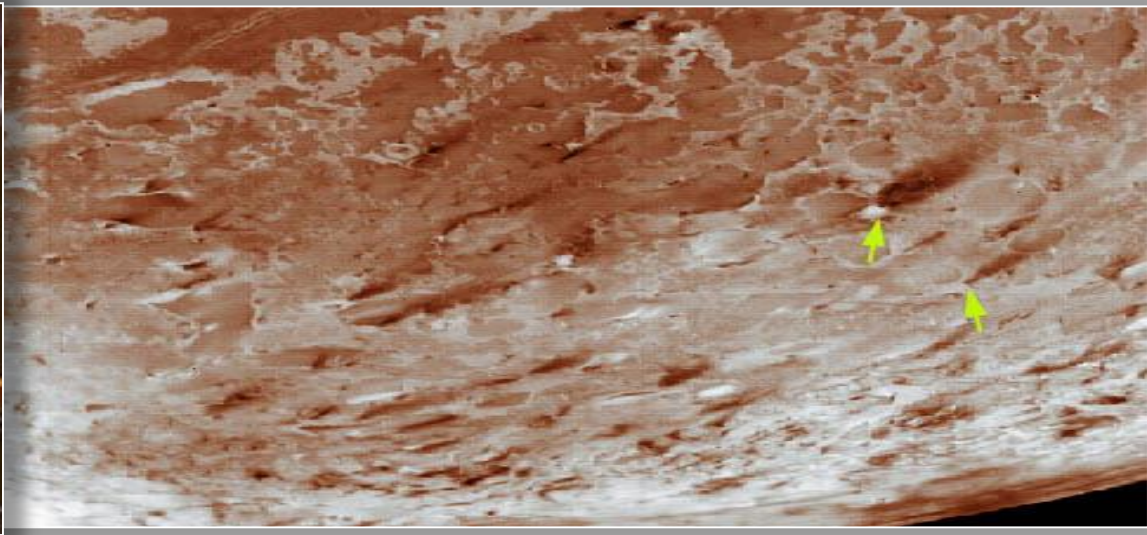


## 13 satélites

Nome(tamanho em km)

Náiade(48x30x26), Talassa(54x50x26), Despina(90x74x64),  
Galatéia(102x92x72), Larissa(108x102x84), Proteus(220x208x202),  
**Tritão(1.353,4)**, Nereida(170), S/2002 N1(24), S/2002 N2(24), S/2002  
N3(24), S/2002 N4 (30), S/2003 N1(14)

# Netuno e seus satélites



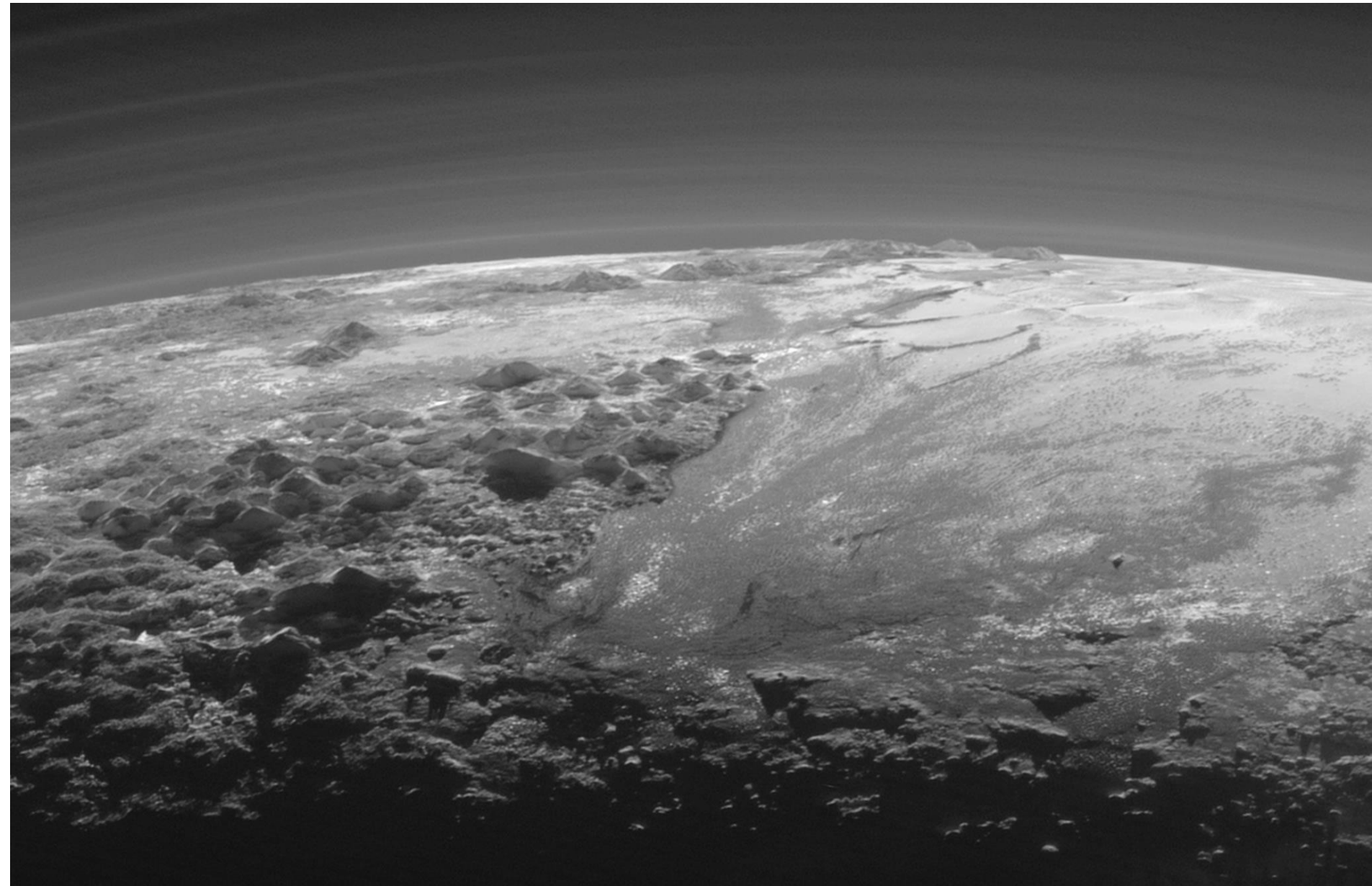
Visões artísticas



Gêiser de Nitrogênio líquido  
8 km de altura e 140 km de extensão,  
na direção do vento



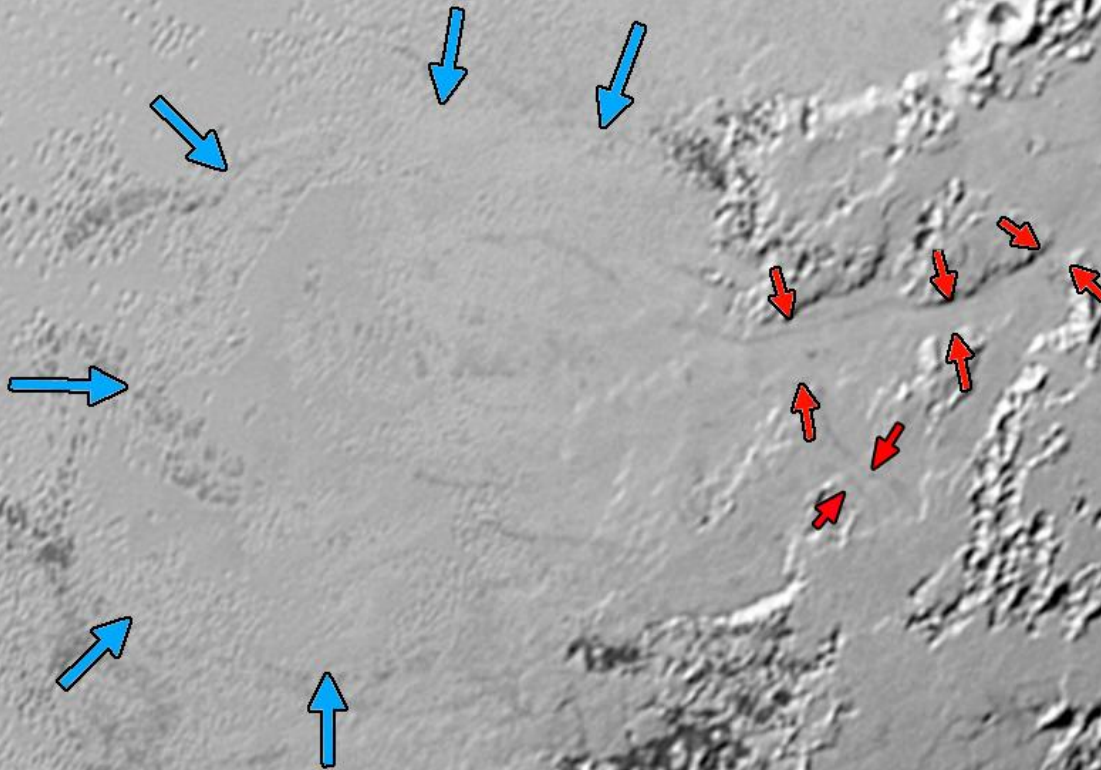
## Plutão: semelhanças com Tritão



# Plutão: semelhanças com Tritão

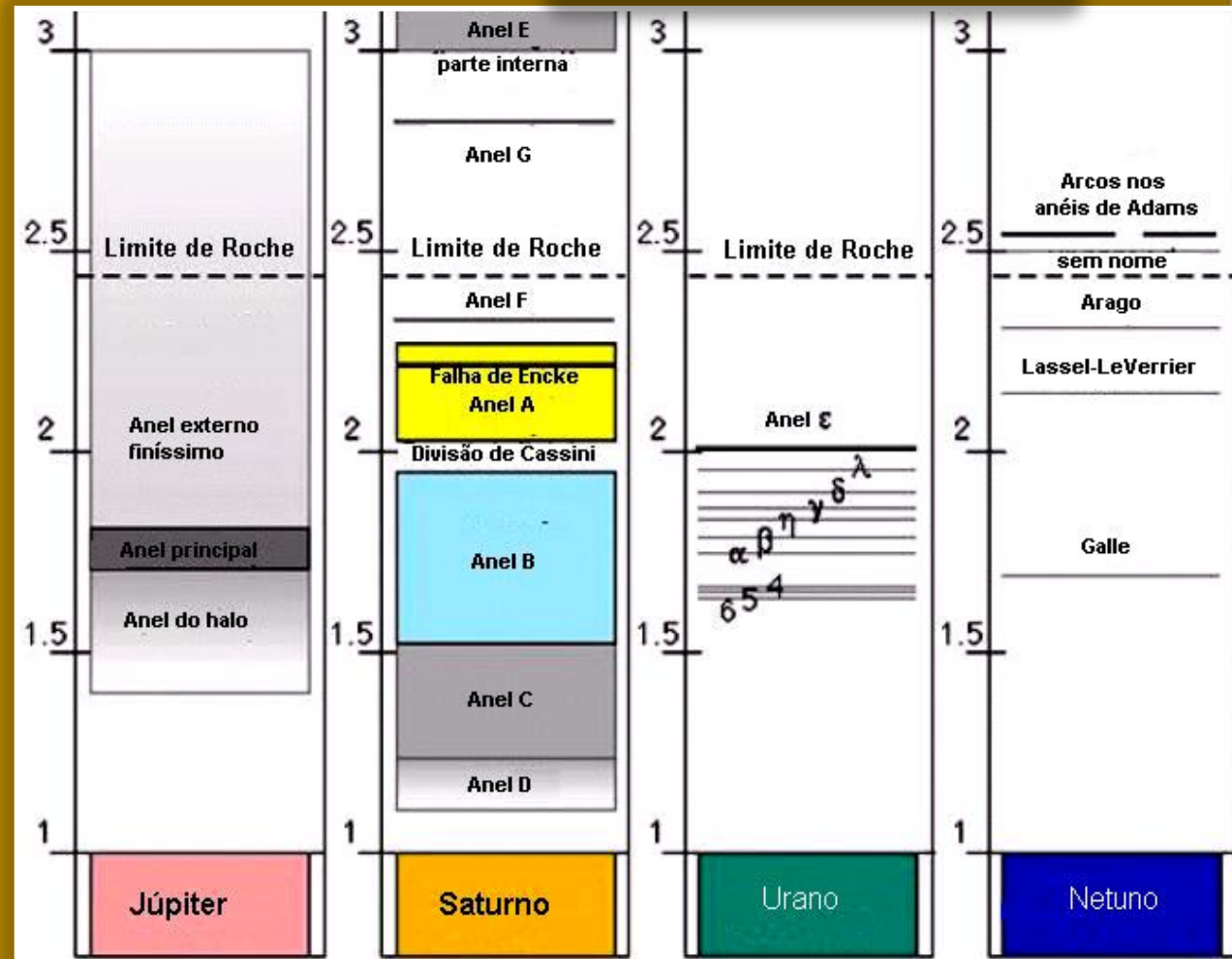
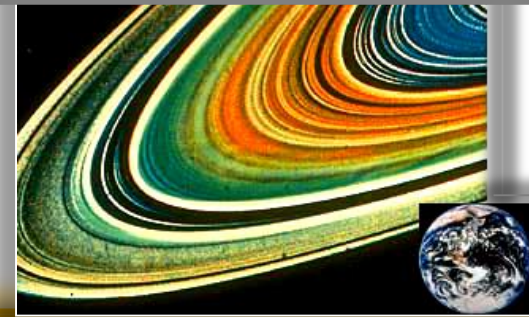
*Sputnik Planum*

*Ridges and Pits*





# Anéis planetários

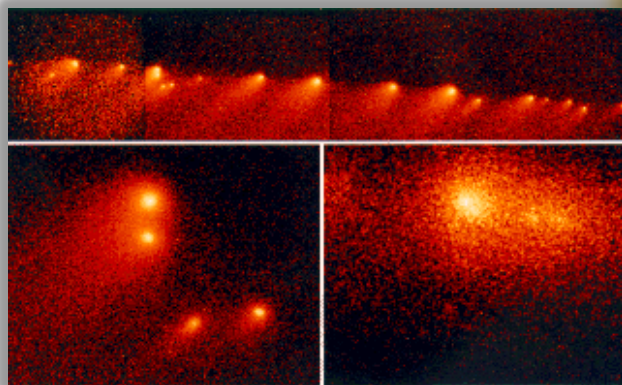
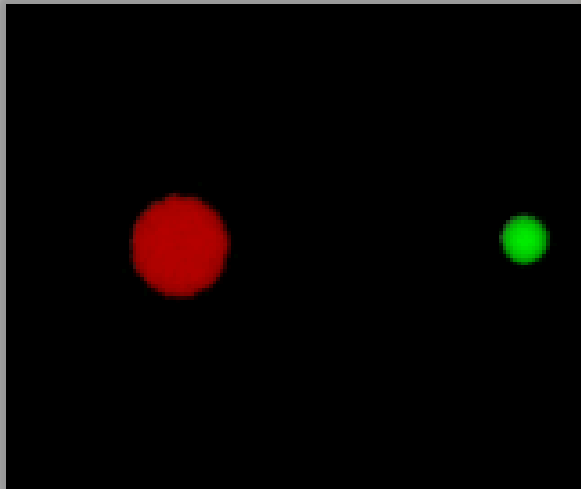
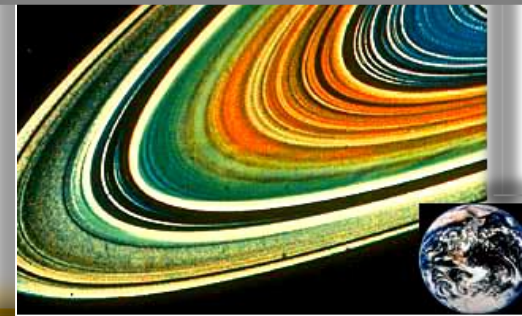




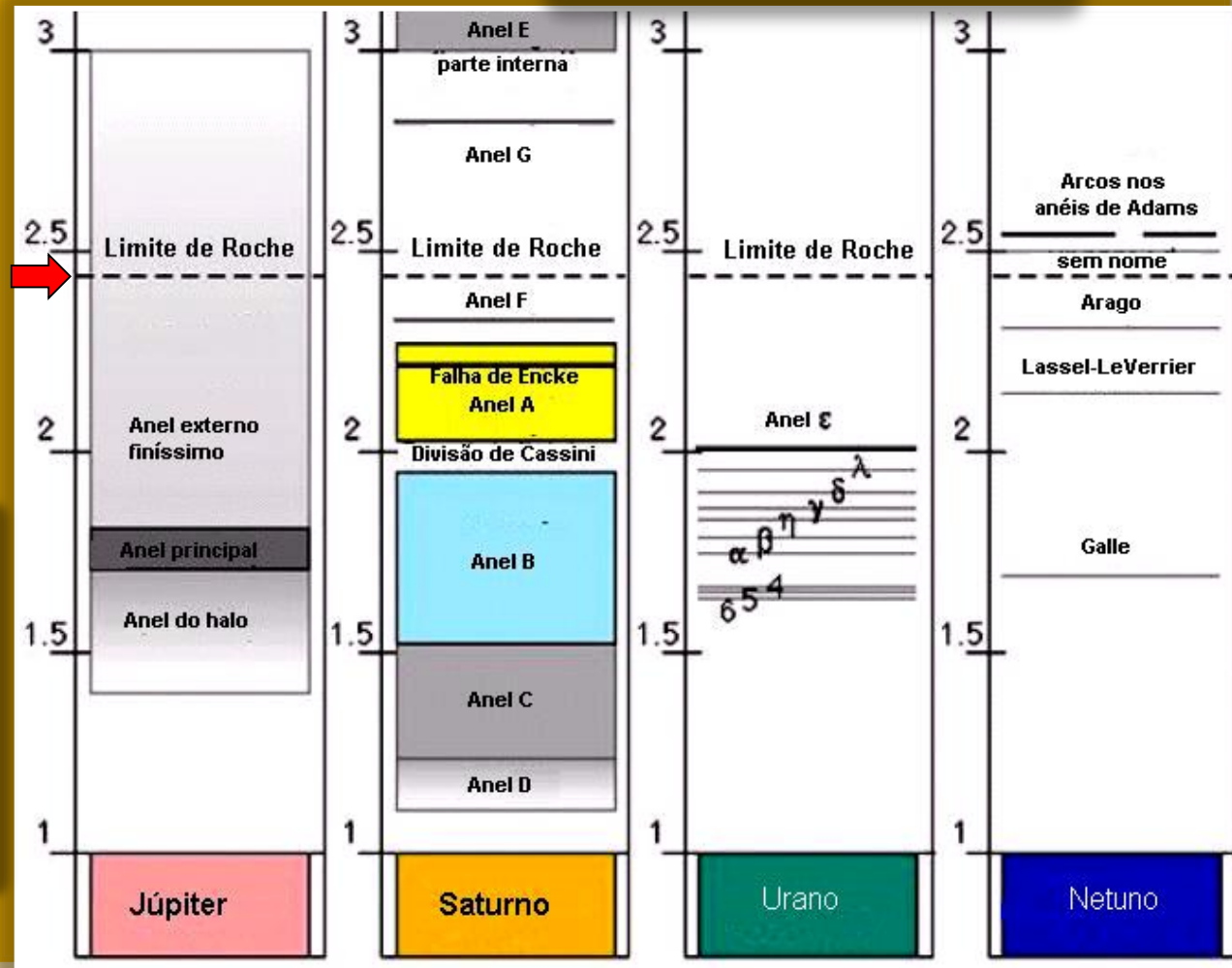
# Anéis planetários

## Limite de Roche

$$d = 2,44 \left( \frac{\rho_M}{\rho_m} \right)^{1/3} R$$

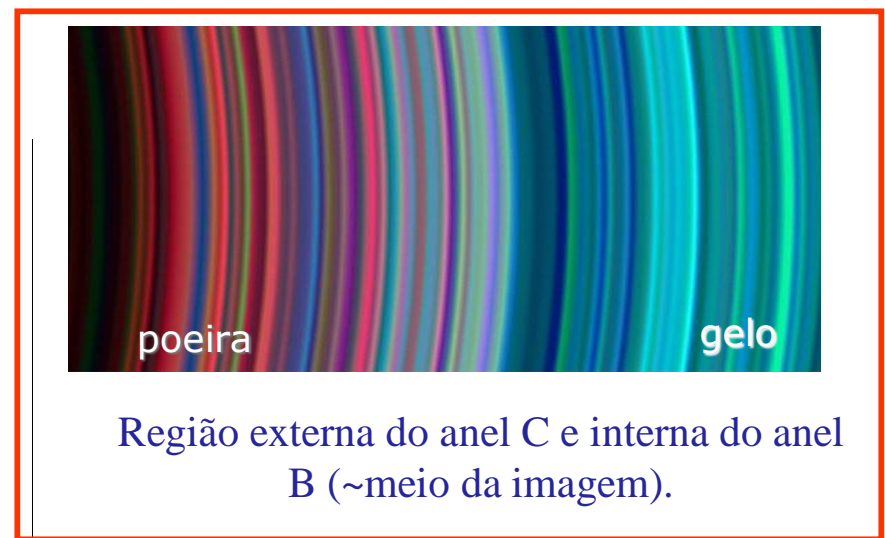
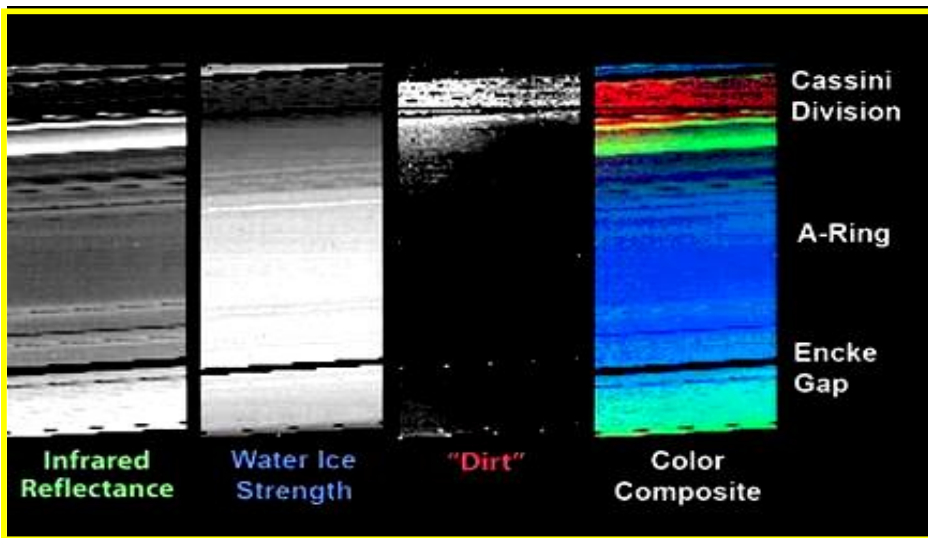
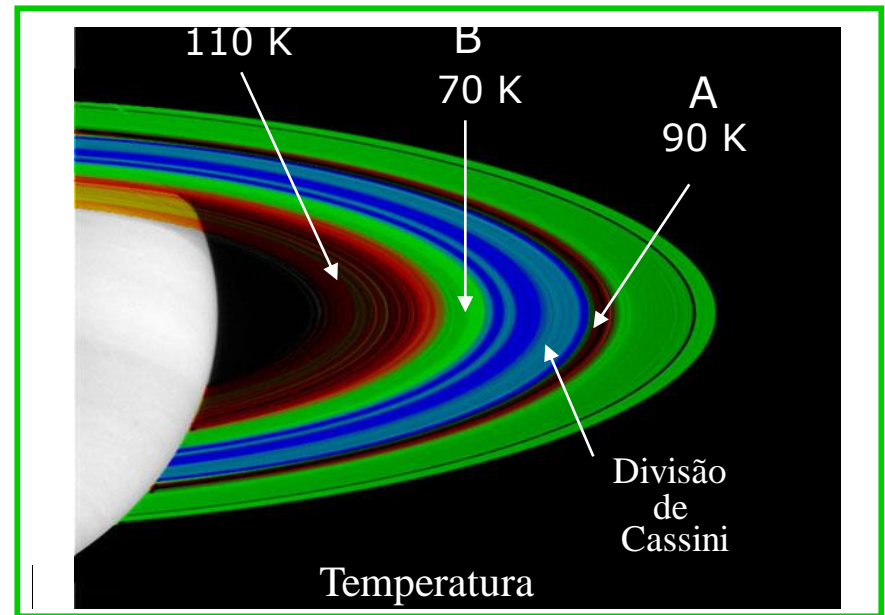
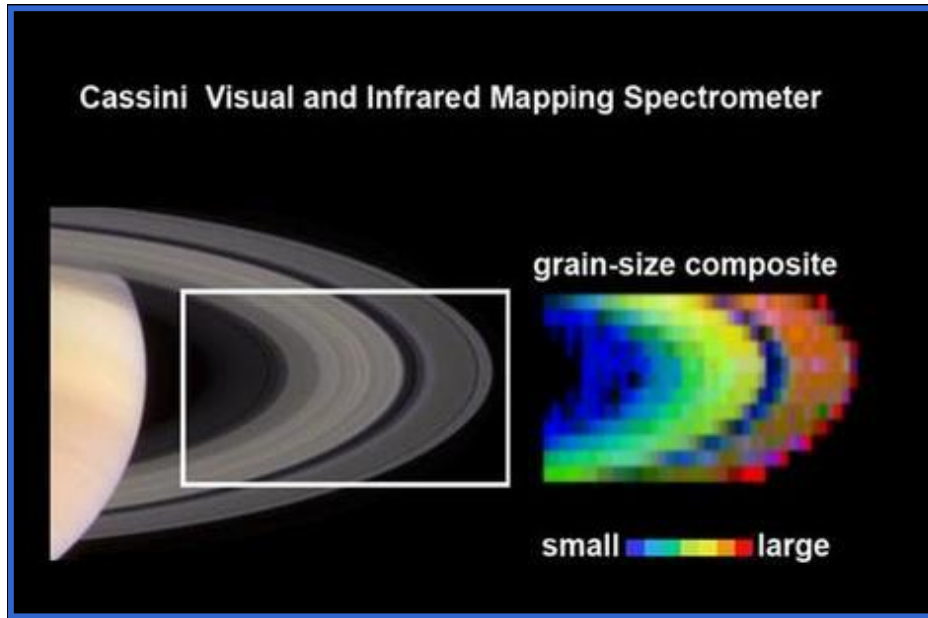


Maré no cometa Shoemaker-Levy



# Anéis de Saturno

Sistema de anéis (do interno ao externo): D, C, B, A, F, G e E





# Asteroides

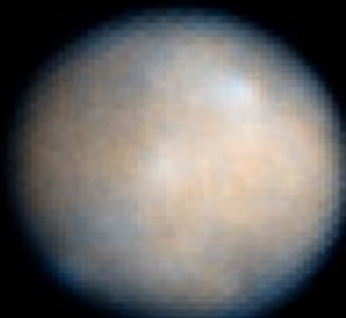
VESTA



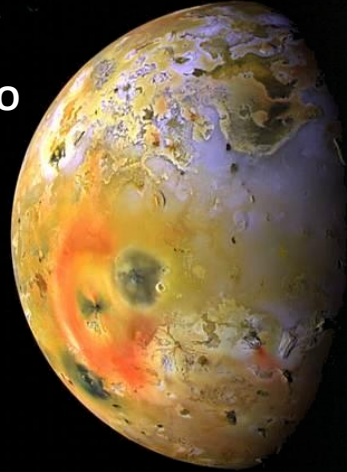
IDA



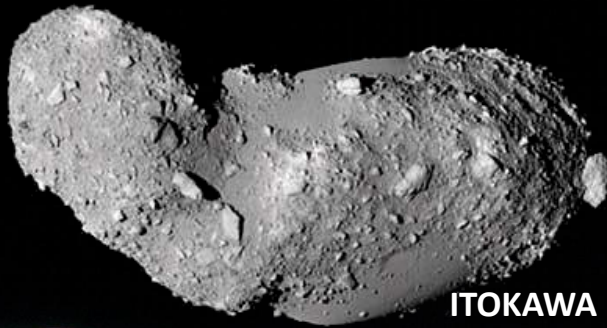
CERES



IO



ITOKAWA



MIMAS



HiPÉRIÓN



LUA



*Tamanhos fora de escala*



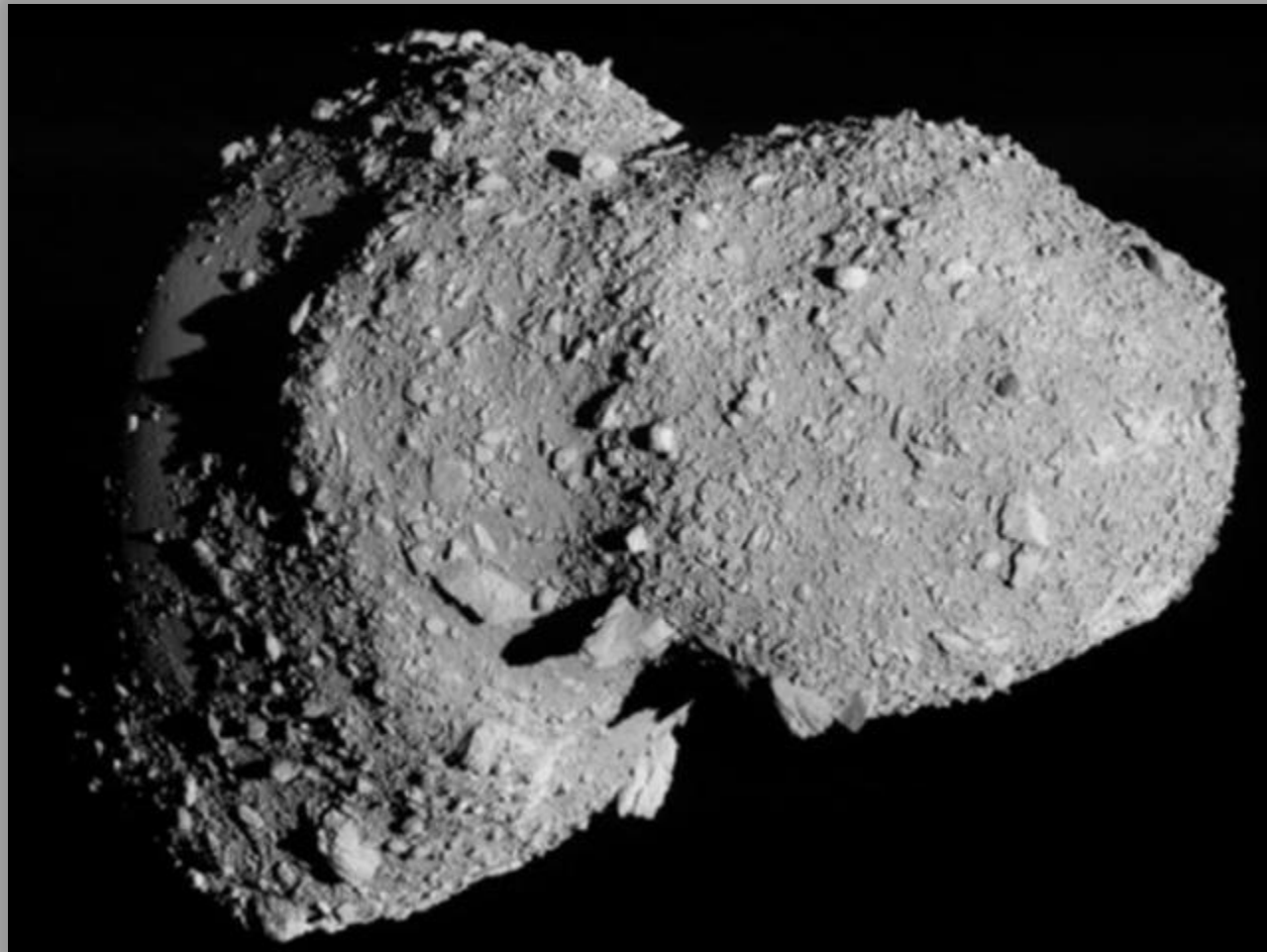
# Asteróides

**BLOCOS ROCHOSOS.**

**OS MAIORES SÃO APROXIMADAMENTE ESFÉRICOS.**

**OS MENORES TÊM FORMAS INDEFINIDAS E SÃO ASSIMÉTRICOS.**

**ALGUNS PARECEM SER AGLOMERADOS DE ROCHAS UNIDAS PELA GRAVIDADE.**



Itokawa (ISAS, JAXA)

**Magnitude absoluta:** é a magnitude visual que um observador registraria se o asteroide estivesse a 1 U.A do observador e do Sol, e ângulo de fase zero, ou seja, **magnitude de um asteroide sob ângulo de fase zero e distâncias heliocêntrica e geocêntrica unitárias.**

## Conversão de Magnitude Absoluta em Diâmetro

<http://www.physics.sfasu.edu/astro/asteroids/sizemagnitude.html>

Diâmetro

$$D = \frac{1329}{\sqrt{p}} 10^{-0.2H}$$

Magnitude absoluta

Albedo (percentual de luz refletida)

Fowler & Chillemi (1992)

# Magnitude e tamanho

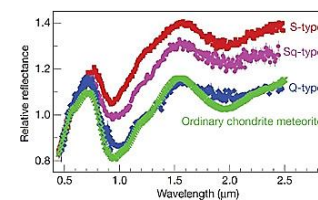
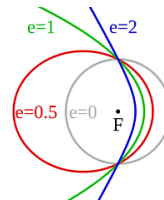
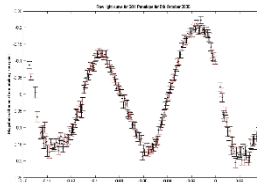
Absolute Magnitude (H)	Diameter (km = kilometers) (m = meters)	Absolute Magnitude (H)	Diameter (km = kilometers) (m = meters)	Absolute Magnitude (H)	Diameter (km = kilometers) (m = meters)
3.0	670 km - 1490 km	12.0	11 km - 24 km	20.5	210 m - 470 m
3.5	530 km - 1190 km	12.5	8 km - 19 km	21.0	170 m - 380 m
4.0	420 km - 940 km	13.0	7 km - 15 km	21.5	130 m - 300 m
4.5	330 km - 750 km	13.5	5 km - 12 km	22.0	110 m - 240 m
5.0	270 km - 590 km	14.0	4 km - 9 km	22.5	85 m - 190 m
5.5	210 km - 470 km	14.5	3 km - 7 km	23.0	65 m - 150 m
6.0	170 km - 380 km	15.0	3 km - 6 km	23.5	50 m - 120 m
6.5	130 km - 300 km	15.5	2 km - 5 km	24.0	40 m - 95 m
7.0	110 km - 240 km	16.0	2 km - 4 km	24.5	35 m - 75 m
7.5	85 km - 190 km	16.5	1 km - 3 km	25.0	25 m - 60 m
8.0	65 km - 150 km	17.0	1 km - 2 km	25.5	20 m - 50 m
8.5	50 km - 120 km	17.5	1 km - 2 km	26.0	17 m - 37 m
9.0	40 km - 90 km	18.0	670 m - 1500 m	26.5	13 m - 30 m
9.5	35 km - 75 km	18.5	530 m - 1200 m	27.0	11 m - 24 m
10.0	25 km - 60 km	19.0	420 m - 940 m	27.5	8 m - 19 m
10.5	20 km - 50 km	19.5	330 m - 750 m	28.0	7 m - 15 m
11.0	15 km - 40 km	20.0	270 m - 590 m	28.5	5 m - 12 m
11.5	13 km - 30 km			29.0	4 m - 9 m
12.0	11 km - 24 km			29.5	3 m - 7 m
				30.0	3 m - 6 m

Conversão de magnitude absoluta em diâmetro, on line: <http://www.physics.sfasu.edu/astro/asteroids/sizemagnitude.html>



# Cinturão Principal

$$D = \frac{1329}{\sqrt{p}} 10^{-0.2H}$$



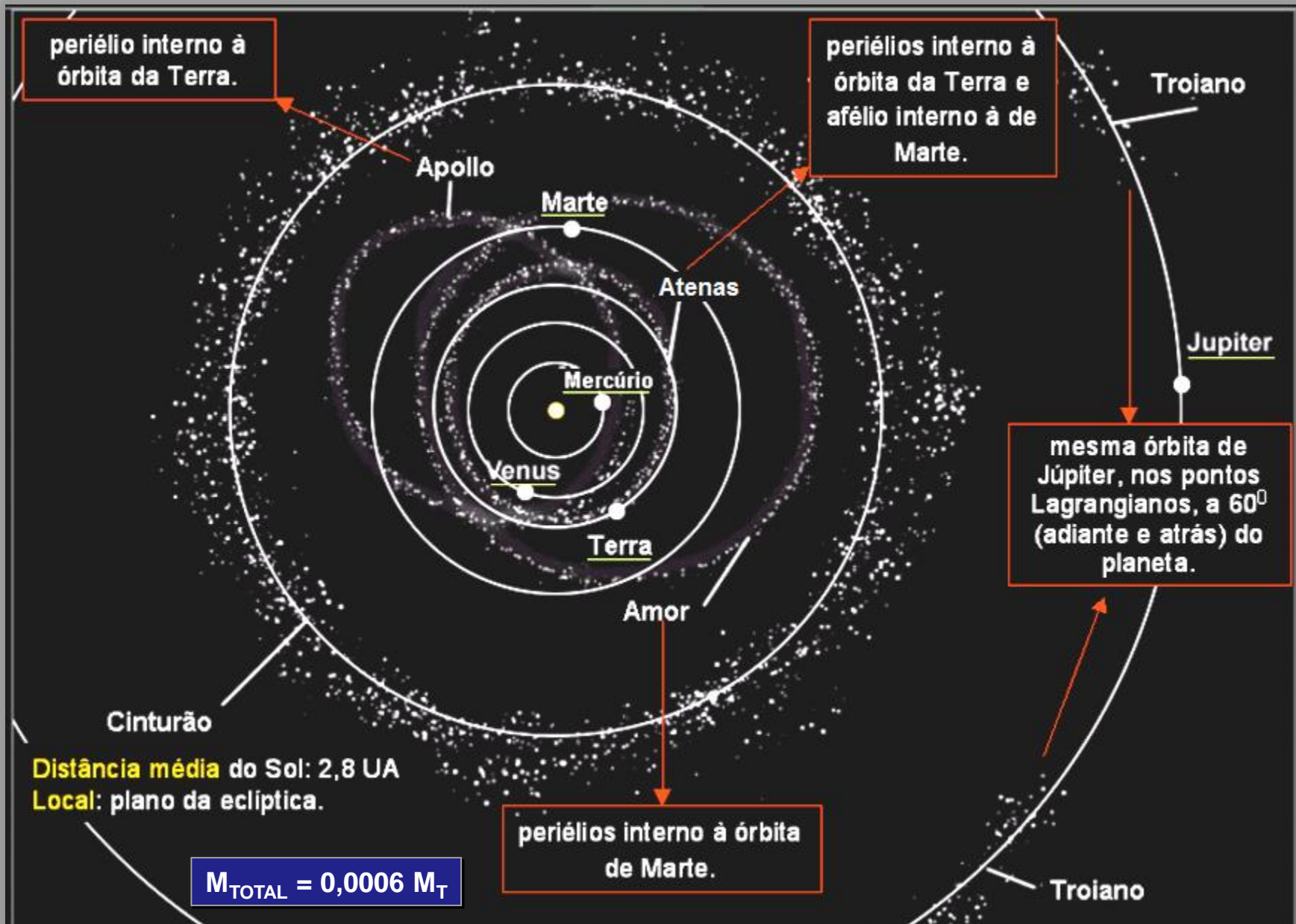
Asteróide (descoberta)	Diâmetro (1) (km)	Rotação (horas)	Excentricidade	Albedo	Tipo (2)
Pallas (1802)	583	7,9	0,23	0,09	M
Juno (1804)	249	7,2	0,26	0,16	S
Vesta (1807)	555	5,3	0,09	0,26	S
Astraea (1845)	116	16,8	0,19	0,13	S
Hebe (1847)	206	7,3	0,20	0,16	S
Iris (1847)	222	7,1	0,23	0,2	S
Elora (1847)	160	13,6	0,16	0,13	S
Metis (1848)	168	5,1	0,12	0,12	S
Higiea (1849)	443	18	0,12	0,05	C
Eros (1898)	20	5,3	0,22	0,18	S
Aquiles (1906)	70		0,15		
Hektor (1907)	230	6,9	0,03	0,03	C
Hidalgo (1920)	30	10,1	0,66		M
Amor (1932)	5?		0,43		
Icarus (1949)	2	2,3	0,83		
Appolo (1932)	2,5		0,56		
Chiron (1977)	320		0,38		

M – metálico

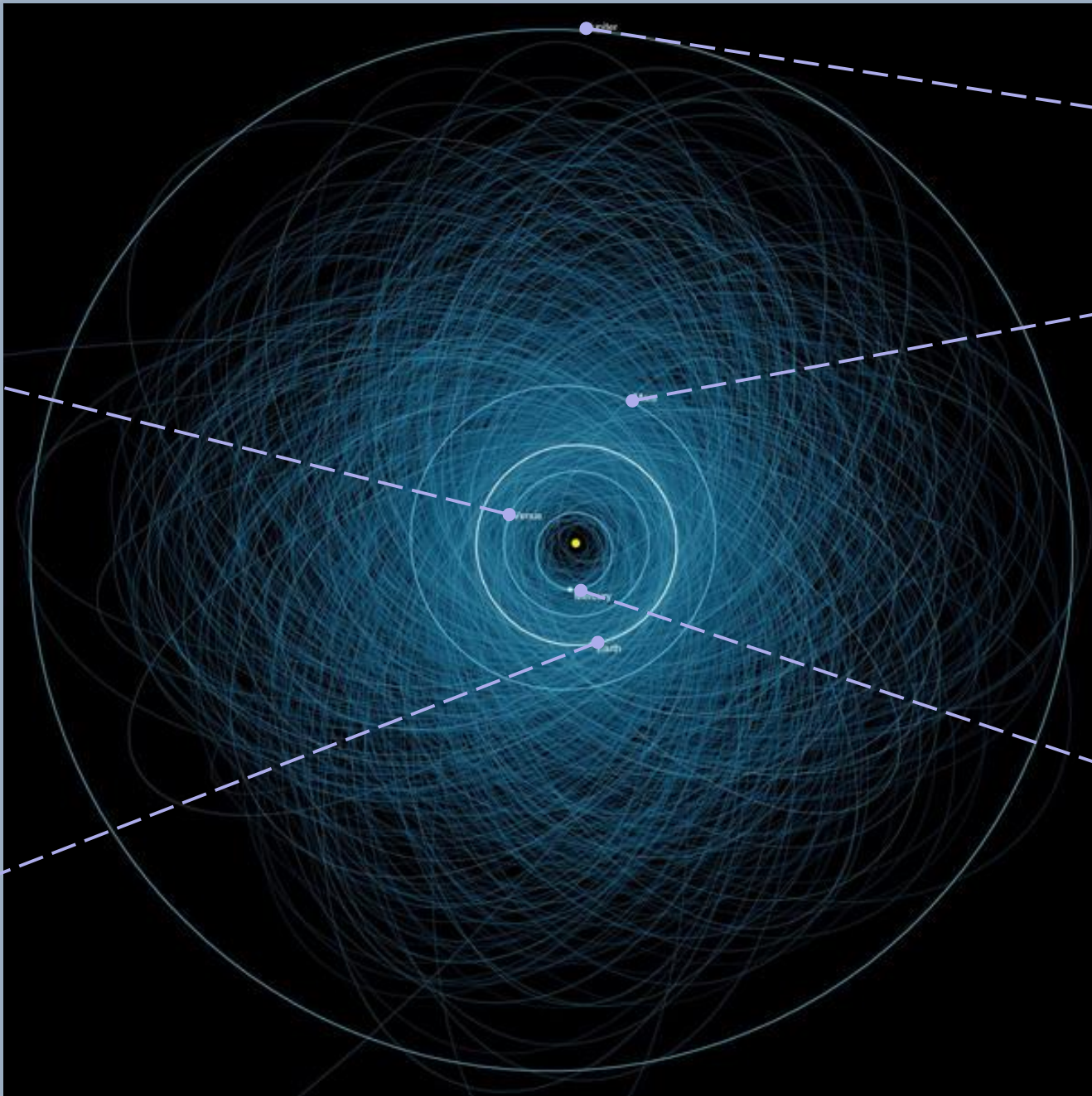
S - rochoso rico em silício

C - rochoso rico em carbono

# Cinturão Principal



# Cinturão Principal - órbitas



Vênus

Terra

Júpiter

Marte

Mercúrio



# Cinturão Principal – classificação genérica

Classificados em vários tipos de acordo com a composição química (revelada pelo seu espectro) e o albedo:

## – TIPO C:

- cerca de 60% dos asteróides conhecidos
- extremamente escuros (albedo 0,03)
- semelhantes aos meteoritos condritos carbonáceos
- tem aproximadamente a mesma composição química do Sol, menos hidrogênio, hélio e outros voláteis

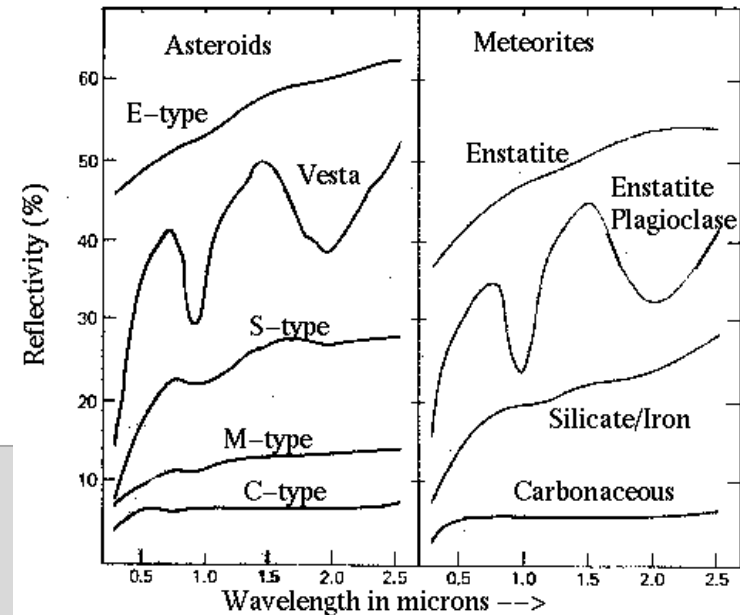
## – TIPO S:

- cerca de 30% dos conhecidos
- relativamente brilhantes (albedo 0,10 - 0,22)
- contém material metálico (liga ferro-níquel) e silicatos de magnésio

## – TIPO M:

- o restante  $\leq 10\%$
- brilhantes (albedo 0,10 - 0,18);
- formados essencialmente da liga ferro-níquel

– **TIPO E** – rico em enstatita [  $(\text{Mg,Fe})_2\text{Si}_2\text{O}_6$  ]. Há outros tipos mais raros.



Descoberta: 4/01/1989 por C.Pollas.

Tamanho: 4.6km x 2.4km x 1.9km

Período Rotacional: 5.4 e 7.3 dias  
terrestres

Período Orbital: 3,98 anos

Movimento complexo  
(vários eixos) pode ser  
indicativo de juventude.

Asteróides antigos  
estabilizam seus  
movimentos em poucas  
componentes.



# 433 Eros

Descoberta: 13/8/1898, por Gustav Witt

Tamanho: 33km x 13km x 13km

Período Rotacional: 5,27 hours

Período Orbital: 1,76 years

- A sonda NEAR–Shoemaker pousou em Eros 2001
- Asteróide do tipo S
- Tem interior sólido, ao contrário de Matilde.
- Superfície fortemente marcada por crateras.





# 4769 Castalia (NEA)

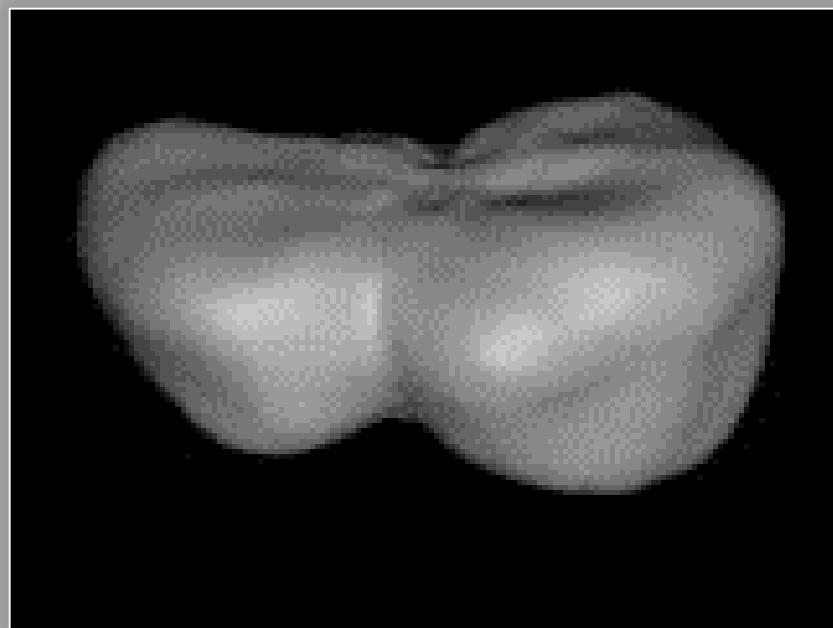


Descoberta: 9/8/1989, por Eleanor F. Helin

Tamanho: 1.8km x 0.8km

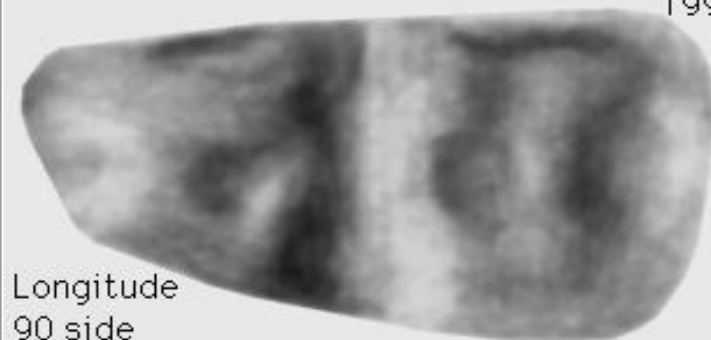
Período Rotacional: 4h42m

Período Orbital: 1,1 ano

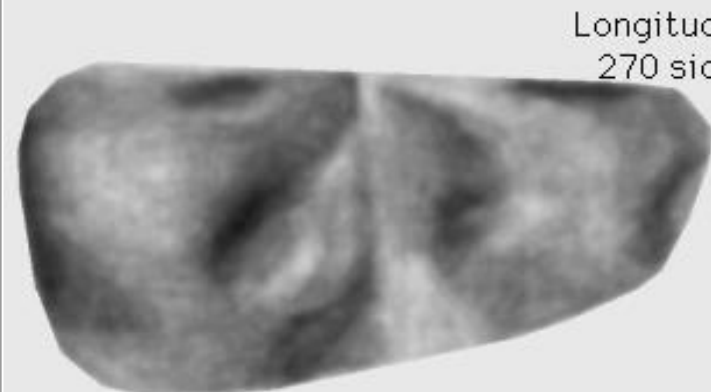


4769 Castalia

P.J. Stooke  
1994



Longitude  
90 side

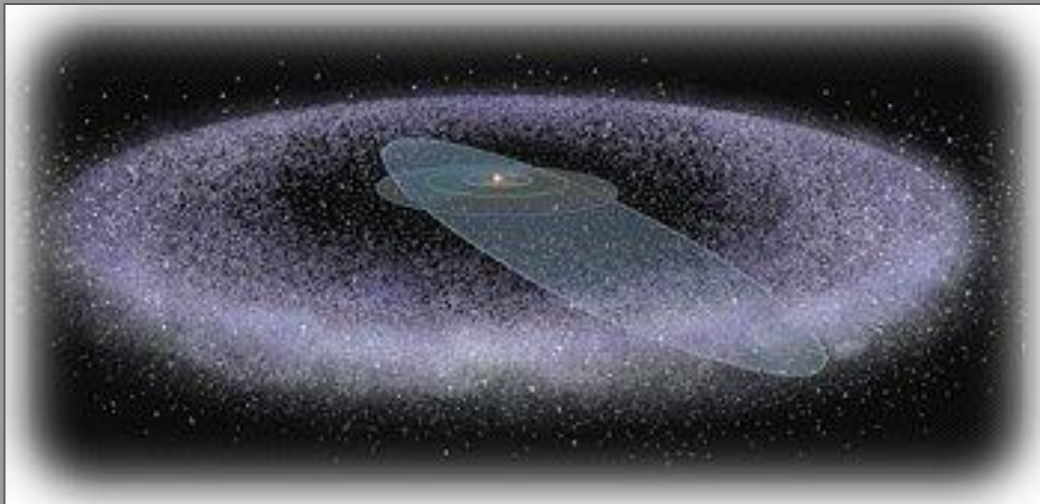


Longitude  
270 side

Morphographic Conformal Projection

# Corpos congelados do Cinturão de Edgeworth-Kuiper

## Os maiores objetos do Cinturão de Kuiper

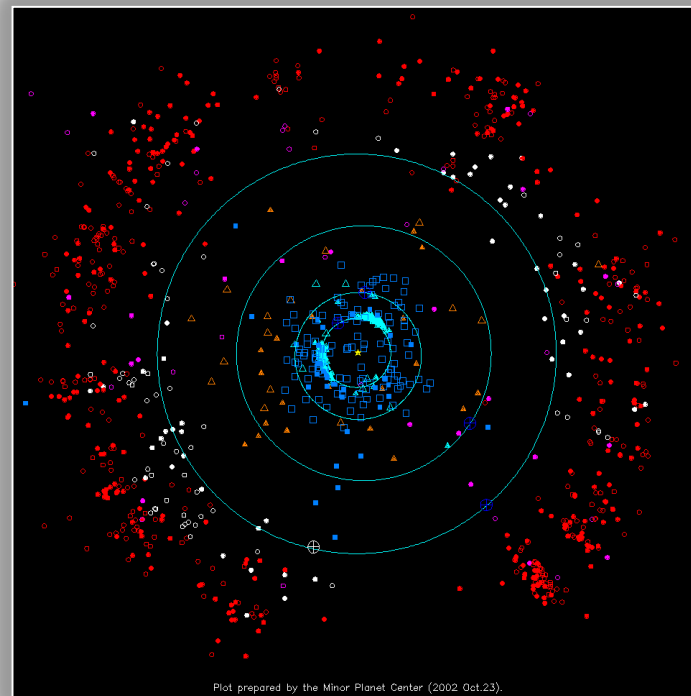


- Planetas: órbitas
- Localização corrente: símbolos grandes nesta cor

## Plutão



- Objetos raros com órbitas de elevada excentricidade.
- Objetos Centauro:
- Objetos Plutinos: (Plutão é o grande círculo branco)
- Objetos espalhados do disco
- Objetos clássicos
- Cometas periódicos
- Outros cometas



# Edmund Halley e a periodicidade dos cometas



- Utilizando a teoria de gravitação de Isaac Newton, Halley mostrou que os cometas de 1531, 1607, e 1682 tinham propriedades orbitais semelhantes:
  - Período: 76 anos;
  - $a = 18$  UA (Urano: 19 UA)
  - órbita altamente excêntrica e inclinada em relação à eclíptica
- Halley os identificou como um mesmo cometa e previu seu retorno para 1758. O cometa retornou na data certa, após a morte de Halley.

*Há registros chineses do cometa Halley datando do 5º. Séc. a.C.*



# Regras de designação

- P/ para um cometa periódico (período orbital menor que 200 anos)
- C/ para um cometa não periódico
- X/ para um cometa com órbita ainda não computada
- D/ para um cometa extinto ou desaparecido
- 1995 A1 - o primeiro cometa descoberto na primeira metade de Janeiro/1995
  - 1, 2, 3... respectivamente 1<sup>o</sup>, 2<sup>o</sup>, 3<sup>o</sup>... cometas descobertos
  - A, B, C ... respectivamente, 1<sup>a</sup> metade de Janeiro, 2<sup>a</sup> metade de Janeiro, 1<sup>a</sup> metade de Fevereiro...
  - 1995 - ano da descoberta

## Exemplos de novas designações:

C/1995 Q2 (Hartley-Drinkwater)

P/1994 P1-A (Machholz 2) ..... Fragmento A de um cometa partido

P/1996 A1 (Jedicke) ..... Cometa periódico novo

125P ..... Observação rotineira de um cometa periódico

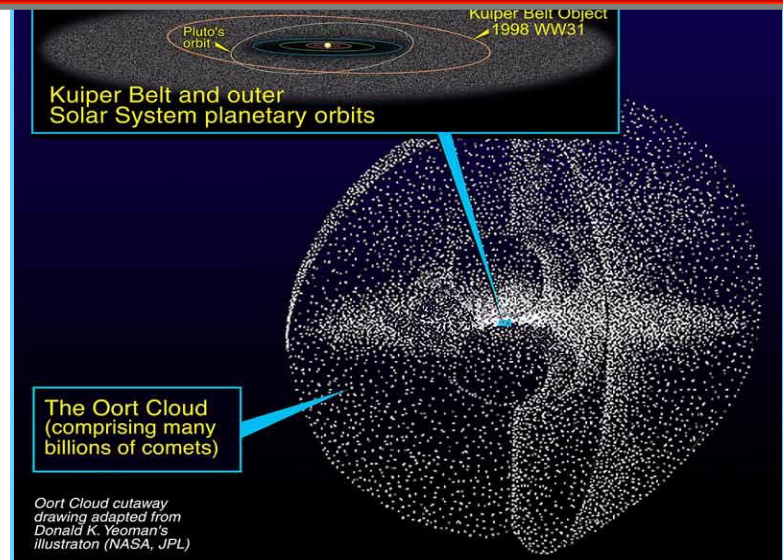
# Cometas desaparecidos e redescobertos

[http://en.wikipedia.org/wiki/Lost\\_comet](http://en.wikipedia.org/wiki/Lost_comet)

Name(s)	Initially Discovered	Recovered or Lost	Fate
<a href="#">34D/Gale</a>	1927	1938	Lost since 1938
<a href="#">206P/Barnard–Boattini</a>	1892	2008	Found since 2008
<a href="#">15P/Finlay</a>	1886–1926	1953	Found since 1953
<a href="#">107P/Wilson–Harrington</a>	1949	1992	Found since 1992
<a href="#">73P/Schwassmann–Wachmann</a>	1930	?	Breakup (1995)
<a href="#">25D/Neujmin</a>	1916		Considered lost since 1927
<a href="#">69P/Taylor</a>	1915	1976, 1984, 1990, 1998	
<a href="#">11P/Tempel–Swift–LINEAR</a>	1908	2001	Found since 2001
<a href="#">113P/Spitaler</a>	1897	1993	Found since 1994
<a href="#">205P/Giacobini</a> (D/1896 R2)	1896	2008	
<a href="#">18D/Perrine–Mrkos</a>	1896	1955	Lost
<a href="#">17P/Holmes</a>	1892–1906	1964	Found Since 1964
<a href="#">177P/Barnard</a>	1889	2006	Recovered after 116 years <sup>[3]</sup>
<a href="#">20D/Westphal</a>	1852	1913	Lost
<a href="#">5D/Brorsen</a>	1846	1857, 1868, 1879	Lost since 1879
<a href="#">54P/de Vico–Swift–NEAT</a>	1844	1894, 1965, 2002	Found since 2002
<a href="#">27P/Crommelin</a>	1818	1873, 1928	Found since 1928
<a href="#">3D/Biela</a>	1772	1852	Broke up (1846), <a href="#">Andromedids</a>
<a href="#">D/1770 L1</a> (Lexell)	1770		Lost since 1770

## Cometas de longo período

- Afélio entre 1.000 e 30.000 UA, alguns dentro da Nuvem de Oort
- Órbitas altamente excêntricas
- Inclinação aleatória, em relação ao plano da eclíptica (distribuição espacial esférica)



## Cometas de curto período (ou simplesmente Periódicos\*)

Afélios até o Cinturão de Edgeworth-Kuiper (30-50 UA)

- Órbitas próximas ao plano da eclíptica; inclinação menor que  $30^\circ$  (distribuição espacial em forma de disco)
- Parte deles tiveram a órbita alterada pela interação gravitacional com os planetas gigantes.

\* Tecnicamente, o termo periódico aplica-se às órbitas fechadas, qualquer que seja o período. Entretanto, cometas de períodos muito longos são observados pouquíssimas vezes, não raro uma única vez. Por isso adotou-se a prática de atribuir o termo periódico (P) àqueles de curto ou curtíssimo período, que estão quase sempre disponíveis à observação

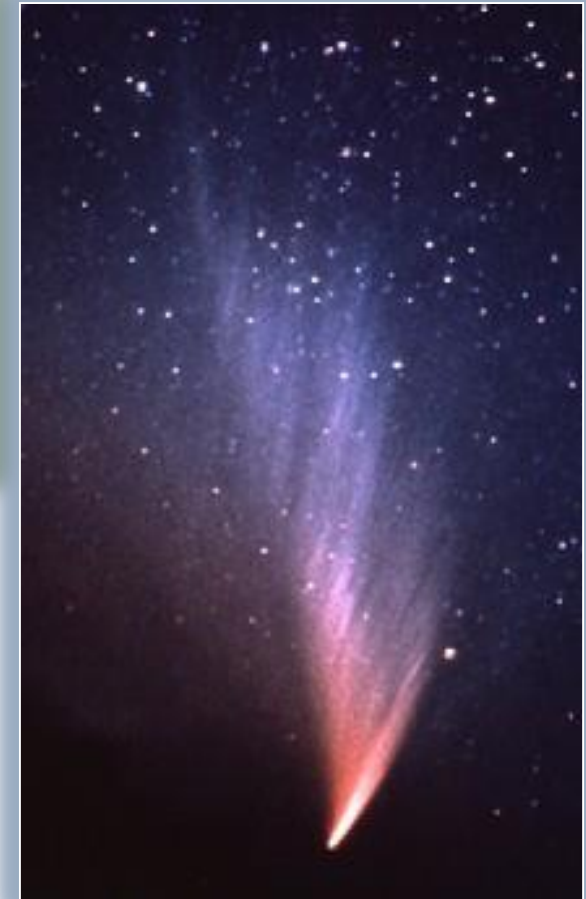


# Diversidade de formas

- CORPOS PEQUENOS E CONGELADOS QUE ORBITAM O SOL.
- PERCORREM GRANDES DISTÂNCIAS.
- SÃO OS CORPOS PRIMITIVOS QUE MAIS SE AFASTAM E SE APROXIMAM DO SOL



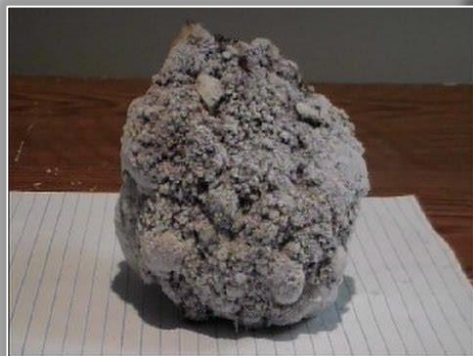
C/ 1995 O1 (Hale-Bopp)



# Ingredientes para fazer um cometa de 15 cm



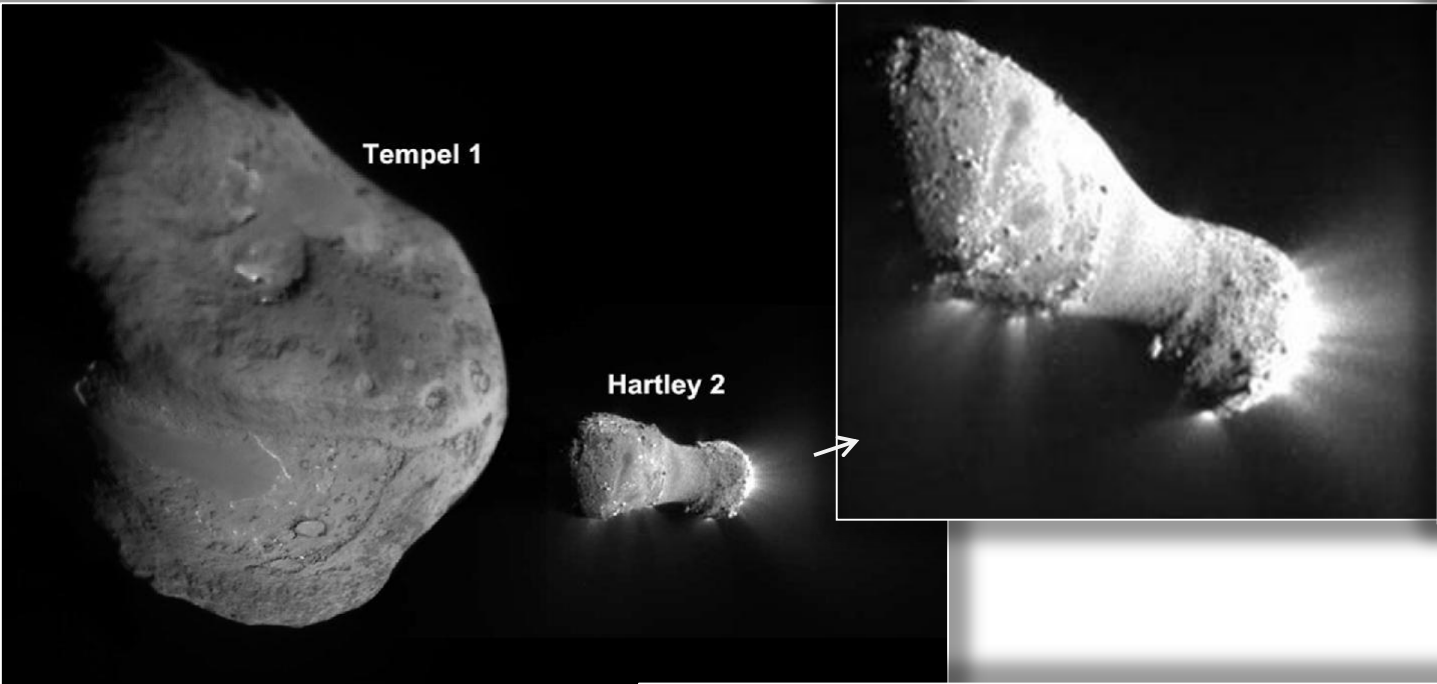
- 2 xícaras de água
- 2 xícaras de gelo seco (CO<sub>2</sub> congelado)
- 2 colheres de areia
- 1 pitada de amônia
- 1 pitada de material orgânico (xarope de milho escuro funciona bem)



Model Comet

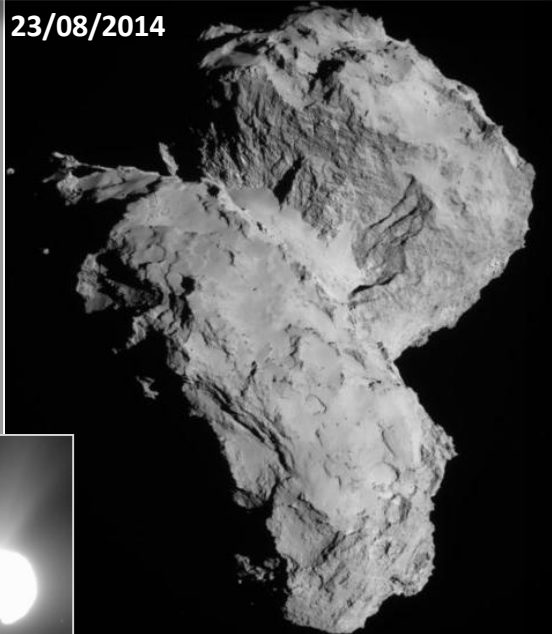


# De fato, o que deve ser um cometa?

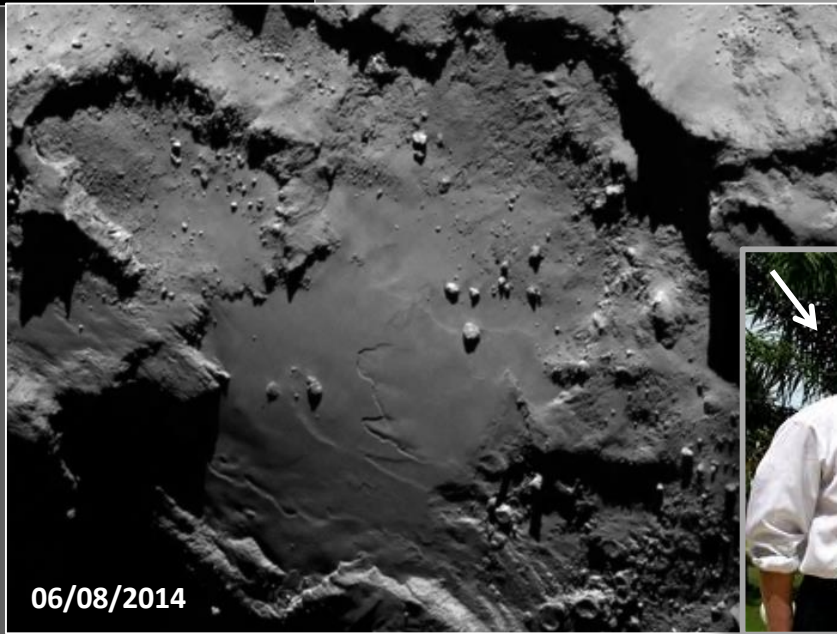


9P/ Tempel 1  
7,6 km × 4,9 km;  
albedo = 0,04  
Missão Deep Impact  
04/07/2005

103/P Hartley 2  
0,57 km;  
albedo = 0,028  
Missão EPOXI  
13/12/2007



23/08/2014



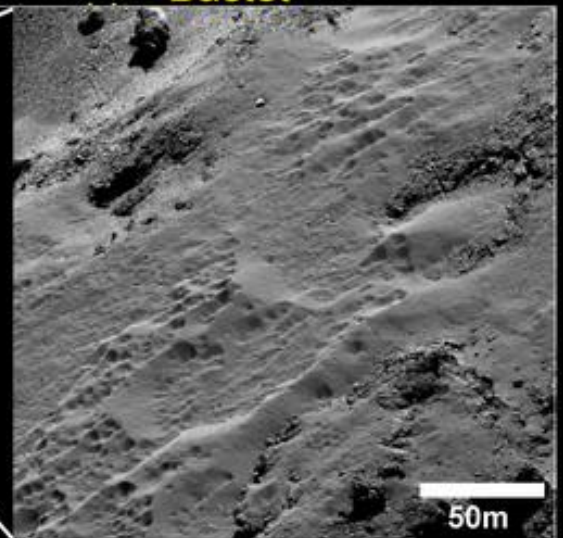
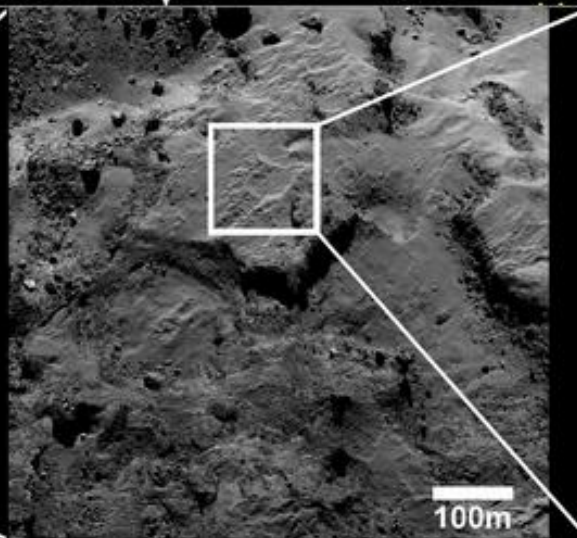
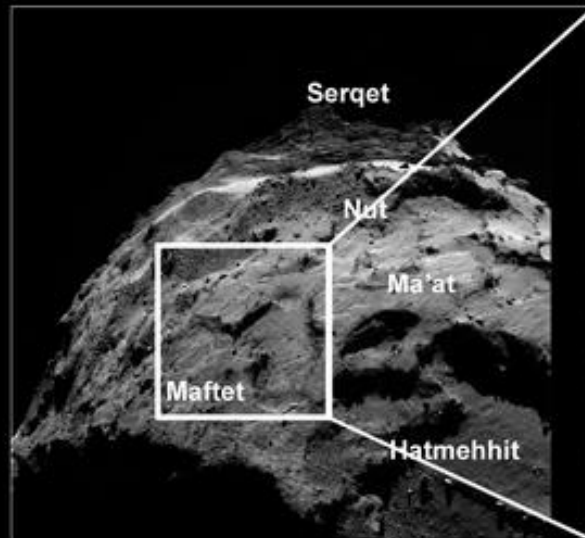
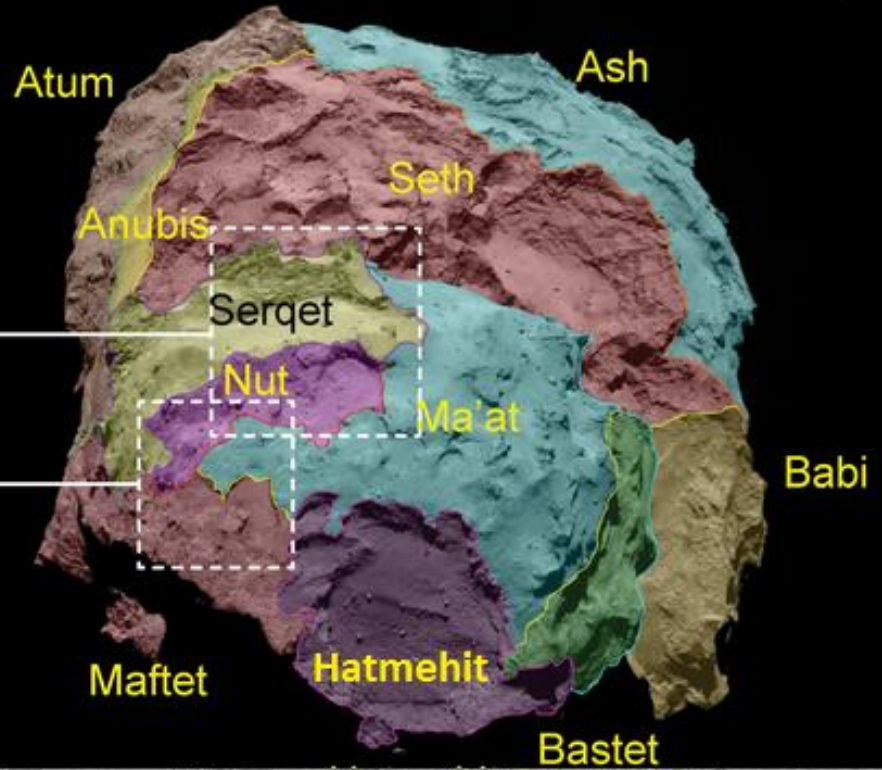
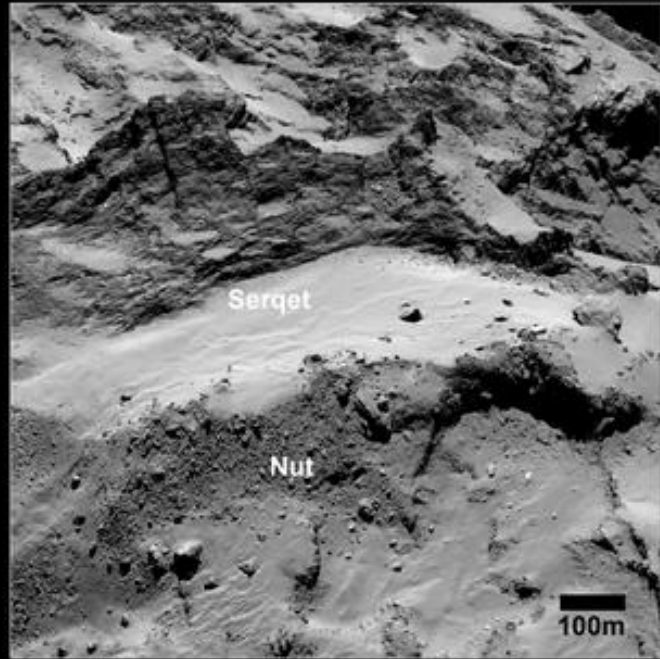
06/08/2014

67P/ Churyumov-Gerasimenko  
3 km x 5 km;  
Missão Rosetta

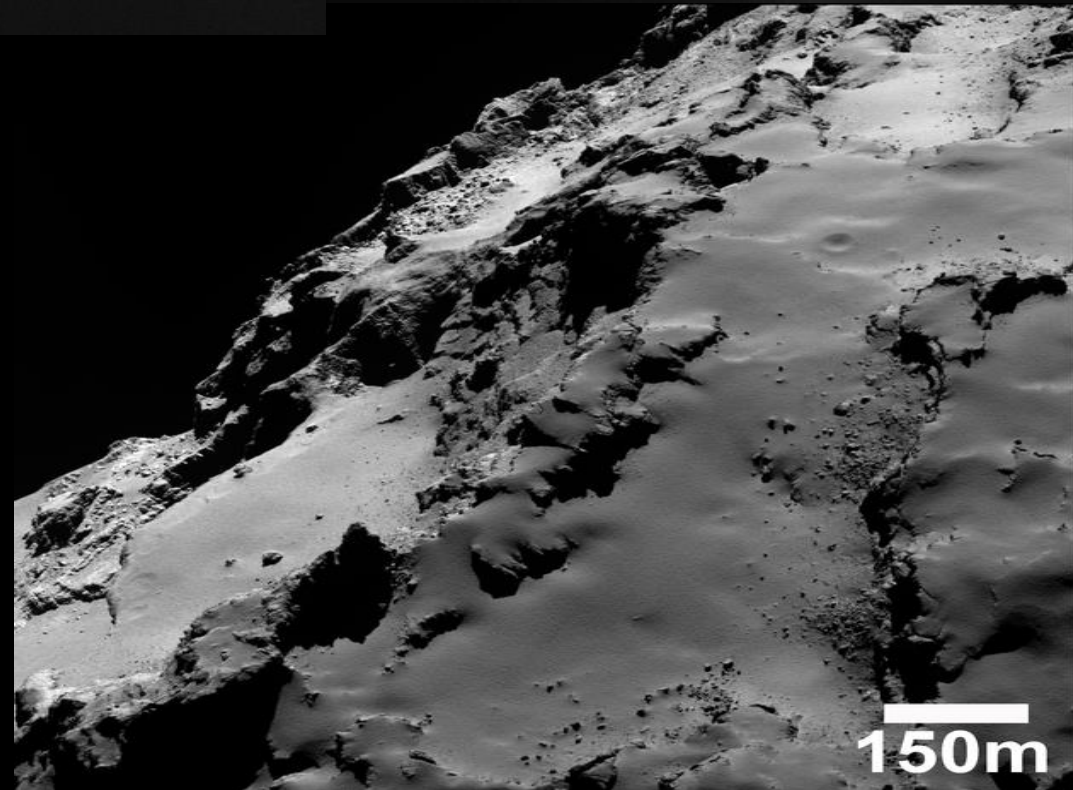
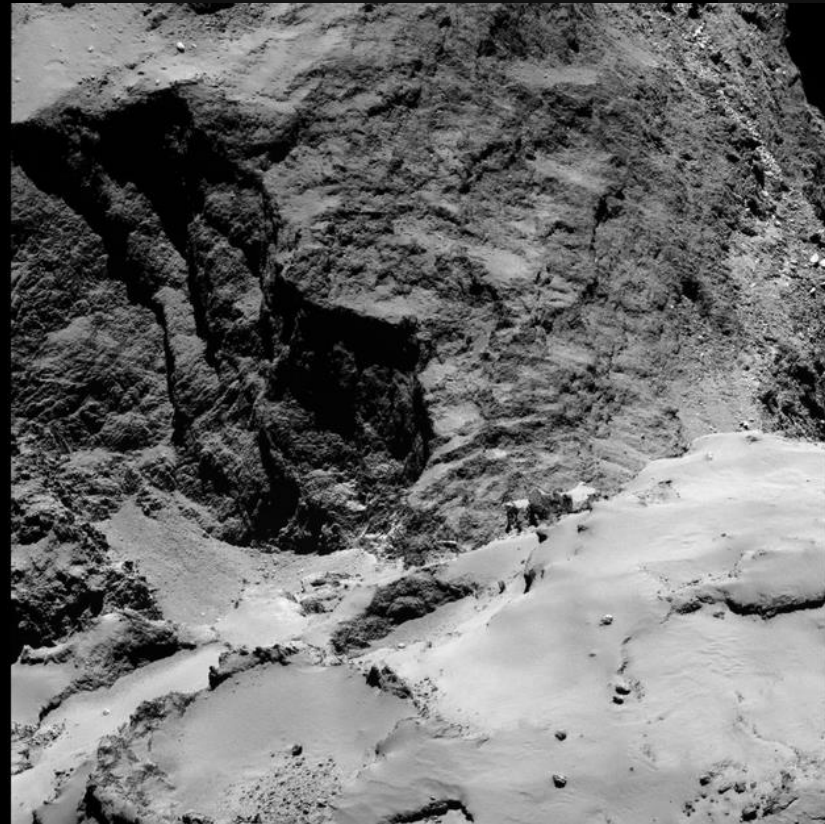
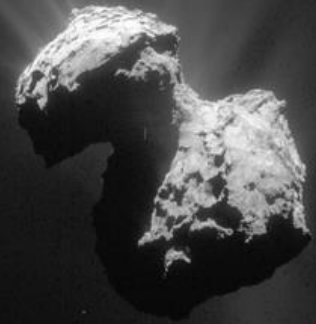
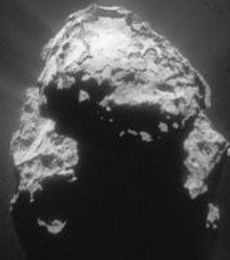




# 67P/Churyumov-Gerasimenko

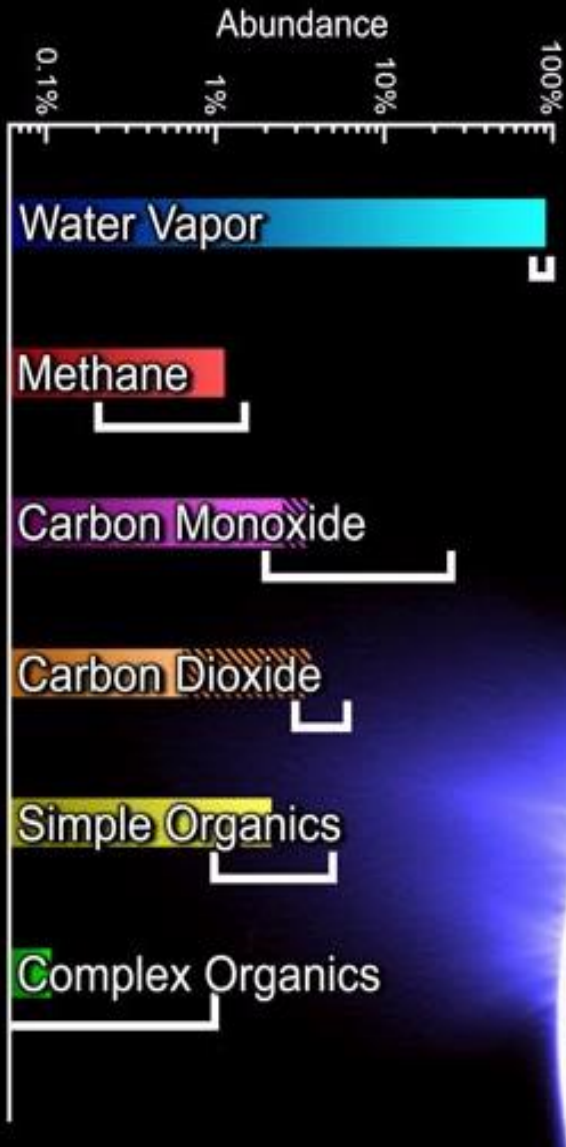


# 67P/Churyumov-Gerasimenko





# Composição química



Os cometas abasteceram a Terra com água e material orgânico



gás ionizado      gás neutro + poeira

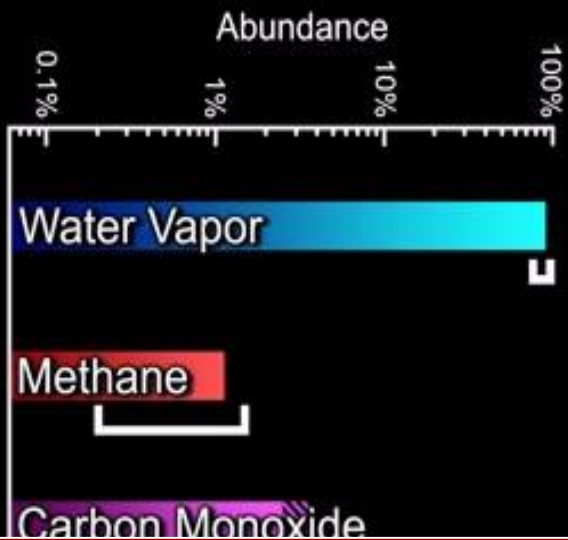


Cometa Hale-Bopp (C/1995 O1)

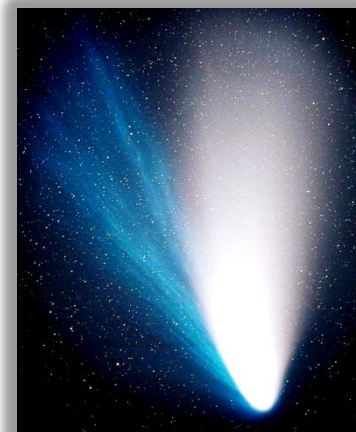




# Composição química

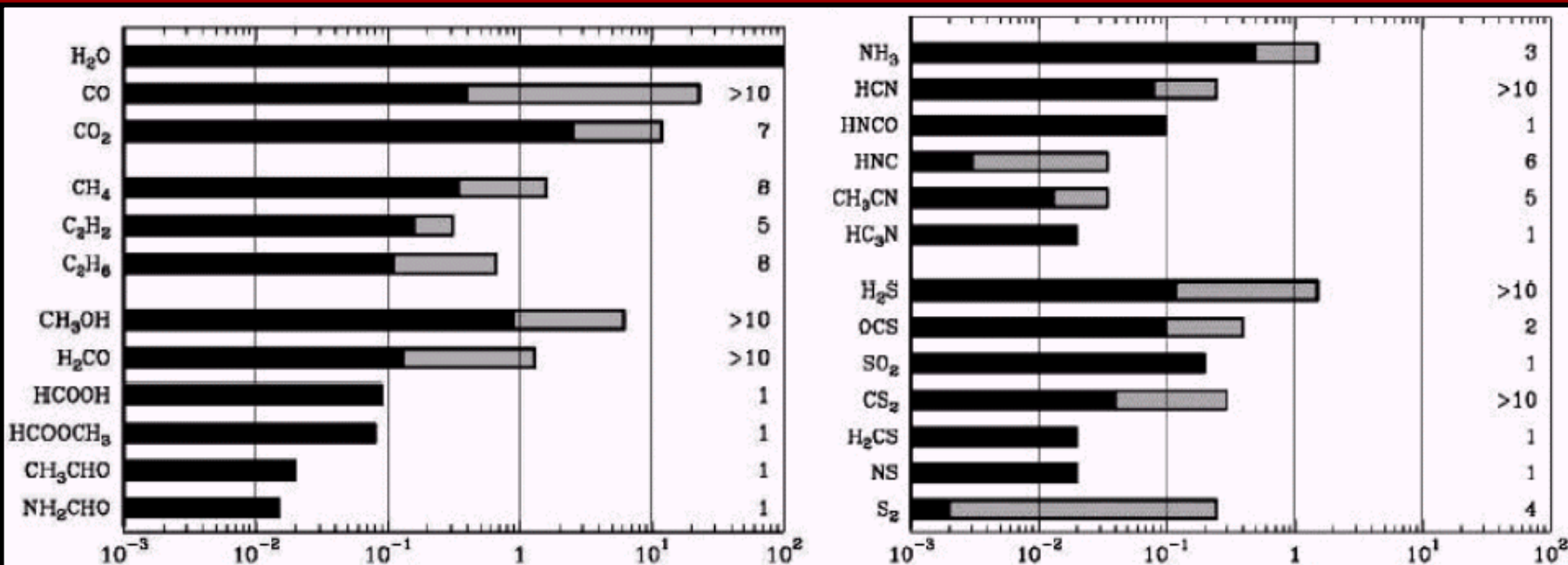


gás ionizado      gás neutro + poeira



Cometa Hale-Bopp (C/1995 O1)

## Composição química dos cometas relativa à água (barra cinza indica variação entre cometas observados)



# As missões dedicadas aos cometas

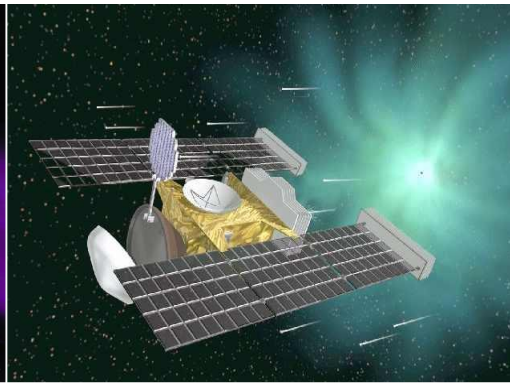
Giotto



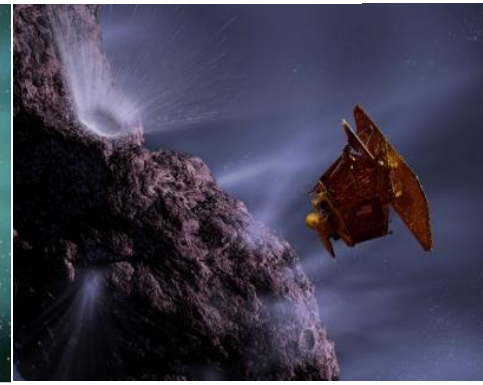
Deep Space 1



Stardust



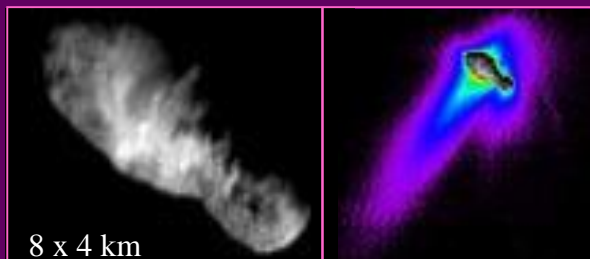
Deep Impact



1P/Halley, P~75 anos  
[Giotto 1985]



19P/Borrelly, P~6,7 anos  
[Deep Space 1 1999]



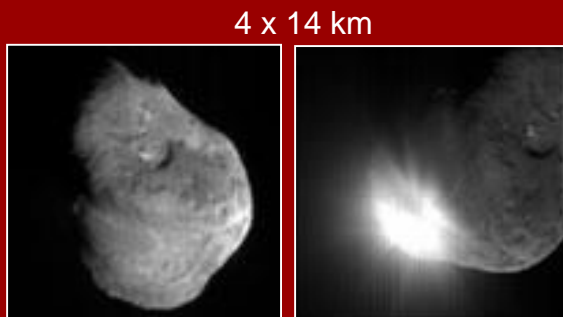
81P/Wild 2, P~ 6,4 anos  
[Stardust 1999]

Cometa NOVO,  
capturado  
por Júpiter  
em 1974



Cometa 9P/Tempel 1,  
P ~ 5,5 anos  
[Deep Impact 2005]:

Impacto: 4/7/2004



Cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko  
Período ~ 6,6 anos  
[Rosetta 2004 – 2015]

Pouso em nov/2014.  
Registro até dez/2015.  
Tamanho: 4 km



# Brilho e dependências

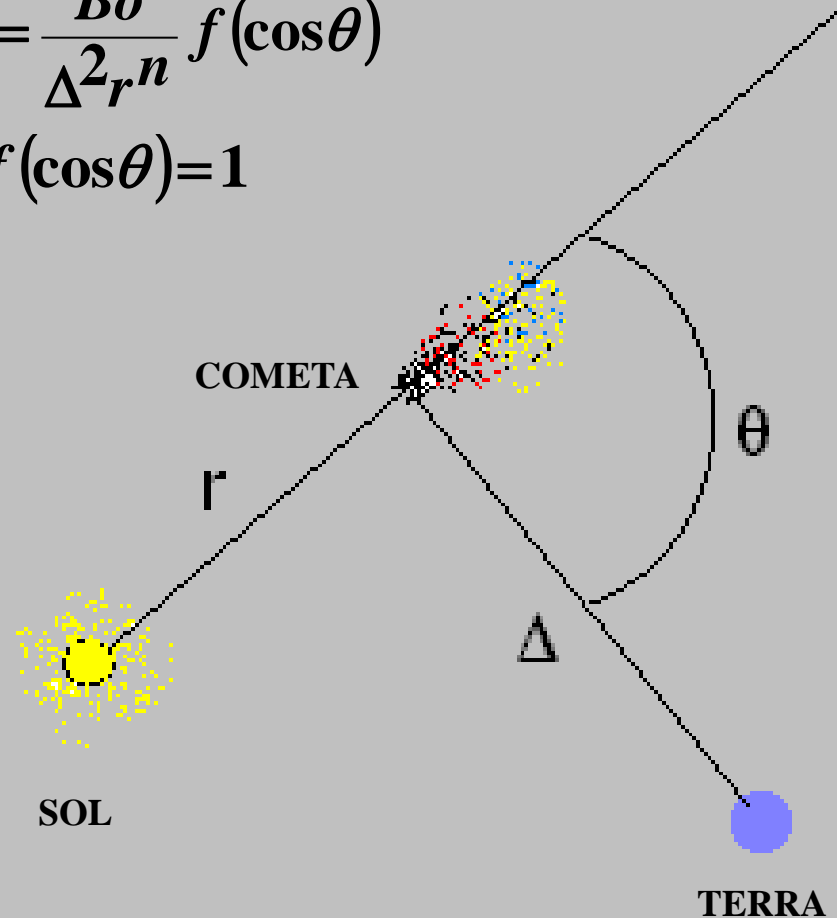
**$B_0$** : brilho intrínseco;

$\Delta$  e  $r$ : distâncias geocêntrica e heliocêntrica, respectivamente;

$n$ : índice fotométrico. Pode variar de 1 a 6 (caso raro); não é constante, nem mesmo durante a passagem do cometa.

$f(\cos\theta)$ : função de fase, geralmente é considerada unitária.

$$B = \frac{B_0}{\Delta^2 r^n} f(\cos\theta)$$
$$f(\cos\theta) = 1$$





# Estrutura morfológica típica

## Cauda de gás ionizado.

Ao interagir com o *Vento Solar*, que se move com alta velocidade, ela é arrastada por ele e adquire a forma retilínea.

## Cauda de gás neutro e poeira.

A luz solar “arrasta” essa matéria na direção oposta do Sol.

## Coma

Atmosfera de gás e poeira liberada do núcleo. Diâmetro médio: 100.000 Km (9x Terra). Brilha por fluorescência: as moléculas de gás absorvem energia, e a reemitem em forma de luz visível. Espécies ionizadas mais frequentes:  $\text{CO}^+$ ,  $\text{N}_2^+$ ,  $\text{CO}_2^+$ ,  $\text{CH}^+$

## Núcleo

Aglomerado de rochas e gases congelados. Tamanho típico: 5 - 10 km. Superfície escura (baixo albedo). O aquecimento solar sublima os gases do núcleo. A rotação do núcleo é evidenciada pela variação do brilho e da morfologia.

SOL

## Cauda de gás ionizado.

Ao interagir com o *Vento Solar*, que se move com alta velocidade, ela é arrastada por ele para a direita.

**Pressão de Radiação:** força por unidade de área exercida pela radiação eletromagnética, dada por:

$$P_{\text{rad}} = \frac{F}{A} = \frac{dp}{dt} = \frac{1}{c} \Phi_E,$$

com:  $p$  - momentum,  
 $c$  - velocidade da luz,  
 $\Phi_E$  - fluxo de energia

No Sistema Solar, a pressão de radiação empurra para longe do Sol partículas com tamanhos da  $\sim 0,1 \mu\text{m}$

Aglomerado de rochas e gases congelados. Tamanho típico: 5 - 10 km. Superfície escura (baixo albedo). O aquecimento solar sublima os gases do núcleo. A rotação do núcleo é evidenciada pela variação do brilho e da morfologia.

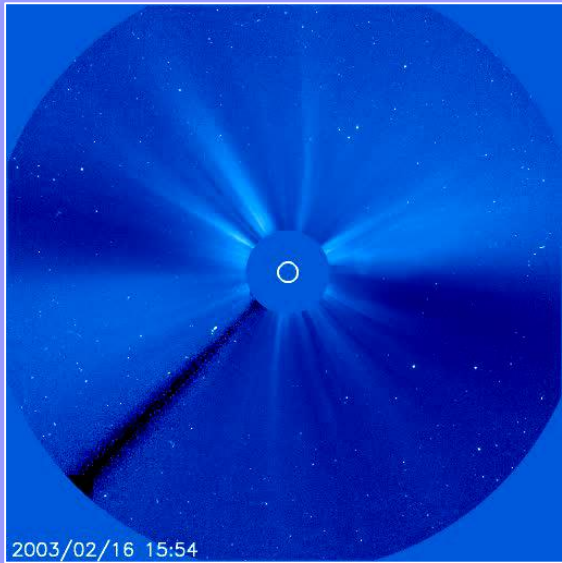
**Núcleo**





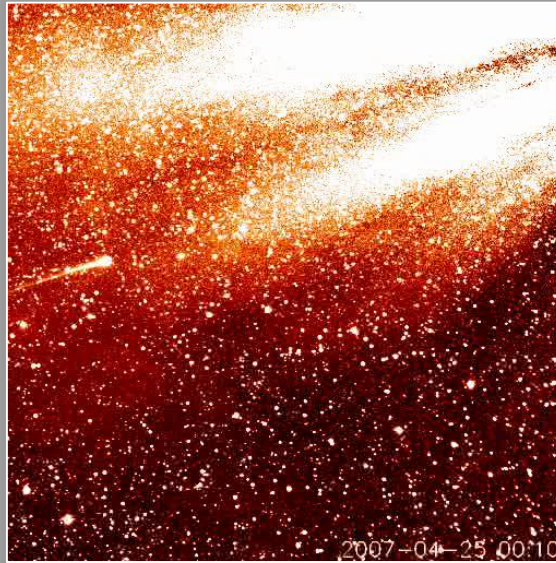
# Diversidade de formas

Caudas opostas  
ao Sol

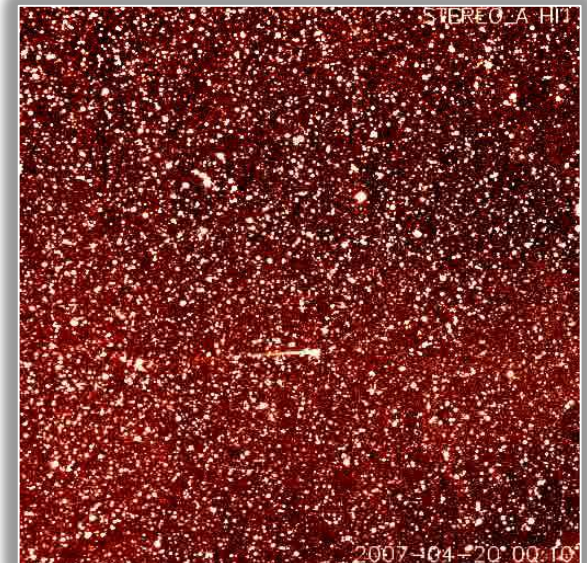


**NEAT (C2002 V1)**

Ejeção de Massa Coronal pode romper a cauda  
ionizada



**ENCKE (2P)**

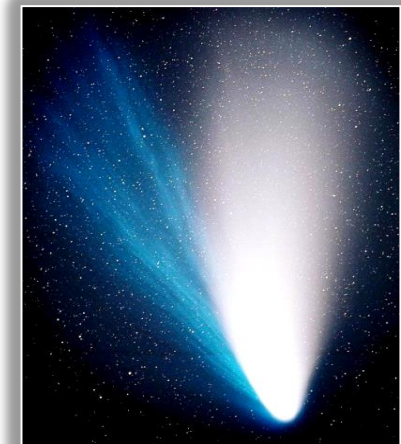


gás ionizado

gás neutro + poeira



Comet McNaught over the Warrumbungles



Cometa Hale-Bopp (C/1995 O1)



# Cometa: reservatório de água.

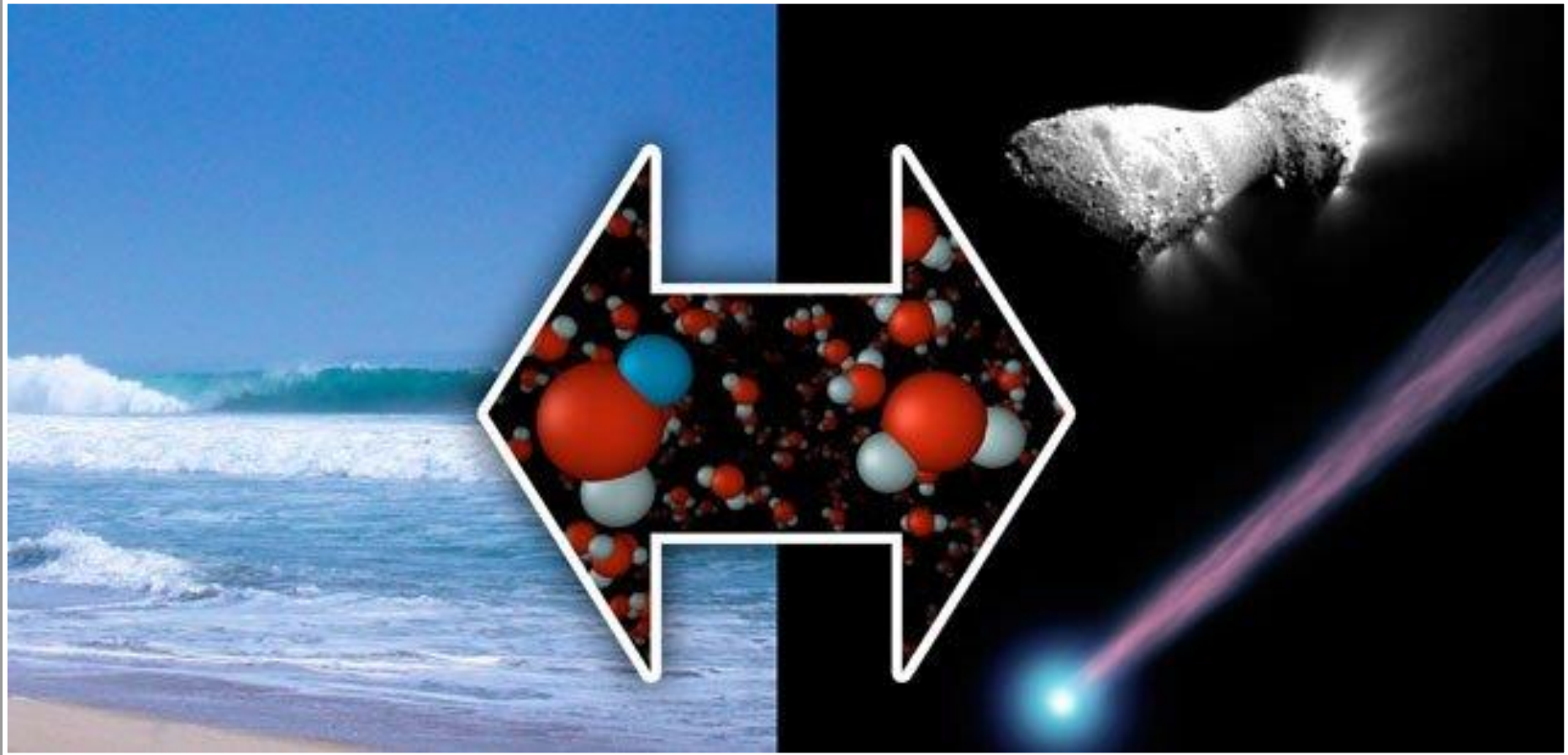


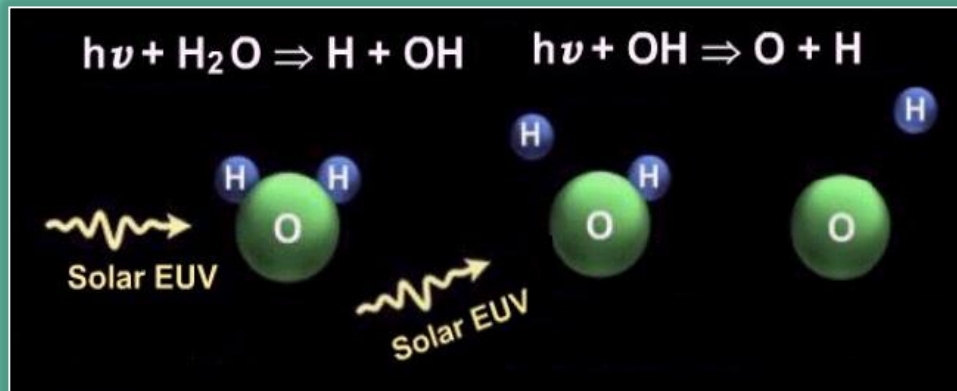
Image credit: NASA/JPL-Caltech

# Água na Terra e perda

Local	Volume (km <sup>3</sup> )	Percentual do total (%)
Oceanos	1.370.000	97,61
Calotas polares e geleiras	29.000	2,08
Água subterrânea	4.000	0,29
Água doce de lagos	125	0,009
Água salgada de lagos	104	0,008
Água misturada no solo	67	0,005
Rios	1,2	0,00009
Vapor d'água na atmosfera	14	0,0009
<b>Biosfera</b>	<b>6</b>	<b>0,00004</b>

Fonte:  
R.G. Wetzel,  
1986

## Fotodissociação da água:



- Estimativas apontam para uma perda de  $5 \times 10^5$  ton / ano.
- Nos últimos 4 bilhões de anos a perda foi cerca de  $2 \times 10^{15}$  ton, ou 0,2 % do conteúdo atual dos oceanos.
- Vulcanismo ainda libera vapor de água.

# Razão Deutério / Hidrogênio

D. C. Lis, N. Biver, D. Bockelée-Morvan *et al.* (2013)

<http://arxiv.org/pdf/1307.6869.pdf>

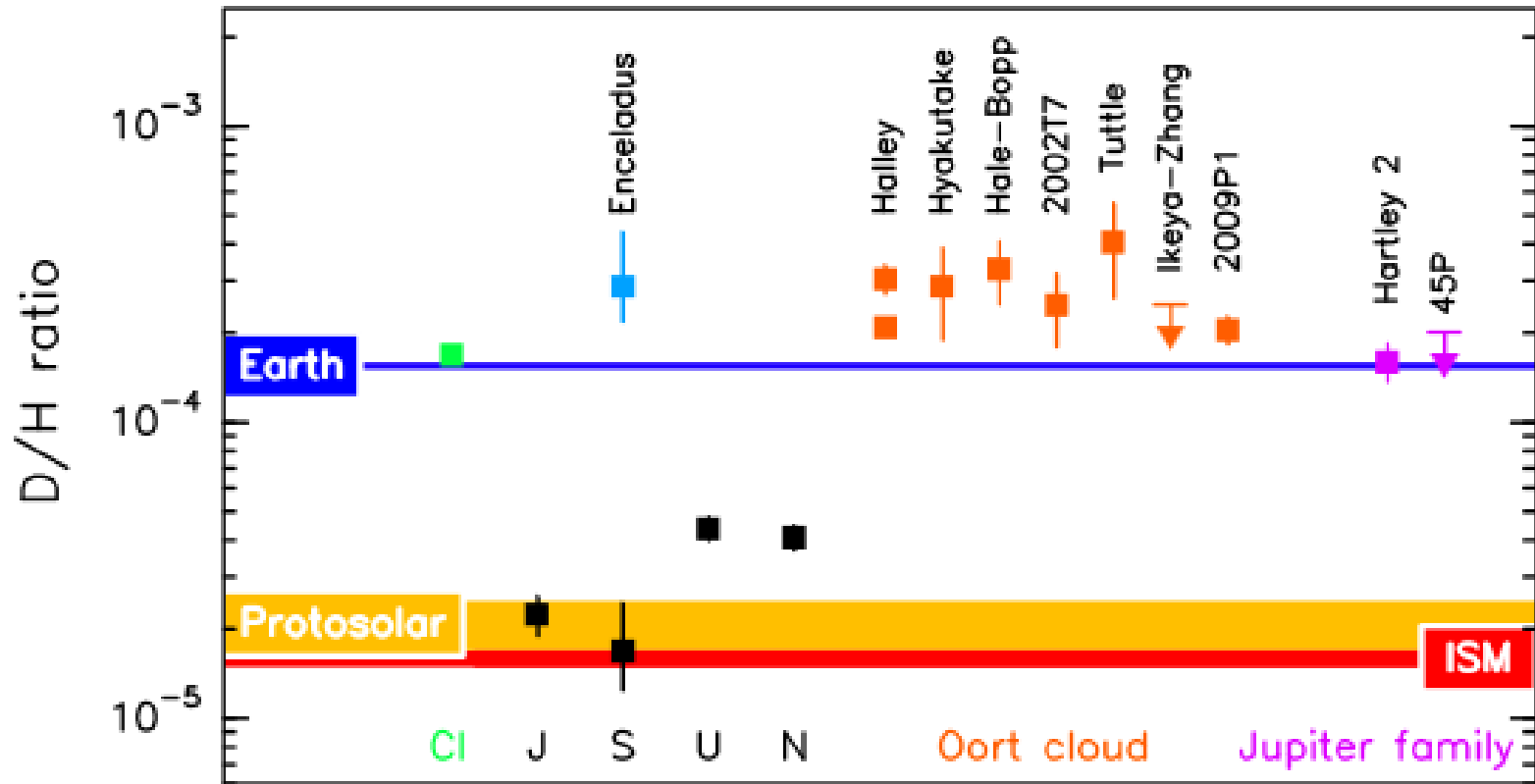
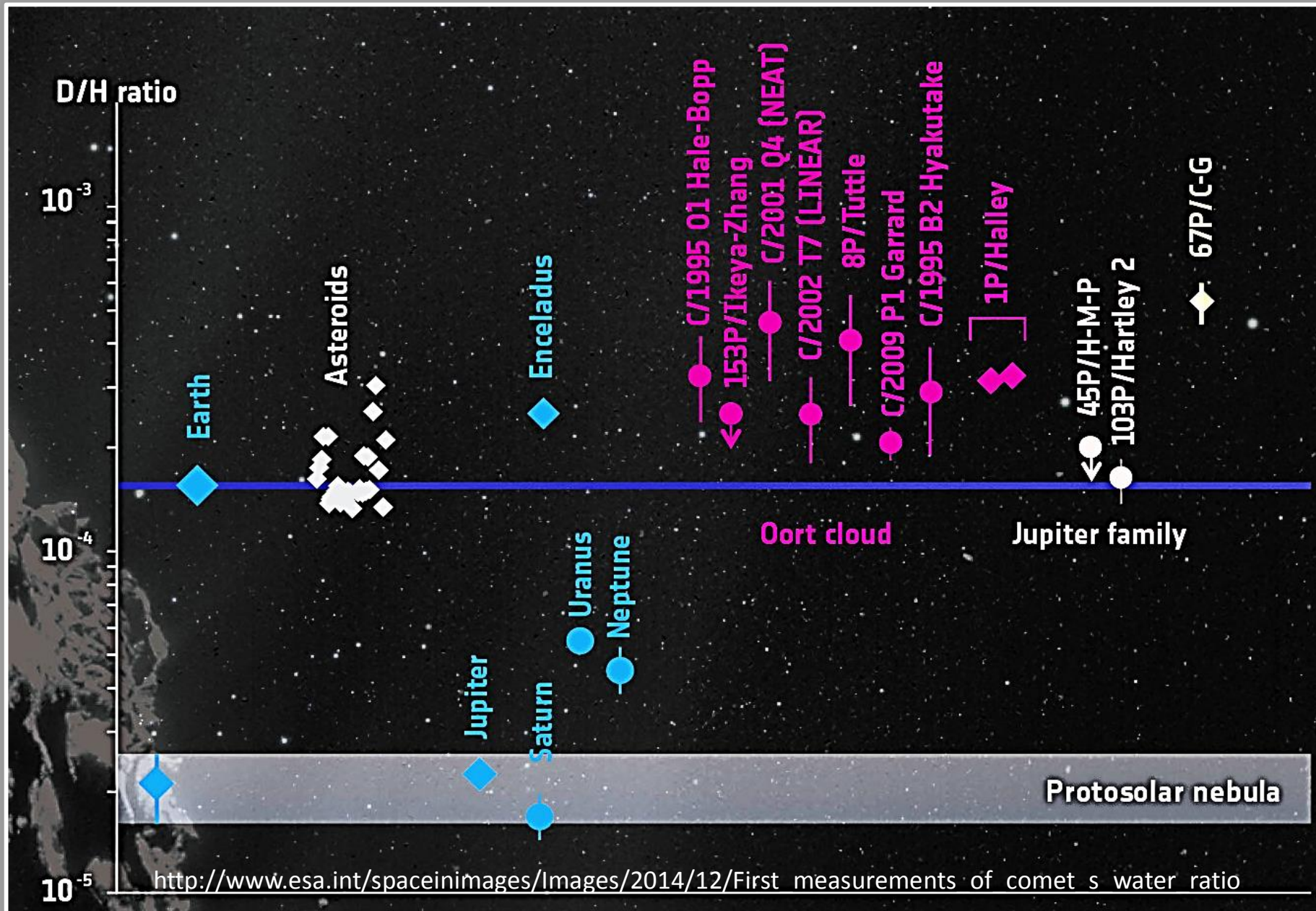


Fig. 4.— Updated version of the figure from Hartogh *et al.* (2011) and Bockelée-Morvan *et al.* (2012), which summarizes D/H values in solar system objects. Orange symbols are measurements in water in Oort-cloud comets and purple symbols in Jupiter-family comets (current  $3\sigma$  upper limit for 45P). Black symbols are measurements in  $H_2$  in atmospheres of giant planets—the Uranus and Neptune values have been revised to take into account the latest *Herschel* measurements (Feuchtgruber *et al.* 2013). Blue and green symbols are values in water in the plume of Saturn’s moon Enceladus and in CI carbonaceous chondrites, respectively. ISM and protosolar values are in  $H_2$  and the Earth value is in water. Errorbars are  $1\sigma$ .



# Razão Deutério / Hidrogênio



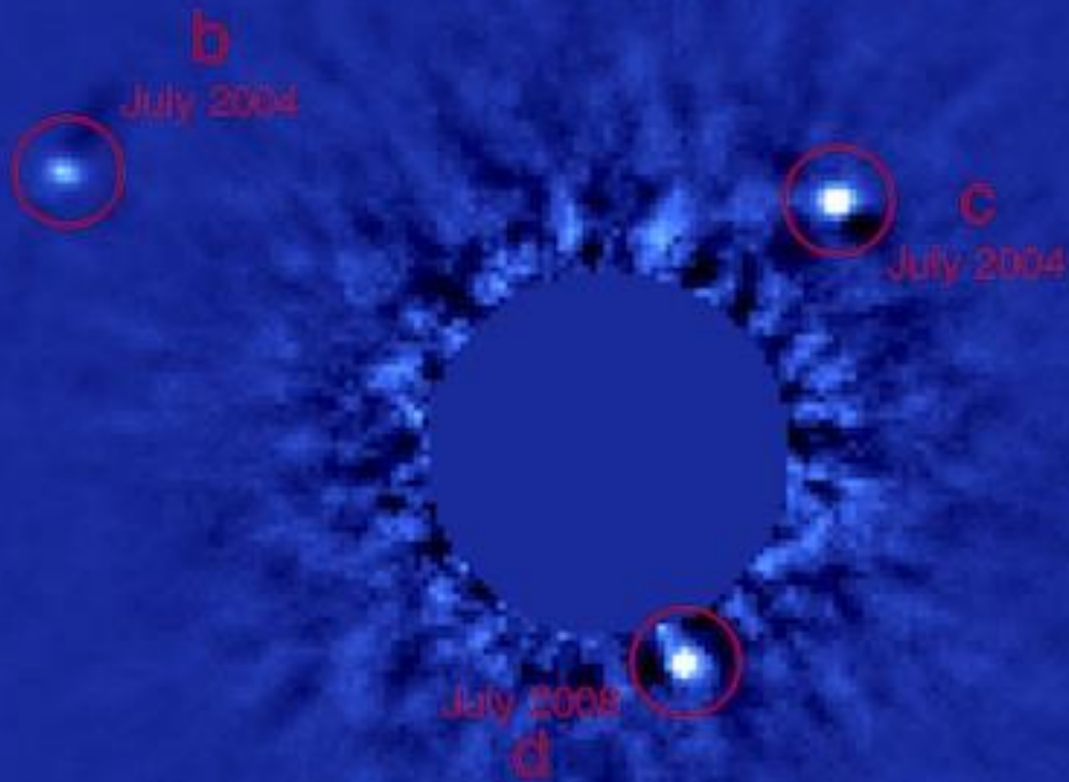
**Supplementary Table S1: D/H ratios in the solar system**

•Paul Hartogh, et al. 2011, Nature (on line) Oct 05, doi:10.1038/nature10519

Object	Species	D/H $\times 10^{-4}$	Reference
Earth (VSMOW)	H <sub>2</sub> O	1.558 ± 0.001	33
103P/Hartley 2	H <sub>2</sub> O	1.61 ± 0.24	this work
1P/Halley	H <sub>2</sub> O	3.06 ± 0.34	34
C/1996 B2 (Hyakutake)	H <sub>2</sub> O	2.90 ± 1.00	35
C/1995 O1 (Hale-Bopp)	H <sub>2</sub> O	3.3 ± 0.8	36
153P/Ikeya-Zhang	H <sub>2</sub> O	< 2.50	37
C/2002 T7 (LINEAR)	H <sub>2</sub> O	2.5 ± 0.7	38
8P/Tuttle	H <sub>2</sub> O	4.09 ± 1.45	39
Enceladus	H <sub>2</sub> O	2.5 <sup>+1.5</sup> <sub>-0.7</sub>	40
CI chondrites	H <sub>2</sub> O	1.70 ± 0.10	41
Protosolar	H <sub>2</sub>	0.21 ± 0.04	15
Interstellar medium	H	0.16 ± 0.01	15
Jupiter	H <sub>2</sub>	0.225 ± 0.035	42
Saturn	H <sub>2</sub>	0.17 <sup>+0.075</sup> <sub>-0.045</sub>	42
Uranus	H <sub>2</sub>	0.55 <sup>+0.35</sup> <sub>-0.15</sub>	43
Neptune	H <sub>2</sub>	0.45 ± 0.1	44

Compilation of the D/H ratios in the solar system following Figure 1: name of the object, species from which the D/H ratio was determined, D/H ratio with the corresponding uncertainty, reference to the measurement.

# Planetas Extrassolares (ou Exoplanetas)





**CHRISTIAN HUYGENS (1629 - 1695):** primeira procura por planetas extrassolares documentada no final do séc. 17.

**PETER VAN DE KAMP (~1950):** placas fotográficas registrando o movimento próprio da Estrela de Barnard:

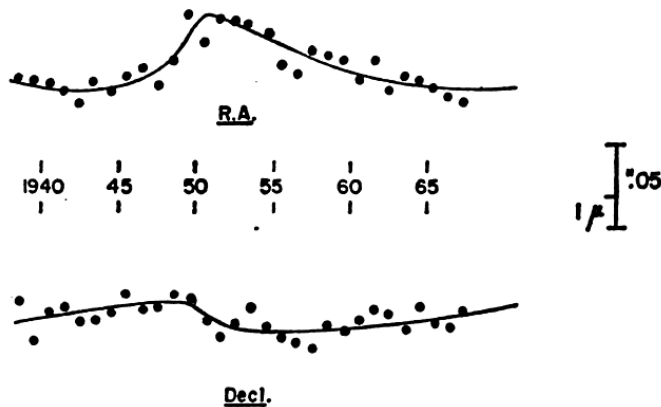


FIG. 1. Barnard's star: Yearly means, averaging 100 plates and weight 68; time-displacement curves for  $P=25$  yr,  $e=0.75$ ,  $T=1950$ .

Sua conclusão: o balanço (oscilação) é causado por um planeta com cerca de 1,6 massa de Júpiter, em órbita excêntrica.

Refinando os cálculos (~1982) concluiu haver dois planetas em órbitas circulares, com 0,7 e 0,5 massa de Júpiter.

Muitos tentaram verificar os trabalhos de van de Kamp mas não encontraram oscilações; as encontradas estavam dentro da margem de erro do método utilizado. Peter van de Kamp morreu em 1995 afirmando suas conclusões.


Planetas não foram confirmados.

## BARNARD'S STAR AND VAN DE KAMP'S PLANETS: THE BEGINNING

by George H. Bell

In the September 15, 1916 issue of *The Astronomical Journal* (1) and the September 7, 1916 issue of *Nature*, (2) an article appeared that dealt with the discovery of a rather small, insignificant star that demonstrated a large proper motion. The purpose of the article was to alert the astronomical world that indeed, E. F. Barnard detected a unique find, that is a star with a proper motion larger than any star that had been studied previously. The large proper motion was calculated by Barnard to be approximately 10.3 arcseconds per year. (3) The proper motion is defined as "the apparent angular motion per year of a star on the celestial sphere, i.e., in a direction perpendicular to the line of sight". (4) Proper motion is attributed to two basic premises: the star can move of its own accord and the star's galaxy can also move. Because of the vast distances between us and

<http://exoplanet.eu/catalog/>

VO CONNECTION 

OFF  ON

## Catalog

Download [VOTable](#) | [CSV](#) | [DAT](#)

All planets



Filter

Showing 3531 planets / 2648 planetary systems / 595 multiple planet systems

[All fields](#)

23-09-2016

# Conceituação

Exemplo: planeta tipo Júpiter, orbitando estrela a 5 UA, distante 30 a.L.

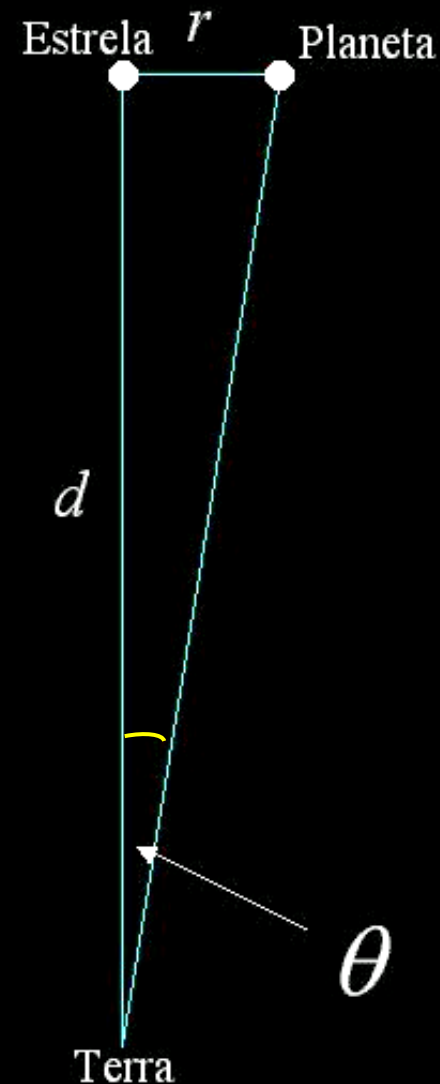
$$d = 30 \text{ a.l.} = 2,8 \times 10^{17} \text{ m}$$

$$r = 5 \text{ U.A.} = 7,5 \times 10^{11} \text{ m}$$

$$\tan \theta \cong \theta = \frac{r}{d}$$

$$\theta = 2,7 \times 10^{-6} \text{ radianos}$$

$$= 1,5 \times 10^{-4} \text{ grau}$$



bola de pingue-pongue vista de 200m!



## Exemplos

$L_p$  – Luminosidade do planeta  
 $L_s$  – luminosidade da estrela  
 $R$  – raio do planeta  
 $r$  – distância do planeta à Terra

$$\frac{L_p}{L_s} = \left( \frac{R}{2r} \right)^2$$

Sol – Terra:

$$\begin{aligned} R &= 6,4 \times 10^6 \text{ m} \\ r &= \underline{1,5 \times 10^{11} \text{ m}} \\ &\text{U.A.} \end{aligned} \Rightarrow \frac{L_p}{L_s} = 4,6 \times 10^{-10}$$

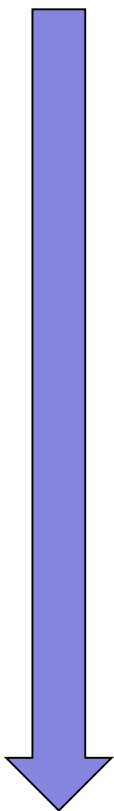
Sol – Júpiter:

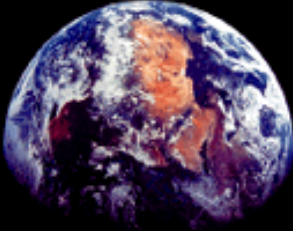

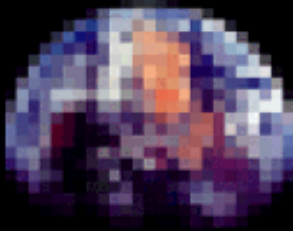
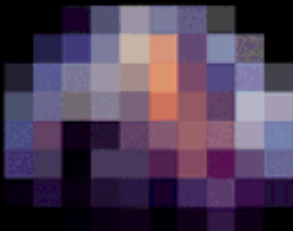
$$\begin{aligned} R &= 7,2 \times 10^7 \text{ m} \\ r &= 7,8 \times 10^{11} \text{ m} \end{aligned} \Rightarrow \frac{L_p}{L_s} = 2,1 \times 10^{-9}$$

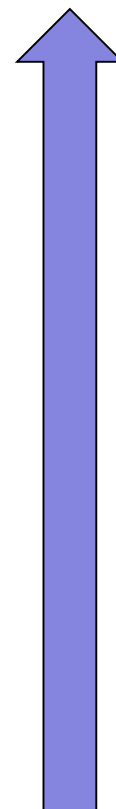
**Se fosse em torno da estrela Próxima Centauro ( $r = 4,3 \times 10^{16} \text{ m}$ ):  $L_p/L_s = 7 \times 10^{-19}$**

# Telescópio óptico e CCD

**TAMANHO DO PIXEL**



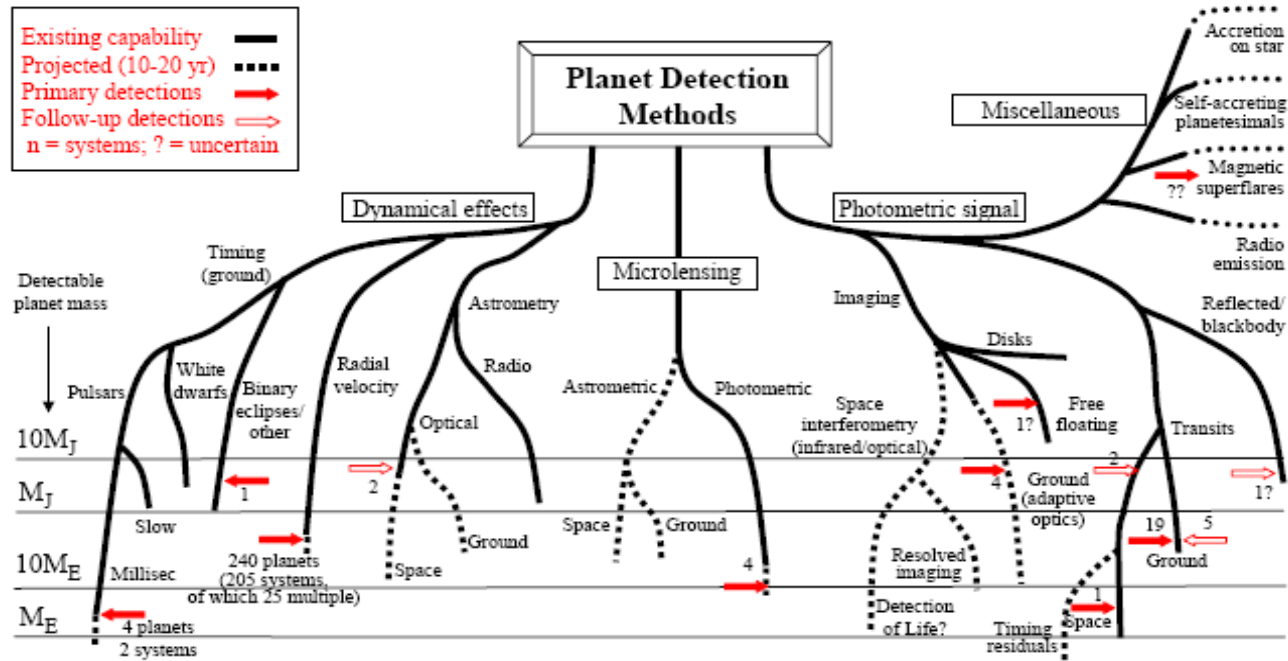
Pixel / Diameter	Pixel size @ planet (km)	Image	Interferometer Requirements		
			Collecting Area	Baseline	
400	32		IR Visible	144 km <sup>2</sup> 1,296 km <sup>2</sup>	100,000 km 5,000 km
100	128		IR Visible	0.64 km <sup>2</sup> 5.76 km <sup>2</sup>	24,000 km 1,200 km
Pixel / Diameter	Pixel size @ planet (km)	Image	Interferometer Requirements		
25	510		IR Visible	Collecting Area	Baseline
				1,024 m <sup>2</sup> 9,216 m <sup>2</sup>	6,000 km 303 km
10	1276		IR Visible	64 m <sup>2</sup> 576 m <sup>2</sup>	2,4km 120 km



**TAMANHO DO TELESCÓPIO**

## Planet Detection Methods

Michael Perryman, Rep. Prog. Phys., 2000, 63, 1209 (updated 3 October 2007)



- VELOCIDADE RADIAL
- ASTROMETRIA
- TRÂNSITOS
- “PULSAR TIMING”
- LENTE GRAVITACIONAL
- CONFIGURAÇÃO DE DISCO
- ASTROMETRIA DIFERENCIAL
- LUZ REFLETIDA
- LUZ TRANSMITIDA
- EMISSÕES AURORAIS
- EMISSÕES RÁDIO
- SINAIS ANTROPOGÊNICOS
- IMAGEAMENTO POR CORONÓGRAFO
- IMAGEAMENTO POR INTERFEROMETRIA



## **VELOCIDADE RADIAL**

Movimento relativo da estrela projetado na direção do observador causa deslocamento Doppler no espectro estelar.

## **ASTROMETRIA**

Movimento relativo da estrela projetado no plano do céu causa deslocamento aparente perceptível na posição da estrela.

## **TRÂNSITO**

Trânsitos dos planetas pelo disco estelar causa diminuição sutil de brilho da estrela, perceptível pela curva de luz .

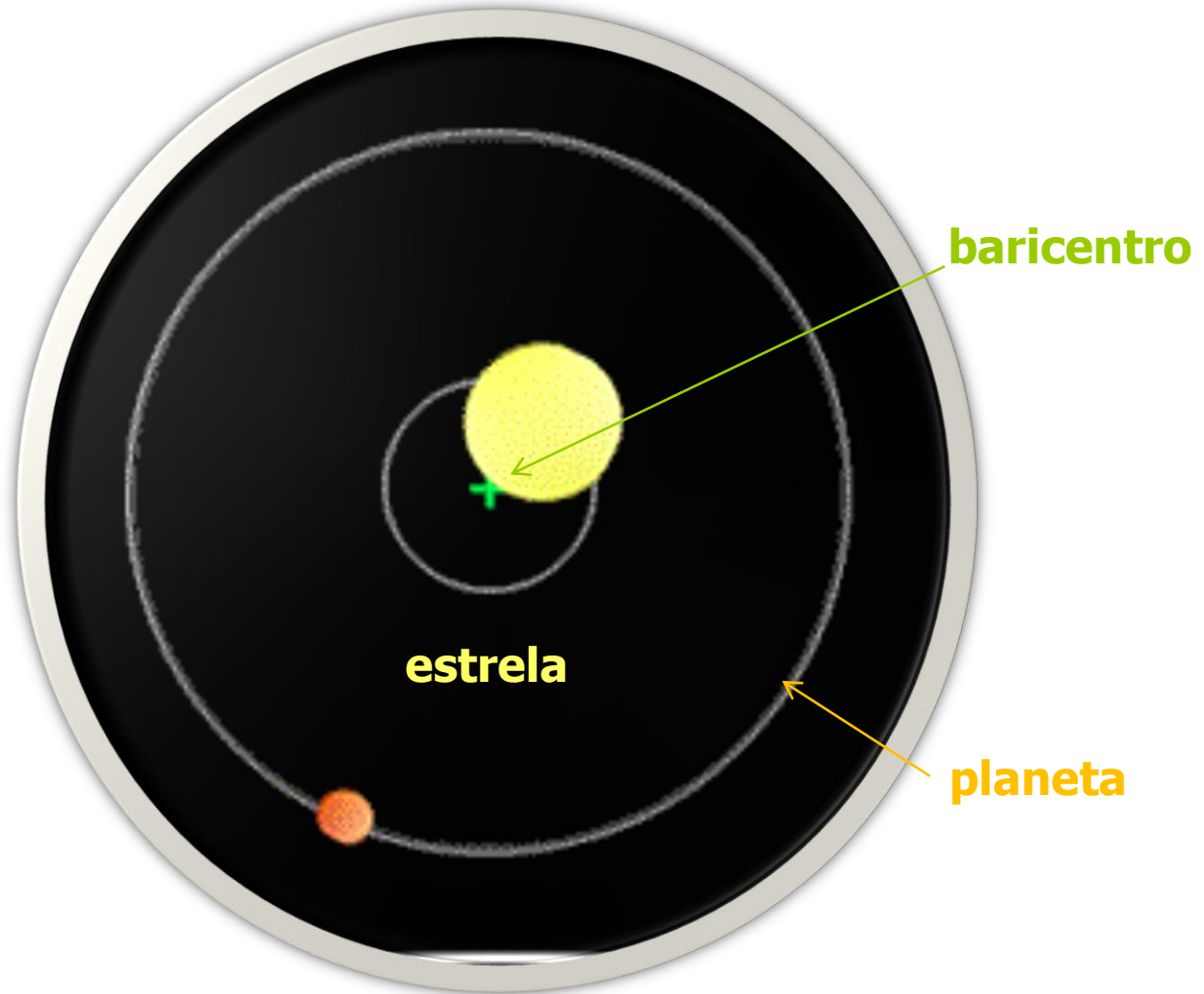
## **MICROLENTE GRAVITACIONAL**

Estrelas provocam efeito de lente ao transitarem em frente de estrelas de fundo. A presença de planetas provoca um pico na curva de luz da estrela de fundo.

## **IMAGEAMENTO**

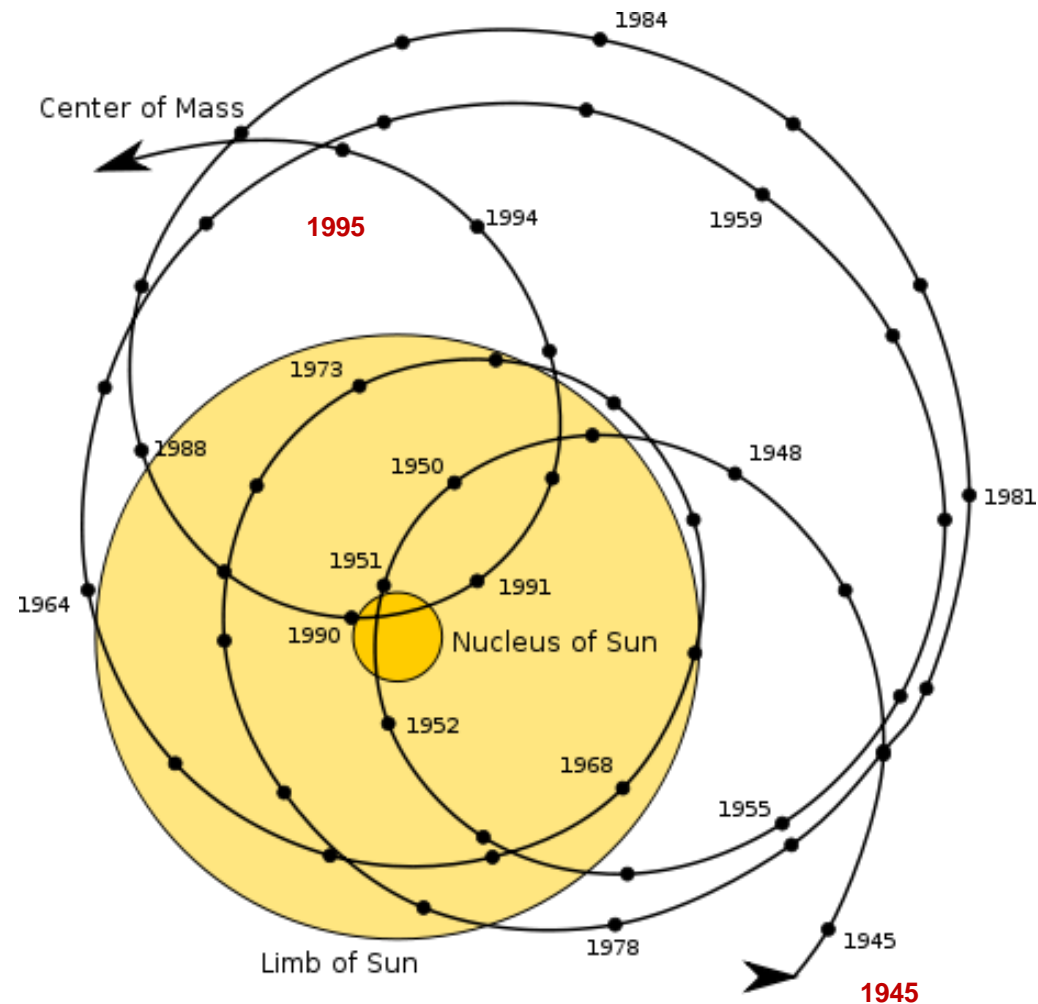
Planetas refletem a luz da estrela e podem ser imageados. Método exige processo artificial para remover a imagem da estrela.

## ESTRELA MOVE-SE EM TORNO DO CENTRO DE MASSA DO SISTEMA



## ESTRELA MOVE-SE EM TORNO DO CENTRO DE MASSA DO SISTEMA

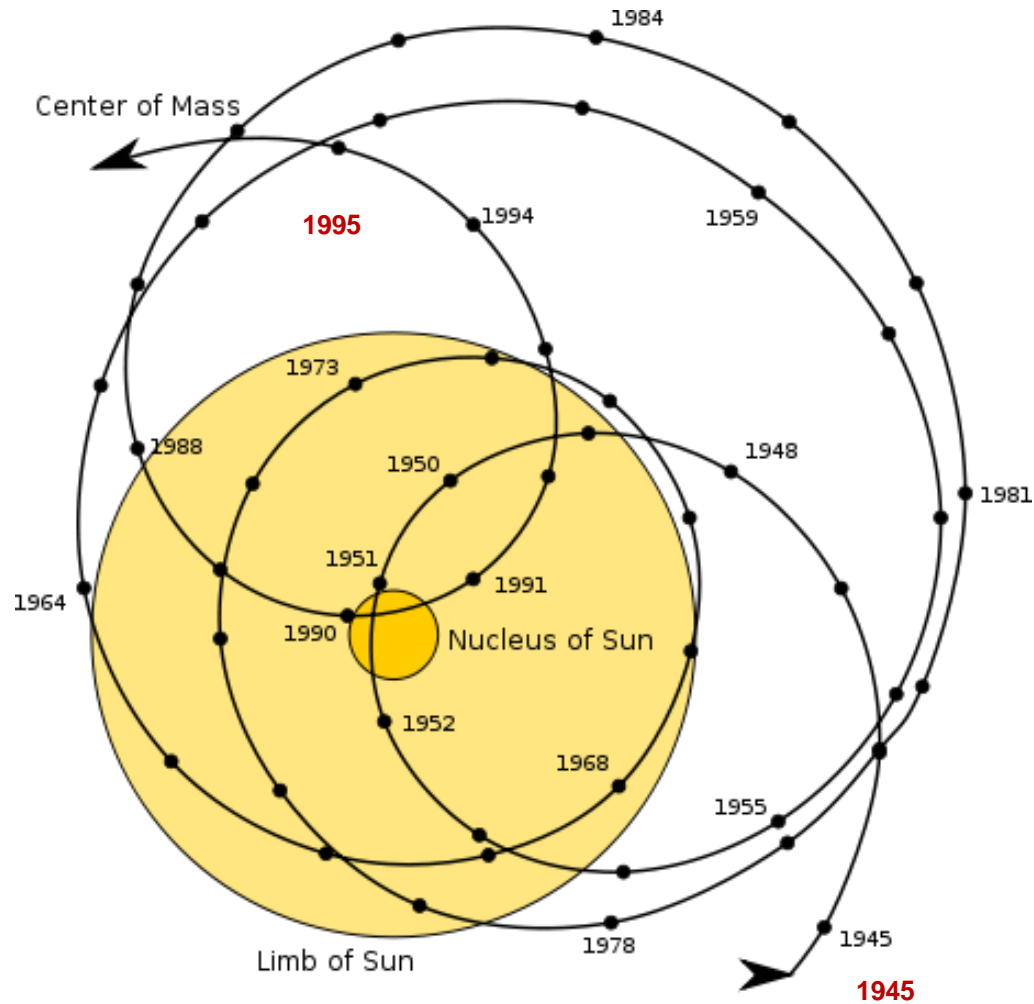
- Movimento do centro do Sol (ou do baricentro em relação ao centro do Sol) para o período de 1945 a 1995, visto de uma distância de 10 pc ( $\sim 32$  a.l.) na direção perpendicular ao plano da eclíptica ( $i = 0^\circ$ ).
- Astrometria apresenta precisão bem maior se observação for feita do espaço.



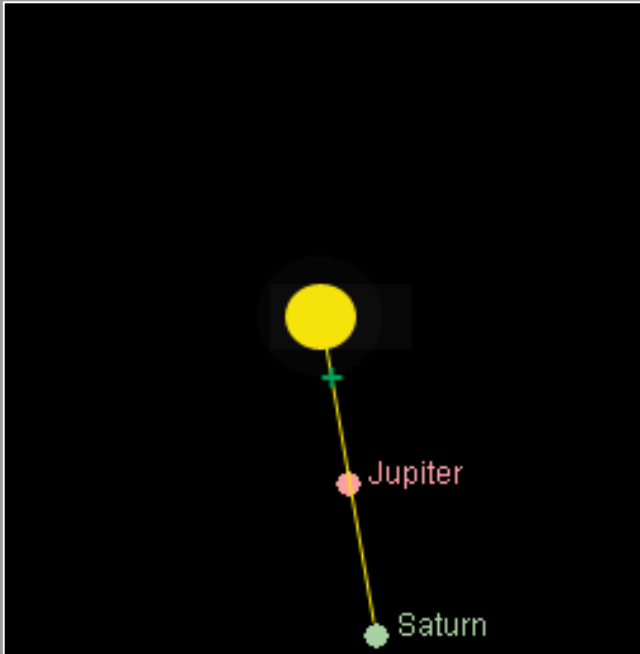


# Métodos indiretos de detecção - Astrometria

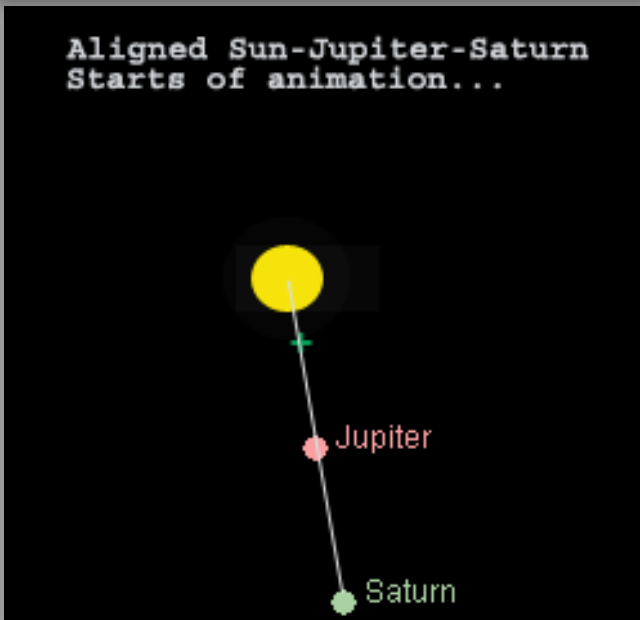
← Referencial centrado no Sol



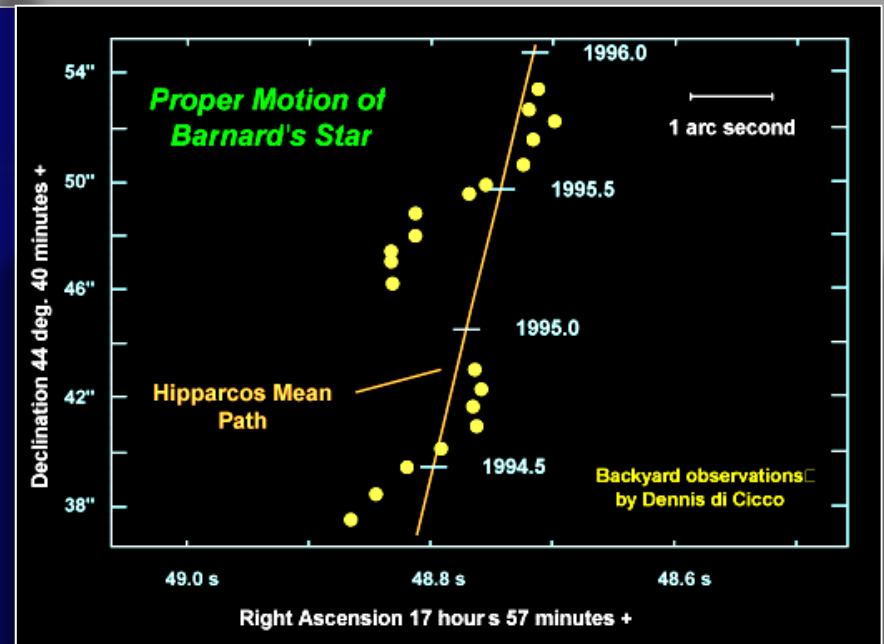
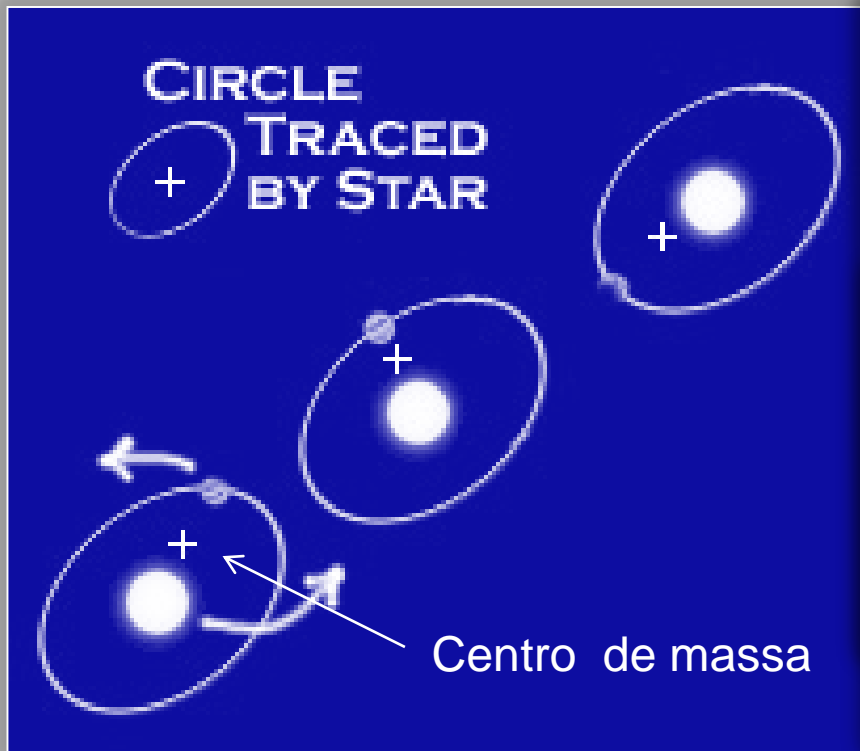
← Referencial centrado no baricentro



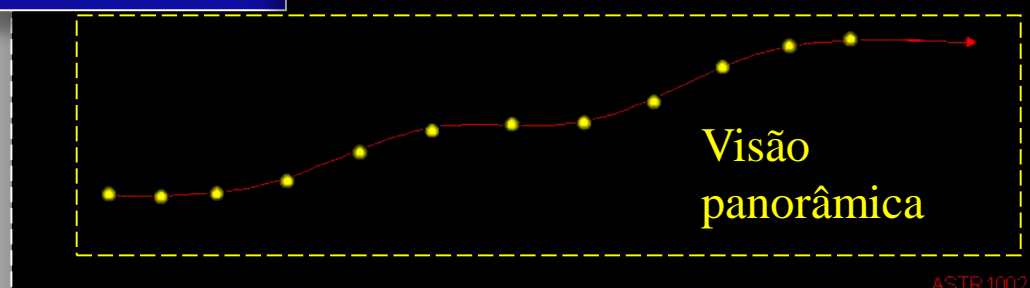
Aligned Sun-Jupiter-Saturn  
Starts of animation...



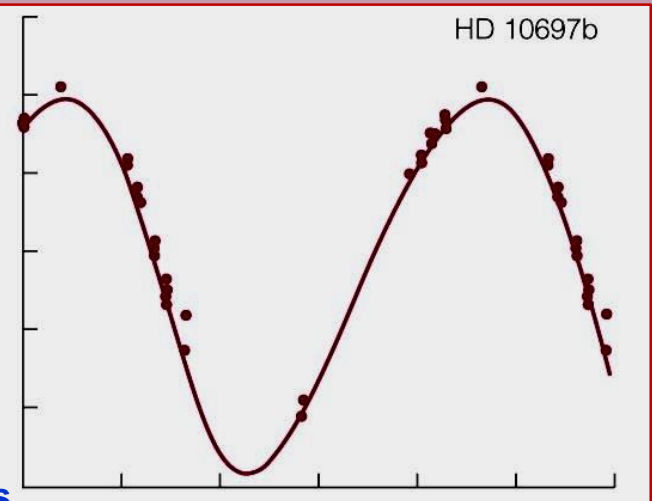
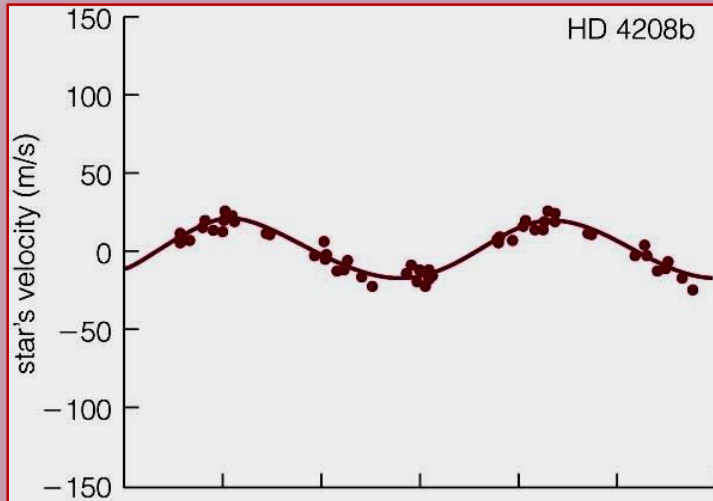
## ESTRELA MOVE-SE EM TORNO DO CENTRO DE MASSA DO SISTEMA



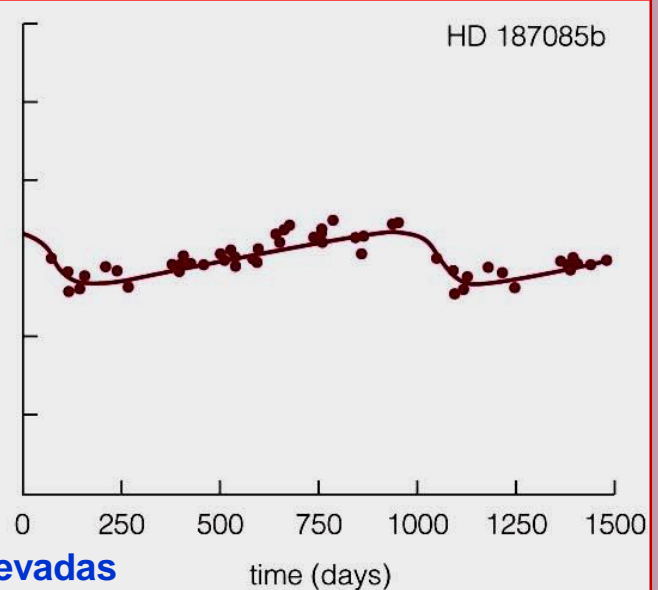
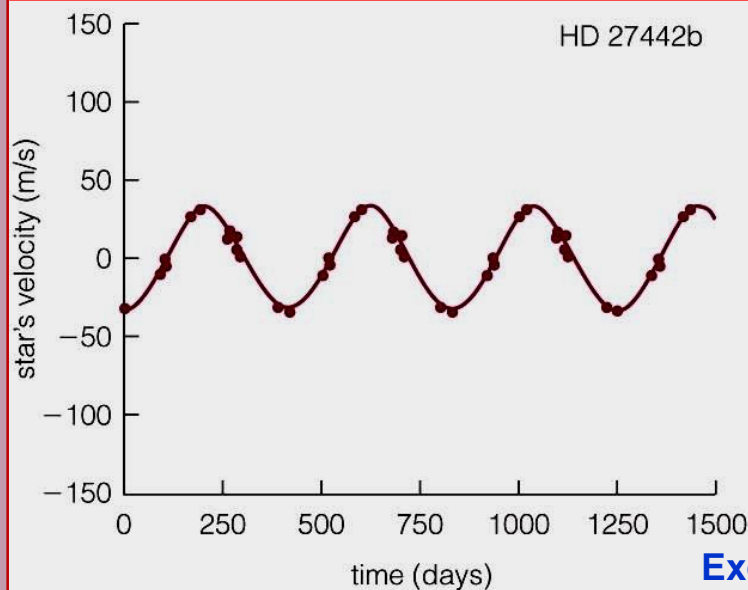
Quanto maior for o planeta,  
mais pronunciado será o efeito



## ESTRELA MOVE-SE EM TORNO DO CENTRO DE MASSA DO SISTEMA



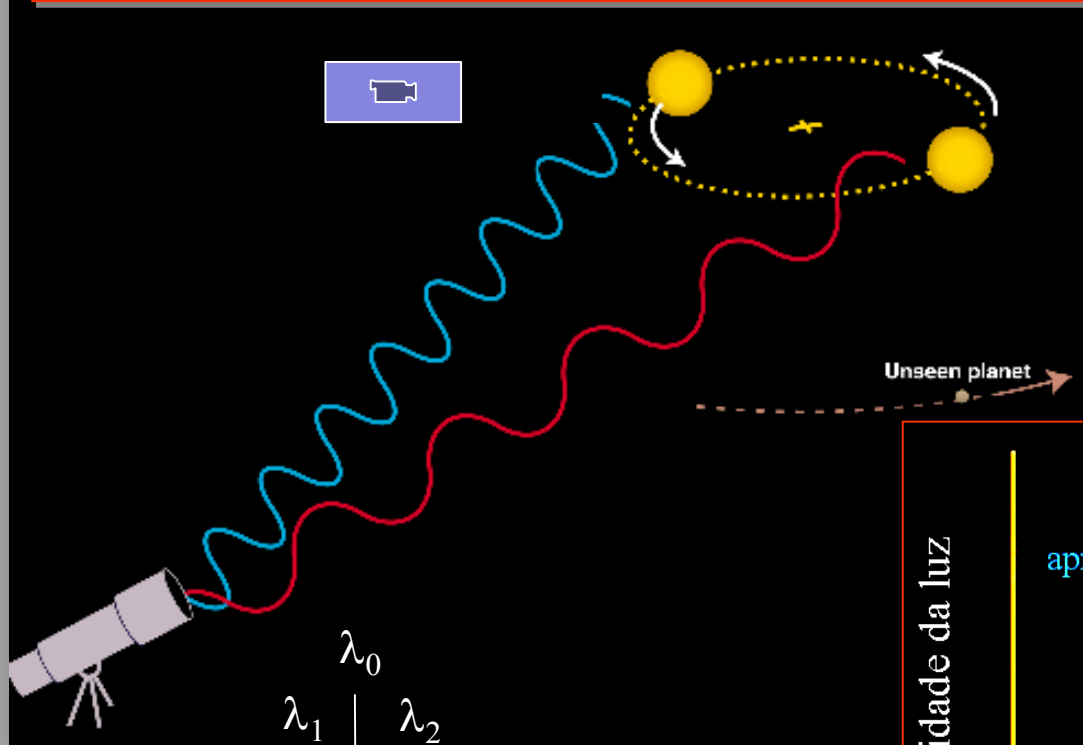
Massas elevadas



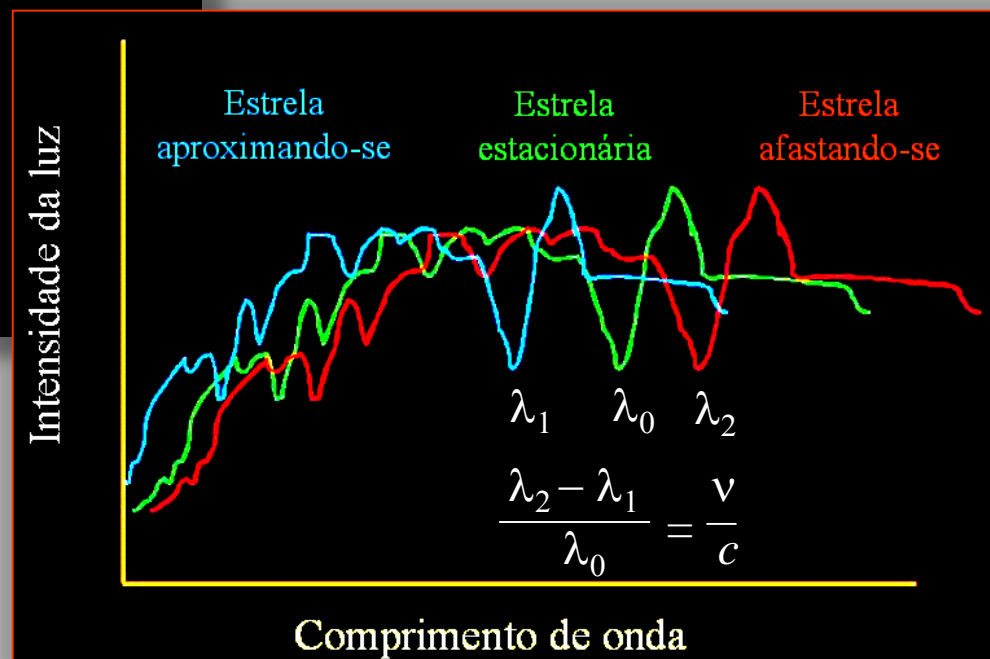
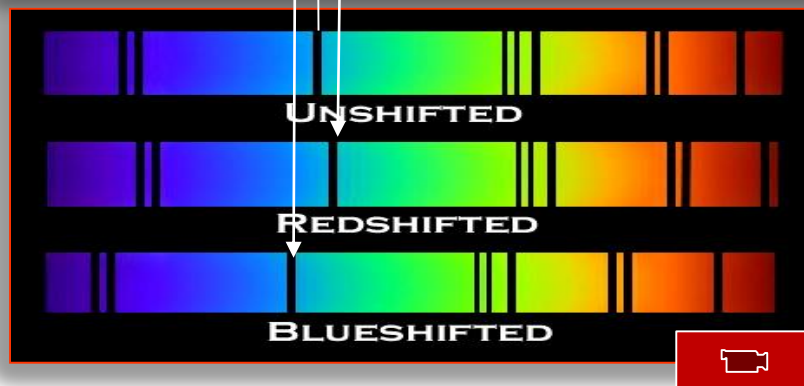
Excentricidades elevadas



# Métodos indiretos de detecção – Velocidade radial



Deslocamento Doppler  
provocado pelo  
movimento da estrela



Quanto maior for o planeta,  
mais pronunciado será o efeito

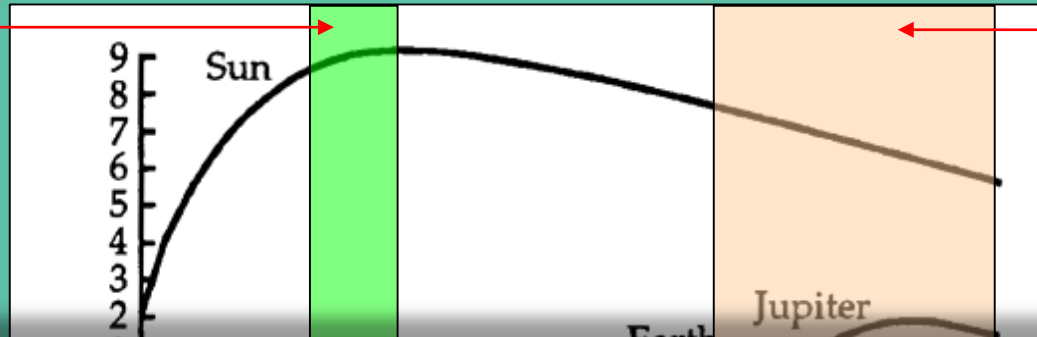
Limite da tecnologia atual:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \approx 10^{-8} \Rightarrow v \approx 3 \text{ m/s} \\ \approx 10,8 \text{ km/h}$$

# Métodos indiretos de detecção – Imageamento

## Luz refletida pelo planeta

**Visível:**  
estrela/planeta  
= 1 bilhão



**Infravermelho:**  
estrela/planeta  
= 1 milhão

Visible (optical) band



Planet lost in glare of star that is very bright in the visible band.

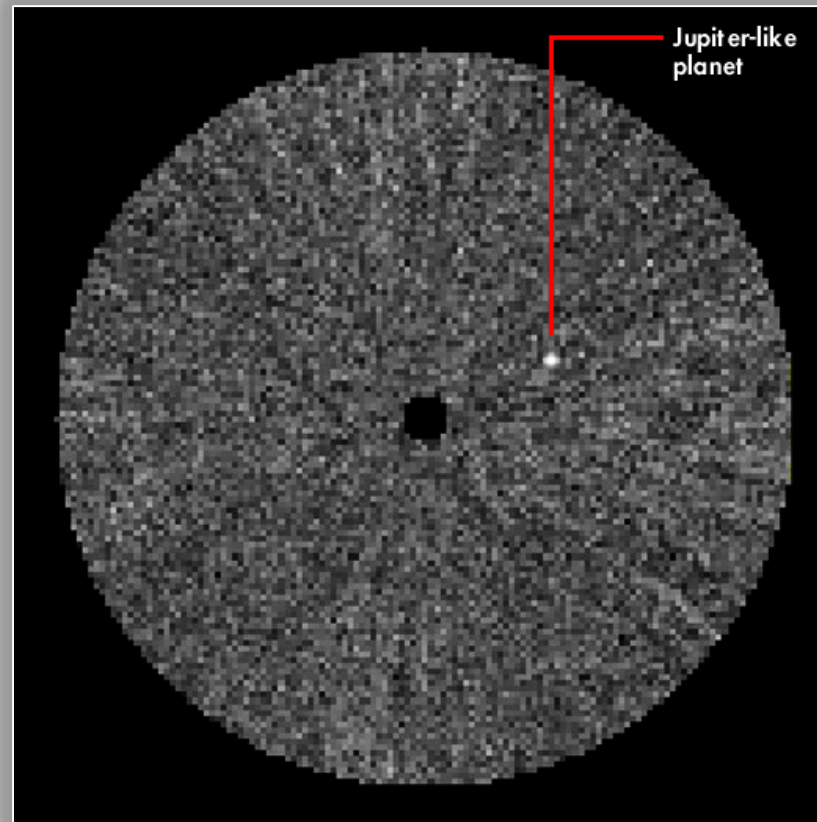
Infrared band



Planet more luminous in the infrared band and star not so bright.

## Luz refletida pelo planeta

(Imagem simulada de Júpiter se visto à distância de 10pc)



Método usa interferometria no infravermelho com telescópio de solo.  
Resultado depende a luz do planeta, não da inclinação do seu plano orbital.

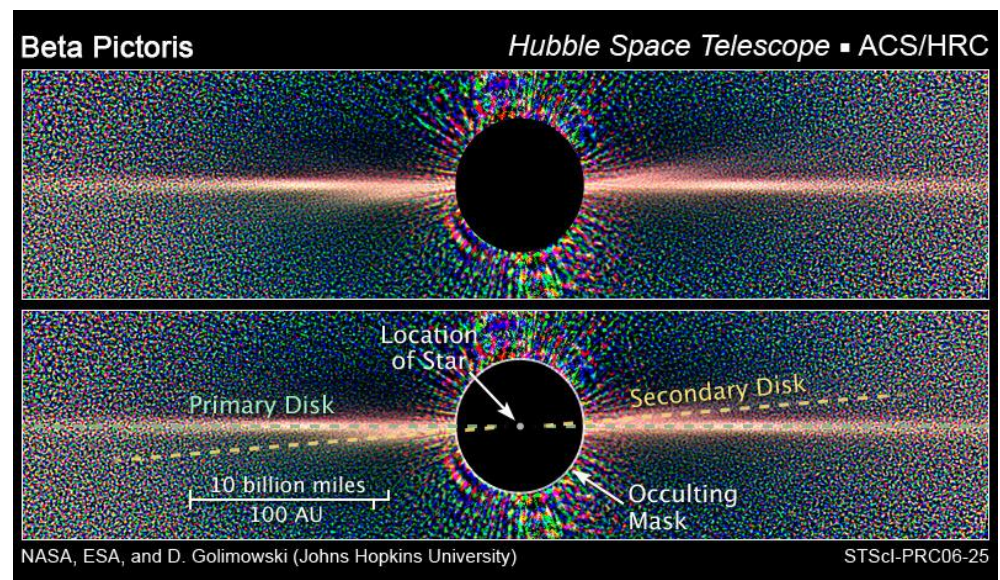
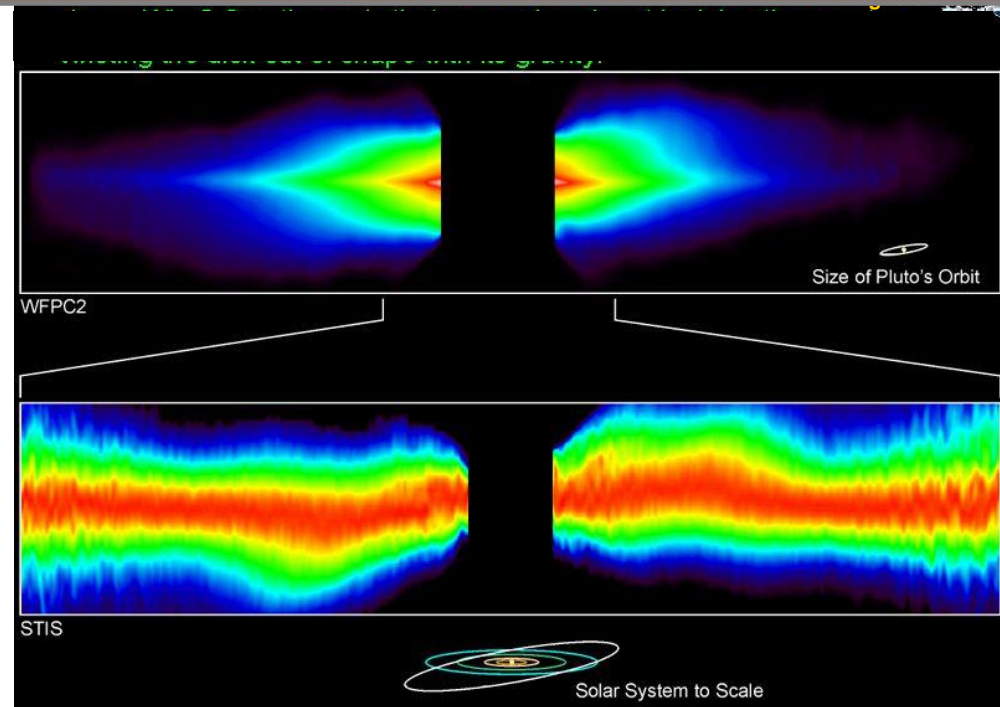


# Sistema Beta Pictoris

Imagem da estrela beta da constelação do Pintor, obtida com coronógrafo estelar.

A estrela central é ocultada por um disco artificial no instrumento.  
(Smith & Terrile, 1987)

Disco secundário pode ser maior que 130 AU  
(HST 2006)

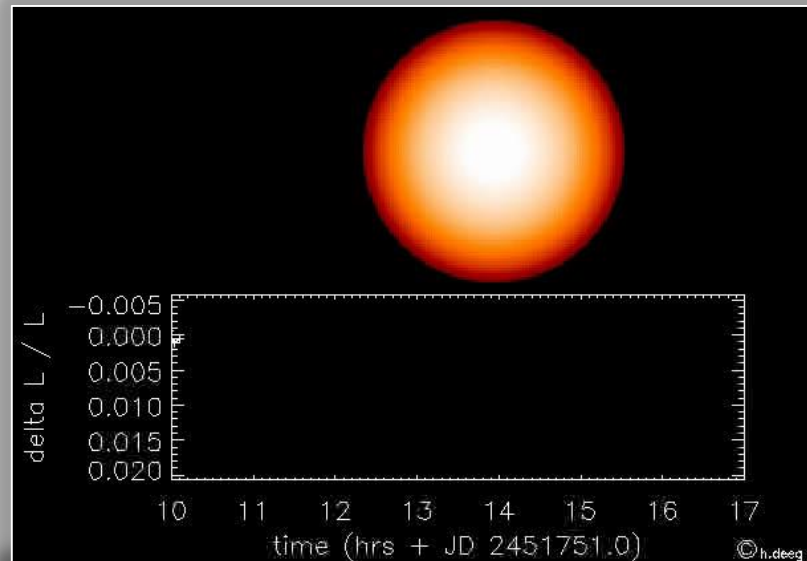
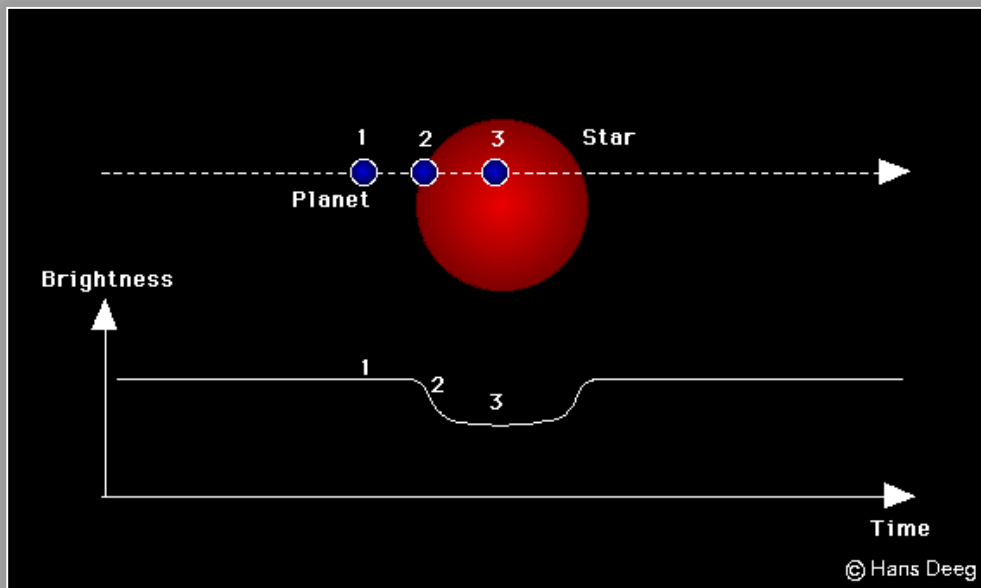


# Métodos indiretos de detecção – Fotometria

## Variação de luz decorrente de um eclipse

<http://astro.unl.edu/classaction/animations/extrasolarplanets/transitsimulator.html>

[http://kepler.nasa.gov/images/videos/OccultationGraphWEB1\\_H264.mov](http://kepler.nasa.gov/images/videos/OccultationGraphWEB1_H264.mov)

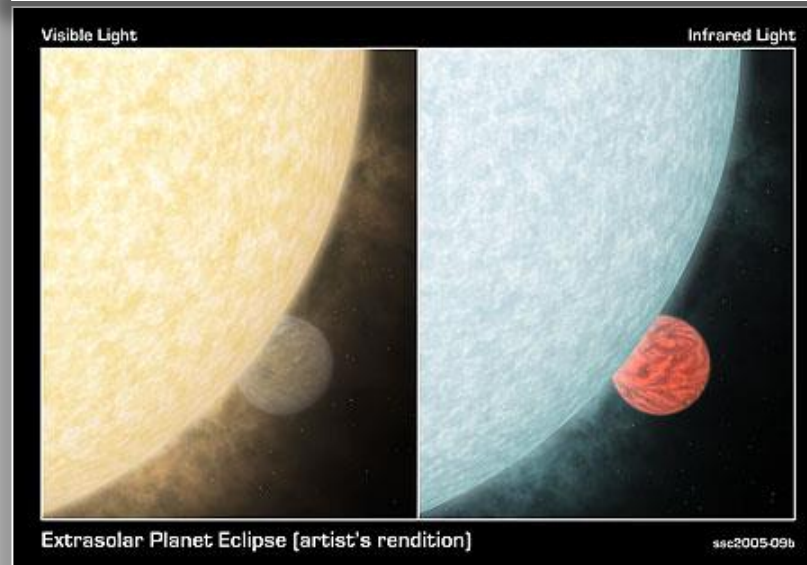


Quanto maior for o planeta, mais pronunciado será o efeito.

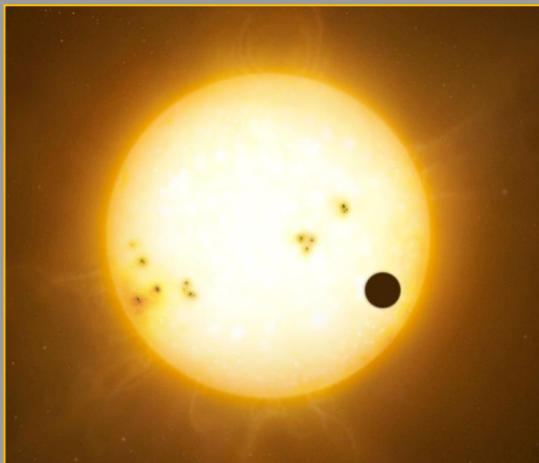


Contraste é maior no infravermelho

que no visível



## Métodos indiretos de detecção – Fotometria



	Diâmetro (km)	Área relativa → queda de brilho
Sol	1.400.000	1
Júpiter	143.000	0,01
Netuno	49.600	0,001
Terra	12.800	0,0008
Mercúrio	4.900	0,0001

## The *Kepler* Space Telescope

- \* 1--meter Diameter Telescope
  - \* Field of View: 10 deg x 10 deg
  - \* Camera: 95 MegaPixel
- 
- Images 150,000 stars simultaneously
  - Every 30 minutes
  - For 4 Years
- 
- Brightness Precision: 0.01%



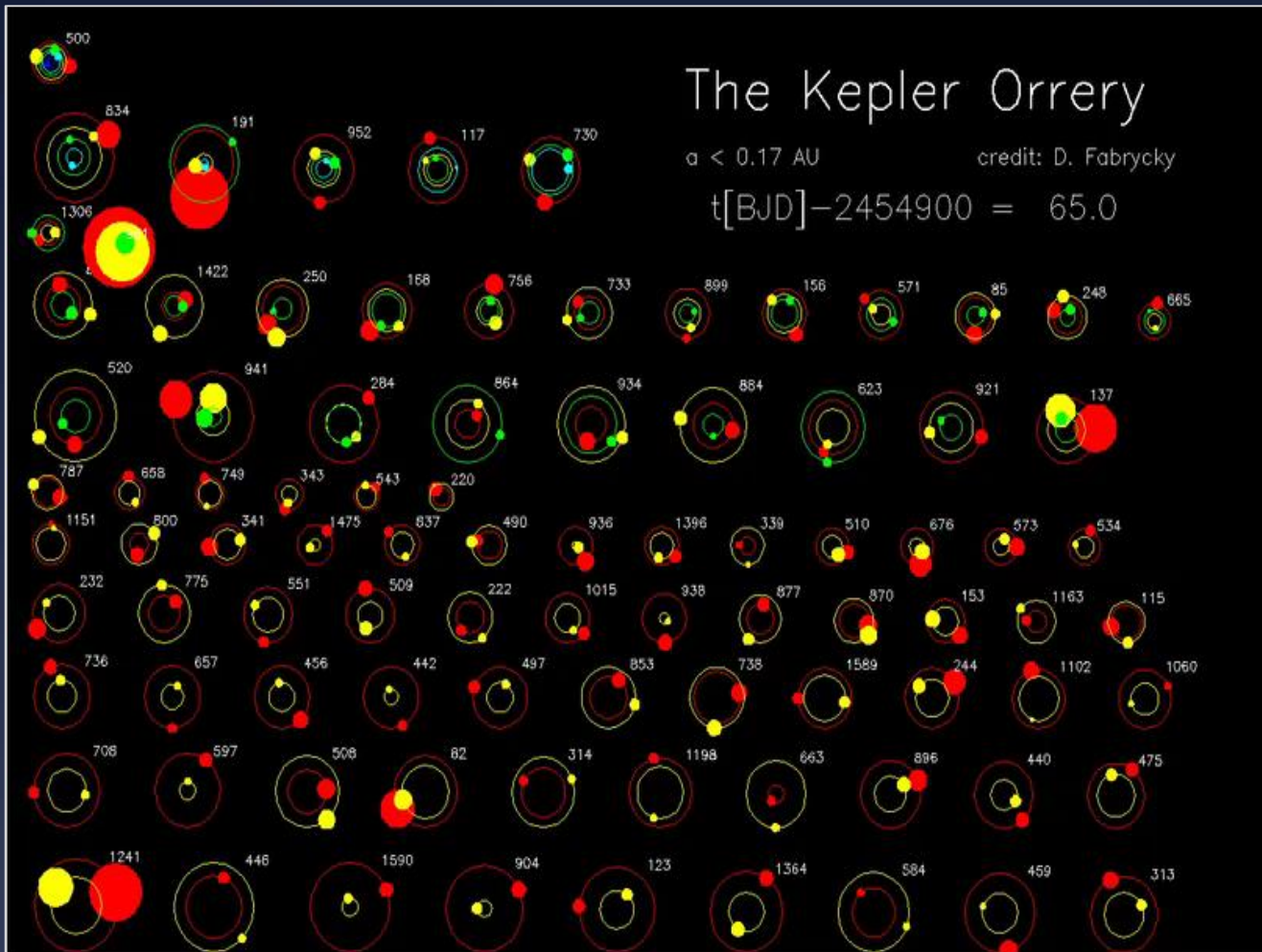
**Defeitos no seu sistema giroscópico desde maio de 2013  
15 de agosto de 2013: NASA desiste da missão atual.**



# Métodos indirectos de detección – Fotometria

Astrobiology - Exoplanets - Geoff Marcy

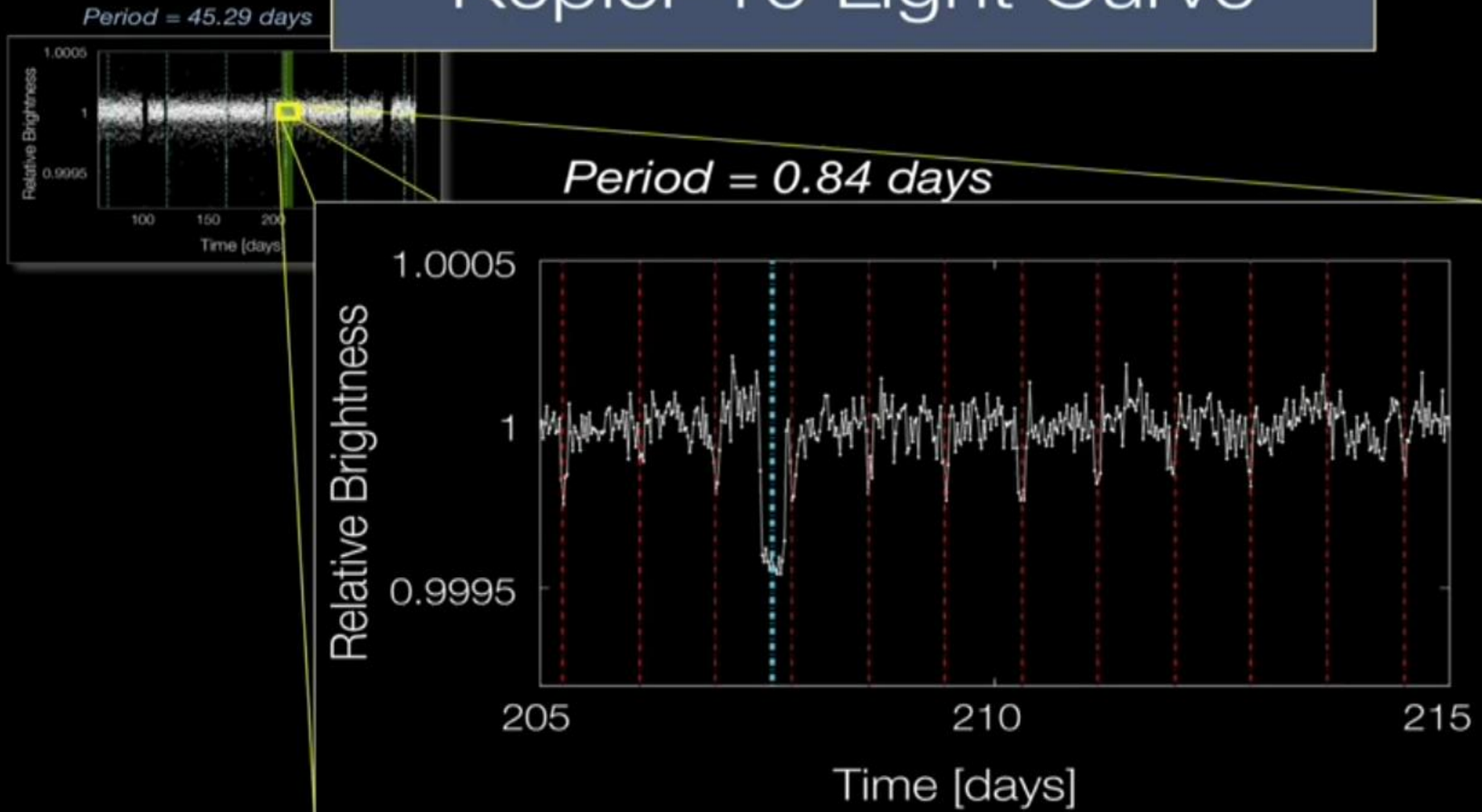
## The *Kepler* Space Telescope



# Métodos indiretos de detecção – Fotometria

Astrobiology - Exoplanets - Geoff Marcy

## Kepler-10 Light Curve

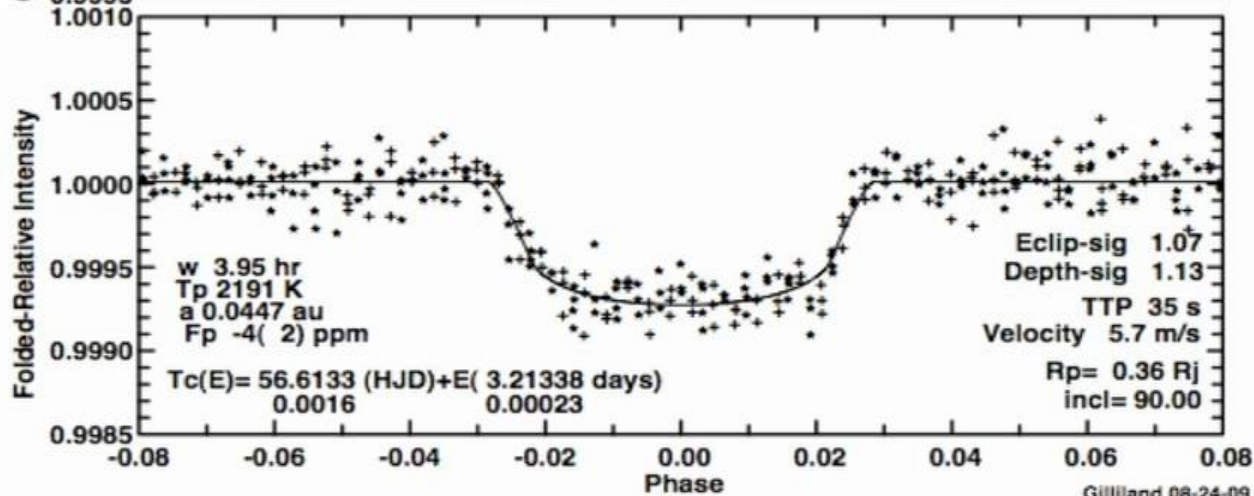
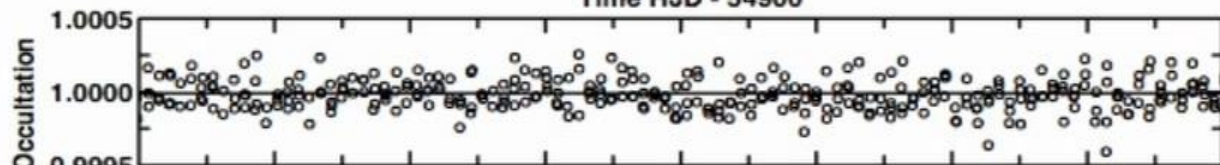
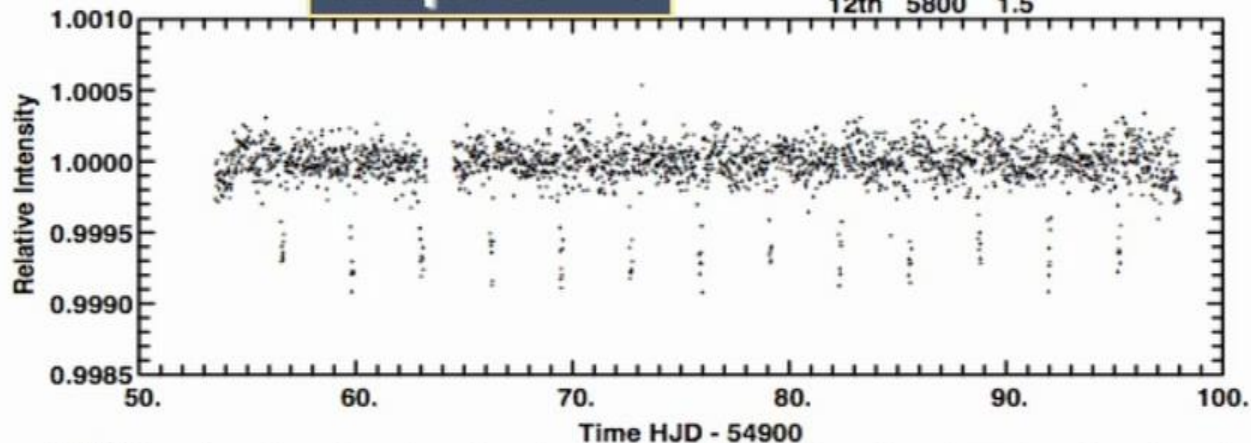


# Métodos indirectos de detección – Fotometria

Astrobiology - Exoplanets - Geoff Marcy

## Kepler-4

12th 5800 1.5

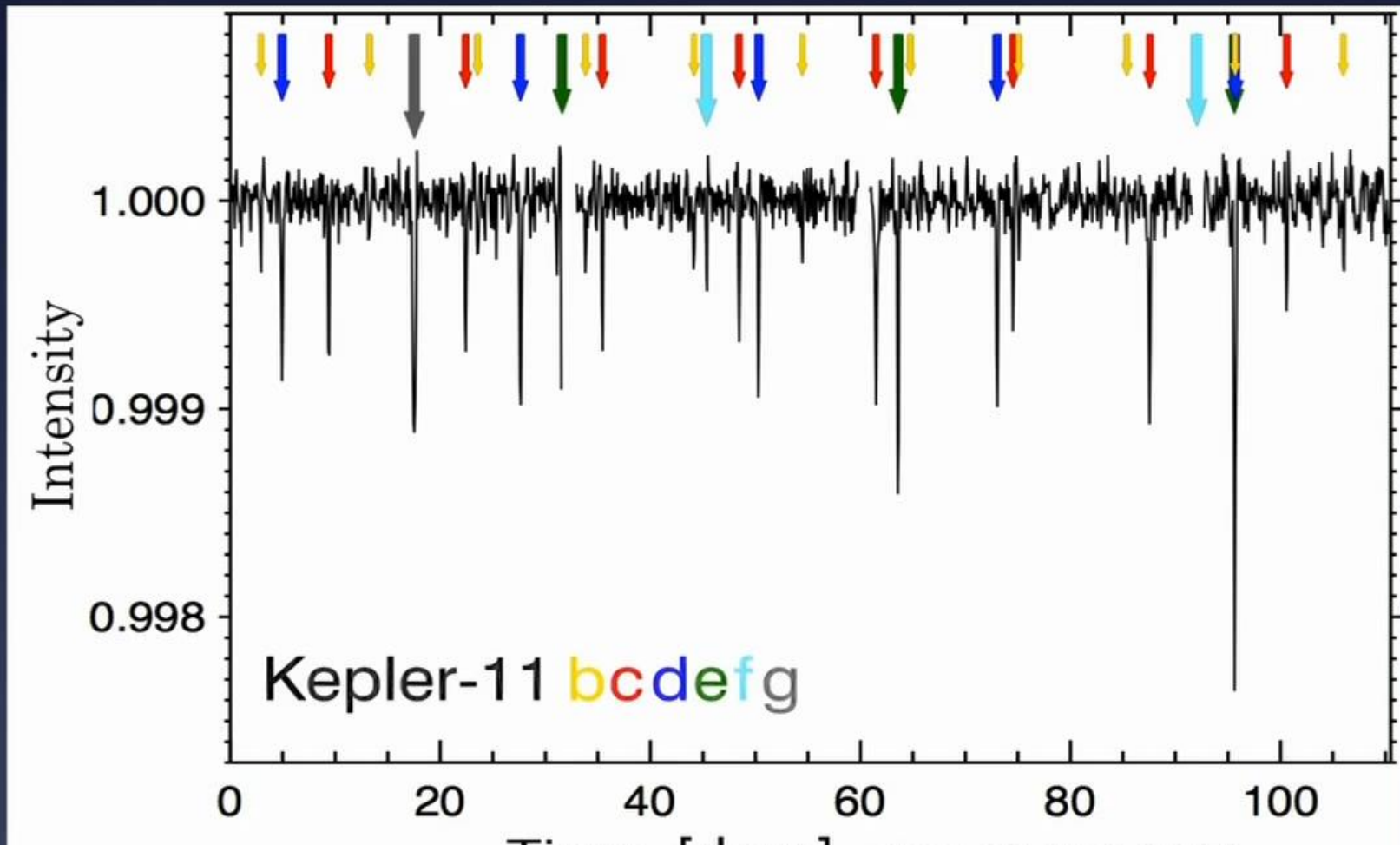


Planet Properties:

Period = 3.213day

Radius = 4.1  $R_{Earth}$

## Kepler-11: Six Transiting Planets



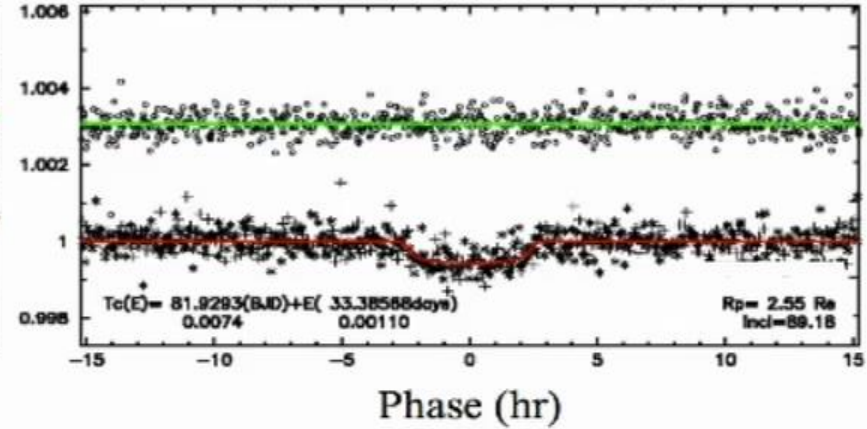
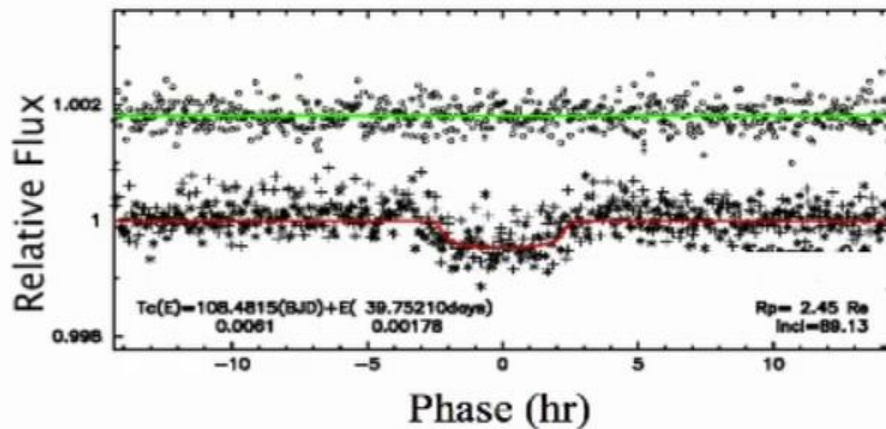
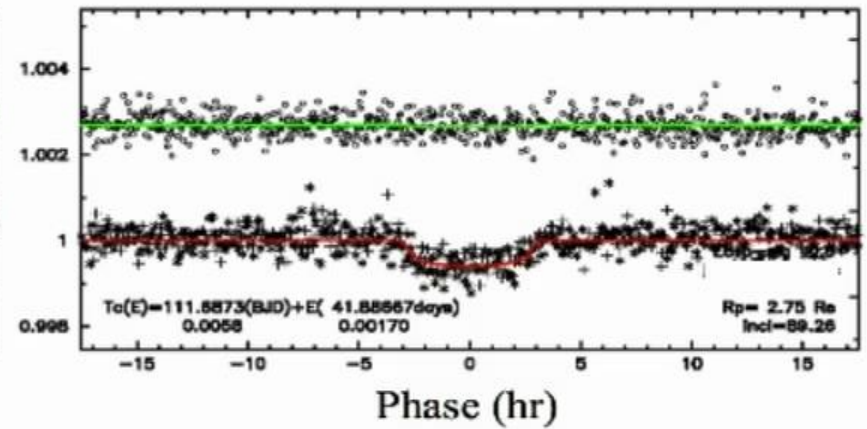
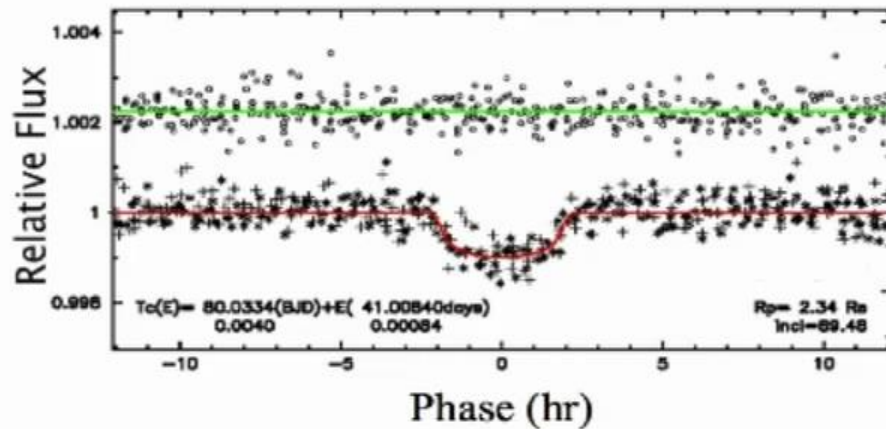


# Métodos indiretos de detecção – Fotometria

Astrobiology - Exoplanets - Geoff Marcy

Most Common:

Radius = 2 - 3  $R_{\text{Earth}}$

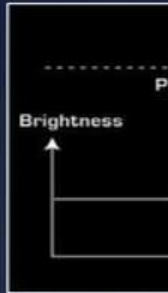


# Métodos indirectos de detección – Fotometria

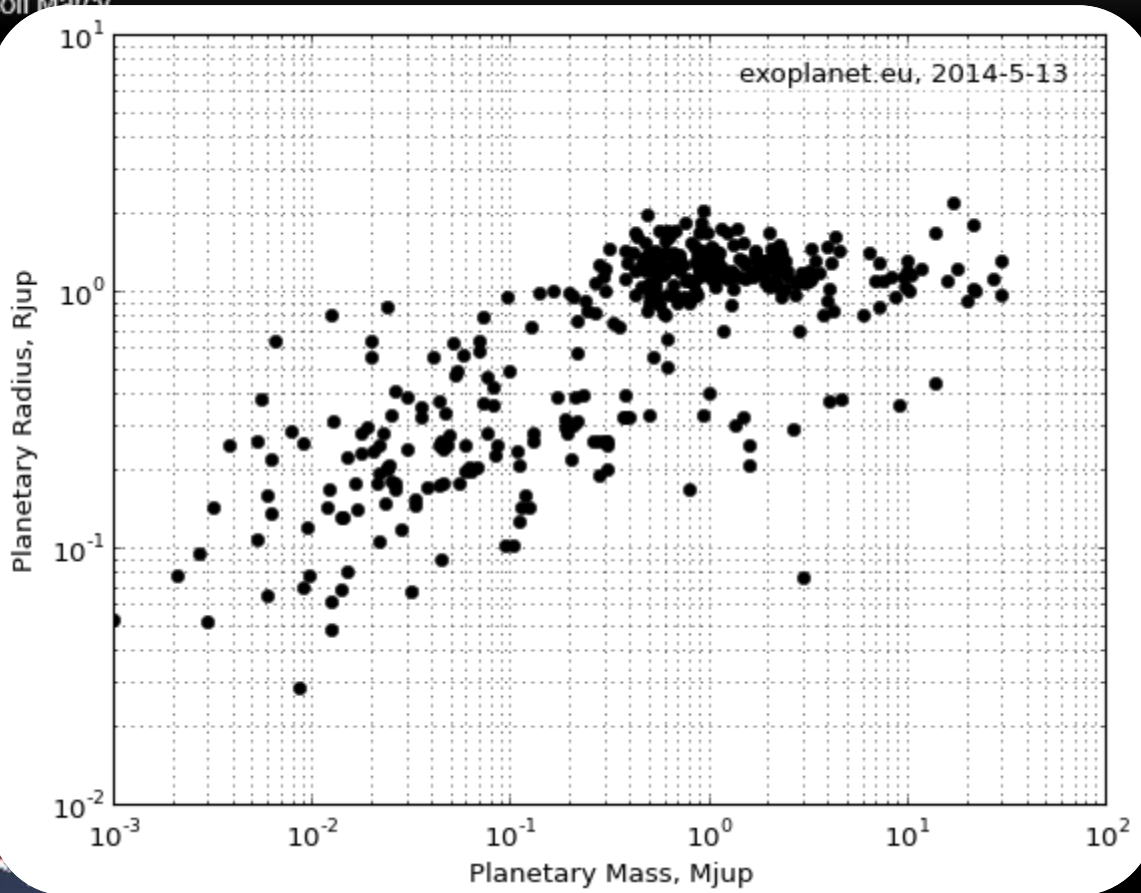
Astrobiology - Exoplanets - Geoff Marcy

The P

Plan

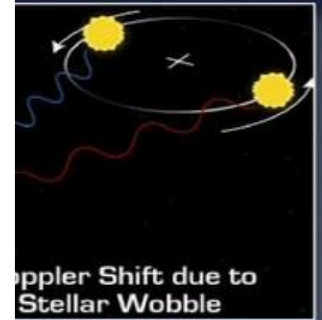


Size



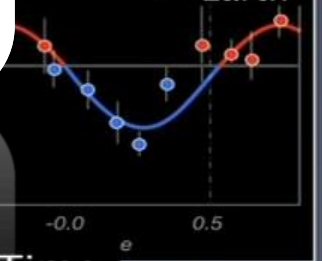
et Mass

er of Star



Doppler Shift due to Stellar Wobble

$= 4.5 M_{\text{Earth}}$



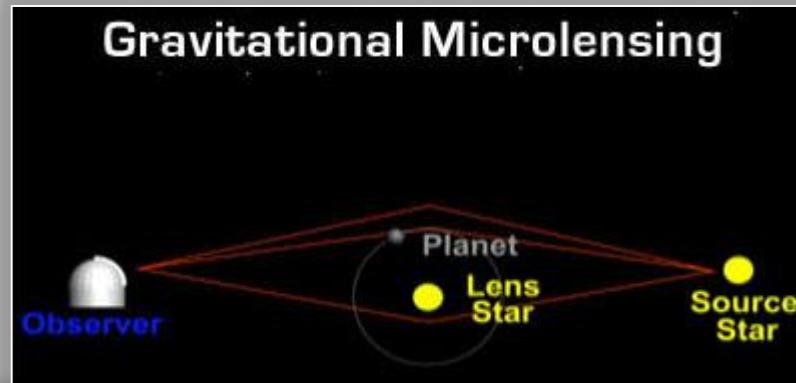
Planet Density:

$$\frac{\text{Mass}}{\text{Volume}} = 8.8 \text{ g/cm}^3$$

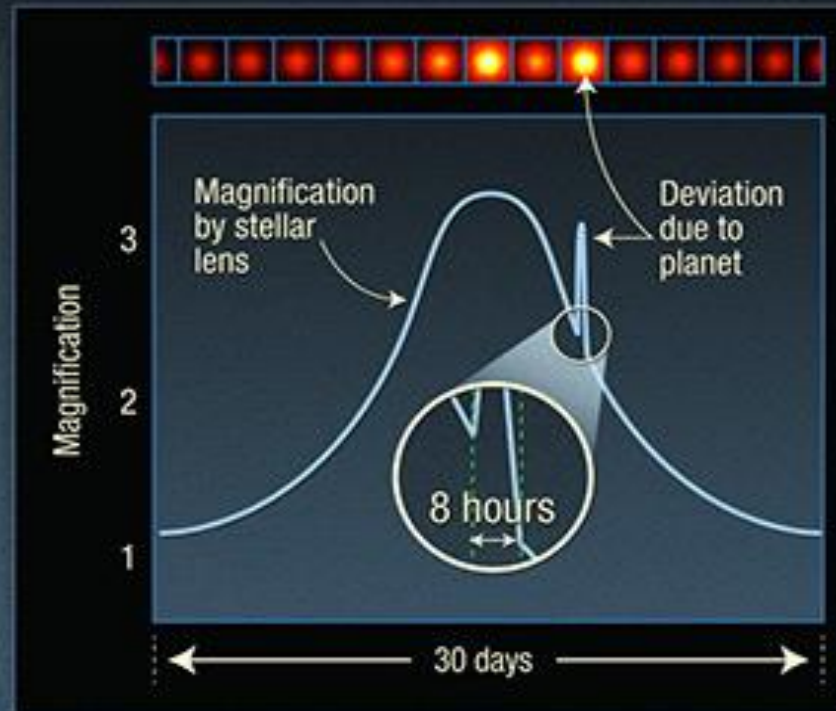
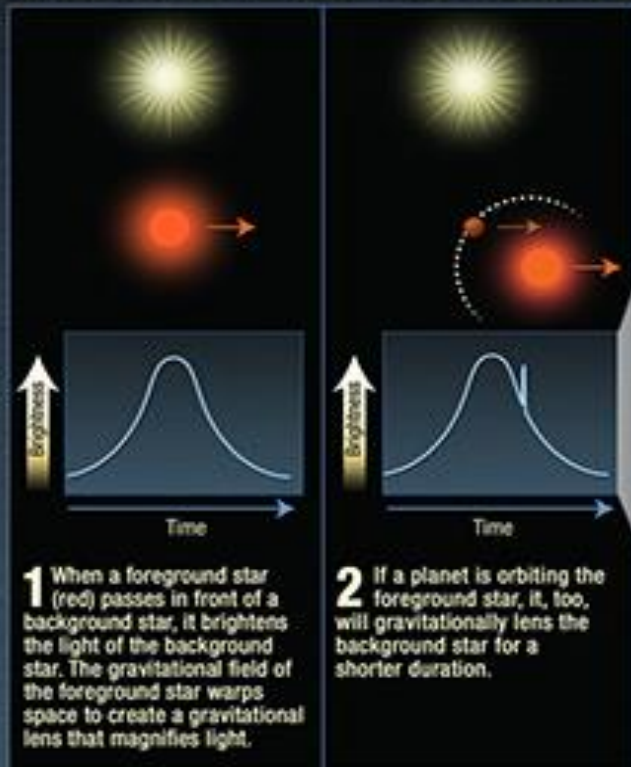
Time (hours)

Time

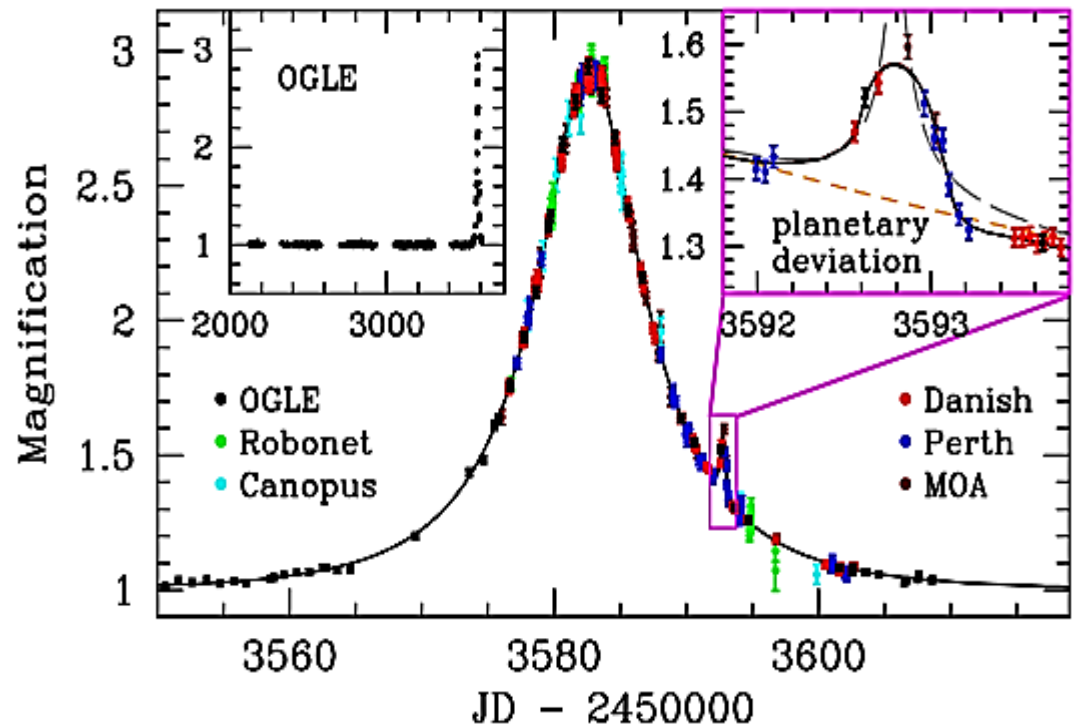
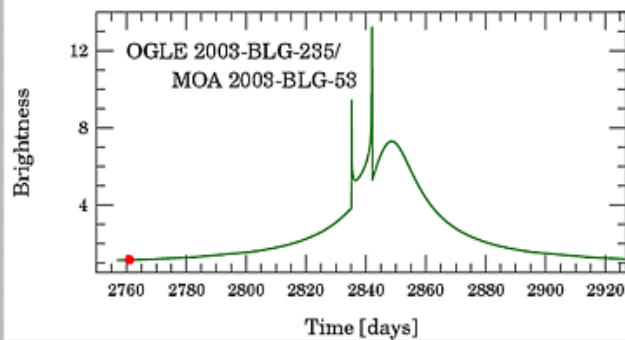
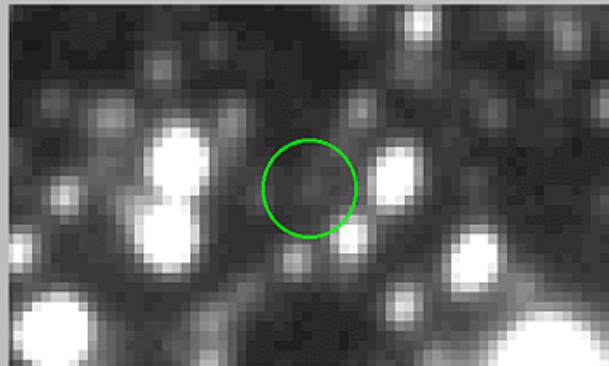
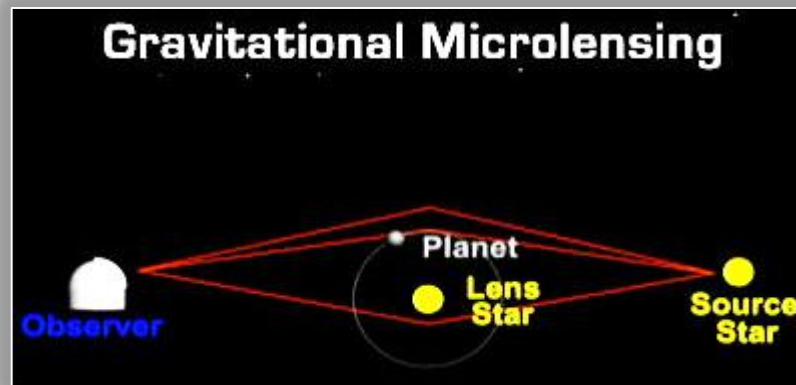
# Métodos indirectos de detección – Microlente gravitacional



## Extrasolar planet detected by gravitational microlensing

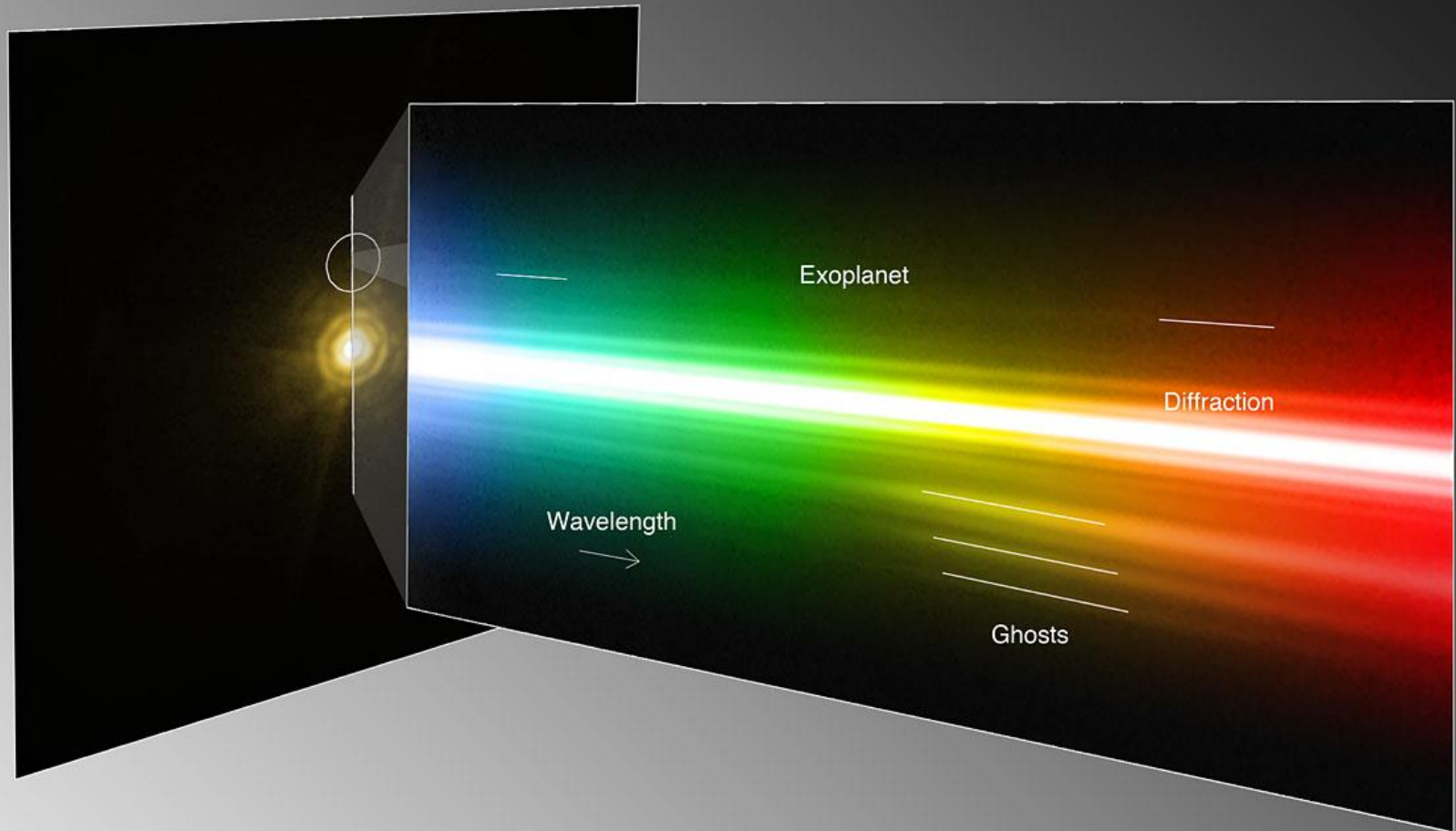


# Métodos indiretos de detecção – Microlente gravitacional

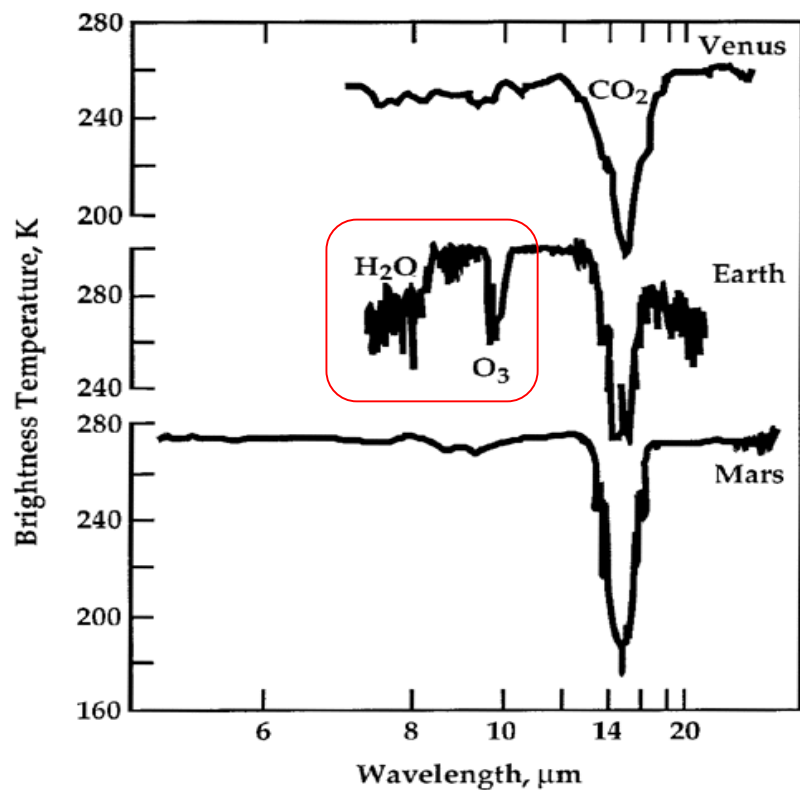
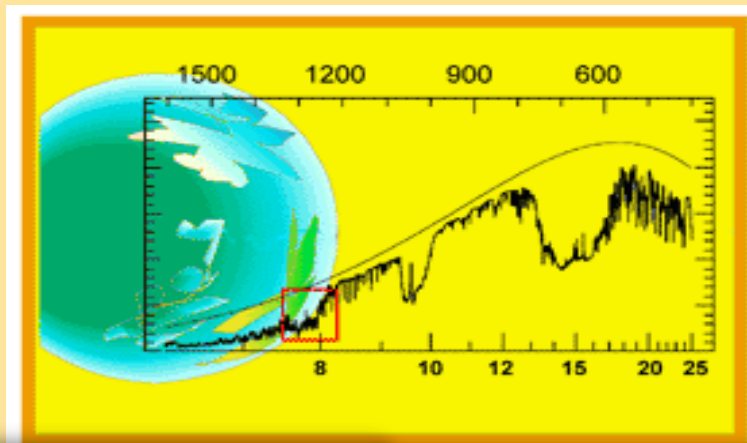




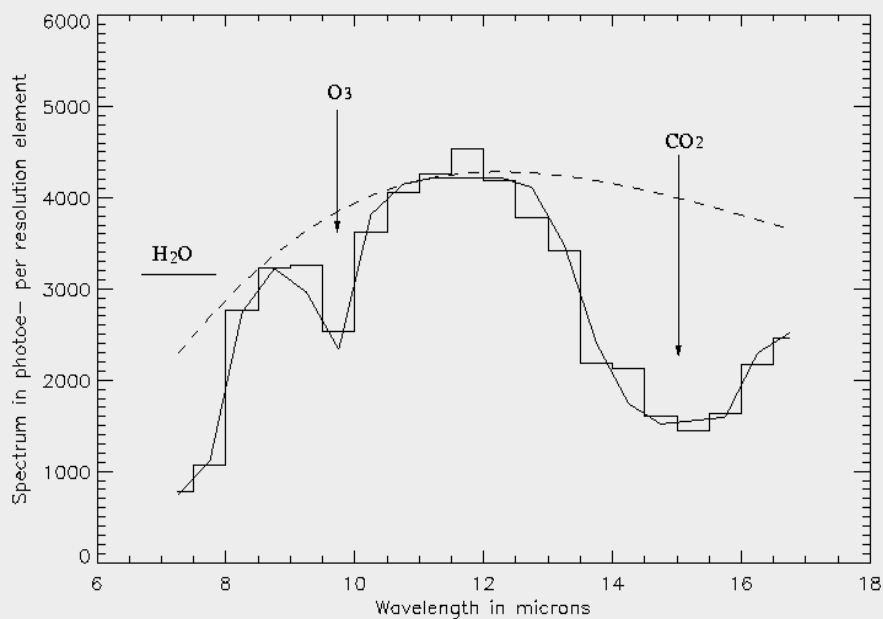
# Extraindo espectro de exoplanetas



# Procura de planetas com possibilidade de abrigar vida



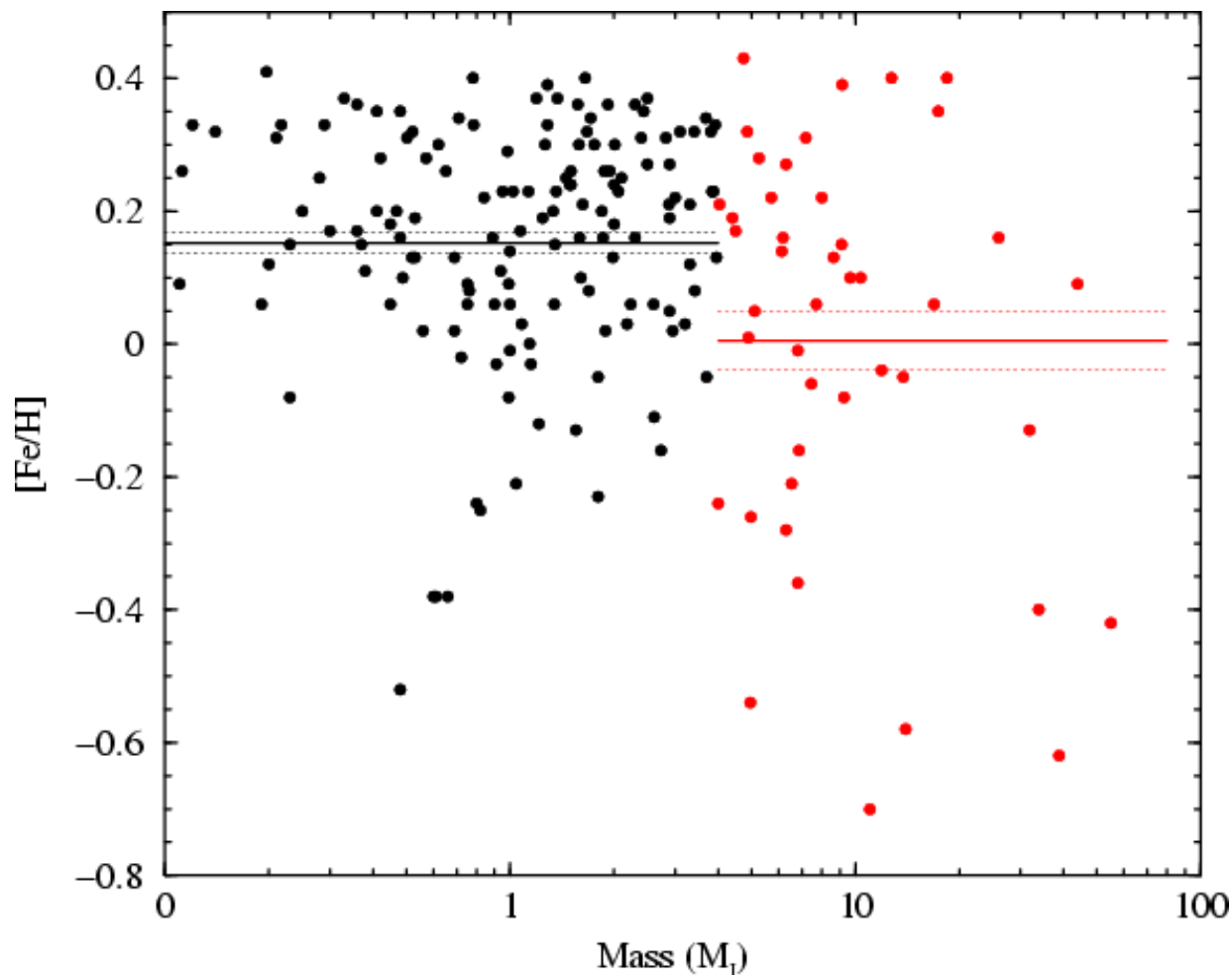
## Espectro simulado



## The eccentricity-mass distribution of exoplanets: signatures of different formation mechanisms?

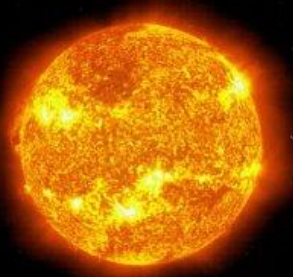
I. Ribas - J. Miralda-Escudé

A&A 464, 779-785 (2007) DOI: 10.1051/0004-6361:20065726



$$[\text{Fe}/\text{H}] = \log_{10} \left( \frac{N_{\text{Fe}}}{N_{\text{H}}} \right)_{\text{star}} - \log_{10} \left( \frac{N_{\text{Fe}}}{N_{\text{H}}} \right)_{\text{sun}} \quad \Rightarrow \quad [\text{Fe}/\text{H}] = \log_{10} \left[ \frac{\left( \frac{N_{\text{Fe}}}{N_{\text{H}}} \right)_{\text{star}}}{\left( \frac{N_{\text{Fe}}}{N_{\text{H}}} \right)_{\text{sun}}} \right]$$

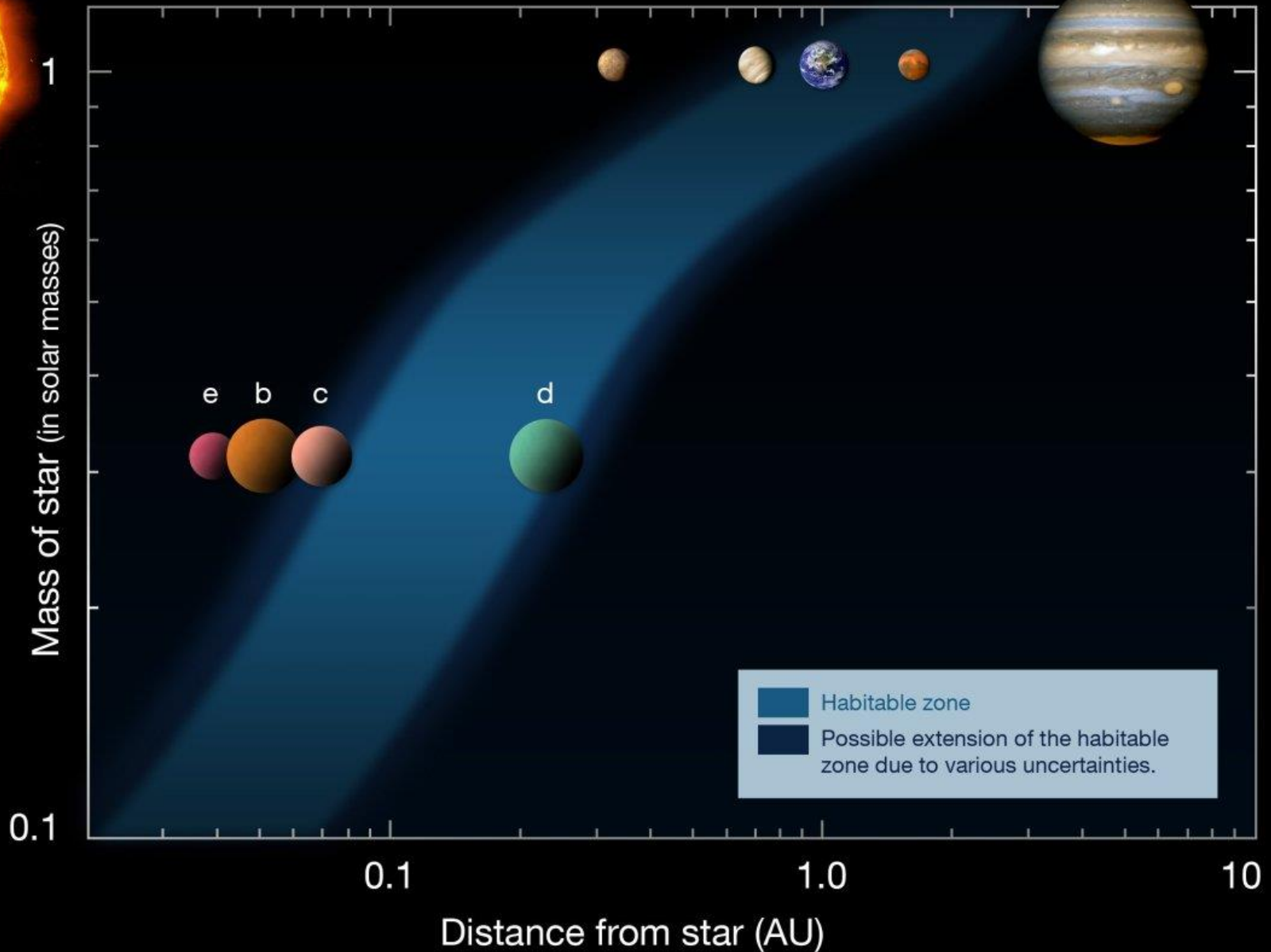
# Zonas de habitabilidade: Sol e Gliese 581



Sun



Gliese 581





# Zonas de habitabilidade: Sol e Kepler-22

