

Agradecimentos

Estas aulas contou com o material do Professor Valter Líbero do IFSC-USP que teve a colaboração do Professor Roberto Boczko, do Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo, IAG-USP e da equipe do Centro de Divulgação da Astronomia, CDA

A deep field image of the universe, showing a vast field of galaxies and stars. The galaxies are of various shapes and colors, including spirals, ellipticals, and irregulars. The stars are scattered throughout the field, with some appearing as bright, multi-pointed sources. The background is a dark, blackish space.

Astronomia - Licenciatura

Aula 8 - Sistemas Solar e Planetários: planetas, asteróides e cometas

Prof. Aion Viana

Características dos Planetas

	Telúricos	Jovianos
	Mer Vên	Júp Sat
	Ter Mar	Ura Net
Composição básica	Rochoso	Gás/líq/gelo
Dis. orbital média (UA)	0,39 - 1,52	5,2 - 30,1
Temperatura superf. média	-70 : +500 C	-200 : -100 C
Massa (Terra=1)	0,055 - 1,0	14,5 - 318
Raio equatorial (Terra=1)	0,38 - 1,0	3,88 - 11,2
Densidade média (g/cm³)	3,95 - 5,52	0,69 - 1,64
Período de rotação (equador)	23,9h - 243 d	9,8 - 19,2 h
Satélites conhecidos	0 - 2	14 - 80
Sistema de anéis	não	sim

Dados Físicos

<i>Planeta</i>	<i>Diâmetro</i>	<i>Dens. Méd.</i>	<i>Temp. Méd.</i>	<i>Composição</i>
<i>Mercúrio</i>	<i>4872 Km</i>	<i>5,43 g/cm³</i>	<i>250 °C</i>	<i>Rochoso</i>
<i>Vênus</i>	<i>12104 Km</i>	<i>5,25 g/cm³</i>	<i>447 °C</i>	<i>Rochoso</i>
<i>Terra</i>	<i>12756 Km</i>	<i>5,52 g/cm³</i>	<i>22 °C</i>	<i>Rochoso</i>
<i>Marte</i>	<i>6787 Km</i>	<i>3,94 g/cm³</i>	<i>- 70 °C</i>	<i>Rochoso</i>
<i>Júpiter</i>	<i>142800 Km</i>	<i>1,33 g/cm³</i>	<i>- 150 °C</i>	<i>Gasoso</i>
<i>Saturno</i>	<i>120536 Km</i>	<i>0,75 g/cm³</i>	<i>- 180 °C</i>	<i>Gasoso</i>
<i>Urano</i>	<i>51800 Km</i>	<i>1,29 g/cm³</i>	<i>- 210 °C</i>	<i>Gasoso</i>
<i>Netuno</i>	<i>49528 Km</i>	<i>1,71 g/cm³</i>	<i>- 213 °C</i>	<i>Gasoso</i>
<i>Plutão</i>	<i>± 2351 Km</i>	<i>2,03 g/cm³ (?)</i>	<i>- 233 °C</i>	<i>Rochoso</i>

Dados orbitais: planetas e planetas anões

Planeta	Rotação	Translação	Dist. Média Sol	Inclinação
Mercúrio	59 dias	88 dias	57,9 milhões km	0.1°
Vênus	243 dias	225 dias	108,2 milhões km	- 2°
Terra	23 ^h 56 ^{min}	365,25 dias	149,6 milhões km	23° 27'
Marte	24 ^h 37 ^{min}	687 dias	227,9 milhões km	25°
Júpiter	09 ^h 50 ^{min}	11,86 anos	778,3 milhões km	3° 05'
Saturno	10 ^h 14 ^{min}	29,5 anos	1,42 bilhões km	26° 44'
Urano	17 ^h 14 ^{min}	84 anos	2,9 bilhões km	98°
Netuno	16 ^h 07 ^{min}	164,8 anos	4,5 bilhões km	28° 48'
Planetas Anões:				
Ceres	0,38 dias	4,6 anos	414 milhões km	
Plutão	6,38 dias	248 anos	5,9 bilhões km	- 120°
Haumea	0,16 dias	285 anos	6,5 bilhões km	
Makemake	0,32 dias	310 anos	6,9 bilhões km	
Eris	0,16 dias	558 anos	10,1 bilhões km	

Plano da eclíptica

Vista de topo
(projeção no
Plano da Eclíptica)

Órbitas

e

inclinações

Eclíptica

Eclíptica

Eclíptica

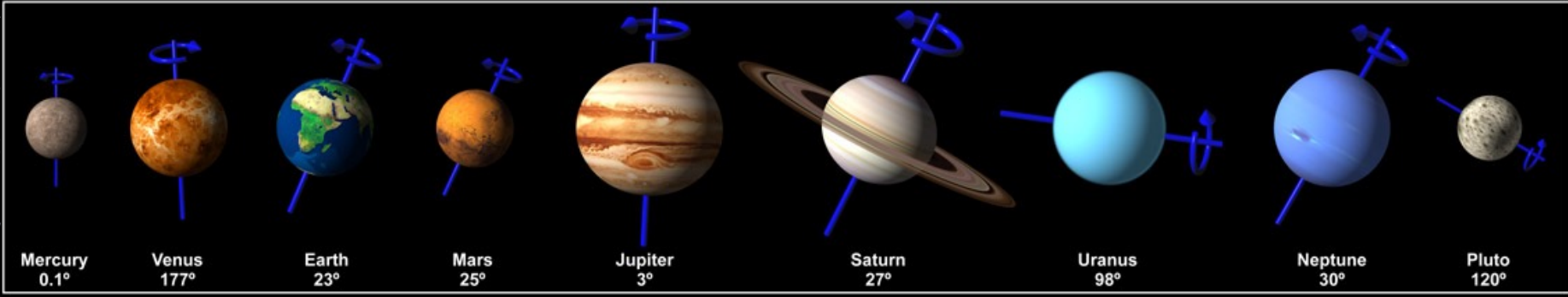
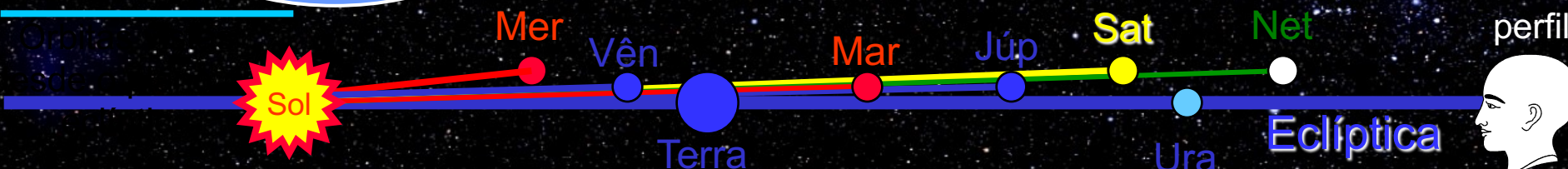
Vista de perfil

Eclíptica

Inclinações aproximadas dos planos orbitais dos planetas

Mer	7,0 ⁰
Vên	3,4
Ter	0
Mar	1,8
Júp	1,3
Sat	2,5
Ura	0,8
Net	1,2
Plu	~17

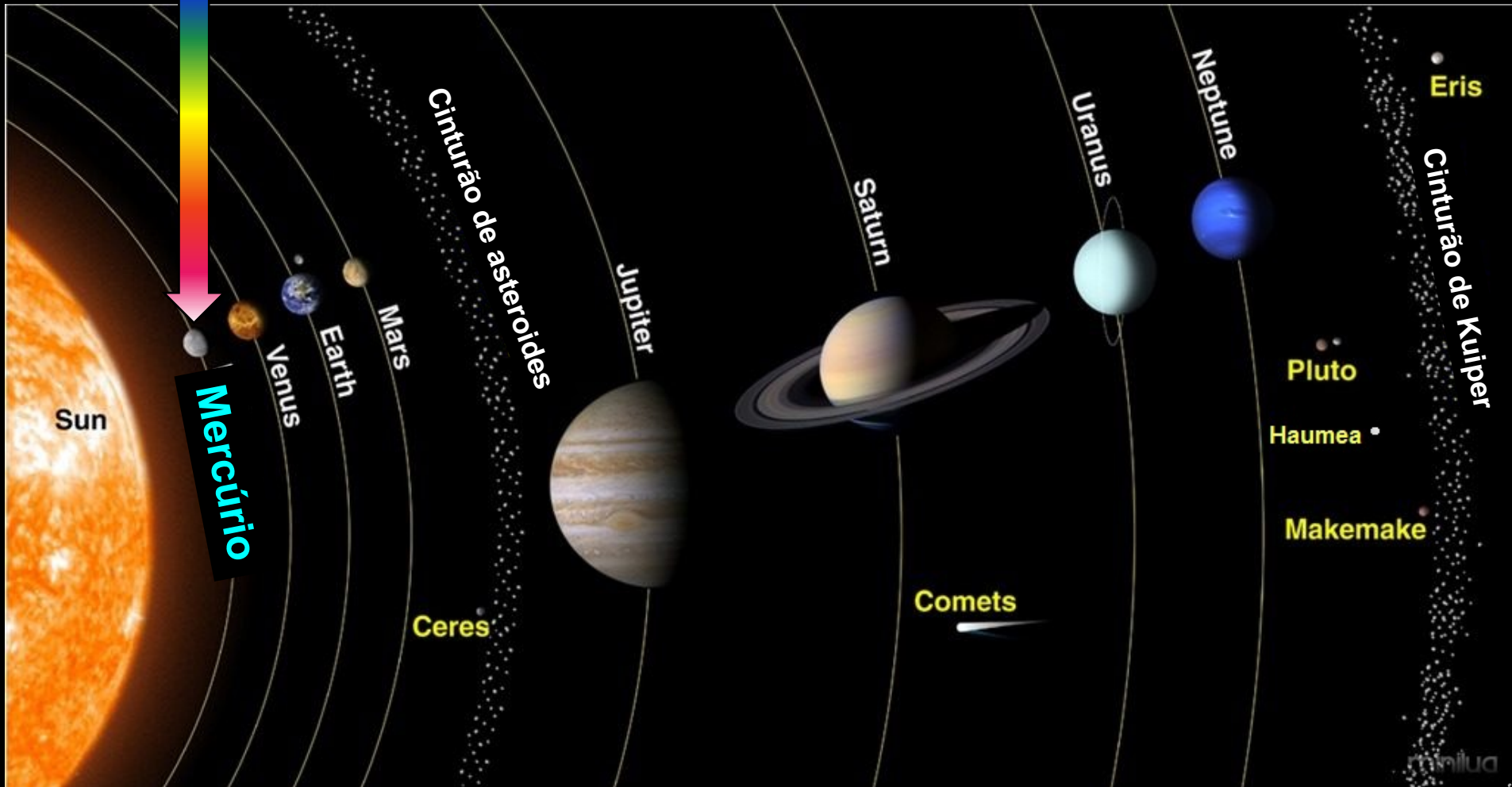
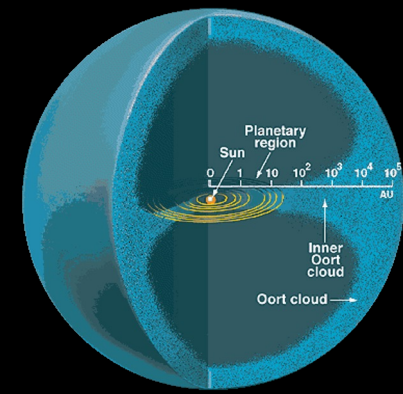
Plan. Anão



	Sun	Mercury	Venus	Earth	Moon	Mars	Ceres	Jupiter	Saturn	Uranus	Neptune	Pluto	Makemake	Haumea	Eris
	star (G2V)	planet	planet	planet	satellite	planet	dwarf planet	planet	planet	planet	planet	dwarf planet	dwarf planet	dwarf planet	dwarf planet
Diameter (km)	1,392,000	4,879.4	12,103.6	12,742	3,476.3	6,792.4	974.6	14,2984	120,536	51,118	49,528	2,390	1,500	1,500	2,600
Mass (10 ²⁴ kg)	1,989,100	0.33	4.87	5.97	0.073	0.64	0.000943	1898.6	568.46	86.81	102.43	0.013	0.0004	0.0042	0.0167
Temperature, min (°C)	5,505	−173	462	−89	−173	−87	−106	−161	−189	−224	−218	−240	−243	−241	−243
Temperature, max (°C)	17,000,000	427	462	58	117	−5	−106	−161	−189	−216	−218	−218	−238	−241	−218
Rotation period (days)	25.1	58.6	−243.0	1.0	27.3	1.0	0.4	0.4	0.4	−0.7	0.7	−6.4	?	0.163	0.3
Axial tilt (°)	—	0.04	177.3	23.4	6.7	25.2	3	3.1	26.7	97.8	28.3	119.6	?	?	?
Surface gravity (m.s ²)	274.0	3.7	8.9	9.8	1.6	3.7	0.3	24.8	9.0	8.7	11.2	0.6	~0.5	0.4	~0.8
Escape velocity (km.s ^{−1})	617.7	4.3	10.5	11.2	2.38	5.0	0.5	59.5	35.5	21.3	23.5	1.2	~0.8	0.84	?
Surface area (10 ⁶ km ²)	6,087,700	75	460	510	37.9	145	3	62,180	42,700	8,116	7,641	18	~7		21
Volume (10 ¹² km ³)	1,412,200	0.06	0.9	1.1	0.02	0.16	0.0005	1431	827	68	63	0.007	~0.002		0.009
Density (kg.m ³)	1.41	5.41	5.19	5.51	3.35	3.93	1.89	1.33	0.69	1.27	1.64	1.86	~2	~3	~2
Albedo	—	0.11	0.65	0.37	0.12	0.15	0.09	0.52	0.47	0.51	0.41	0.58	?	0.6	0.86
Apparent magnitude (V)	−26.7	−1.9	−4.6	—	−12.9	−2.9	6.9	−2.9	−0.2	5.3	7.8	13.7	16.7	17.5	18.7
Angular diameter, max. (")	1,962.0	13.0	66.0	—	2,046	25.1	0.8	50.1	20.1	4.1	2.4	0.1	0.02	0.02	0.04
Rings	—	no	no	no	no	no	no	yes	yes	yes	yes	no	no	no	no
Satellites	billions!	0	0	1	no	2	0	63	60	27	13	3	0	2	1
Orbits the:	Milky Way	Sun	Sun	Sun	Earth	Sun	Sun	Sun	Sun	Sun	Sun	Sun	Sun	Sun	Sun
Perihelion (10 ⁶ km)	—	46	107.5	147.1	0.363	206.7	381.4	740.5	1,352.6	2,741.3	4,452.9	4,436.8	5,760.8	5,260	5,650
Aphelion (10 ⁶ km)	—	69.8	108.9	152.1	0.406	249.2	447.8	816.6	1,514.5	3,003.6	4,554	7,376	7,939.7	7,708	14,600
Semimajor axis (AU)	—	0.4	0.7	1.0	0.003	1.5	2.8	5.2	9.6	19.2	30.1	39.5	45.8	43.3	67.7
Eccentricity	—	0.21	0.01	0.02	0.06	0.09	0.08	0.05	0.06	0.05	0.01	0.25	0.16	0.19	0.44
Inclination (°)	—	7.0	3.4	0	5.1	1.9	10.6	1.3	2.5	0.8	1.8	17.1	29.0	28.2	44.2
Orbital period (days)	—	88.0	224.7	365.3	27.3	687.0	1,679.8	4,331.6	10,832.3	30,799	60,190	90,613	113,183	104,234	203,600
Orbital period (years)	—	0.2	0.6	1.0	0.1	1.9	4.6	11.9	29.7	84.3	164.8	248.1	309.9	285.4	557.4
Orbital velocity (km.s ^{−1})	—	47.9	35.0	29.8	1.0	24.1	17.9	13.1	9.7	6.8	5.4	4.7	4.4	4.5	3.4
Discovery (year)	—	—	—	—	—	-----	1801	—	—	1781	1846	1930	2005	2004	2003



Mercúrio



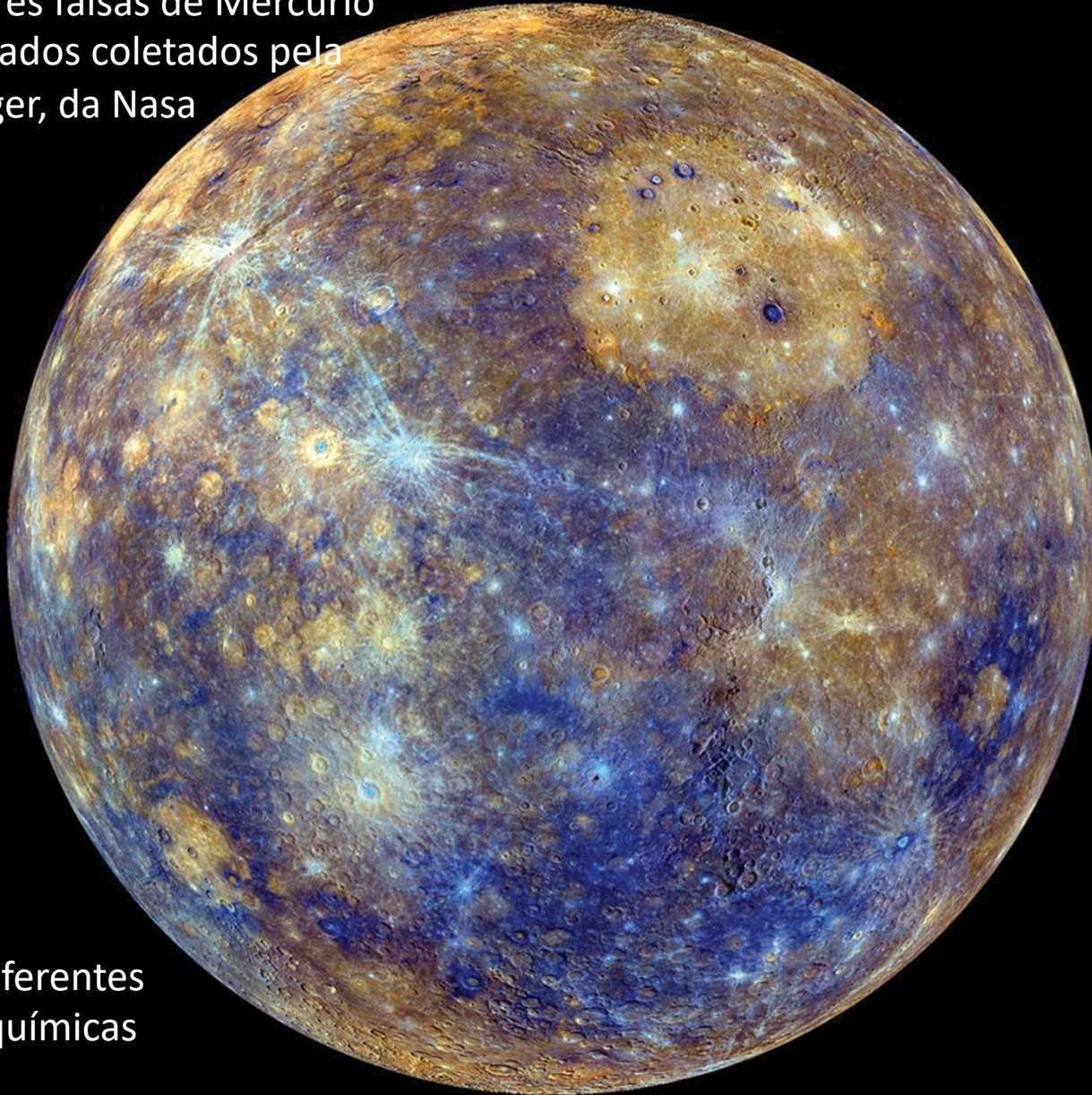
Mercúrio – 0,4 UA

- * Menor planeta: 4.880 Km diam.; maior excentricidade (0,21)
- * 430° -> -180° (média de 170°)
- * Gases ao redor: Na, He, H
- * Gelo no fundo das crateras polares
- * Elongação de 28,3 graus
- * Possui um campo magnético fraco.



Mercúrio – 0,4 UA

Imagem em cores falsas de Mercúrio
com base em dados coletados pela
sonda Messenger, da Nasa
em 2015



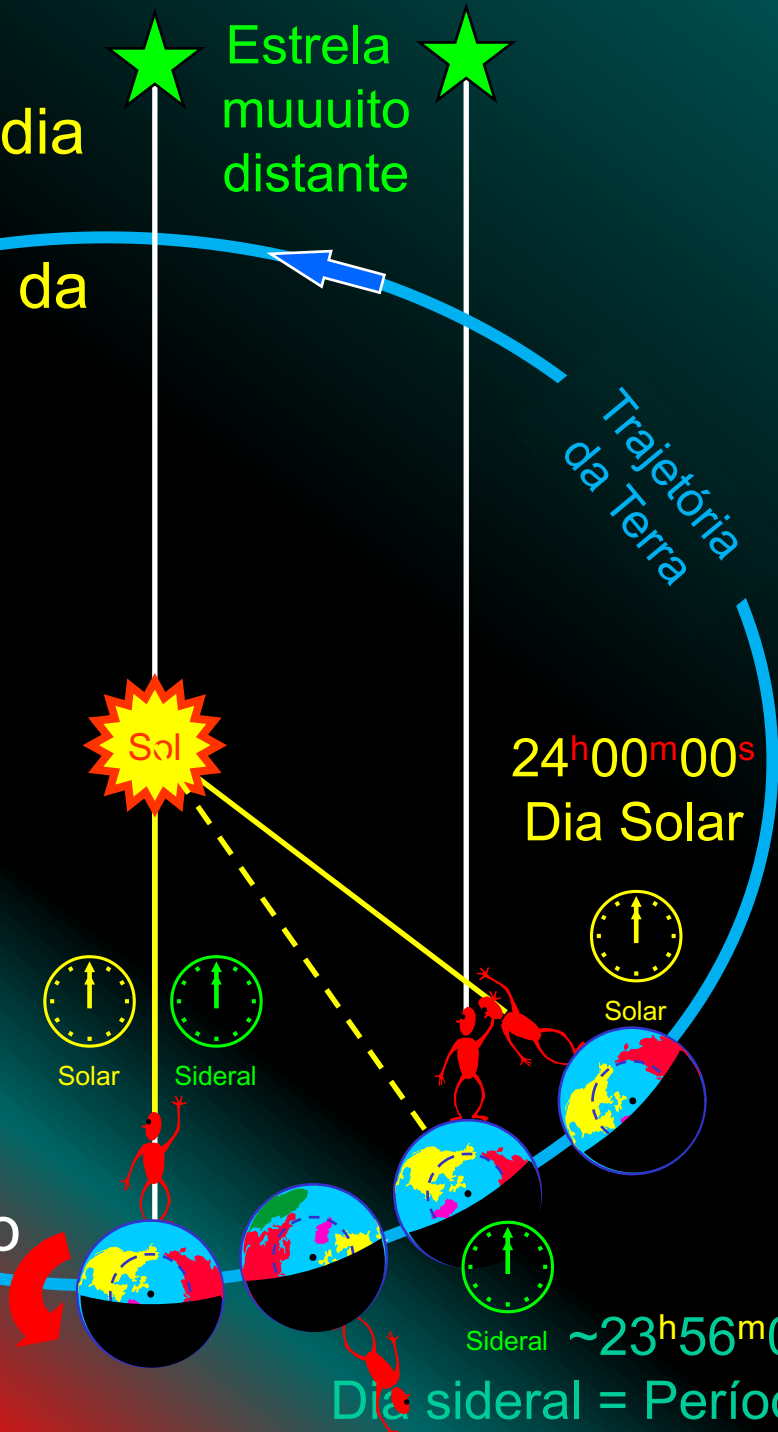
Evidencia as diferentes
composições químicas

Dia Solar e Dia sideral

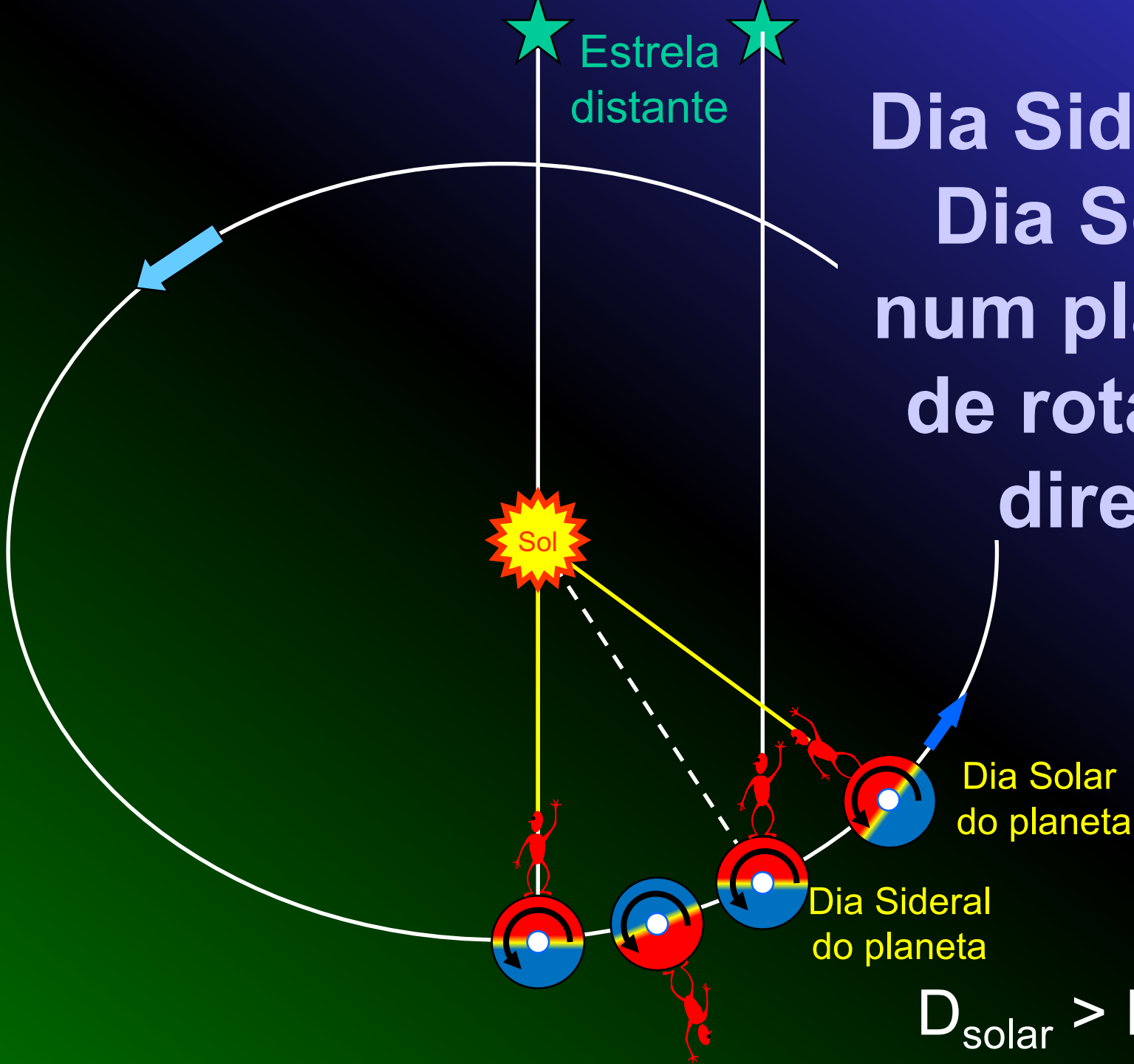
Dia sideral é o intervalo de tempo para que a Terra complete uma volta em torno de seu eixo (rotação) com relação às estrelas muito distantes.

A duração do dia solar é consequência da rotação e da translação da Terra

A alternância do dia e da noite é consequência da rotação da Terra em torno de seu eixo



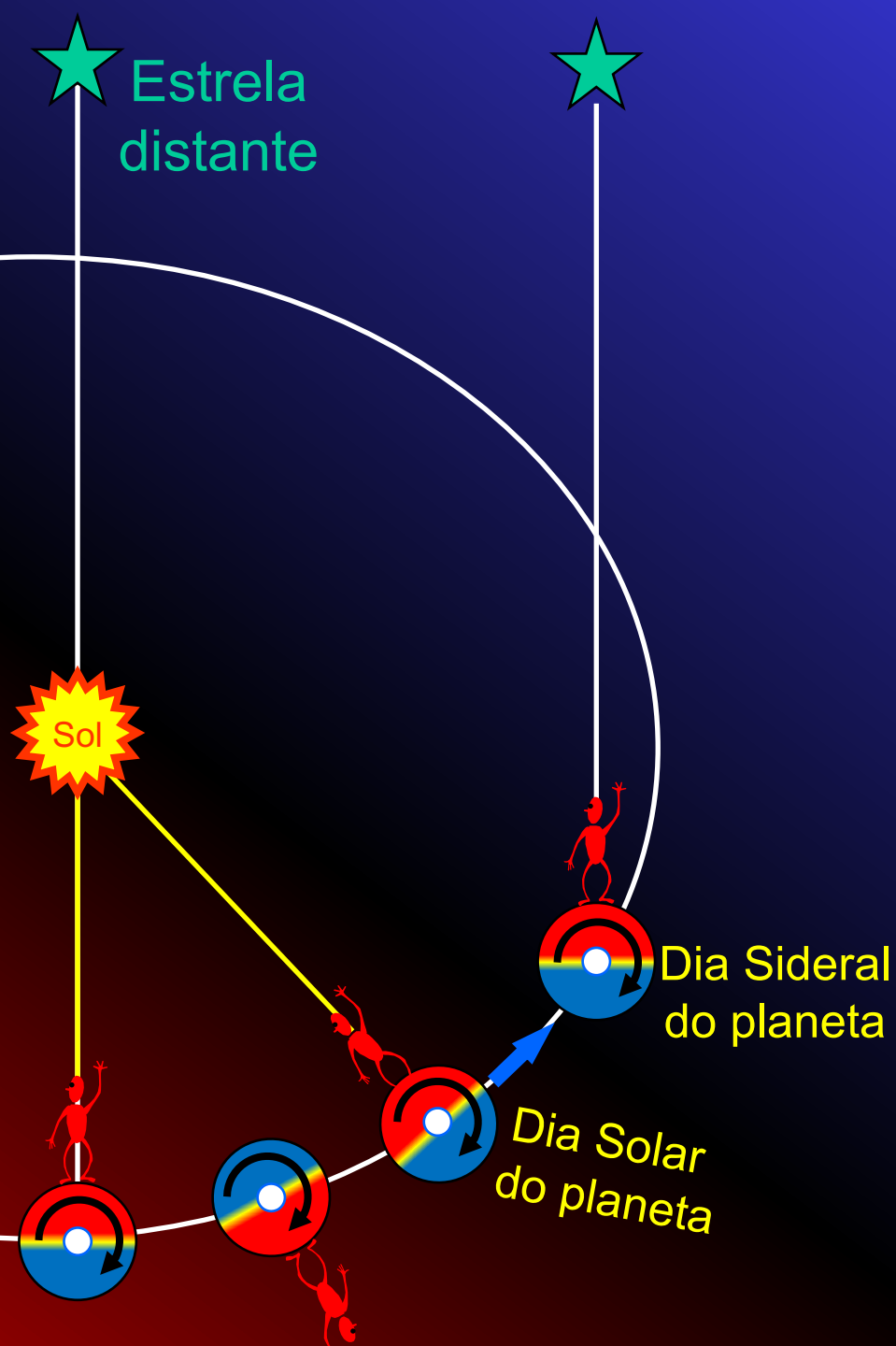
Dia Sideral e Dia Solar num planeta de rotação direta



$$D_{\text{solar}} > D_{\text{sideral}}$$

Dia Sideral e Dia Solar num planeta de rotação retrógrada

$$D_{\text{solar}} < D_{\text{sideral}}$$



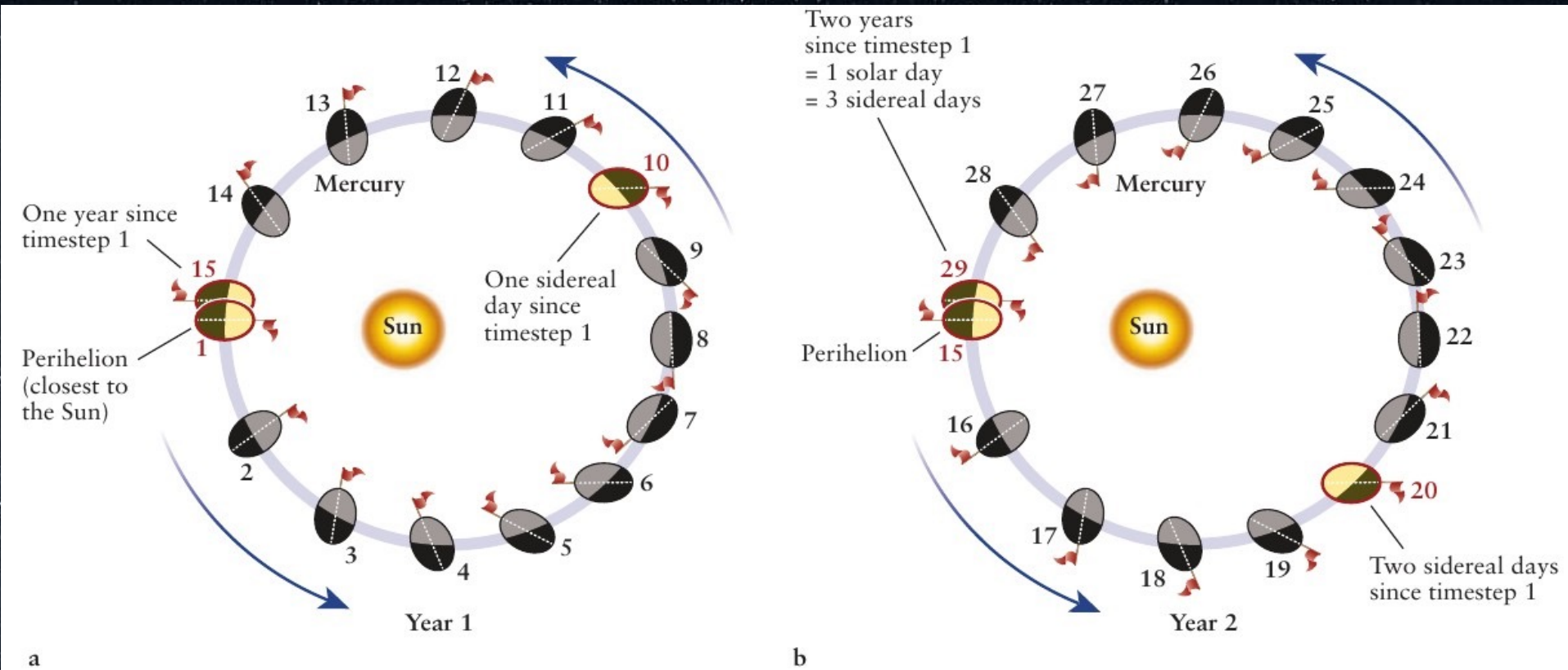
Órbita de Mercúrio

Período orbital: 88 dias

Ressonância 3:2 entre rotação e translação.

(Ressonância 1:1 não aconteceu por causa da alta excentricidade.)

3 dias siderais = 2 anos siderais = 1 dia Solar



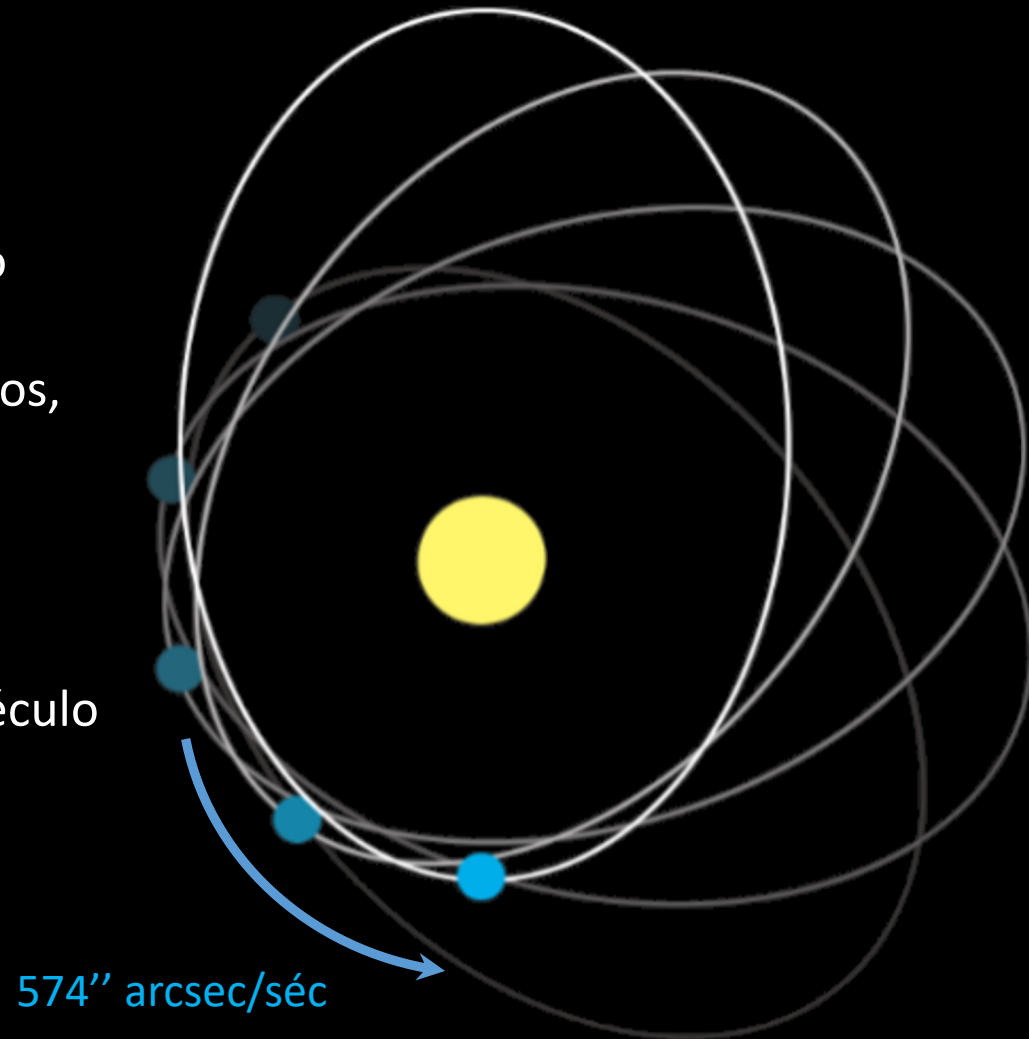
Órbita de Mercúrio

Precessão do periélio.

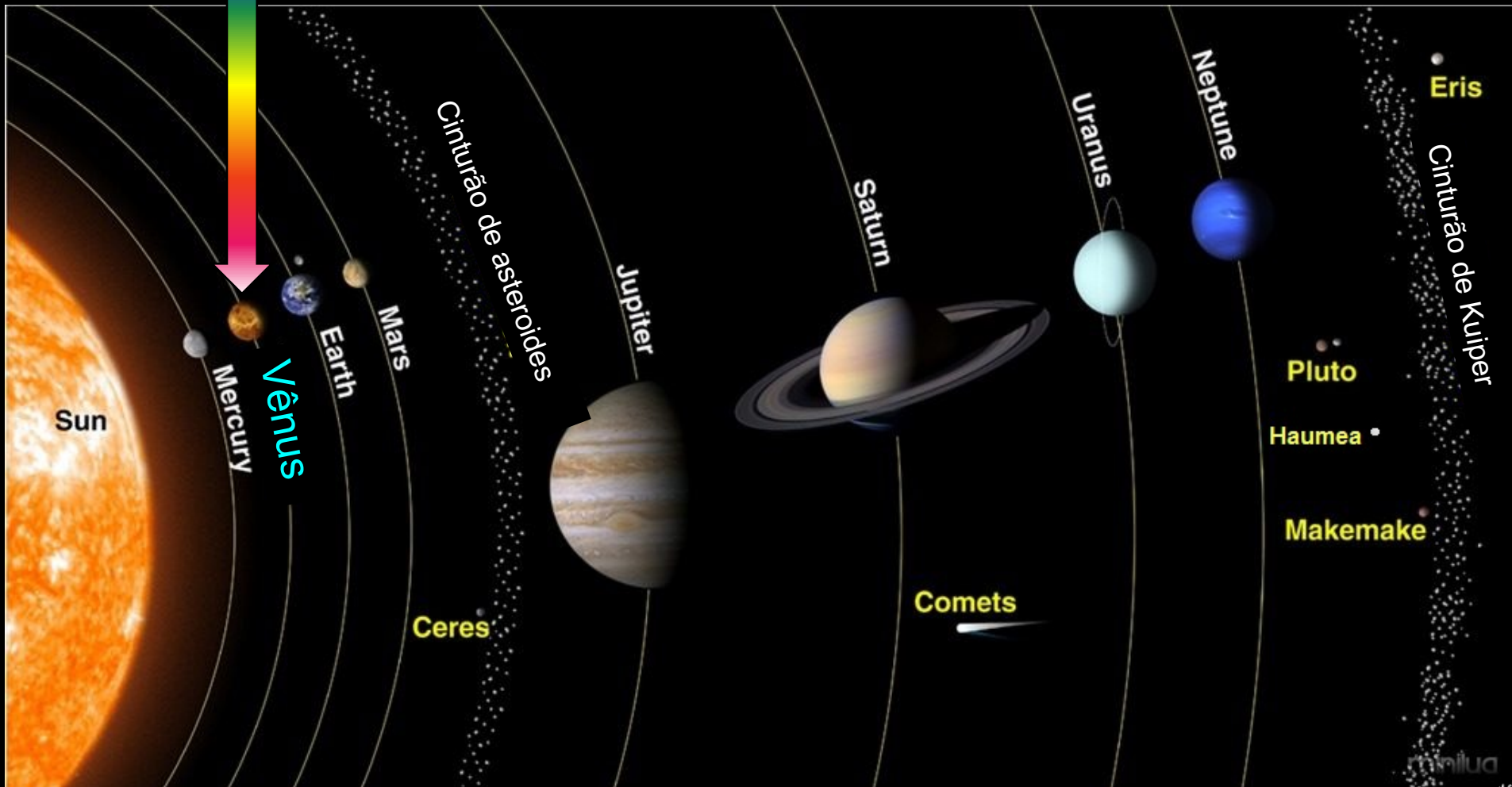
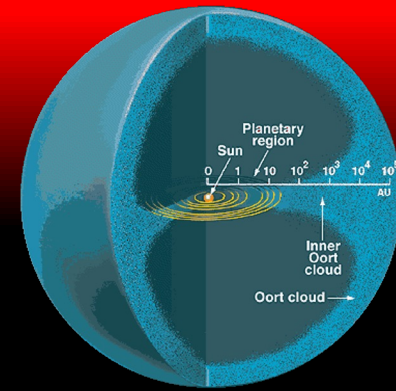
Observado: 574.10 ± 0.65 arcsec/século

Predição Newtoniana (planetas externos,
maior contribuição vem de Júpiter):
 532.30 arcsec/século

Predição relativística: $+42.98$ arcsec/século

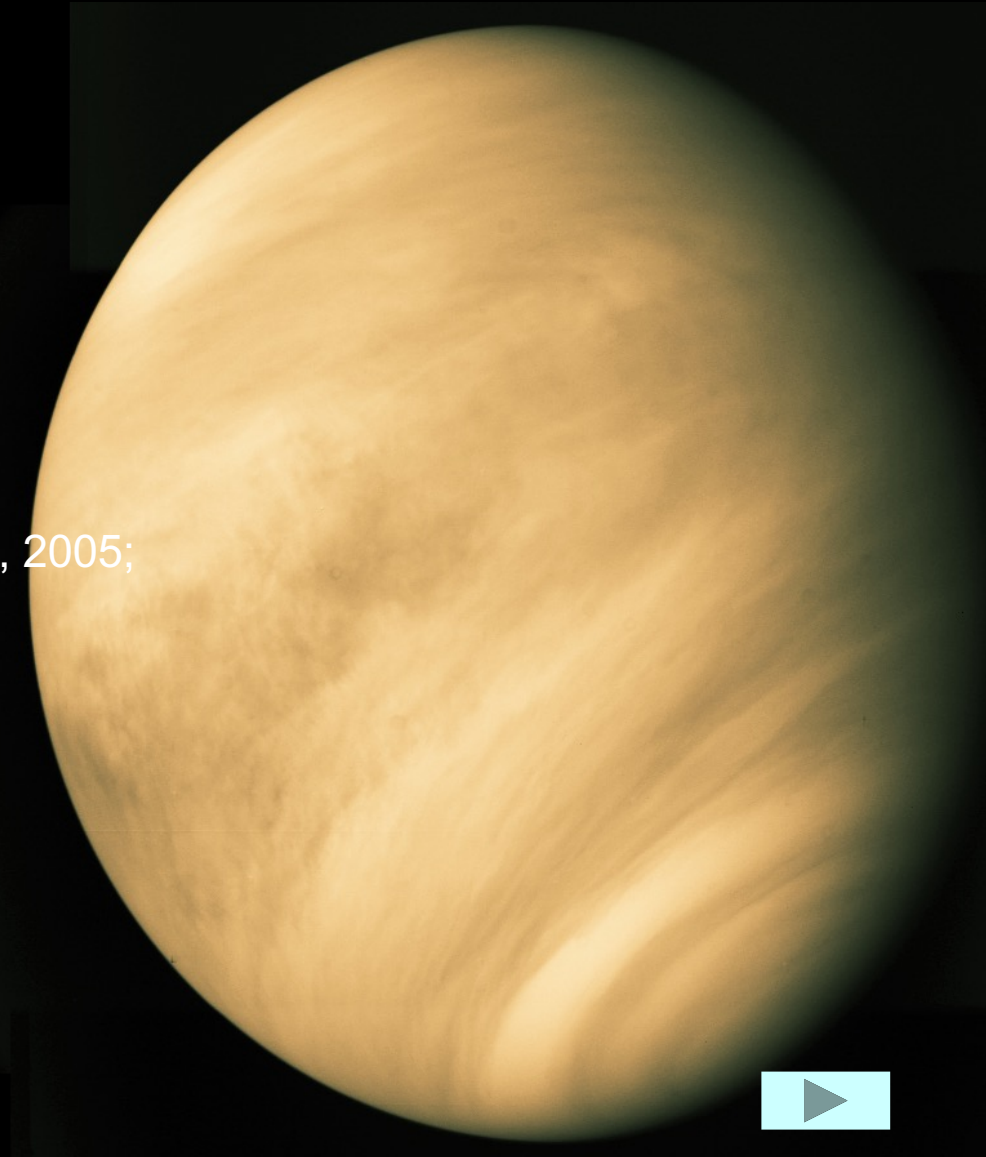


Vênus



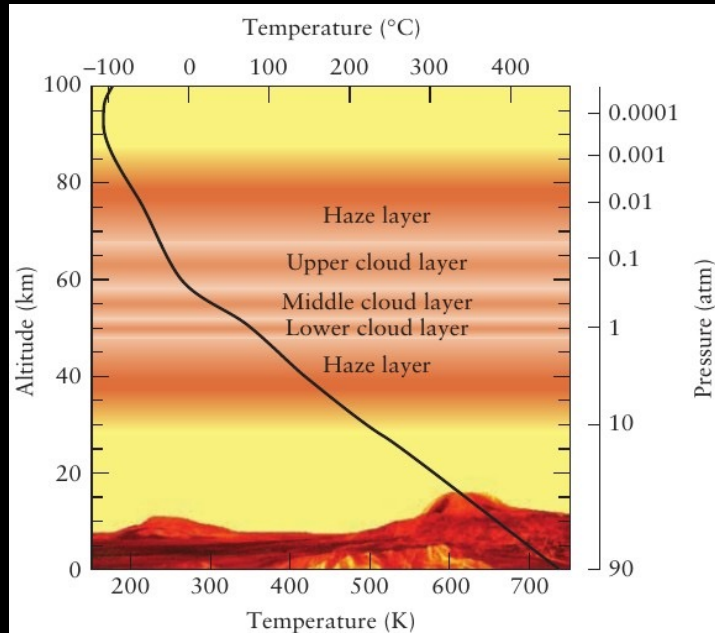
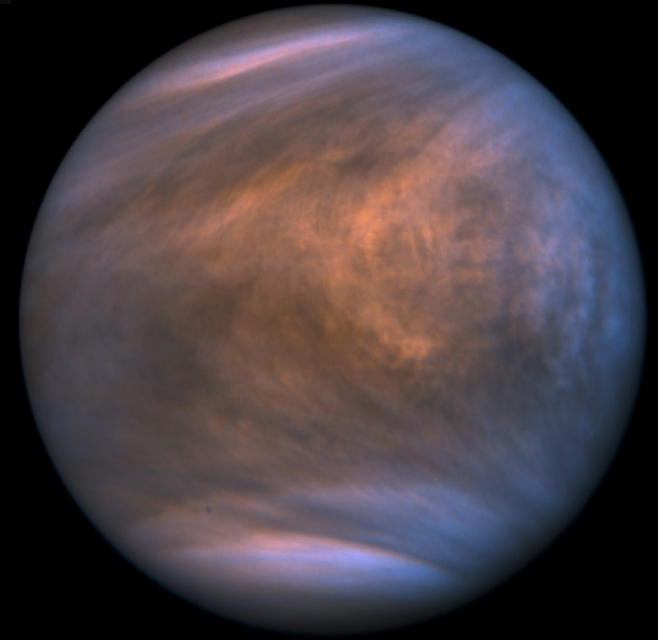
Vênus – 0,7 UA

- o que chega mais perto da Terra (<40 MKm)
- rotação retrógrada de 243 dias terrestres; translação de 225 dias terrestres; um ano venusiano dura 1,92 dia venusiano.
- cada região tem 60 dias terrestres de iluminação
- raio: 6050 Km; gravidade 8,9 m/s
- Venera7 pousa em 1970 ; Vênus Express, 2005; Akatsuki, 2010
- elongação de 47,8°

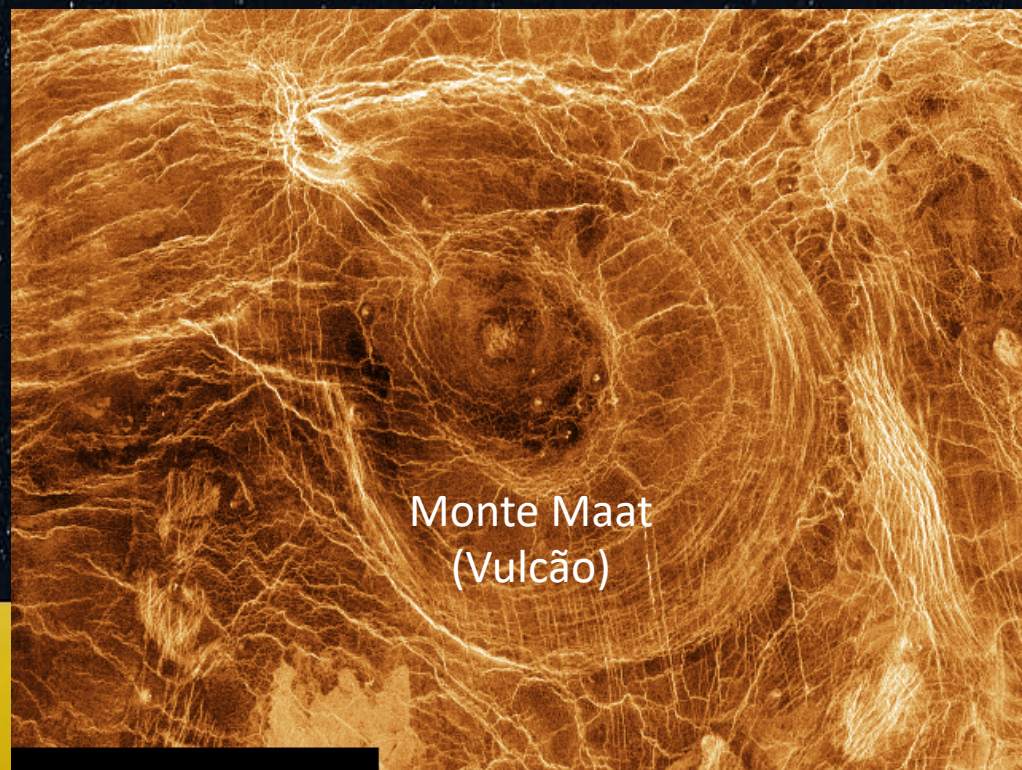


Vênus – 0,7 UA

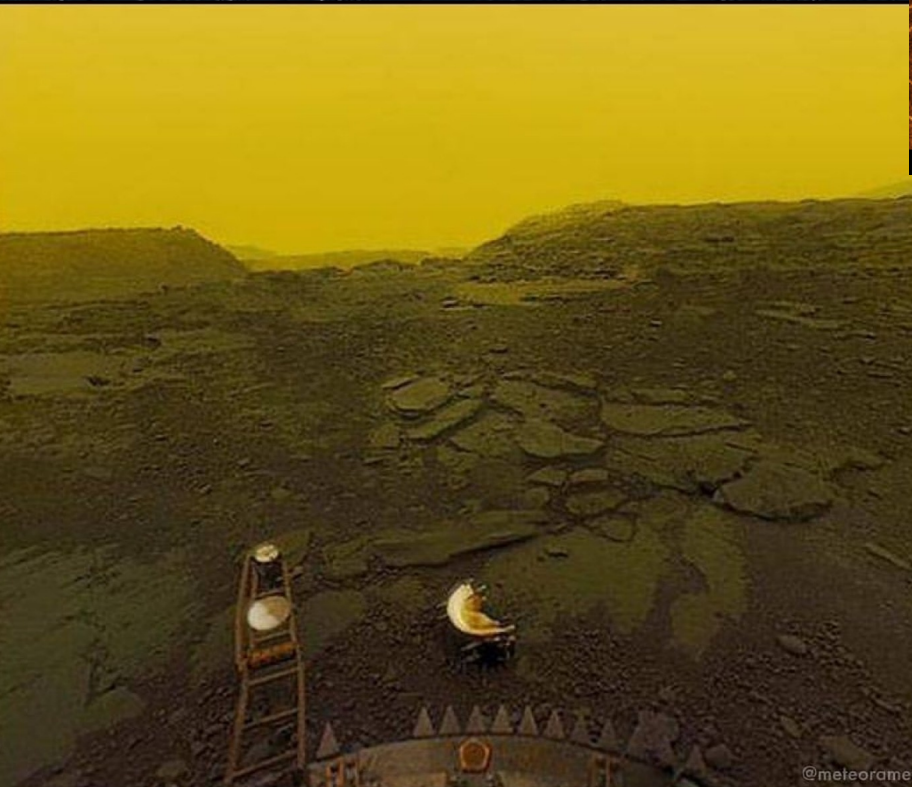
- pressão de 90 atm; 450° em média (mais quente que Mercúrio)
- acentuado efeito estufa: atmosfera de CO₂
- nuvens de ácido sulfúrico H₂SO₄ Origem: possivelmente vulcanismo
- muitos vulcões; possíveis atividades atuais
- sem campo magnético



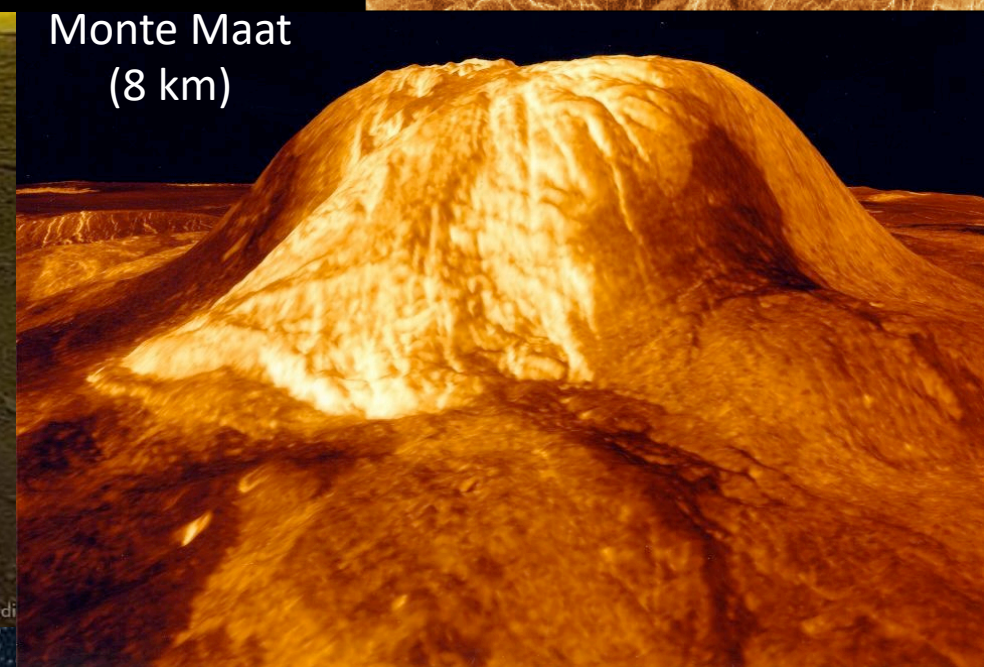
Vênus



Monte Maat
(Vulcão)

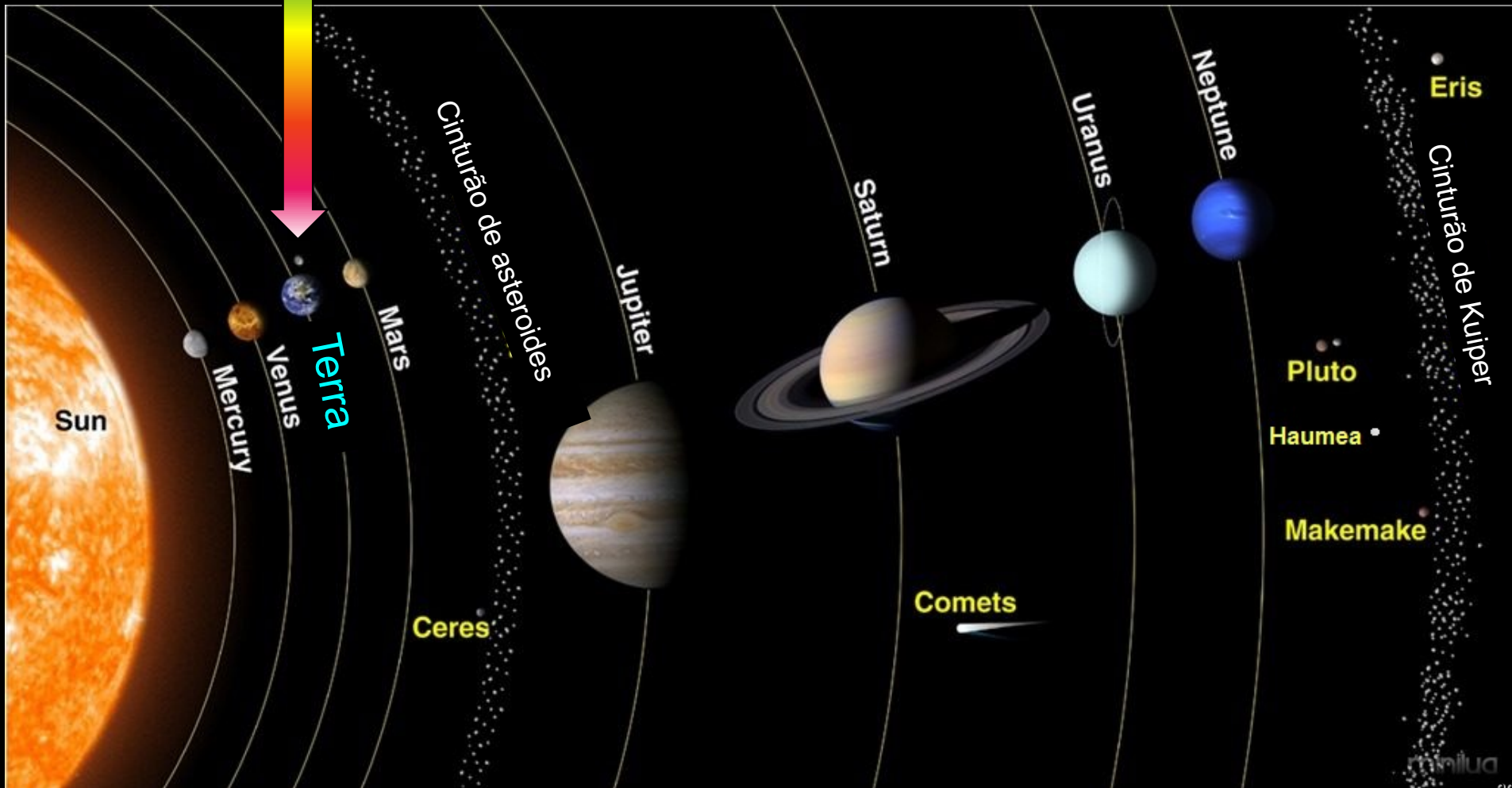
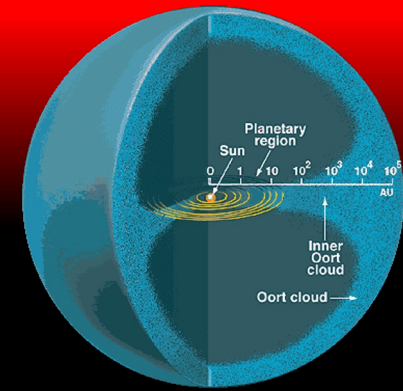


Chão em Vênus



Monte Maat
(8 km)

Terra



- Raio: 6.400 Km
- Densidade: 5,5 g/cm
- Vel. orbital: 107.200 Km/h
- Vel. de escape: 11 Km/s
- Periélio: 147.000 Km
- Afélio: 152.000 Km
- Temp. média : 15° C

Terra



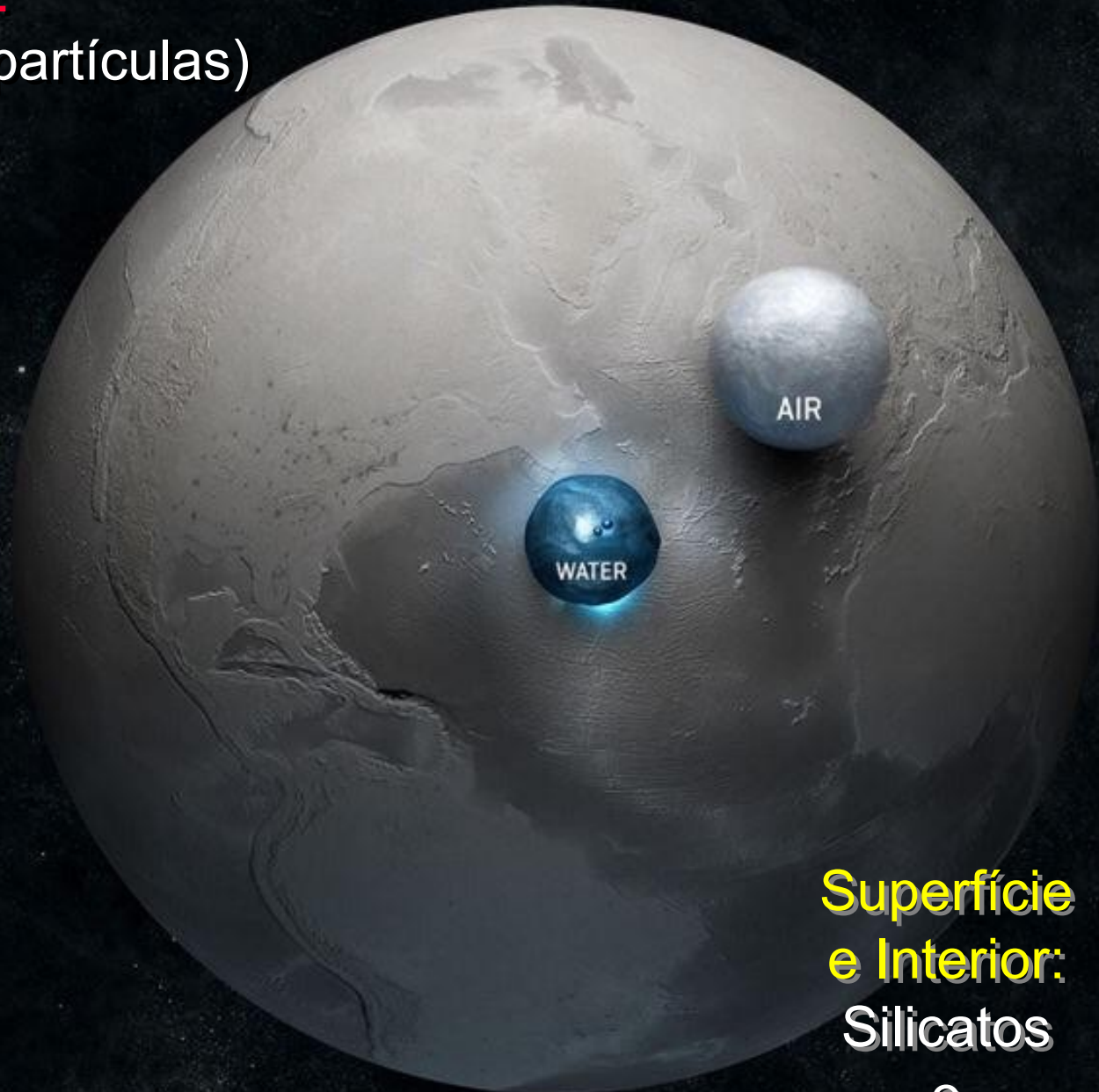
$D = 12.756,280 \text{ km}$
 $M = 5,974 \text{ sextilhões de toneladas}$
 $g = 9,8 \text{ m/s}^2$

Rotação = 23h 56m 04s

Atmosfera:

- nitrogênio (78% das partículas)
- 21% de oxigênio
- 1% de vapor d' água
- argônio
- gás carbônico

Terra



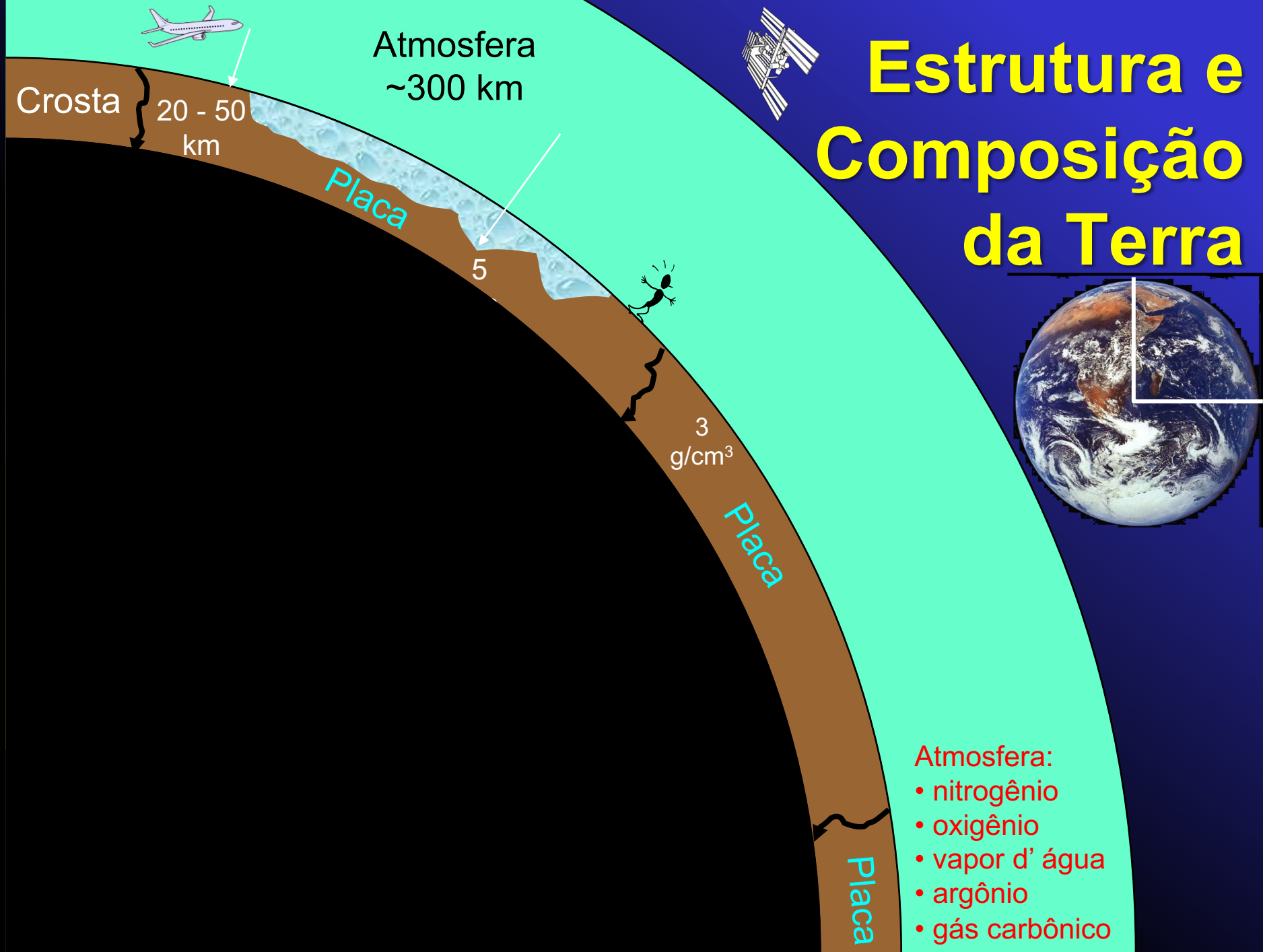
Superfície
e Interior:
Silicatos

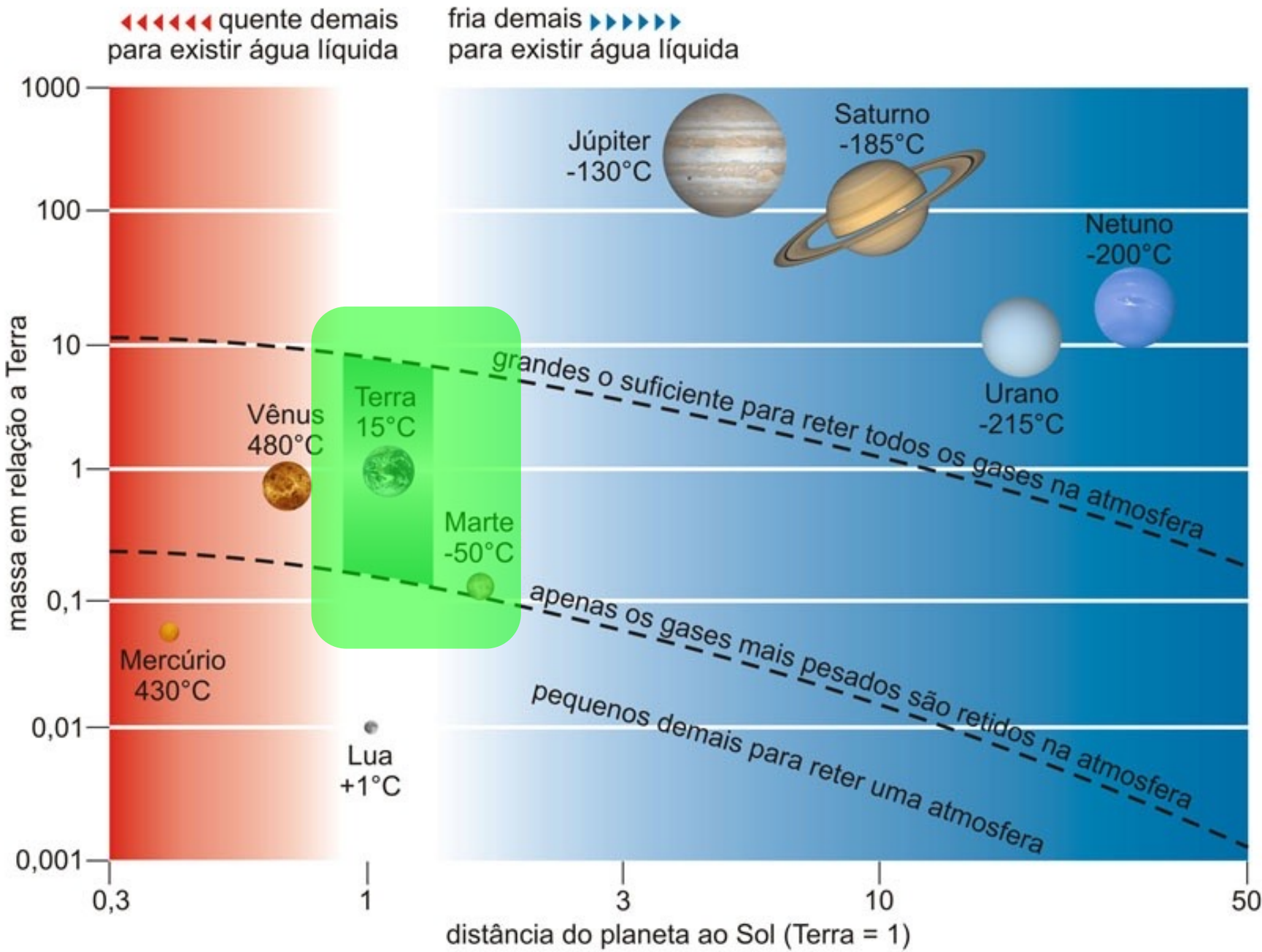
e
Basaltos

Rotação = 23h 56m 04s

Illustration: Félix Pharand-Deschênes,
Concept: Adair

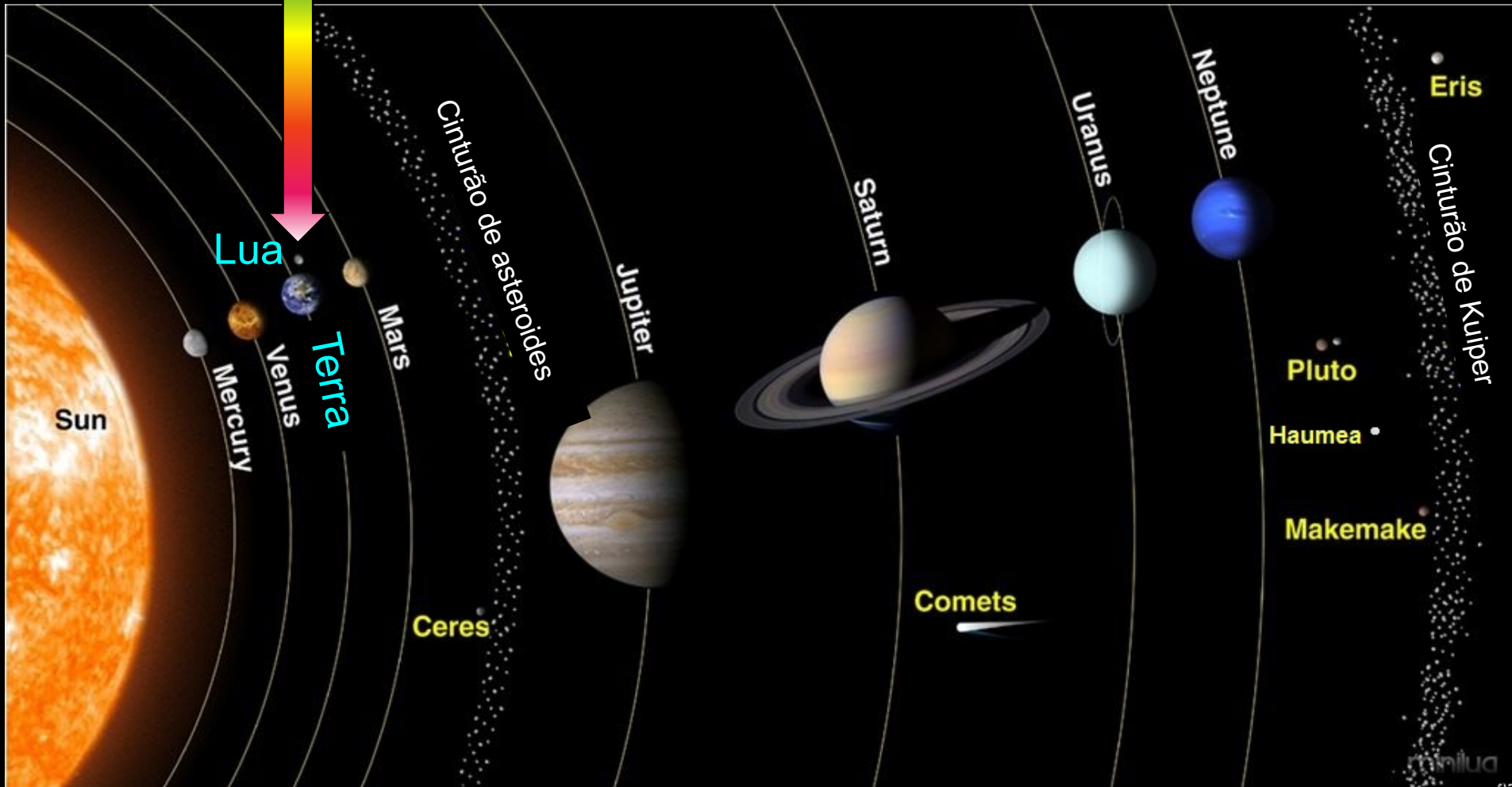
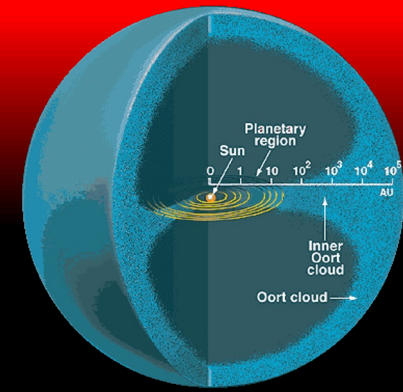
Estrutura e Composição da Terra

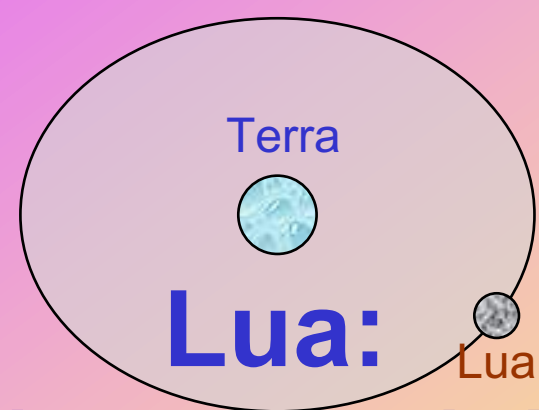




Zona de habitabilidade no Sistema Solar

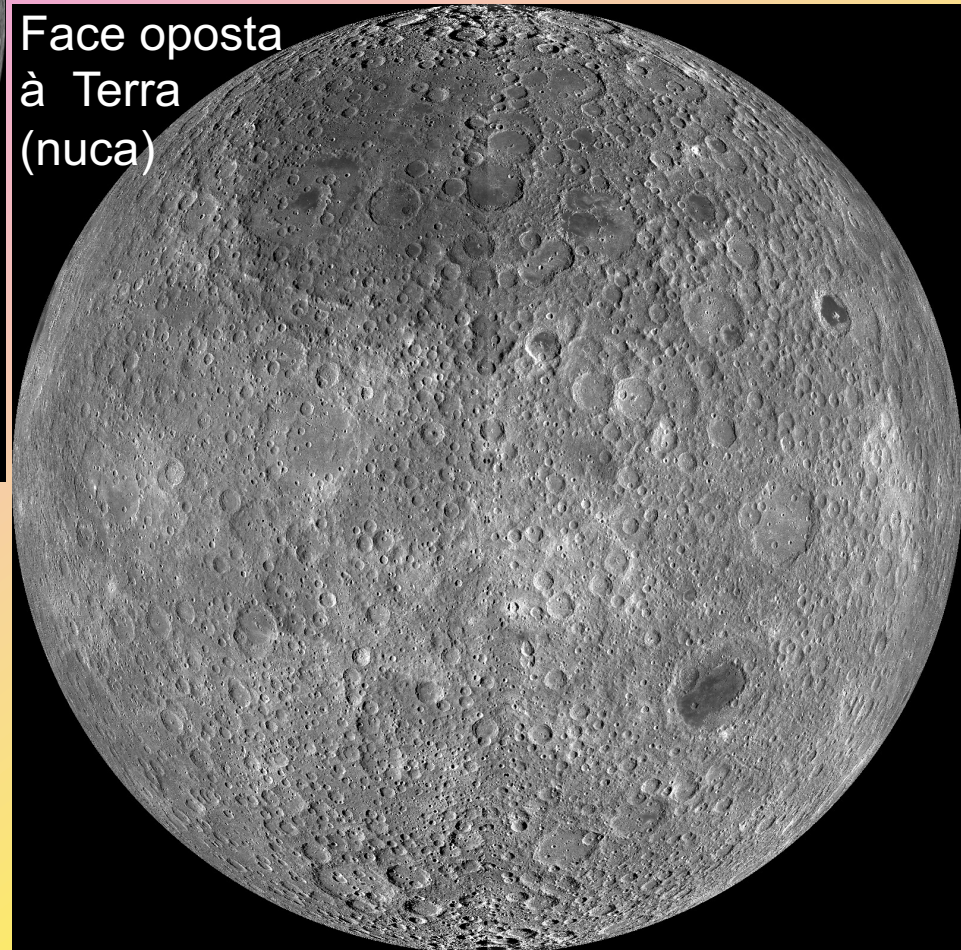
Lua





satélite natural da Terra

Face oposta à Terra (nuca)



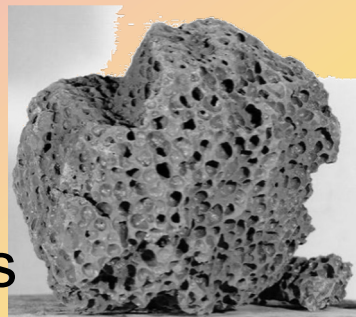
$$D = 3500\text{km} = 0,2725 D_{\text{Terra}}$$

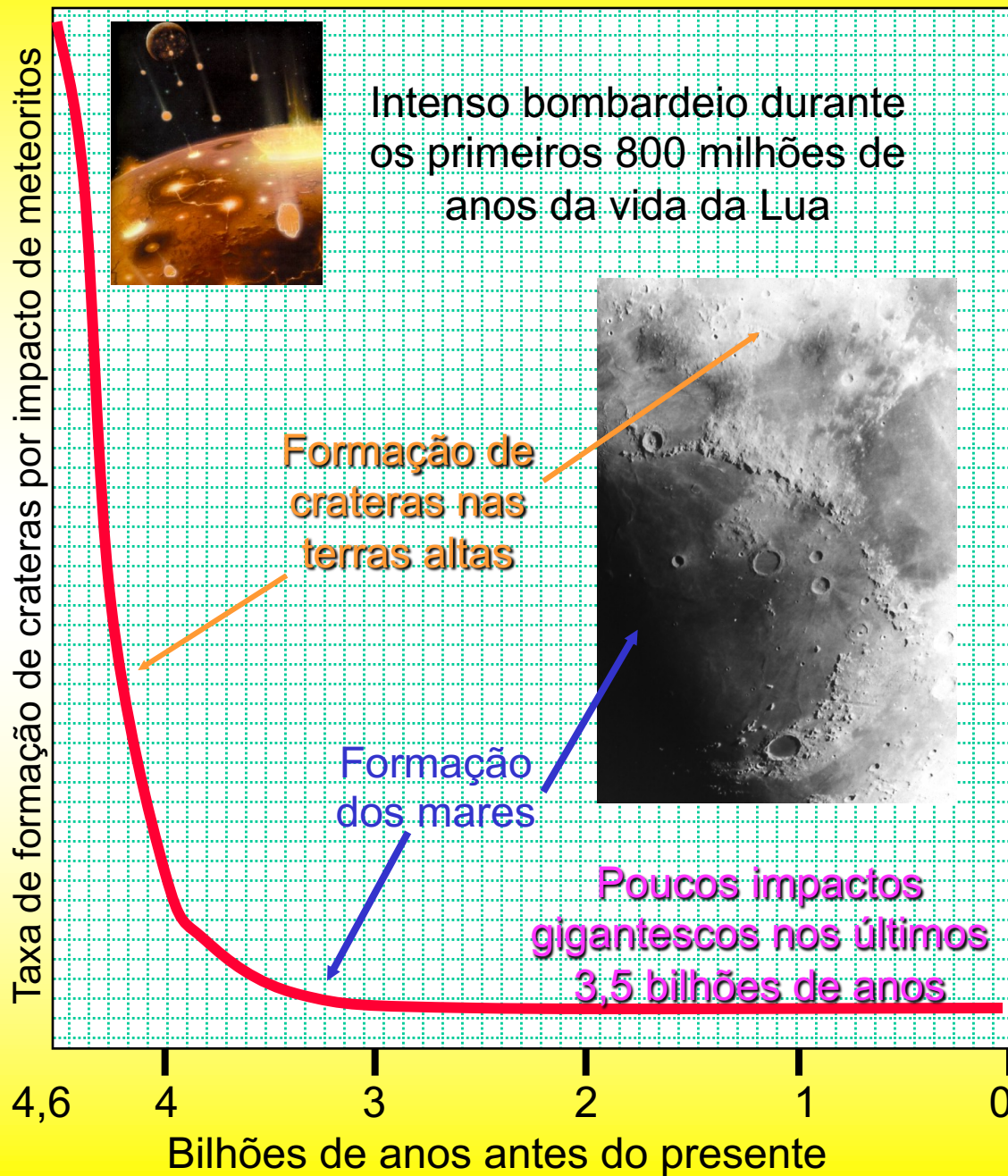
$$M = 1 / 81 M_{\text{Terra}}$$

5ª maior lua

Interior:

Silicatos e Basaltos



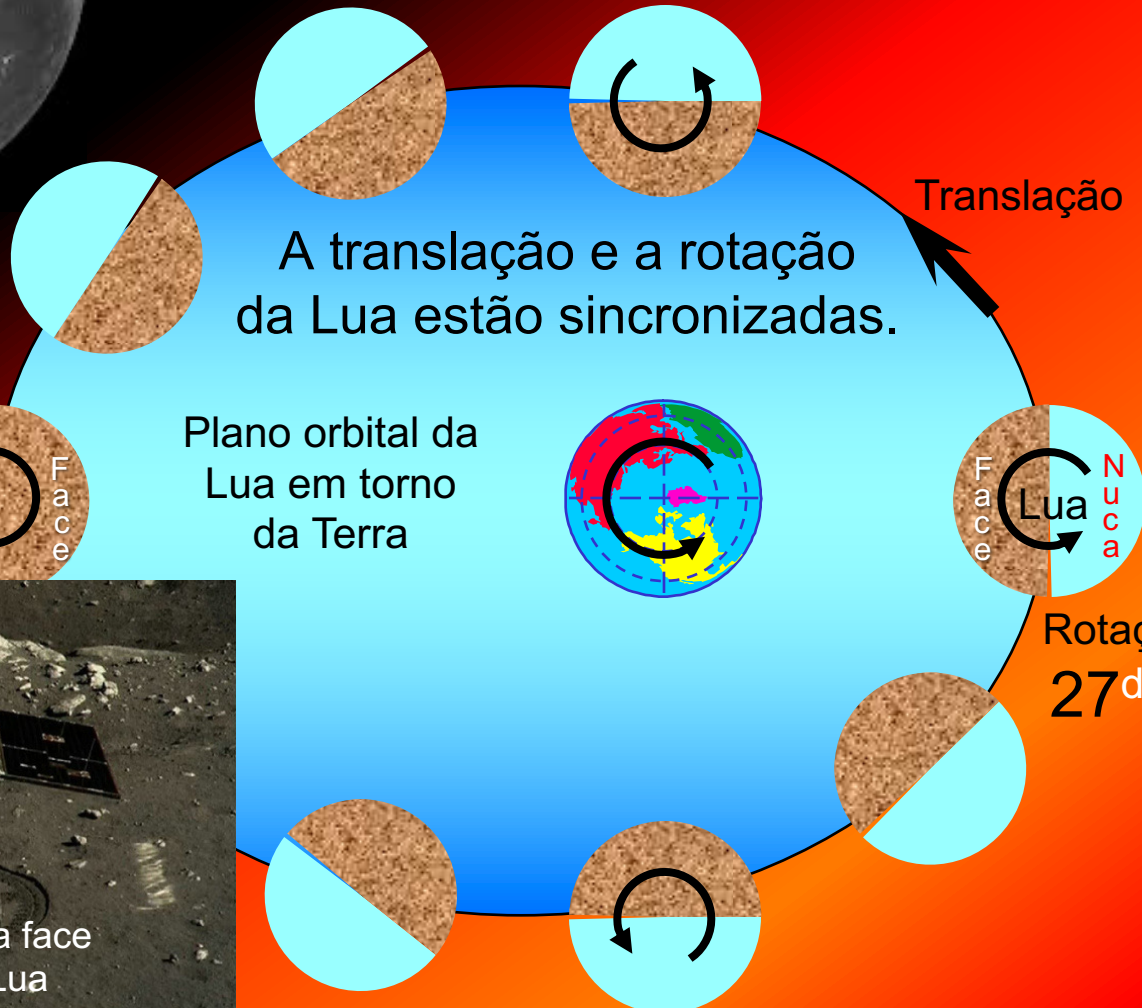


Bombardeio da Lua durante sua vida

Translação atual da Lua



Face ou "Disco" visível desde a Terra



A translação e a rotação da Lua estão sincronizadas.

Plano orbital da Lua em torno da Terra

Face distal

Face

Face

Nuca

Rotação e Translação
27^d07^h43^m11,6^s



Sol



Sonda chinesa na face escura (?) da Lua

Período de translação é igual ao período de rotação (só vemos 59 % da sua superfície)

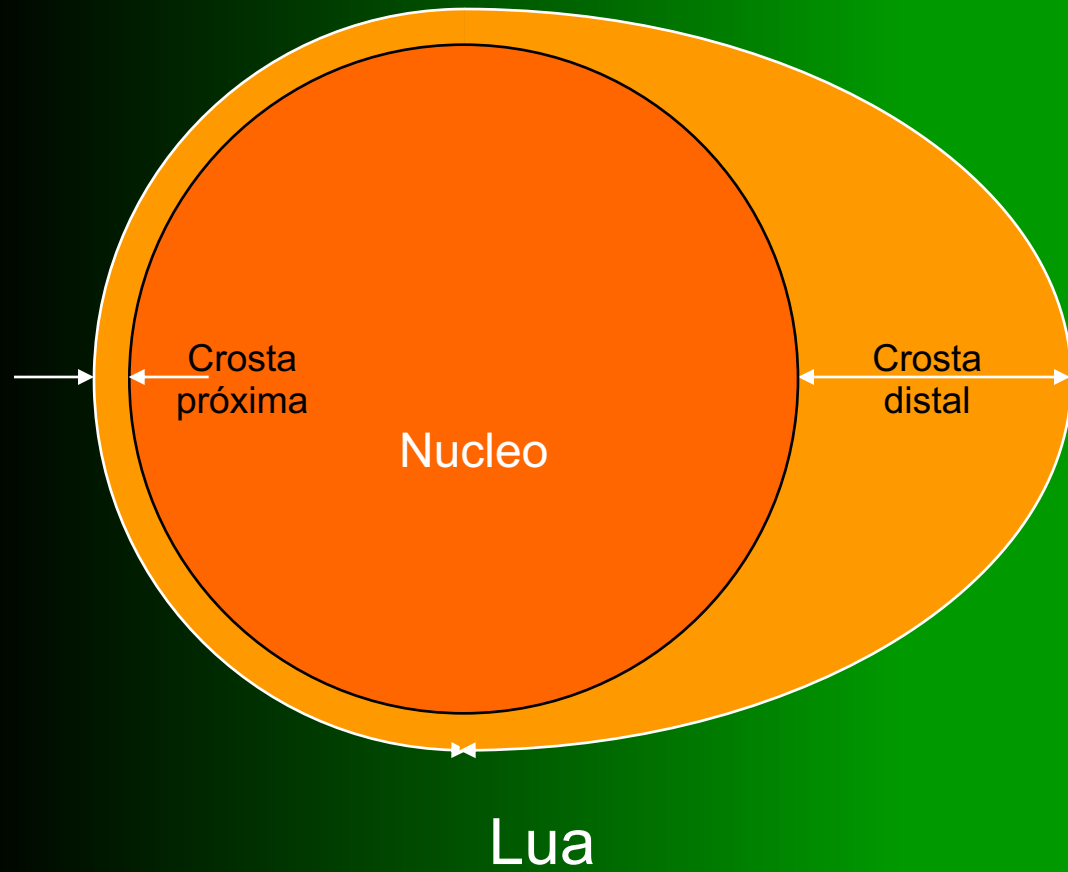
Estrutura interna da Lua

1/6 da gravidade terrestre

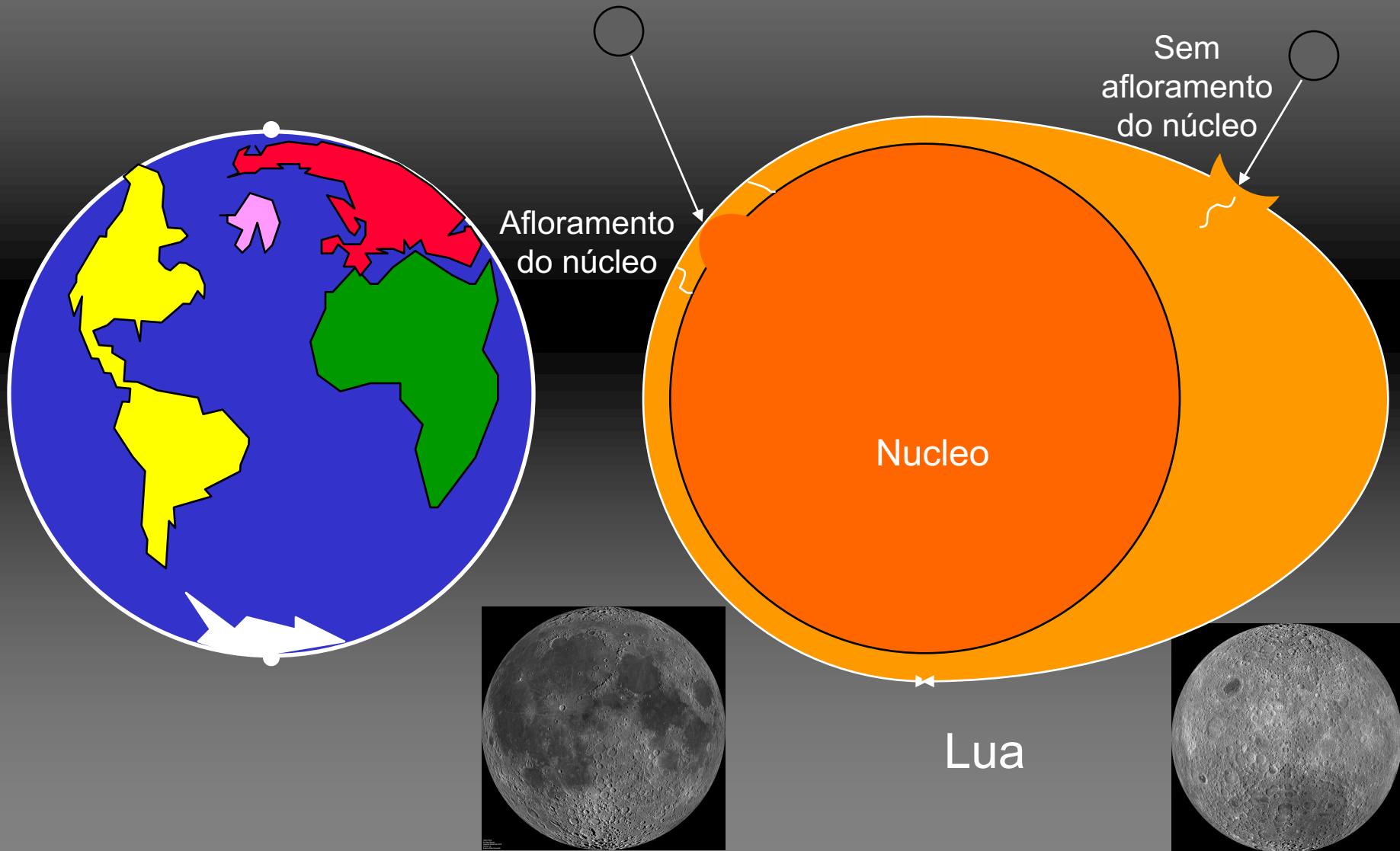
Velocidade de escape
2,37 km/s



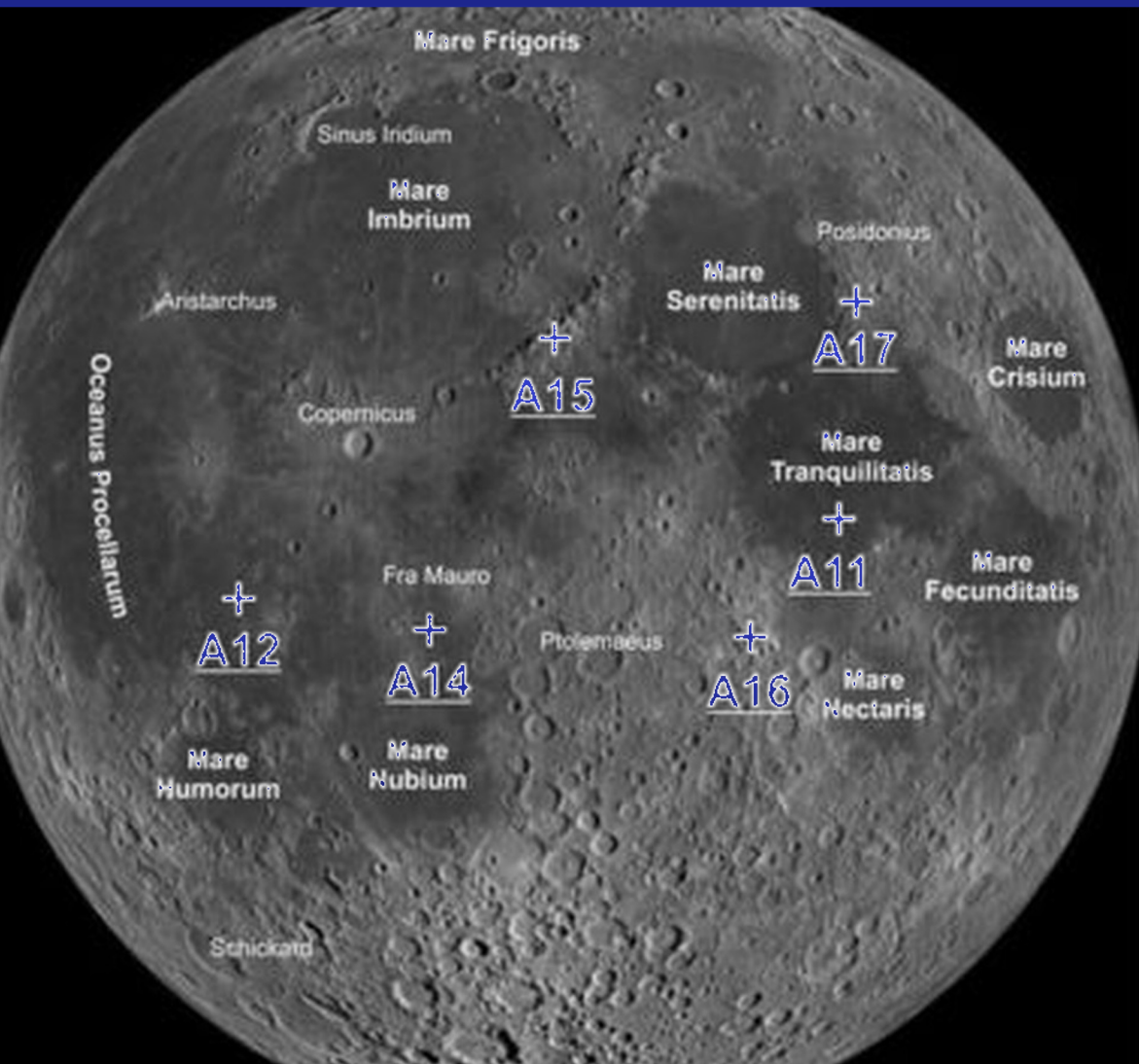
Forma da Lua



Formação dos “mares”



Amostras lunares



Mare basalts
(3.3 to 3.7 Ga)



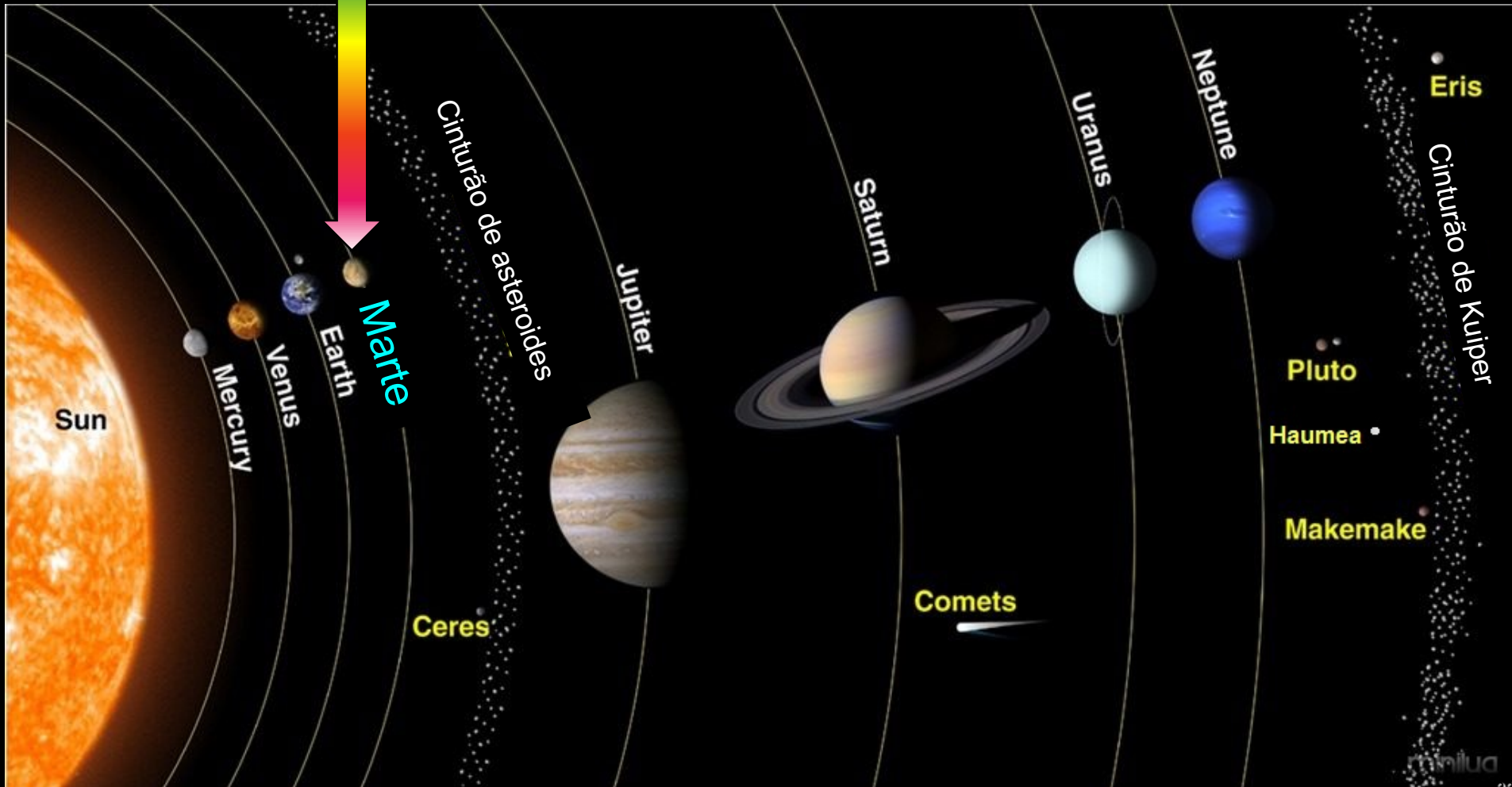
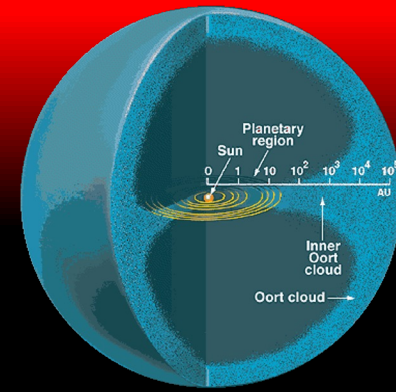
Highlands
(>3.9 Ga)



KREEP(Y)
(4.1 Ga)



Marte



Marte

20 °C

Crateras:

- Impacto (maior parte)
- Vulcões

$$D = 0,53 D_{\text{Terra}}$$

$$M = 0,107 M_{\text{Terra}}$$

$$g = 0,38 g_{\text{Terra}}$$

Marte possui 2 pequenos satélites naturais:

- Fobos (diâmetro de ~28 km)
- Deimos (diâmetro de ~16 km).

Interior:

Silicatos

e

Basaltos

-140 °C

Rotação \cong 24h 37m

Atmosfera:

atmosfera: 95 % CO₂,
0.03 % de água

Marte

20 °C

Crateras:

- Impacto (maior parte)
- Vulcões

$$D = 0,53 D_{\text{Terra}}$$

$$M = 0,107 M_{\text{Terra}}$$

$$g = 0,38 g_{\text{Terra}}$$

Marte possui 2 pequenos satélites naturais:

- Fobos (diâmetro de ~28 km)
- Deimos (diâmetro de ~16 km).

Interior:

Silicatos
e
Basaltos

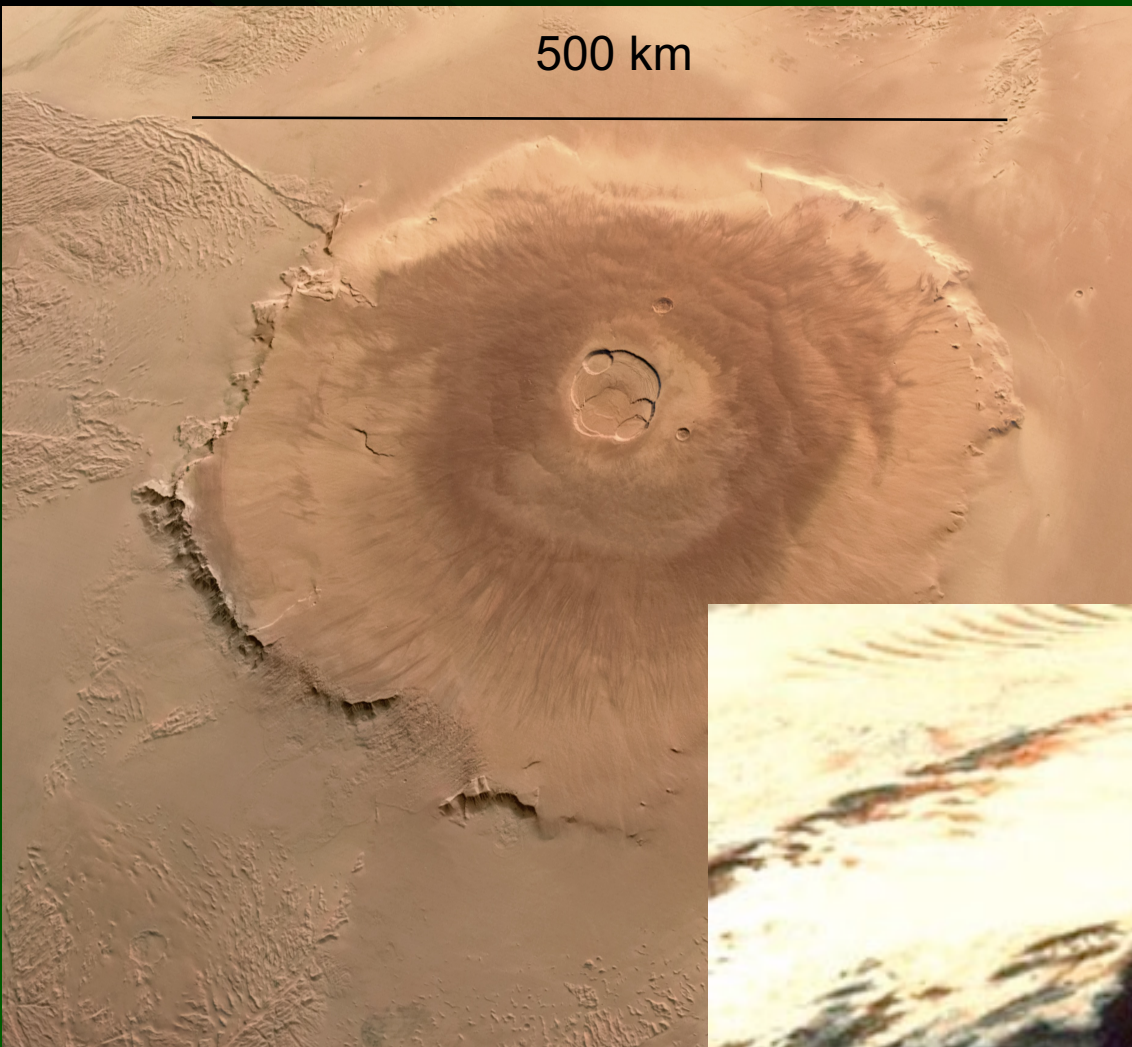
-140 °C

Rotação \cong 24h 37m

Atmosfera:

atmosfera: 95 % CO₂,
0.03 % de água

500 km



Vulcão em Marte

Monte Olimpus
(24 km)



Solo de Marte

Viking 1
(1976)



Solo de Marte



Curiosity
(2014)

Clima em Marte

Estações climáticas:

Tempestades de poeira (ventos de 160 km/h)



Mars Opposition

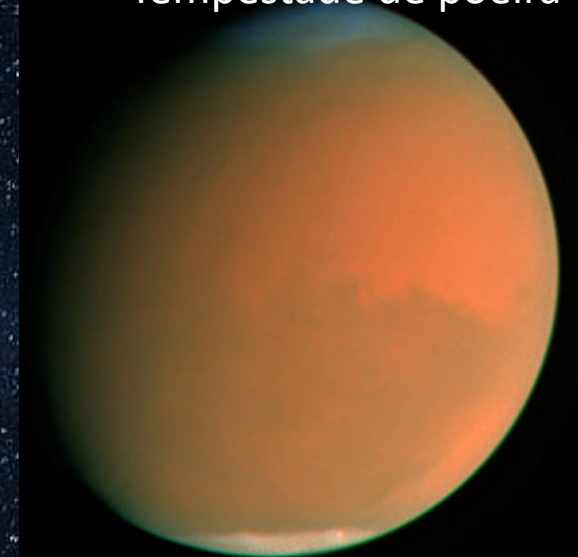


2016



2018

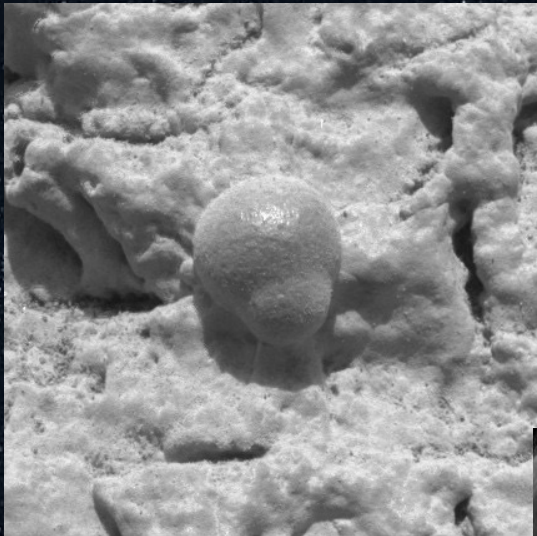
Tempestade de poeira



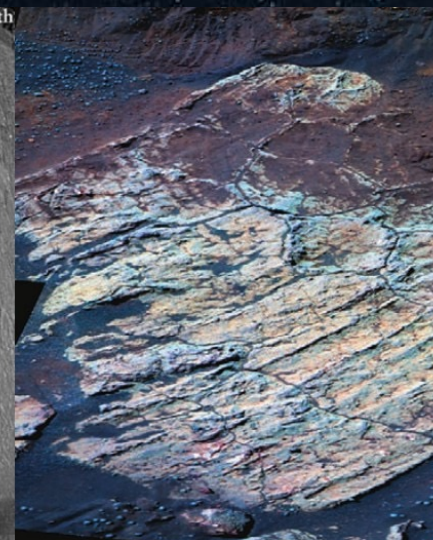
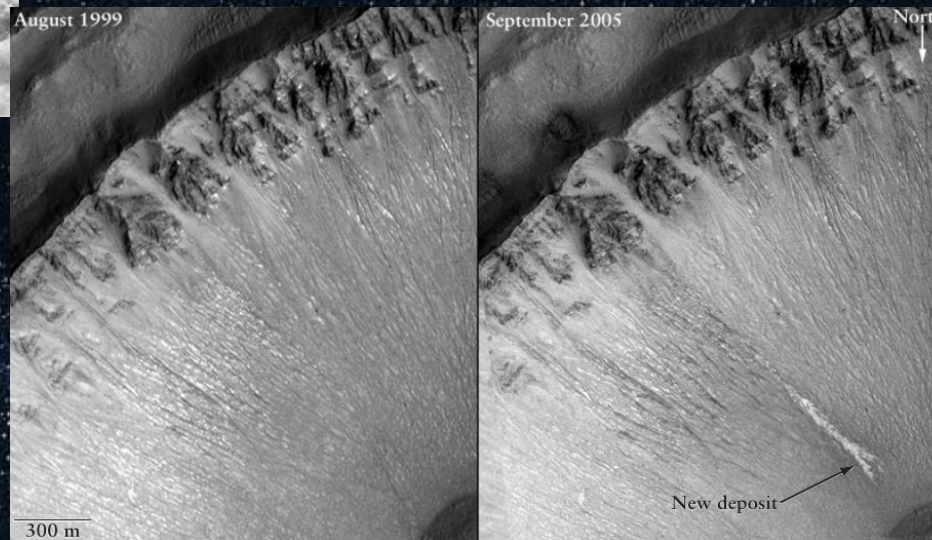
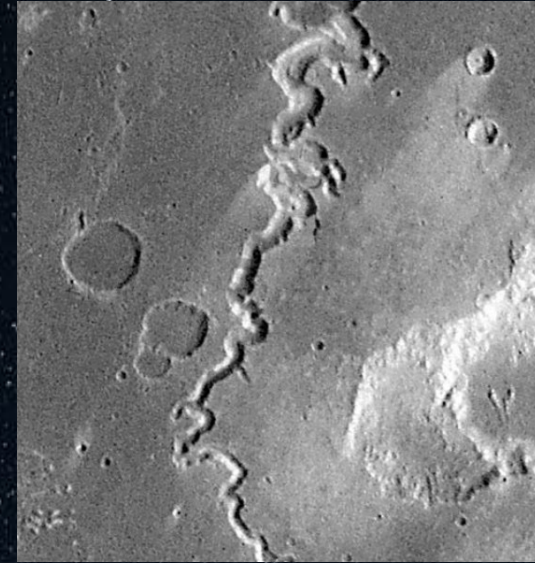
Água em Marte

Muita água no passado.

No presente, água na calota polar Sul e no subsolo



Hematita e outros
(jarozita e gipsita)



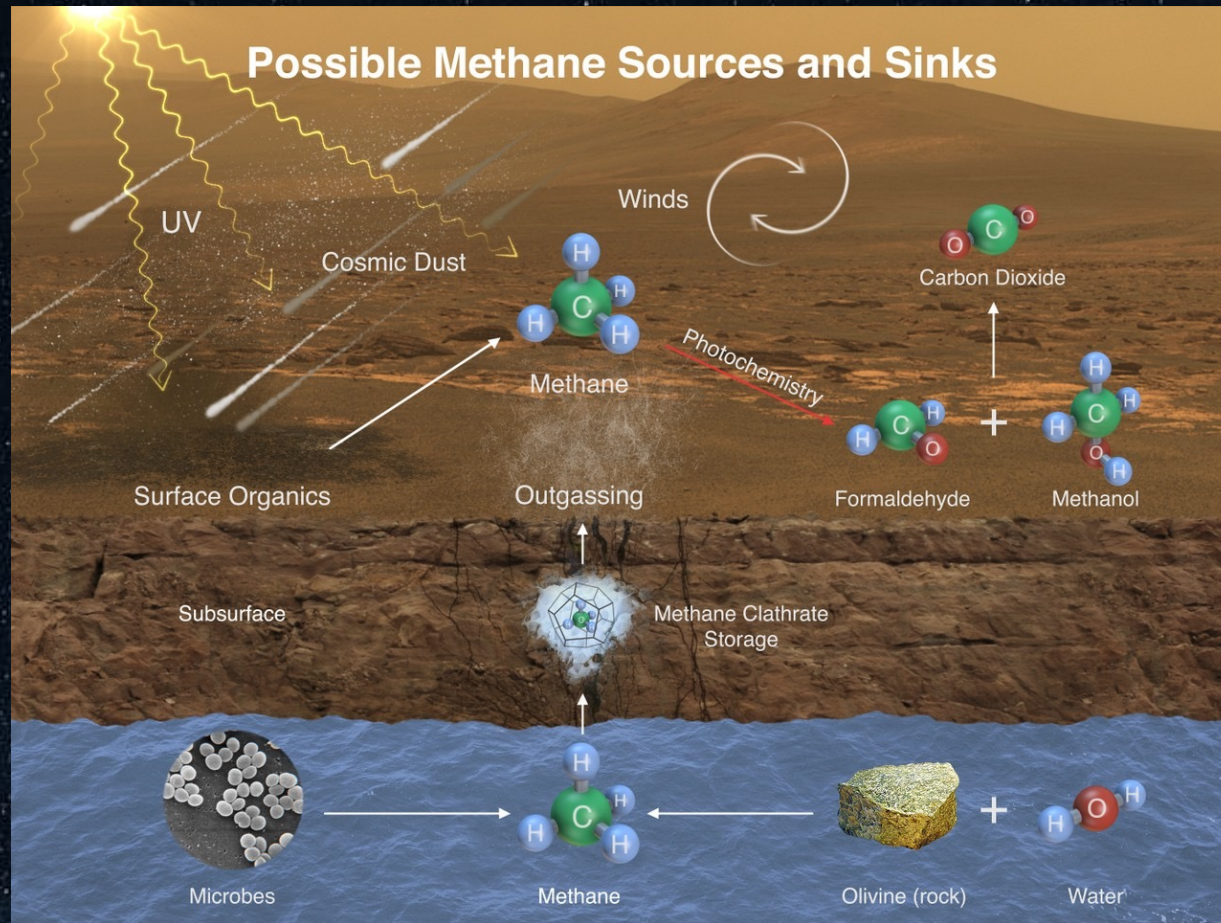
Compostos orgânicos em Marte

Metano na atmosfera
Concentração varia de 0.24 ppb (inverno) a 0.65 ppb (verão).

Vida-média na atmosfera:
0.6 – 4 anos

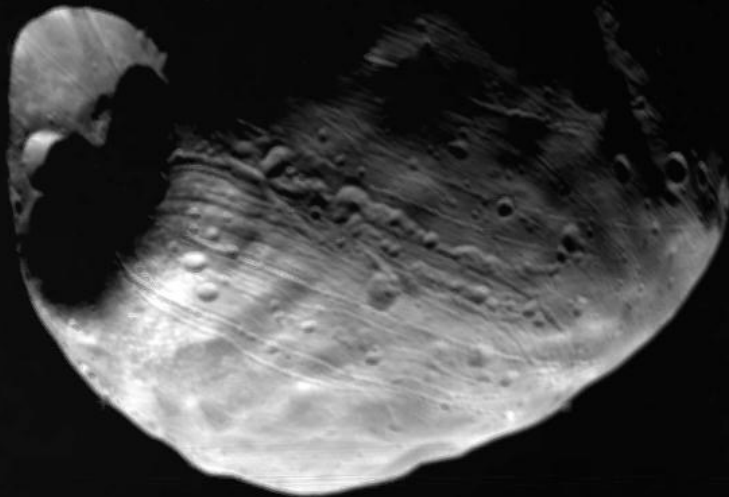
Origem:
Biológica ou não-biológica?

(fóssil de bactéria

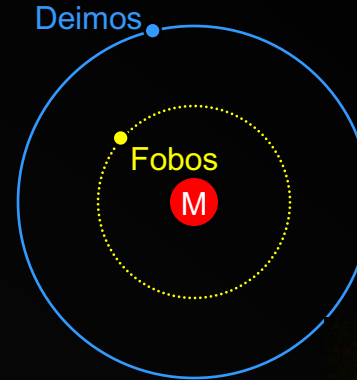


Satélites de Marte

Fobos



- Dimensões : 16x12x10 km
- Distância da superfície : (23.500-3.400) km
- Período de revolução : 30 h 18 m
- Velocidade orbital : 1,36 km/s



Deimos

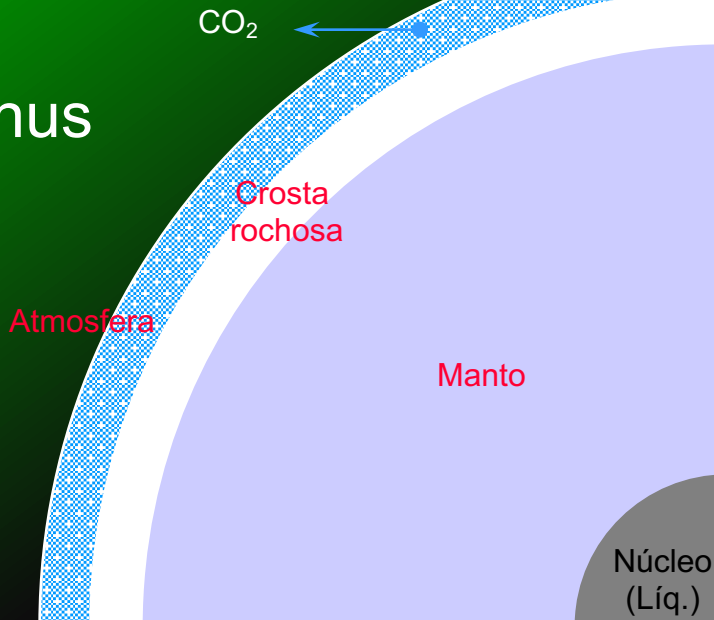


- Dimensões : 28x23x20 km
- Distância da superfície : (9.400-3.400) km
- Período de revolução : 7 h 40 m
- Velocidade orbital : 2,18 km/s

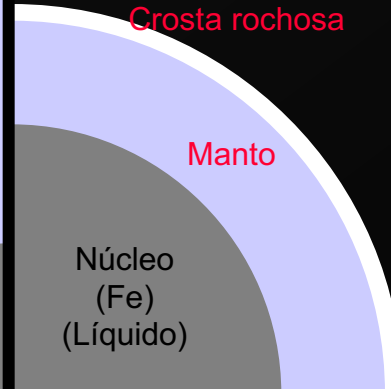


Estruturas e dimensões dos Planetas Telúricos

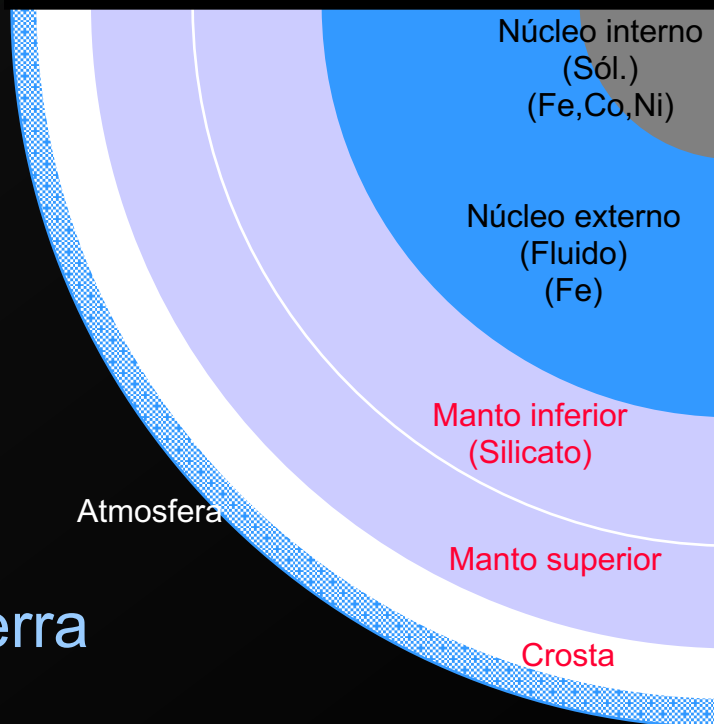
Vênus



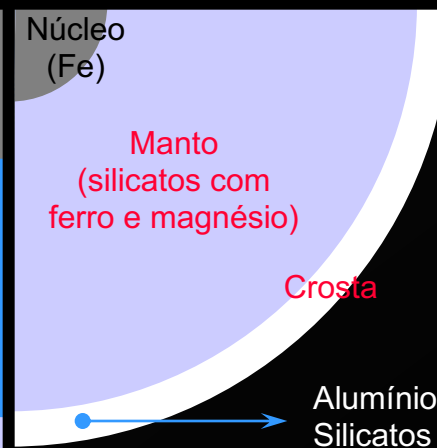
Mercúrio



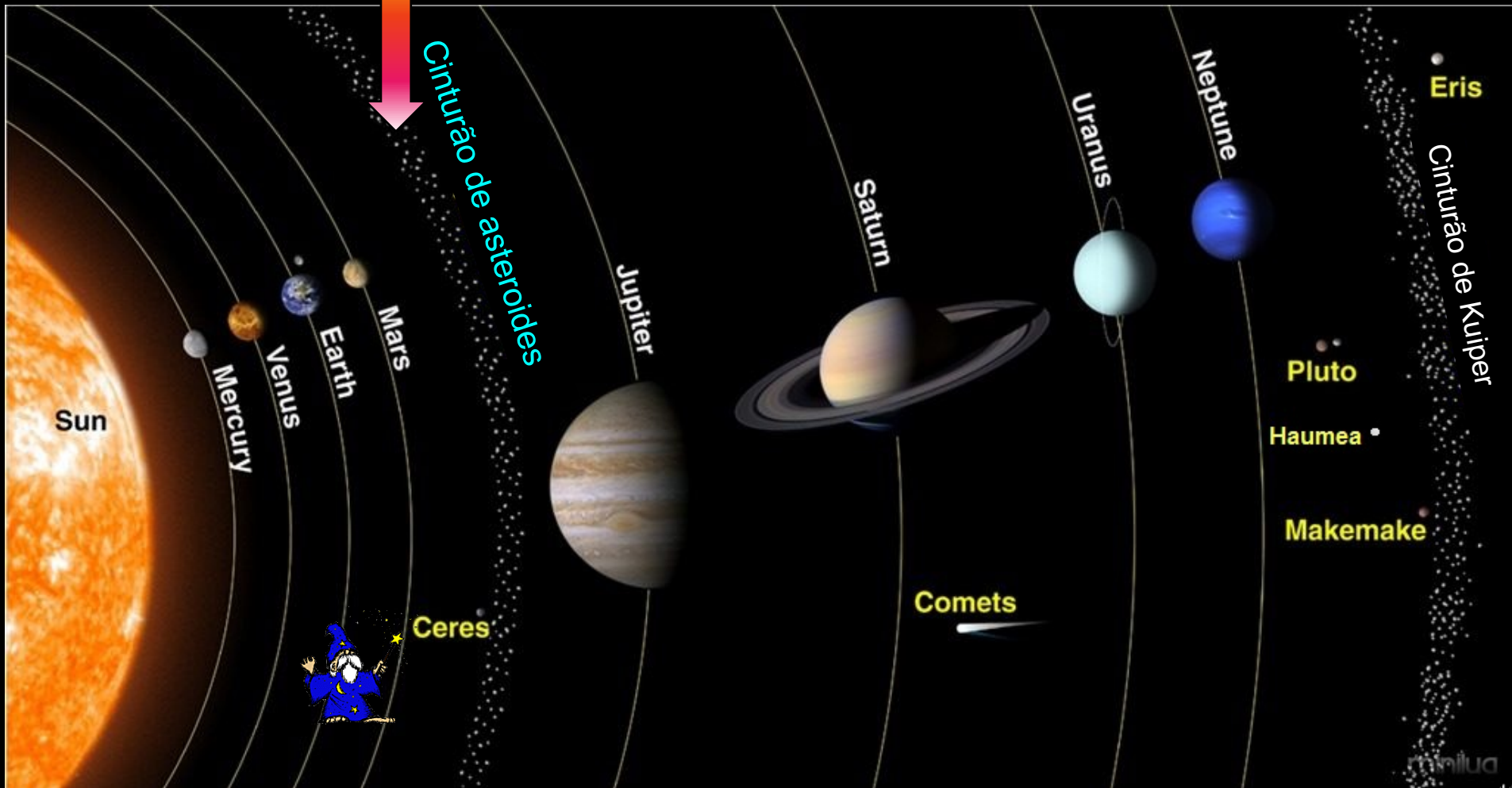
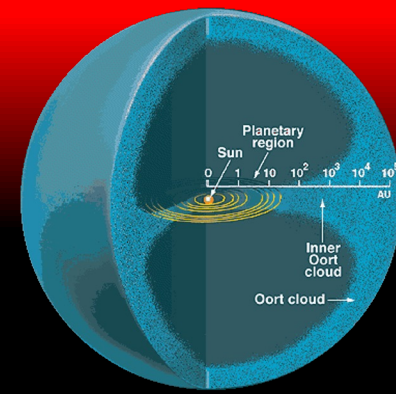
Terra



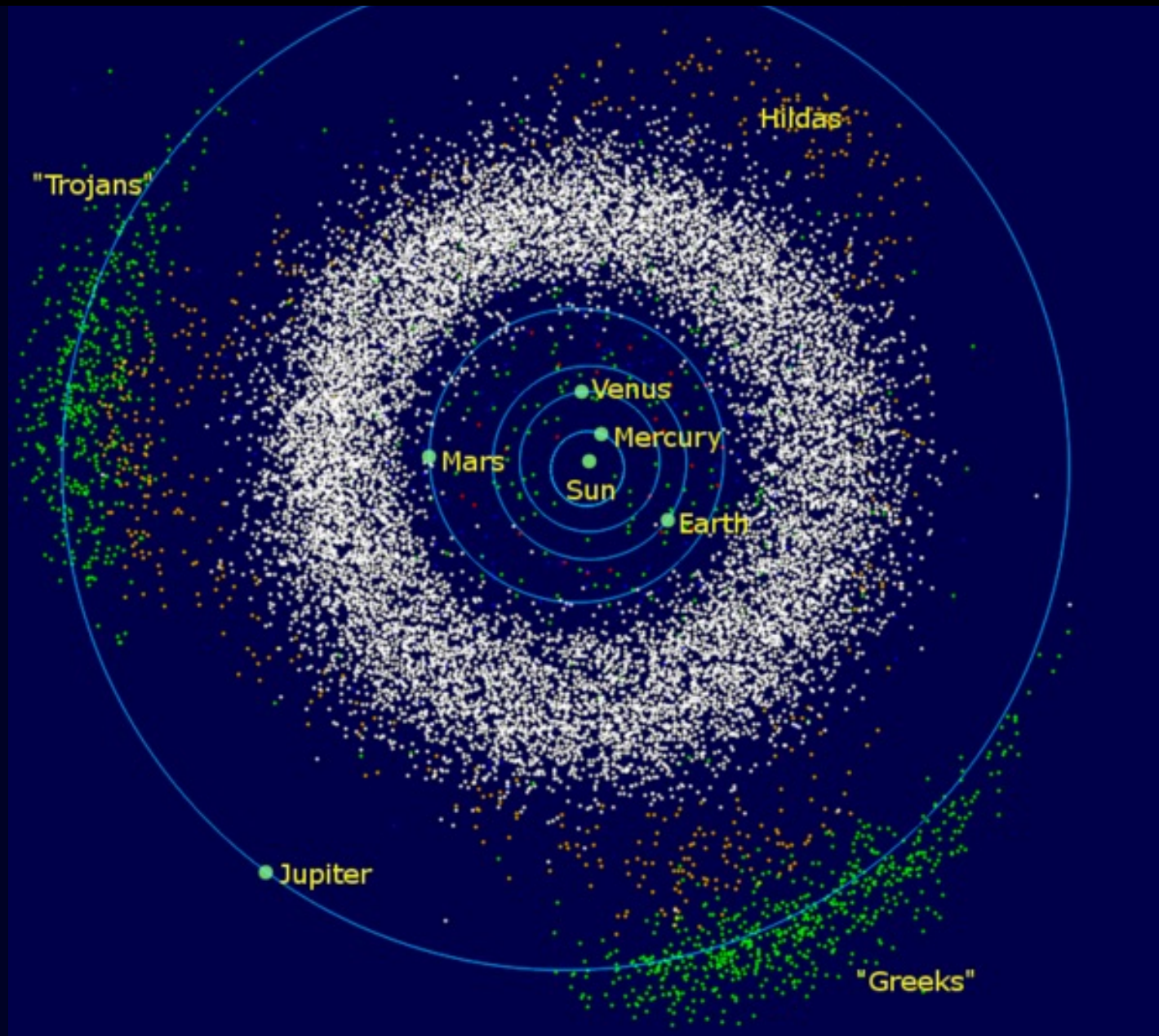
Marte



Cinturão de asteroides



Cinturão dos Asteroides Clássicos



Cinturão de Asteróides

- entre 2 e 3,6 UA
- 4% da massa da Lua
- 1/3 da massa está em Ceres
- formam *famílias*

Diâmetros (km)

Ceres: 1.000

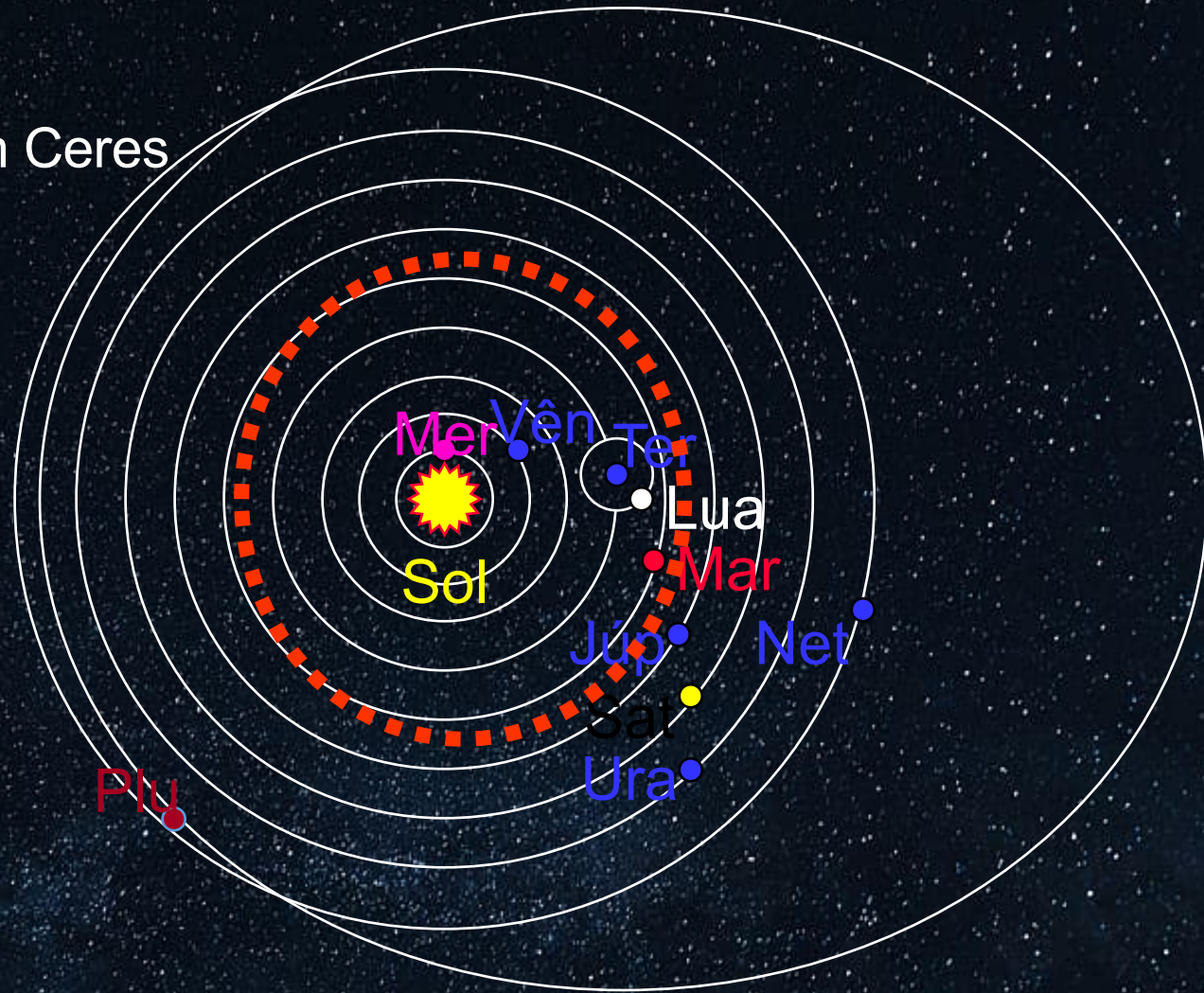
Palas: 550

Vesta: 530

Hígia: 430

(Lua : 3.500

Plutão: 2.300)



Alguns Asteroides

Dactyl
[(243) Ida II]
1.6 × 1.2 km
Galileo, 1993

243 Ida - 58.8 × 25.4 × 18.6 km
Galileo, 1993

9969 Braille
2.1 × 1 × 1 km
Deep Space 1, 1999

5535 Annefrank
6.6 × 5.0 × 3.4 km
Stardust, 2002

2867 Steins
5.9 × 4.0 km
Rosetta, 2008

433 Eros - 33 × 13 km
NEAR, 2000

25143 Itokawa
0.5 × 0.3 × 0.2 km
Hayabusa, 2005

253 Mathilde - 66 × 48 × 44 km
NEAR, 1997

951 Gaspra - 18.2 × 10.5 × 8.9 km
Galileo, 1991

21 Lutetia - 132 × 101 × 76 km
Rosetta, 2010

19P/Borrelly
8 × 4 km
Deep Space 1, 2001

9P/Tempel 1
7.6 × 4.9 km
Deep Impact, 2005

81P/Wild 2
5.5 × 4.0 × 3.3 km
Stardust, 2004

1P/Halley - 16 × 8 × 8 km
Vega 2, 1986

Ida:

- descoberto em 1884
- fotografado em 1993 pela sonda Galileu
- 53 – 24 – 15 Km

Asteróide Ida e seu satélite Dactyl

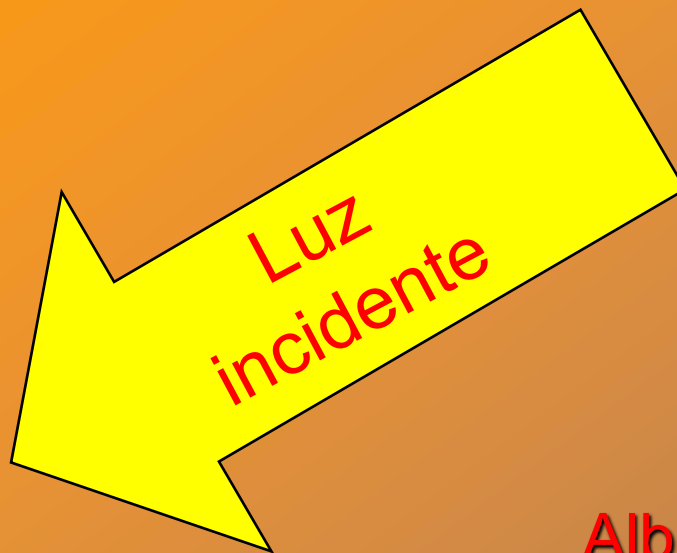


Dactyl:

- descoberto e fotografado em 1993 pela sonda Galileu;
- 1,6 Km de extensão;
- a 90 Km de Ida

Sonda Galileu chegou a 2400 Km; efeito gravitacional sobre a sonda permitiram determinar a massa de Ida.

Albedo



$$\text{Albedo} \equiv \frac{\text{Luz refletida}}{\text{Luz incidente}}$$

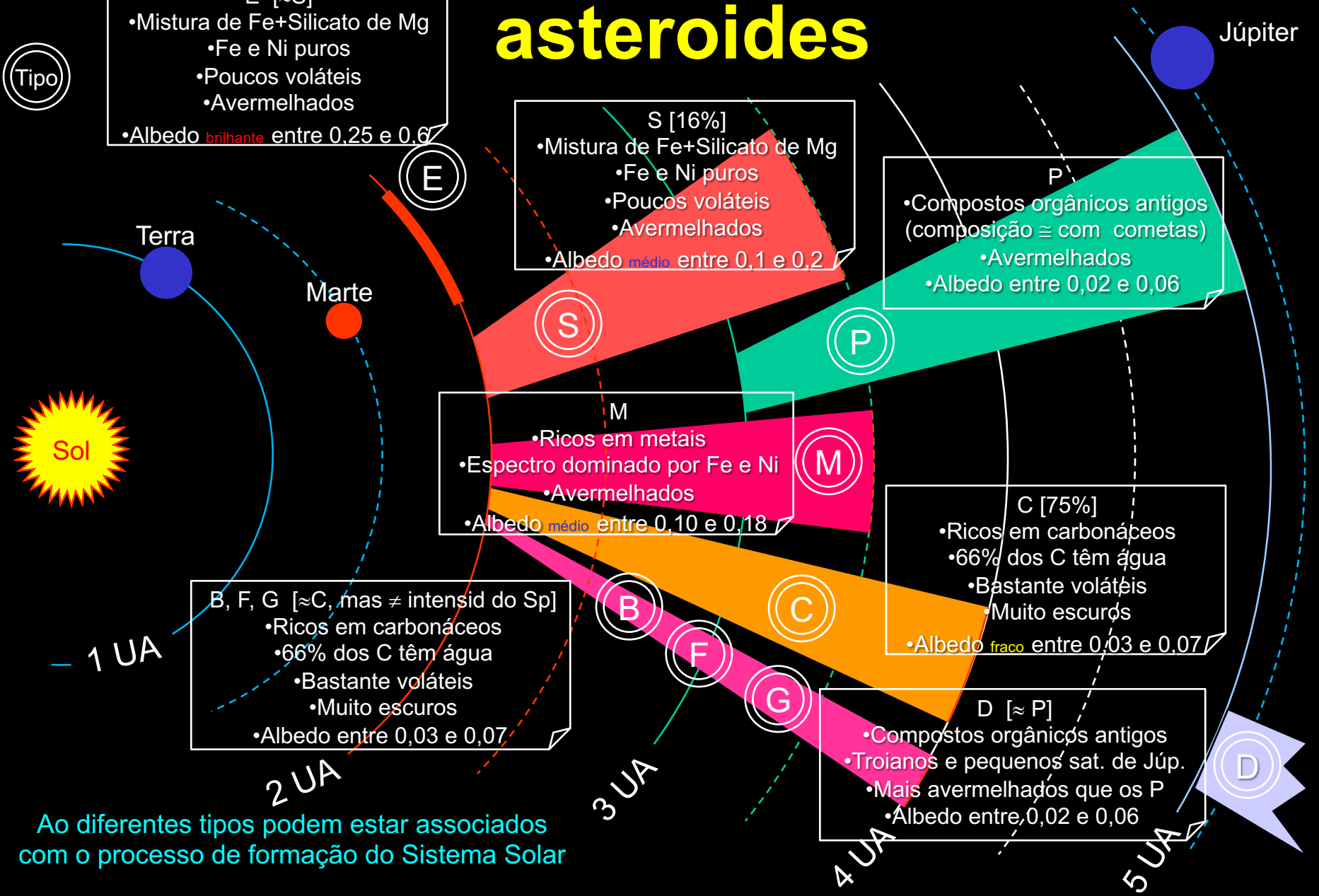
Albedo alto ↑
Reflete bastante

Albedo baixo ↓
Reflete pouco



Classificação dos asteroides

(Tipo)



E [≈S]

- Mistura de Fe+Silicato de Mg
- Fe e Ni puros
- Poucos voláteis
- Vermelhos
- Albedo **brilhante** entre 0,25 e 0,6

S [16%]

- Mistura de Fe+Silicato de Mg
- Fe e Ni puros
- Poucos voláteis
- Vermelhos
- Albedo **médio** entre 0,1 e 0,2

P

- Compostos orgânicos antigos (composição ≈ com cometas)
- Vermelhos
- Albedo entre 0,02 e 0,06

M

- Ricos em metais
- Espectro dominado por Fe e Ni
- Vermelhos
- Albedo **médio** entre 0,10 e 0,18

C [75%]

- Ricos em carbonáceos
- 66% dos C têm água
- Bastante voláteis
- Muito escuros
- Albedo **fraco** entre 0,03 e 0,07

B, F, G [≈C, mas ≠ intensid do Sp]

- Ricos em carbonáceos
- 66% dos C têm água
- Bastante voláteis
- Muito escuros
- Albedo entre 0,03 e 0,07

D [≈ P]

- Compostos orgânicos antigos
- Troianos e pequenos sat. de Júp.
- Mais avermelhados que os P
- Albedo entre 0,02 e 0,06

Ao diferentes tipos podem estar associados com o processo de formação do Sistema Solar

Passando de planetas Telúricos Terrestres para planetas Jovianos Jupiterianos

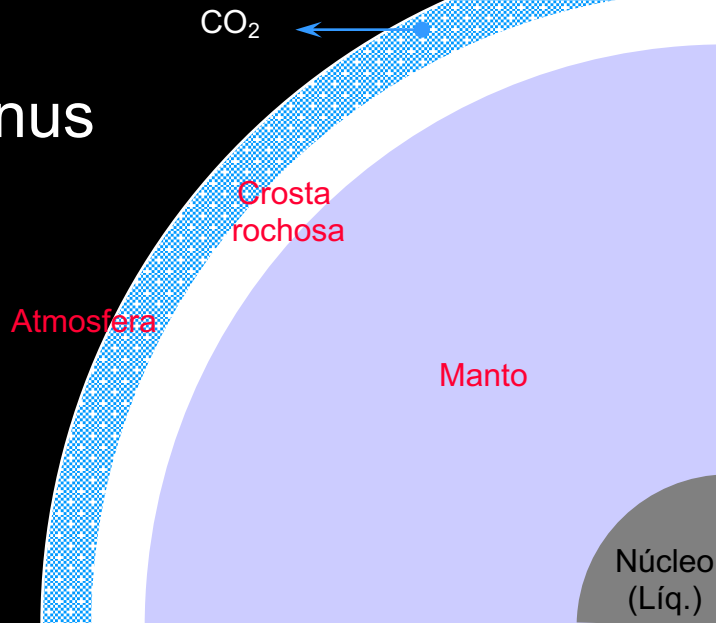
Mer
Vên
Ter
Mar

Júp
Sat
Ura
Net

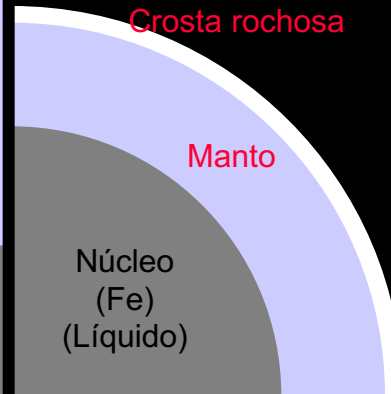


Estruturas e dimensões dos Planetas Telúricos

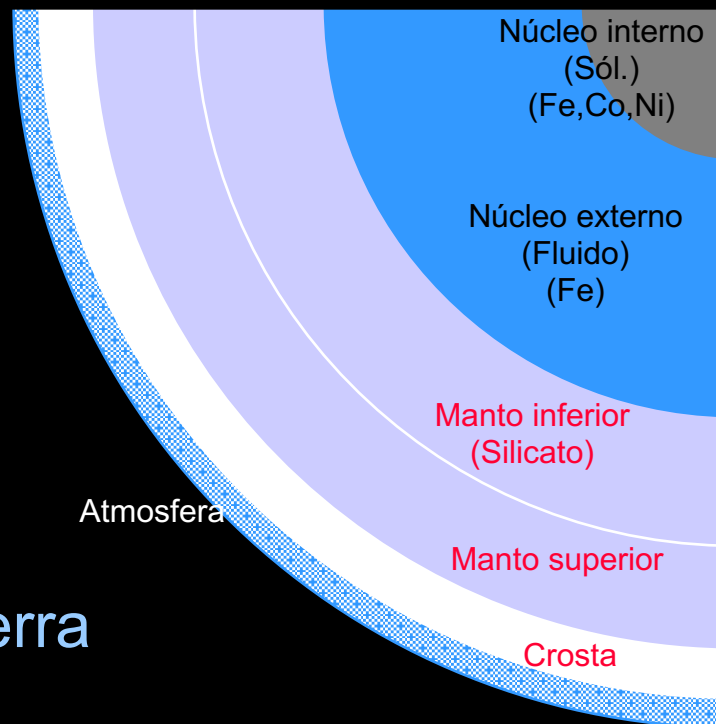
Vênus



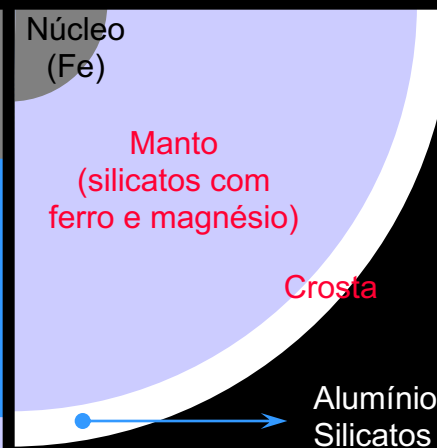
Mercúrio



Terra



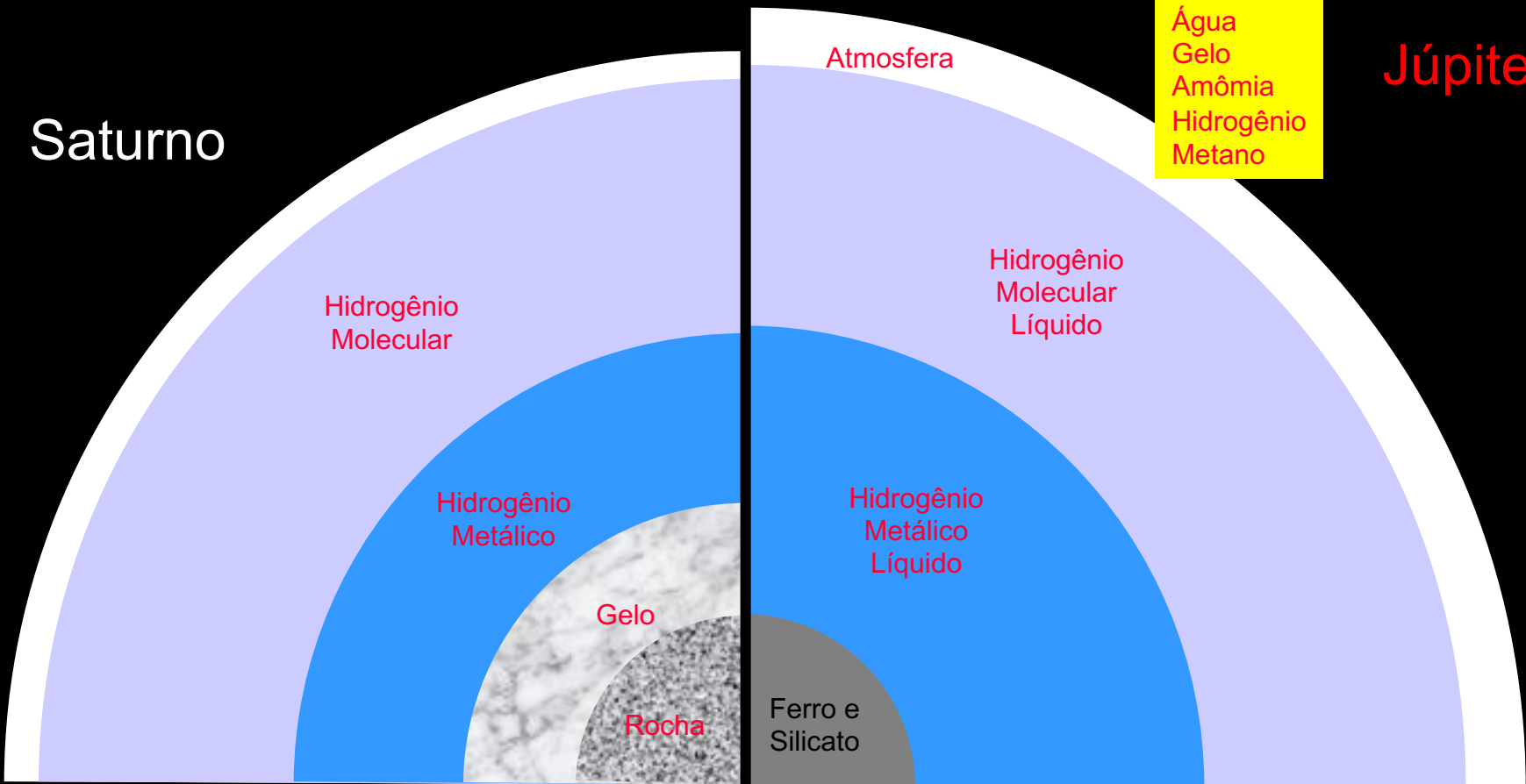
Marte



Saturno

Júpiter

- Água
- Gelo
- Amônia
- Hidrogênio
- Metano

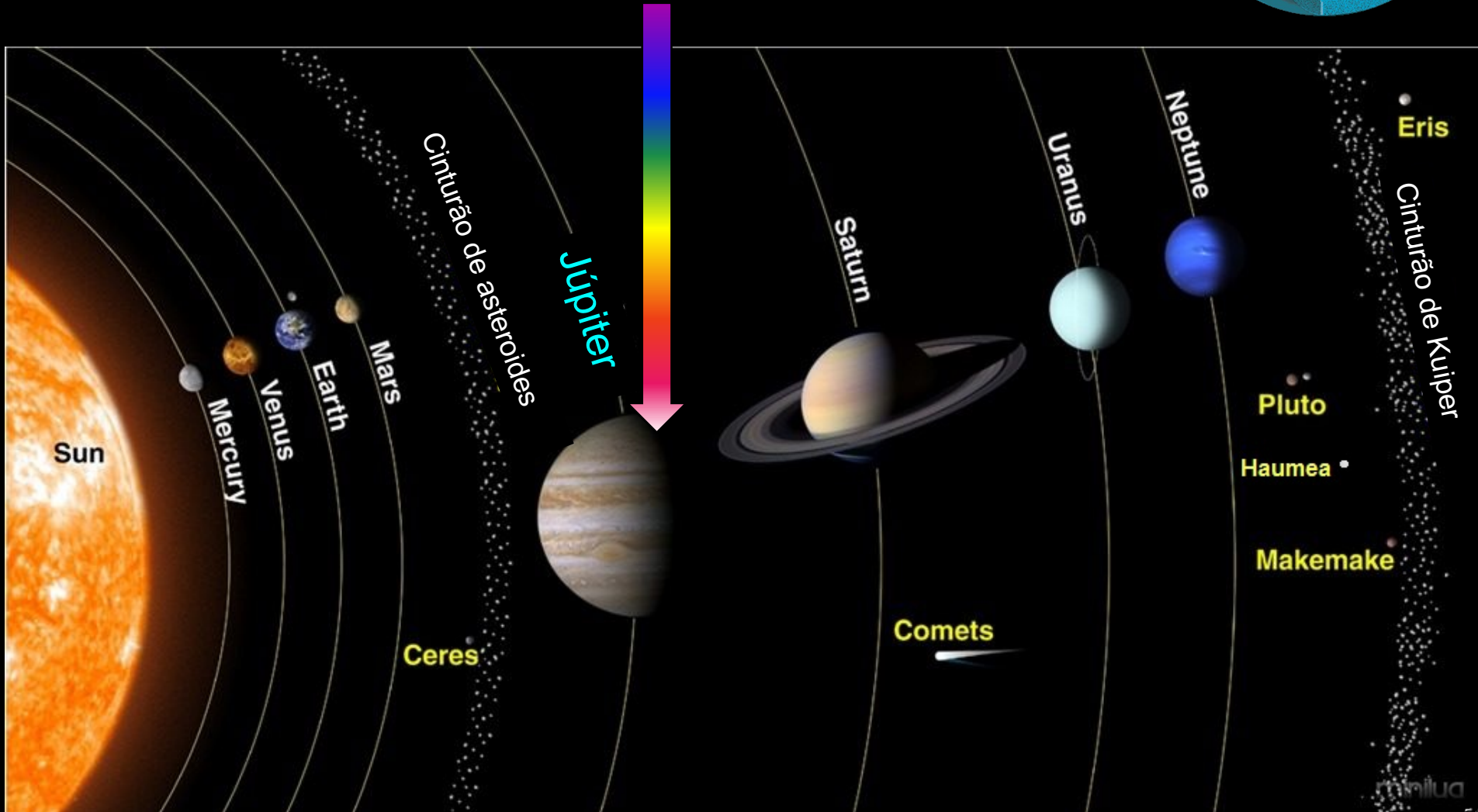
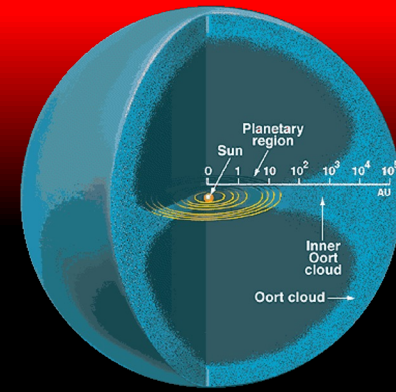


Urano

Netuno

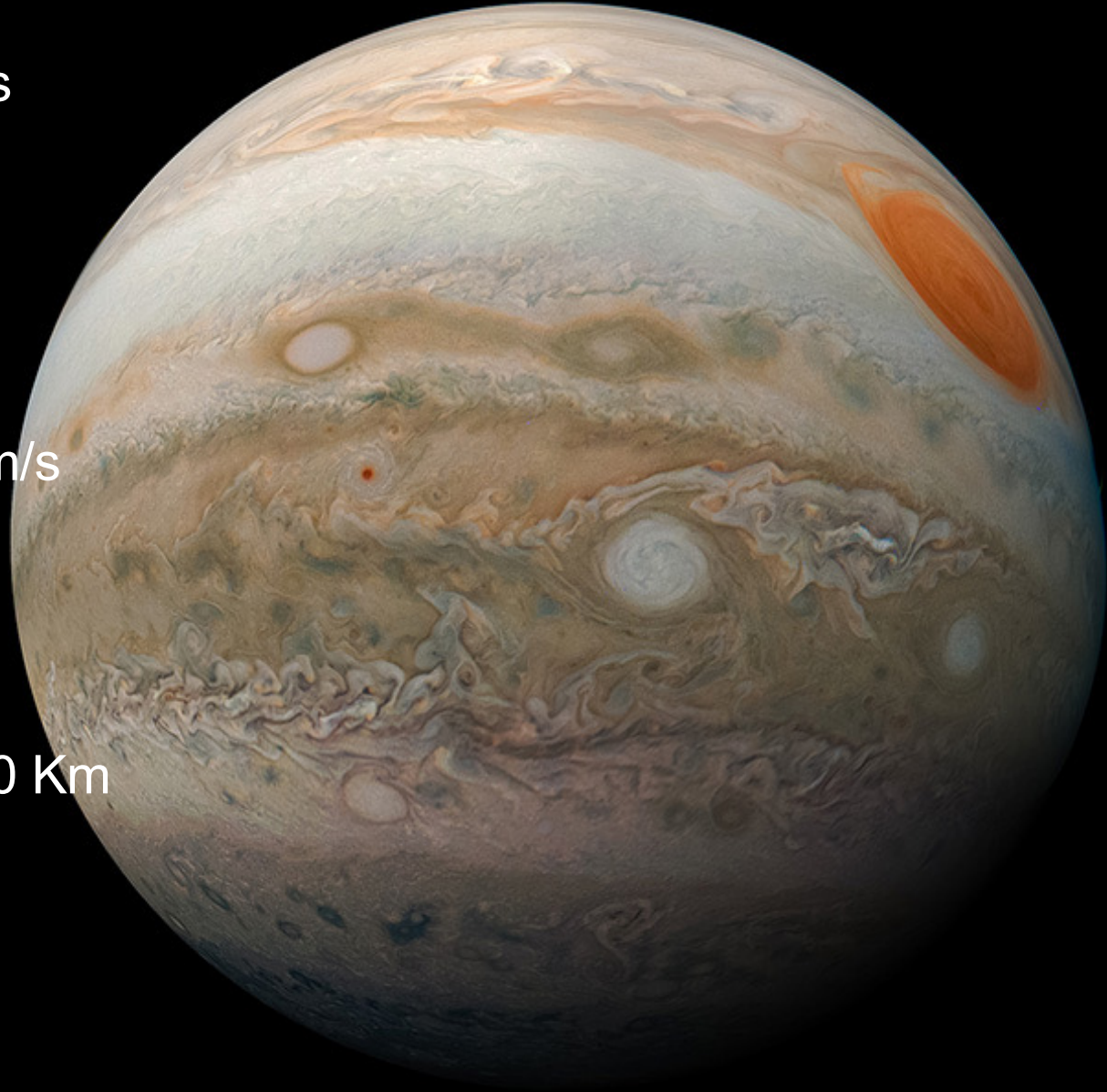
Estruturas dos Planetas Jovianos

Júpiter



Júpiter – 5.2 UA

- 1300 volumes terrestres
318 massas terrestres
raio: 70.000 Km
densidade: 1,3 g/cm
- gravidade: 2,5 g
veloc. de escape: 60 Km/s
- rotação de 9:50 horas
- Io: vulcões ativos
Ganimedes: diam. 5200 Km



Júpiter

Júpiter possui mais de
79 satélites naturais

$$D = 11,19 D_{\text{Terra}}$$

$$M = 318 M_{\text{Terra}}$$

Rotação \cong 09h 50m

Composição:

- gás hidrogênio (90% da matéria do planeta)
 - hélio (10%)
 - traços de gás metano
 - gás amônia
- pouco de vapor d' água

Temperatura = -100 °C

Mancha Vermelha de Júpiter

A área da Mancha Vermelha
diminuiu para 1/3 de sua área
de 150 anos atrás

H.S. Schwabe

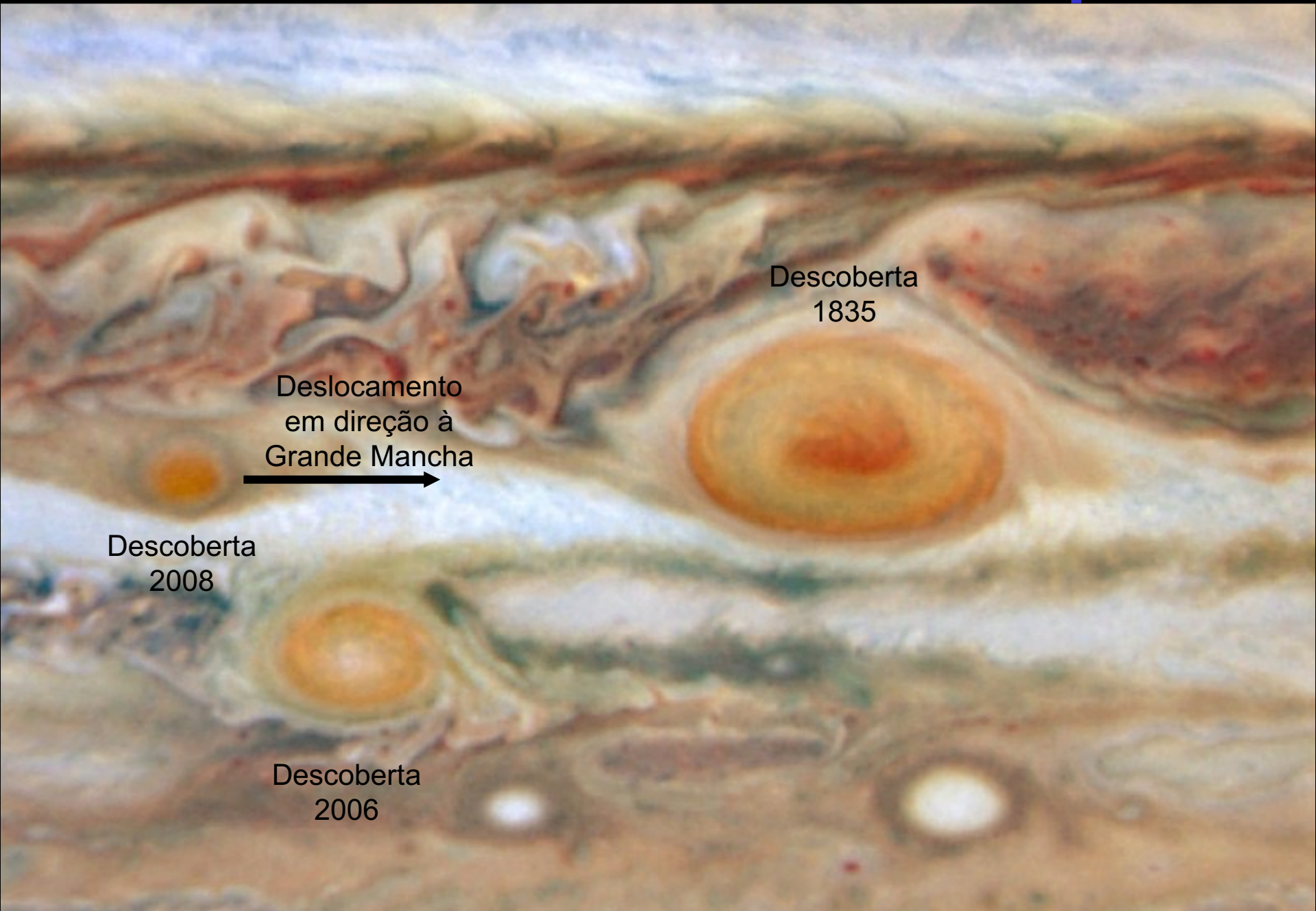
1831

Fez o primeiro desenho
onde
aparece a

Mancha Vermelha



3 Manchas Vermelhas de Júpiter



Descoberta
1835

Deslocamento
em direção à
Grande Mancha

Descoberta
2008

Descoberta
2006

Aurora Polar

Detalhes de Júpiter

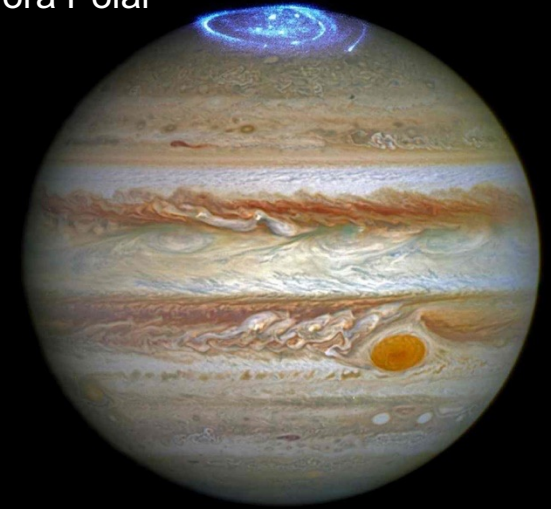


Foto com a sonda Juno



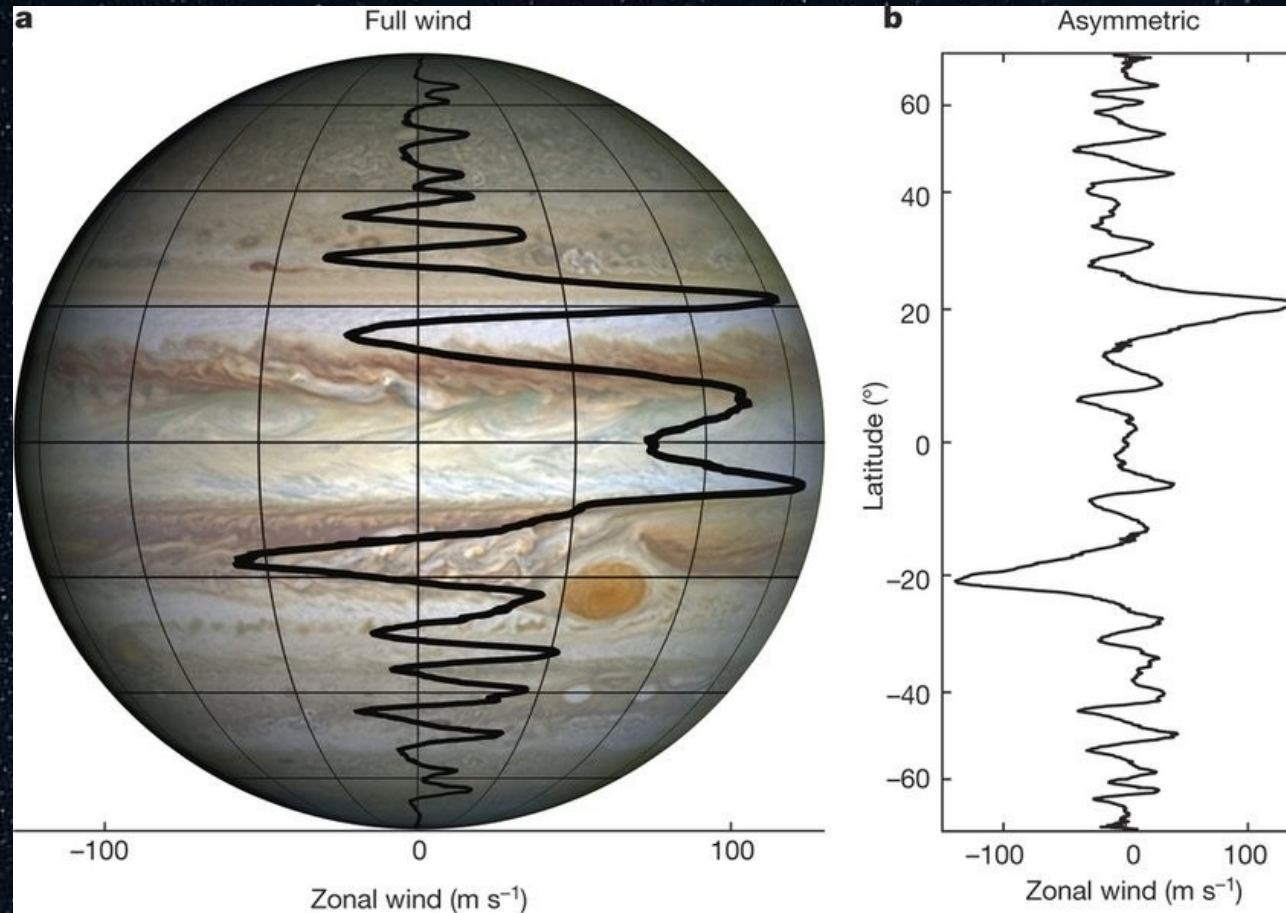
Detalhes de Júpiter

Júpiter emite $\sim 2\times$ mais energia do que recebe do Sol

Origem:

a) Decaimento radiativo dos elementos em seu núcleo
b) contração do gás (~ 10 cm/séc) (mecanismo de Kelvin-Helmholtz)

Com tanta energia, não é surpreendente que a atmosfera seja muito dinâmica com química complexa e tempestades longevas com ventos de $\sim 300 - 640$ km/h



Anéis de Júpiter

Origem:
poeira de colisões
de micrometeoritos –
100 vezes menos brilhante que os de Saturno

Amalthea



Adrastea



Rings

Diffraction Spike
from Io

Aurora's Diffraction

Northern Aurora



Rings

Io's footprint

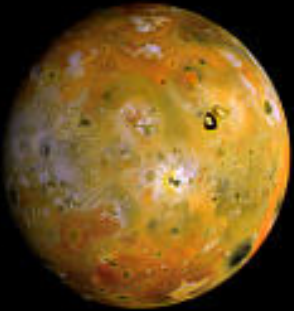


Southern Aurora

Aurora's Diffraction

Satélites Galileanos

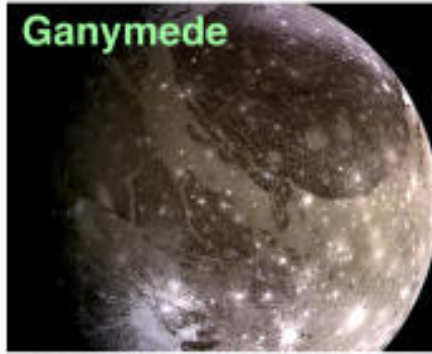
Io



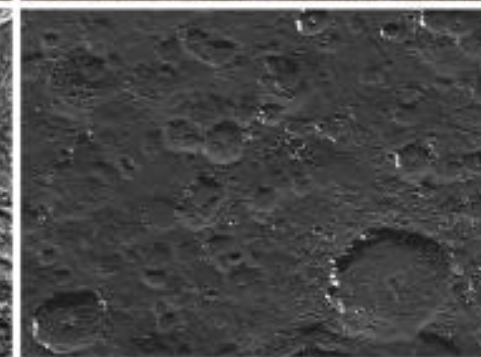
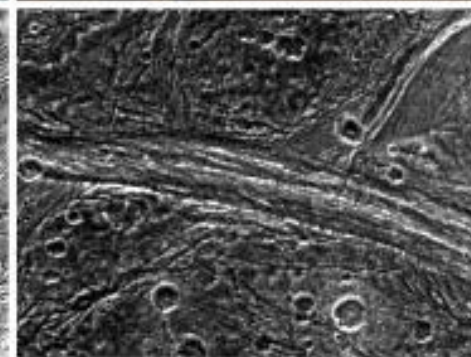
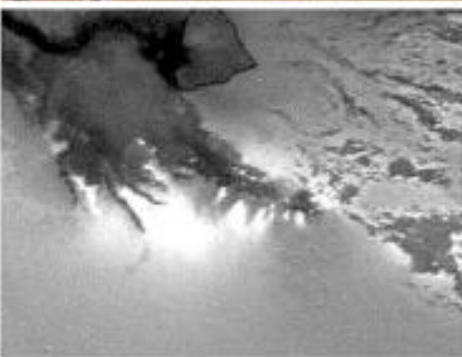
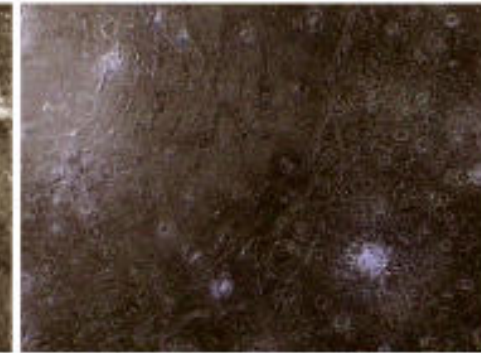
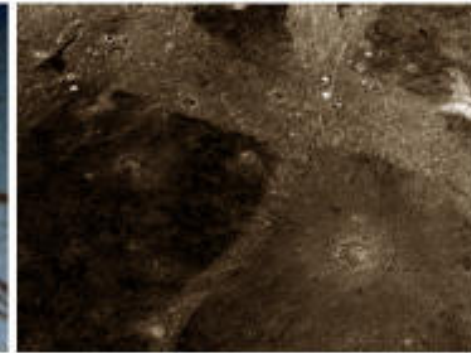
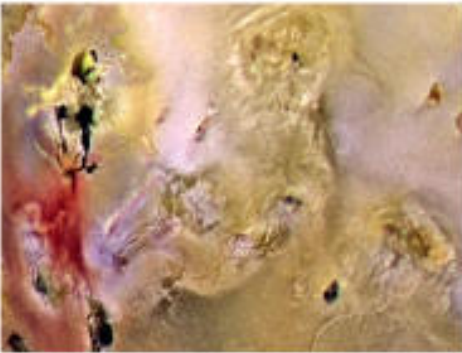
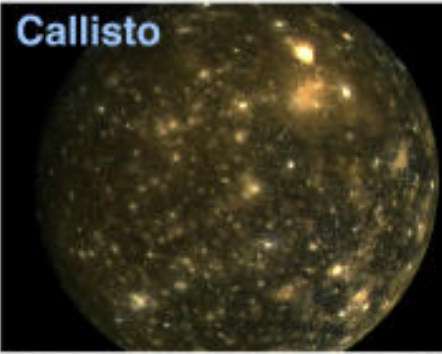
Europa



Ganymede



Callisto



- Quarto a solidificar.
- Marés intensas.
- Atividade interna.
- Cratera de vulcões.

- Terceiro a solidificar.
- Sem crateras.
- Superfície gelada.
- Sup. < 100 M anos.
- Água no sub-solo.

- Segundo a solidificar.
- Menos craterado.
- Movimento de placas.

- Primeiro a solidificar.
- Superfície antiga.
- Mais craterado.

Mais de
1.000 anéis
concêntricos

Saturno

Composição:

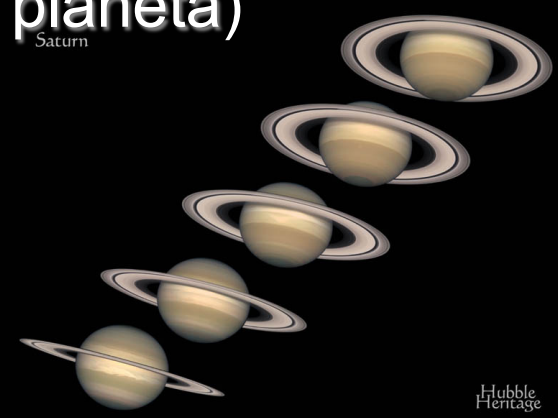
- gás hidrogênio (97% da matéria do planeta)
- hélio (3%)
- traços de gás metano
- gás amônia
- pouco de vapor d' água

$$D = 9,47 D_{Terra}$$
$$M = 95,2 M_{Terra}$$

Rotação \cong 10h 14m

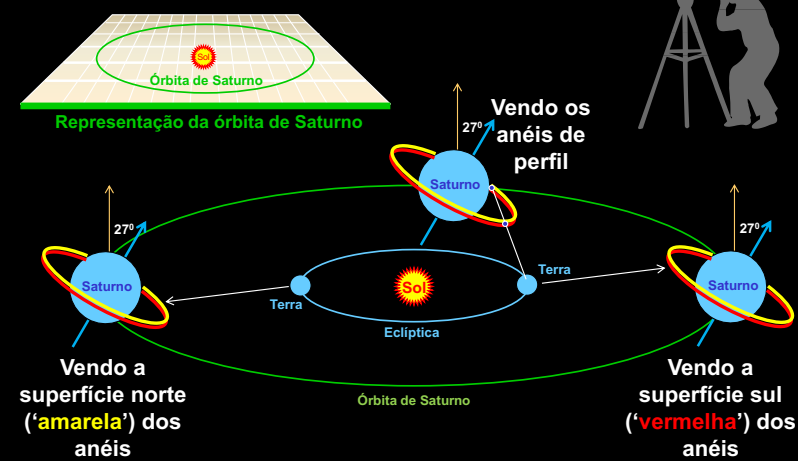
Temperatura = -140 °C

Saturno possui mais de
82 satélites naturais.



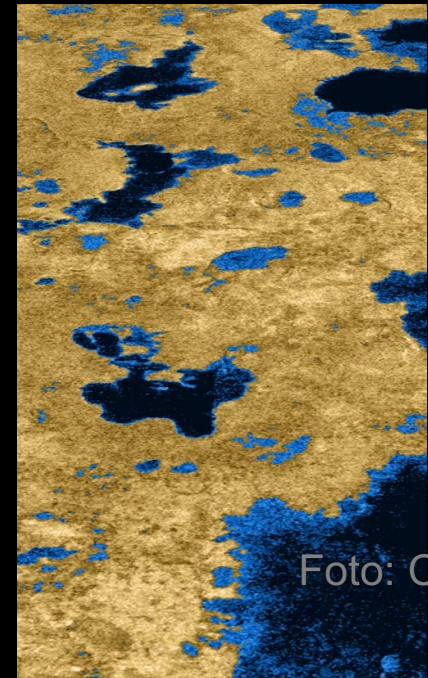
Hubble Heritage
NASA and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA) • Hubble Space Telescope WPC2 • STScI-PRC01-15

Visibilidade dos anéis de Saturno



Titan

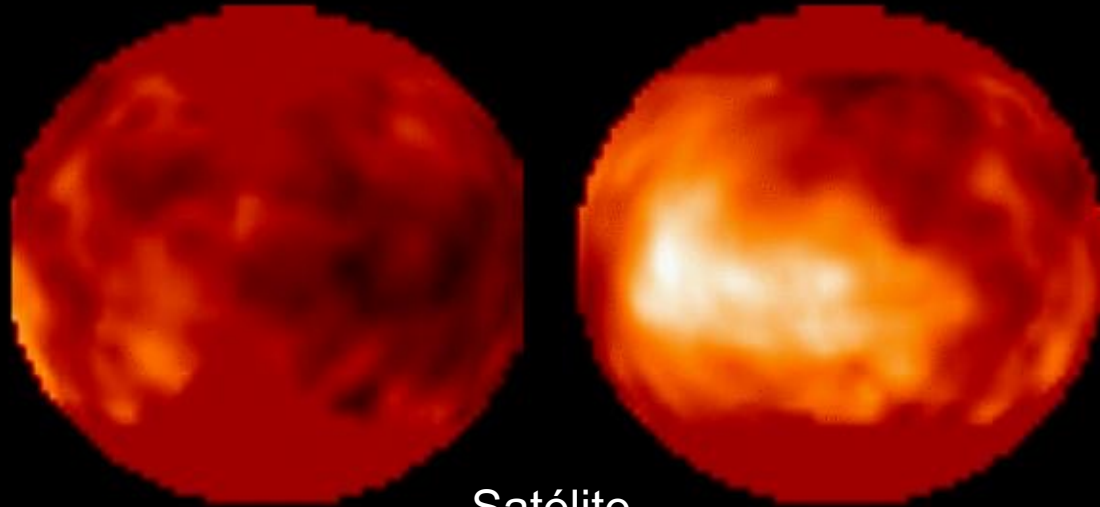
segunda maior lua do sistema solar após Ganimedes



Cores falsas

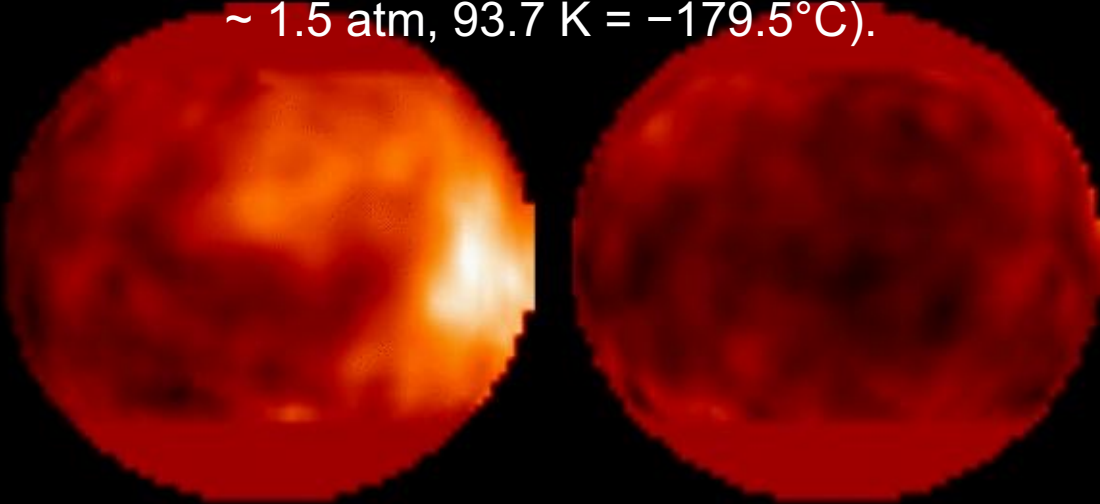
Foto: Cassini

Em sua superfície há dunas, rios, lagos e oceanos (provavelmente de metano e etano líquido)



Satélite

com atmosfera (~4× mais densa que a da Terra, P ~ 1.5 atm, 93.7 K = -179.5°C).



Titan



An artist's illustration of ancient impacts on Saturn's moon Titan

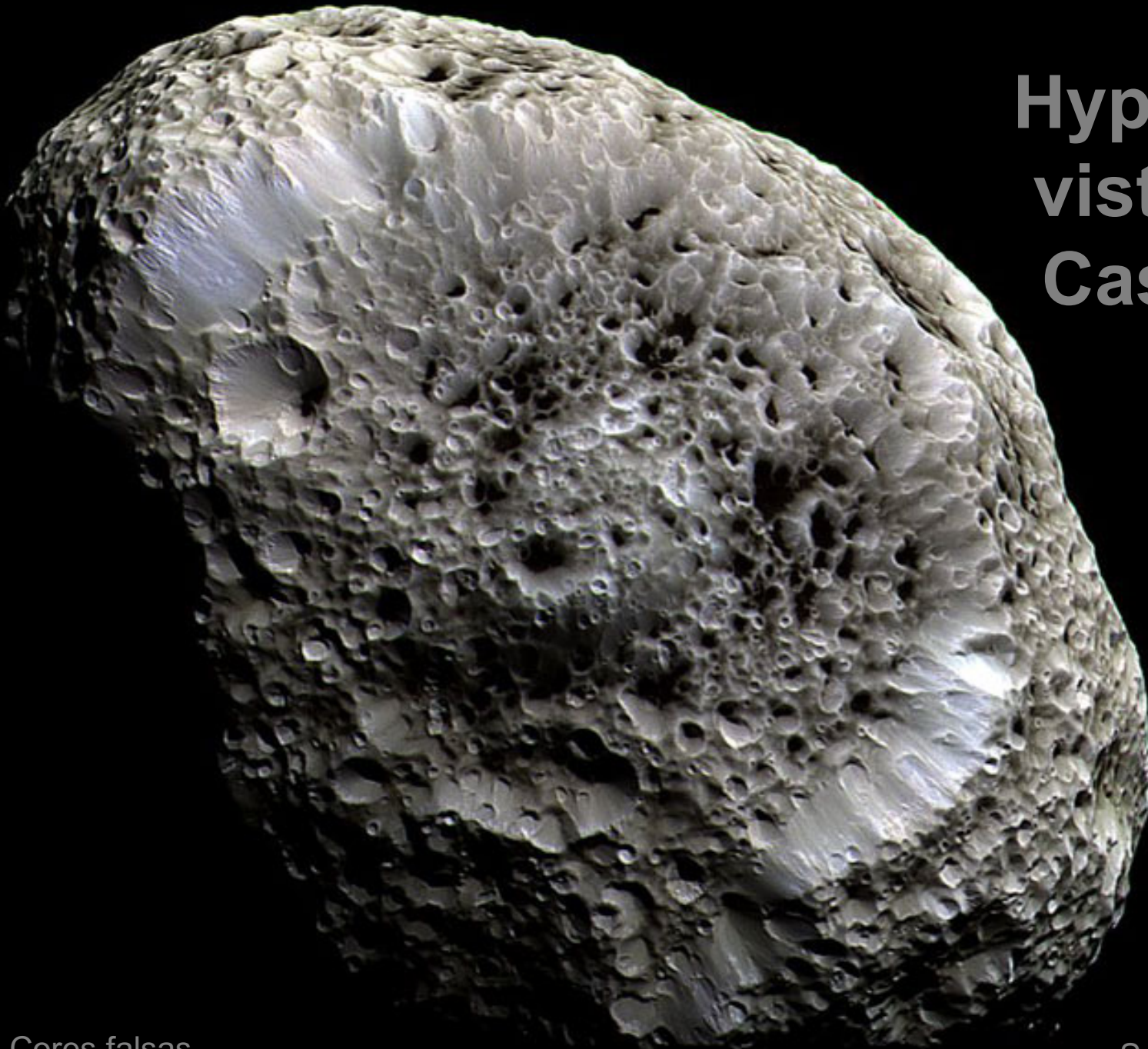


Enceladus

(Satélite de Saturno)

Obtida pela sonda Cassini

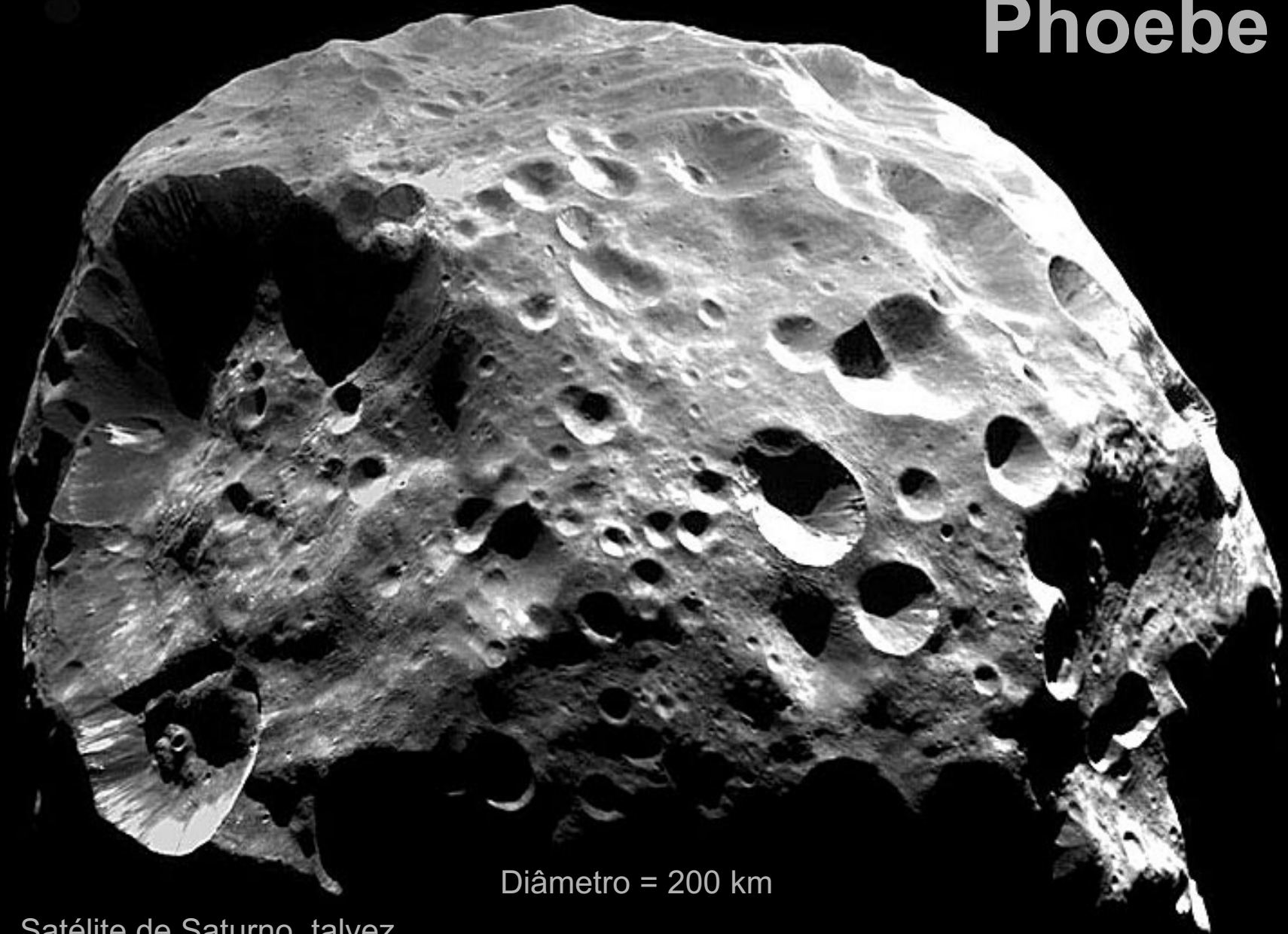
Hyperion visto da Cassini



Cores falsas

Satélite de Saturno

Phoebe

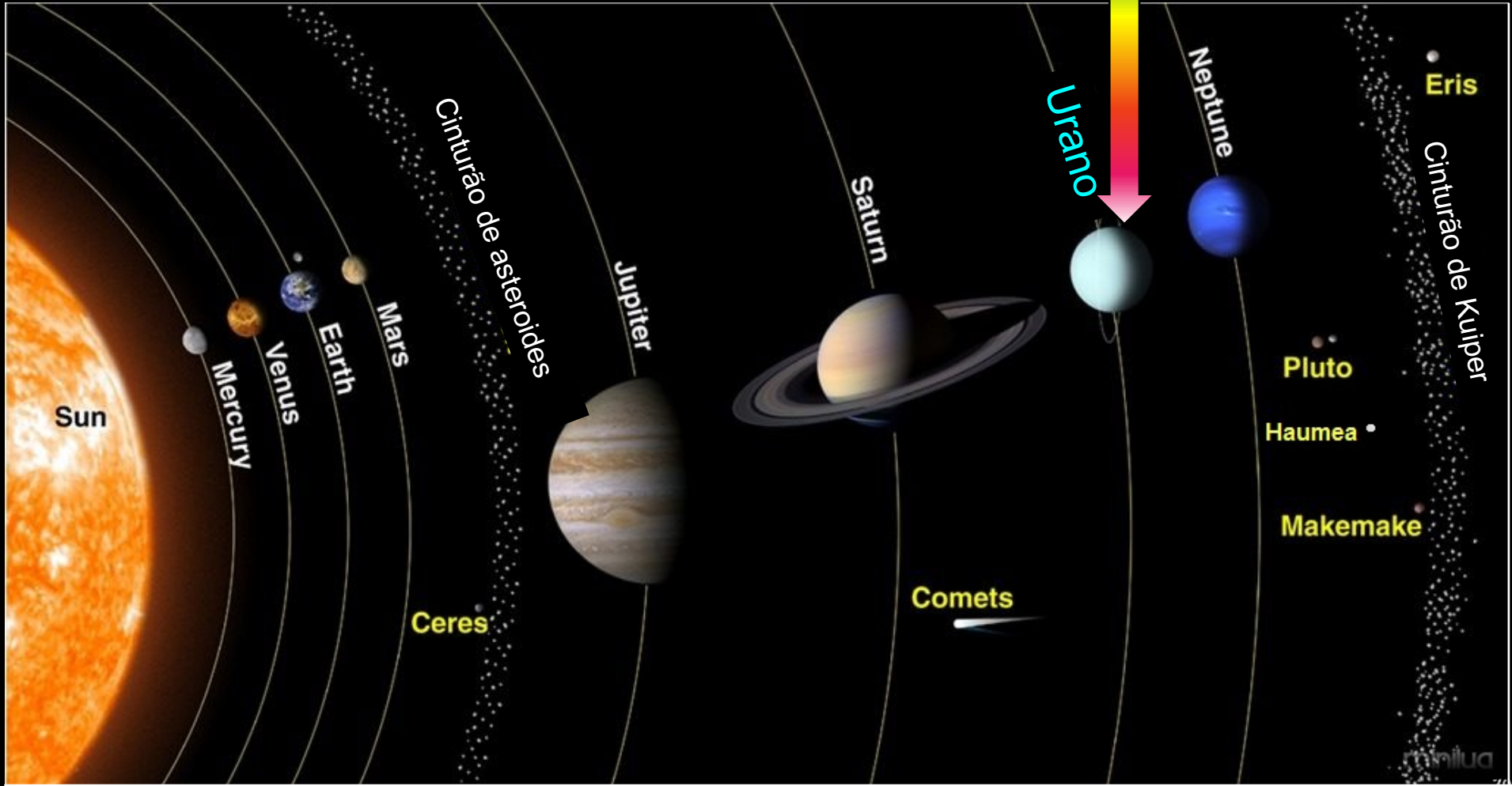
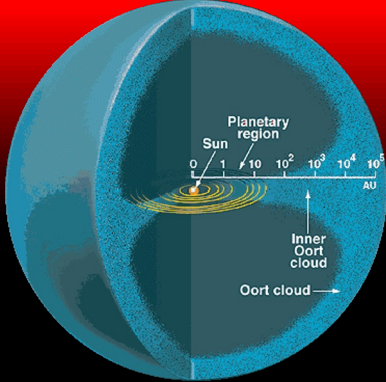


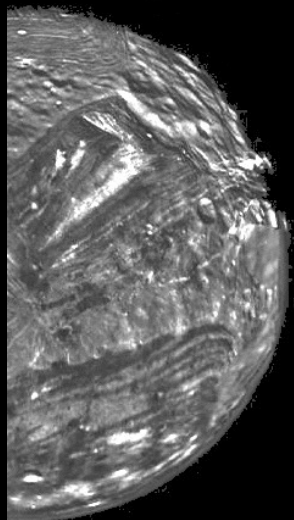
Diâmetro = 200 km

Satélite de Saturno, talvez
capturado do Cinturão de Kuiper

Foto: Cassini

Urano





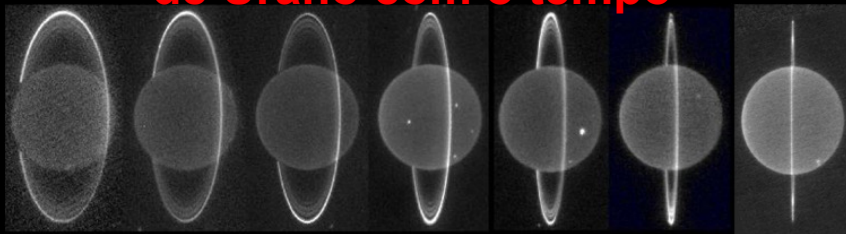
Satélite
Miranda

Urano

$D = 3,69 D_{Terra}$
 $M = 14,6 M_{Terra}$

Rotação $\cong 17h 14m 24s$ (retrógrada)
Ano: 84.1 anos terrestres

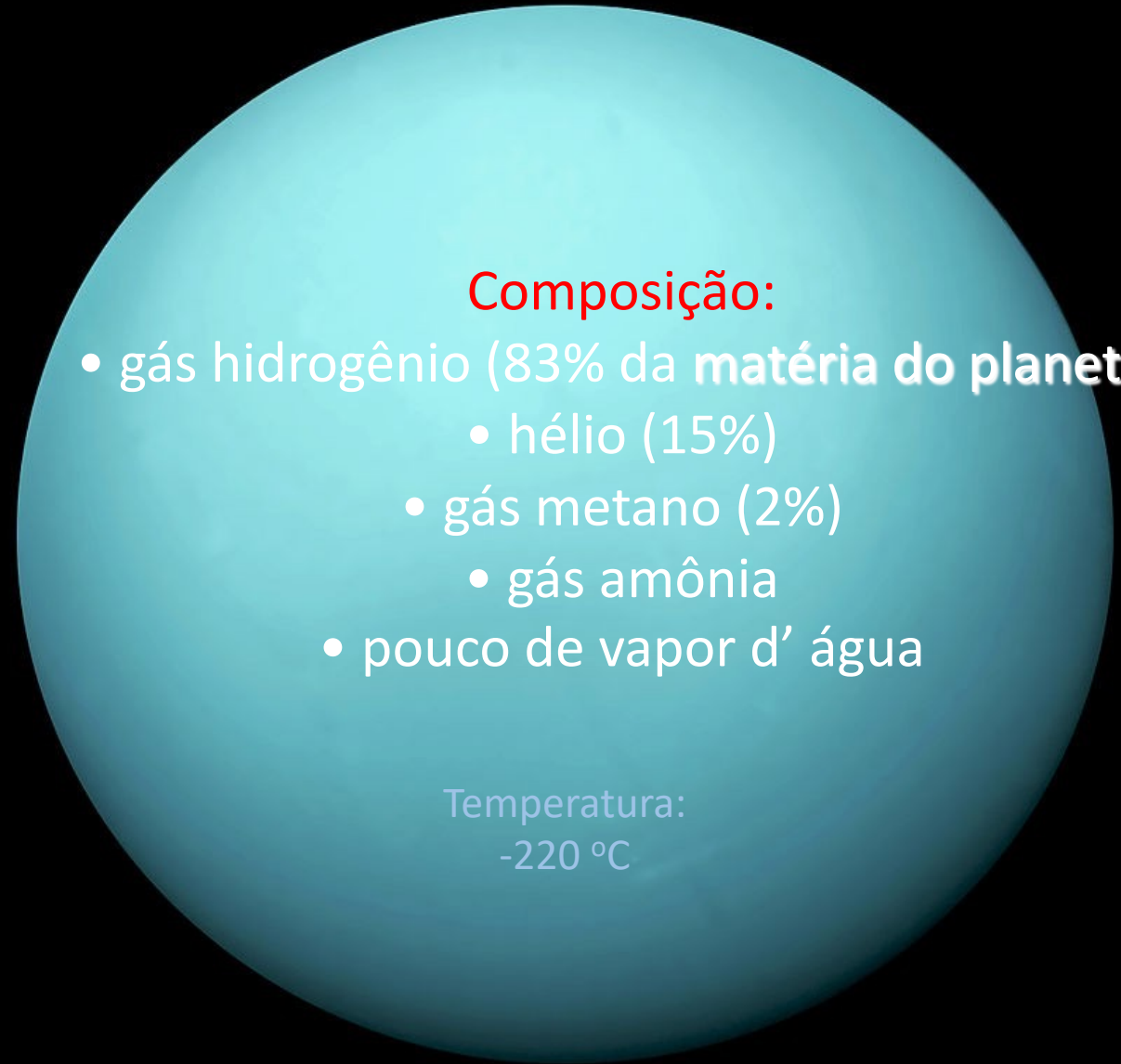
Mudança da visibilidade dos anéis de Urano com o tempo



2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007



Urano



Composição:

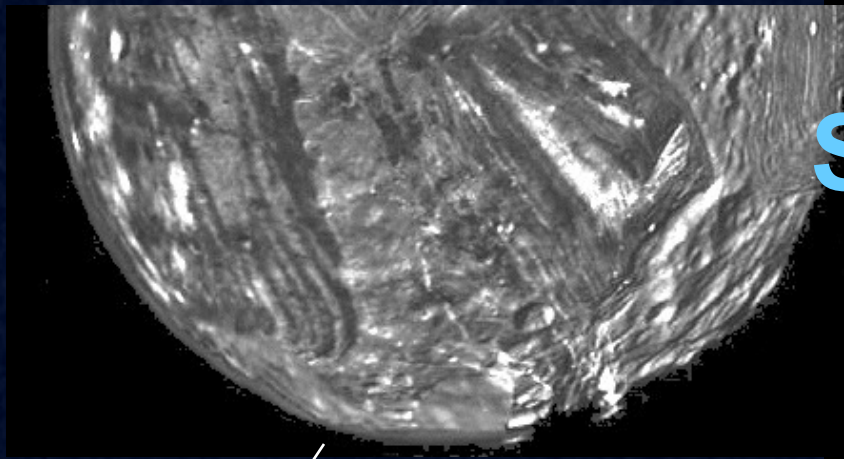
- gás hidrogênio (83% da **matéria do planeta**)
 - hélio (15%)
 - gás metano (2%)
 - gás amônia
- pouco de vapor d' água

Temperatura:

-220 °C

Titania

Umbriel



Satélites de Urano

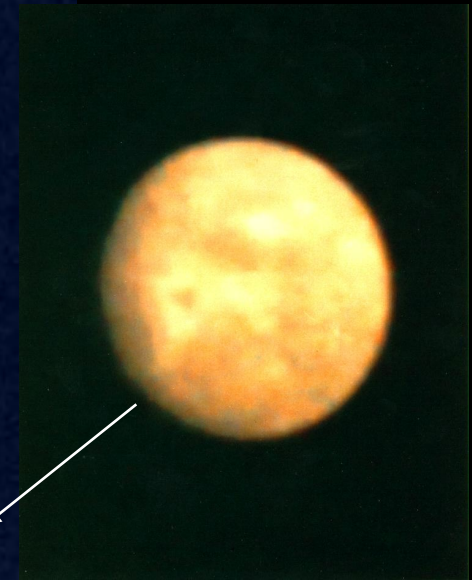


Miranda

Portia →

← Puck

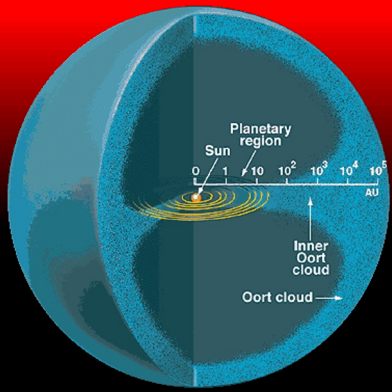
Ariel



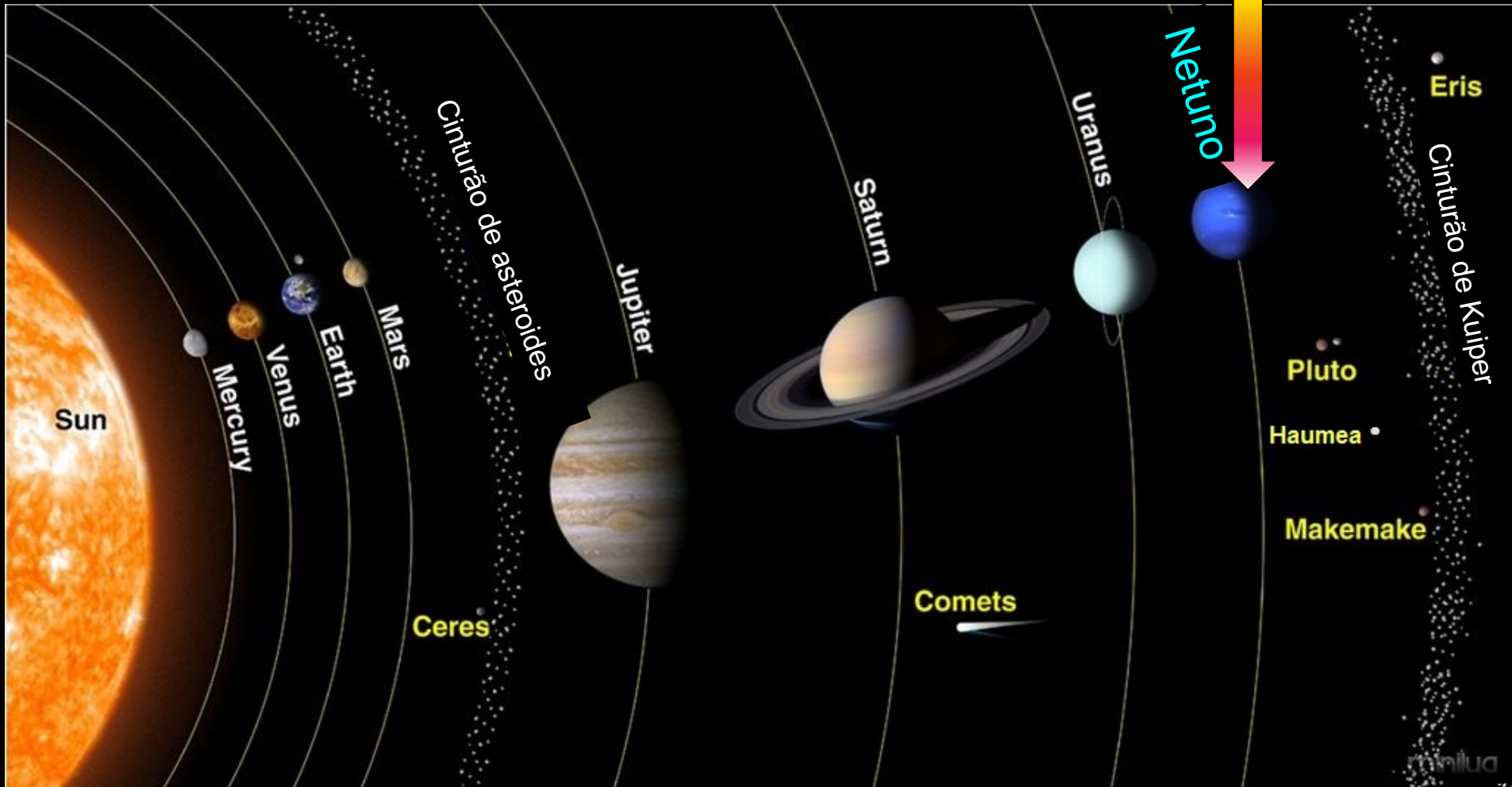
Oberon

20 arcsec

Urano possui mais de 27 satélites naturais.



Netuno



Netuno

Composição:

- gás hidrogênio (74% da matéria do planeta)
- hélio (25%)
- gás metano (1%)
- gás amônia
- pouco de vapor d' água

Rotação \cong 16h 6m 36s

Ano = 164.8 anos terrestres

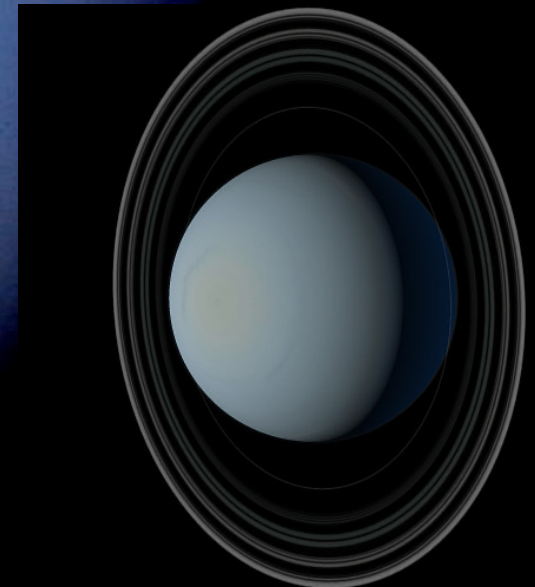
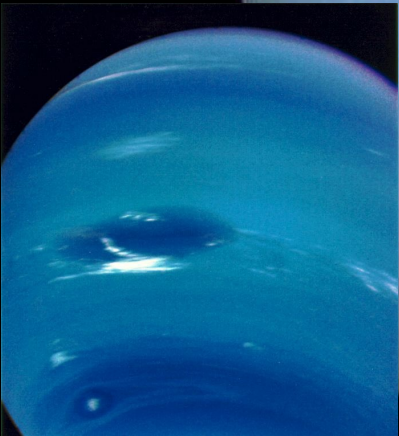
**Netuno possui mais de
13 satélites naturais.
(provavelmente capturados)**

$D = 3,5 D_{\text{Terra}}$

$M = 17,2 M_{\text{Terra}}$

Temperatura:

-200 °C



Tritão

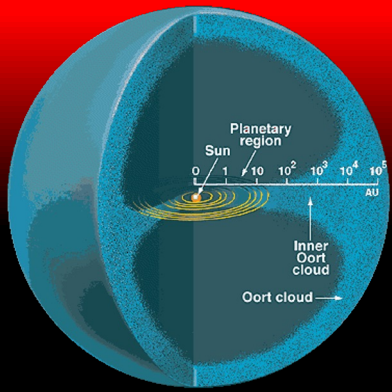
Tem tênue
atmosfera de N

- órbita mais circular do sistema solar, $e=0.000016$
- orbita retrógrada (acredita-se que foi capturada)
- Em rota de colisão com o planeta e será destruída quando atingir o limite de Roche em ~250 milhões de anos. Um novo sistema de anéis se formará a partir desses destroços.

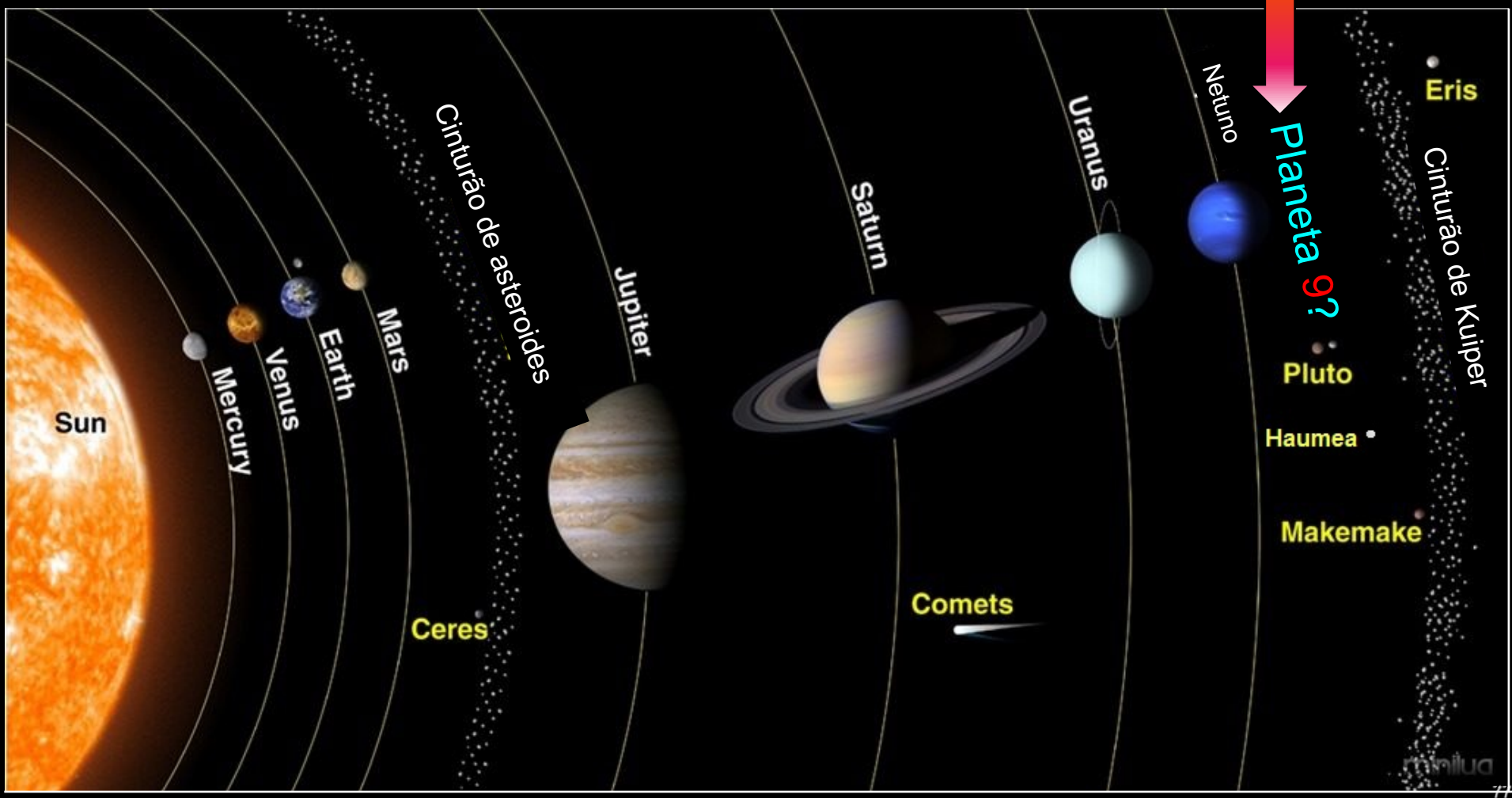
Tempertura
superficial: -236 °C

Satélite de Netuno
Foto: Voyager 2

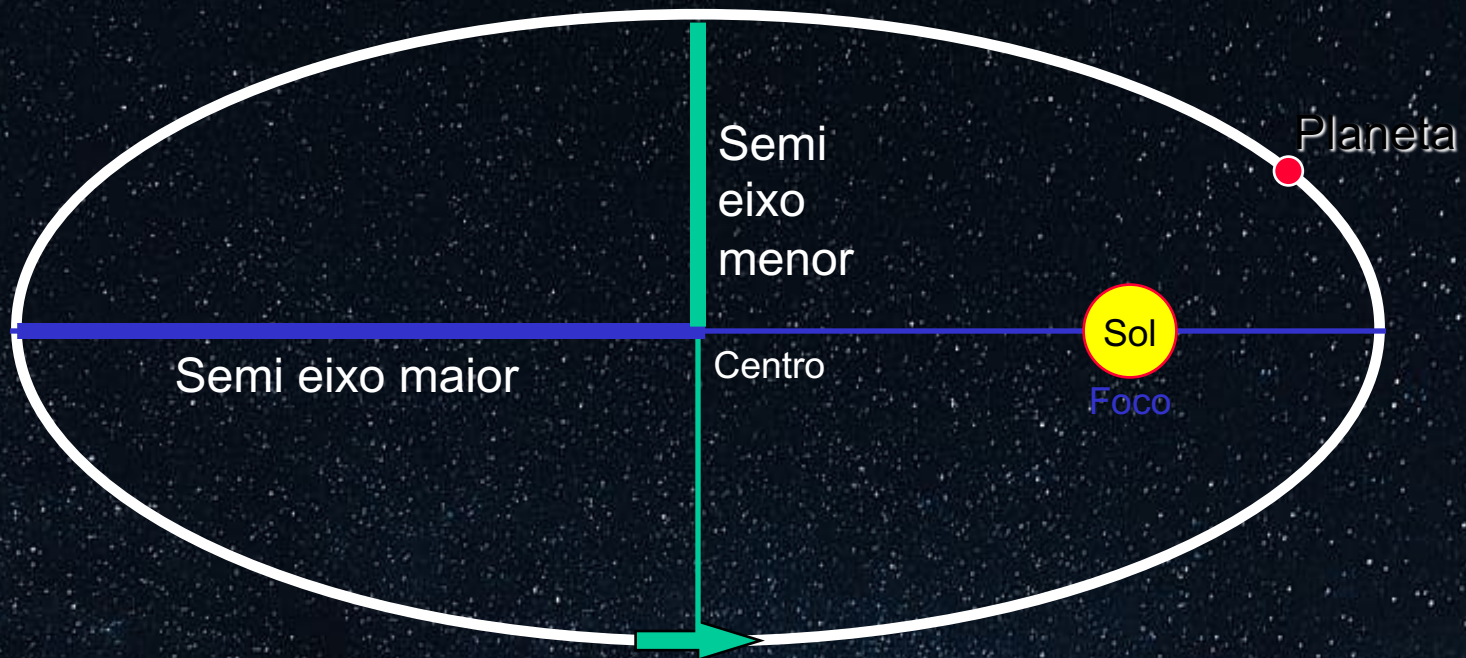
1989



Planeta 9?



Primeira lei de Kepler

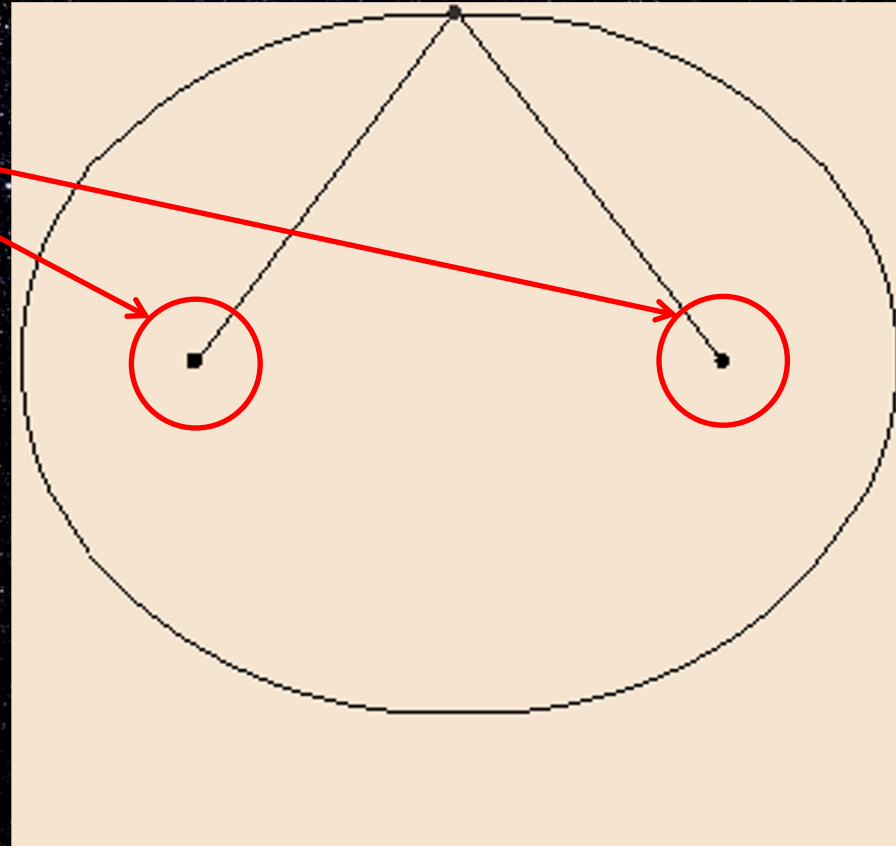
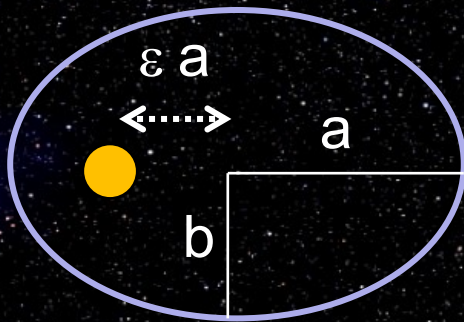


Um planeta gira em torno do Sol numa órbita elíptica, sendo que o Sol ocupa um dos focos da elipse.

Elipse

$$R_1 + R_2 = \text{cte} = 2a$$

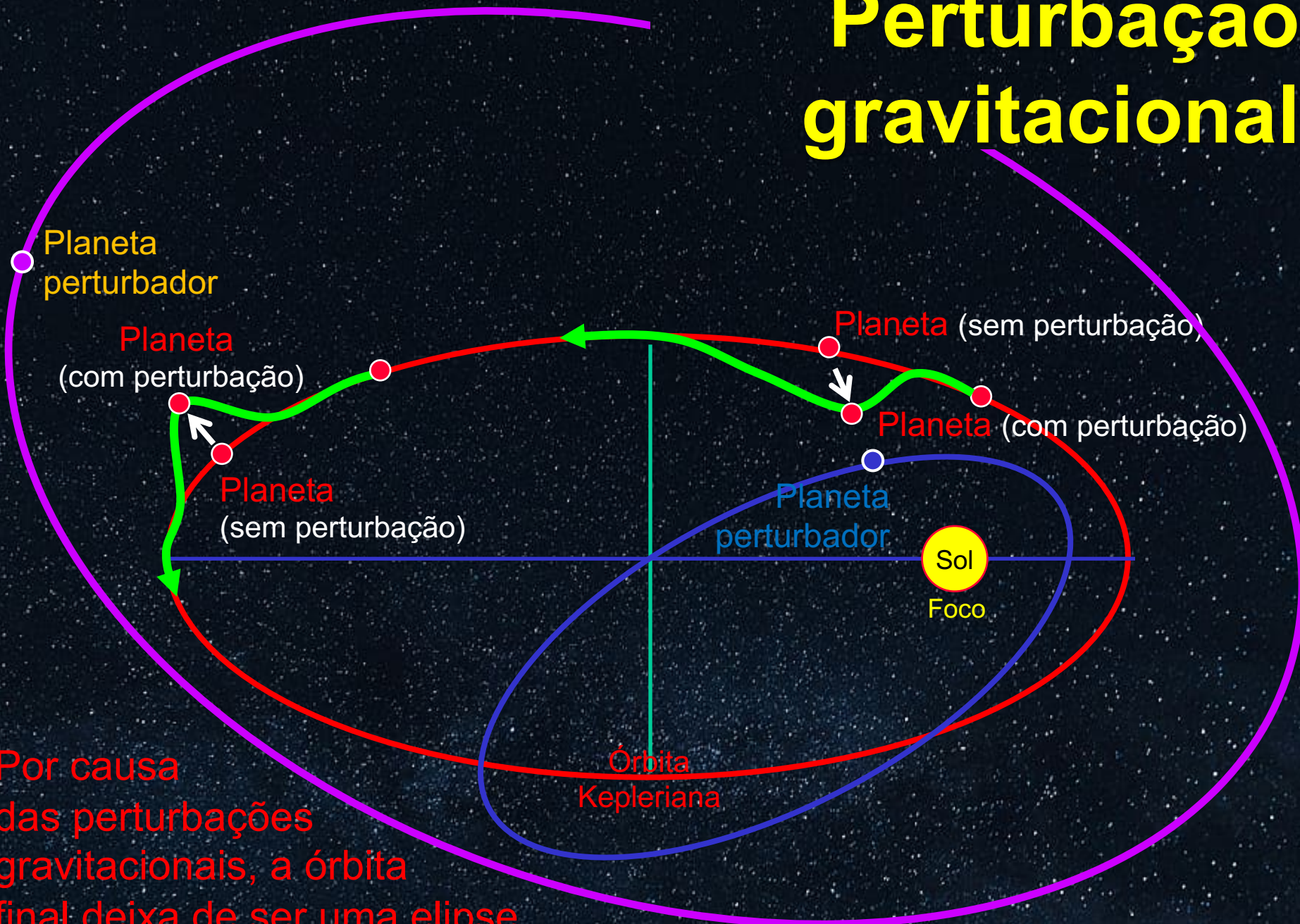
Focos da elipse



a: semi eixo maior
b: semi eixo menor
 ϵ : excentricidade

Vênus: 0.007
Terra: 0.017
Marte: 0.093
Mercúrio: 0.206

Perturbação gravitacional



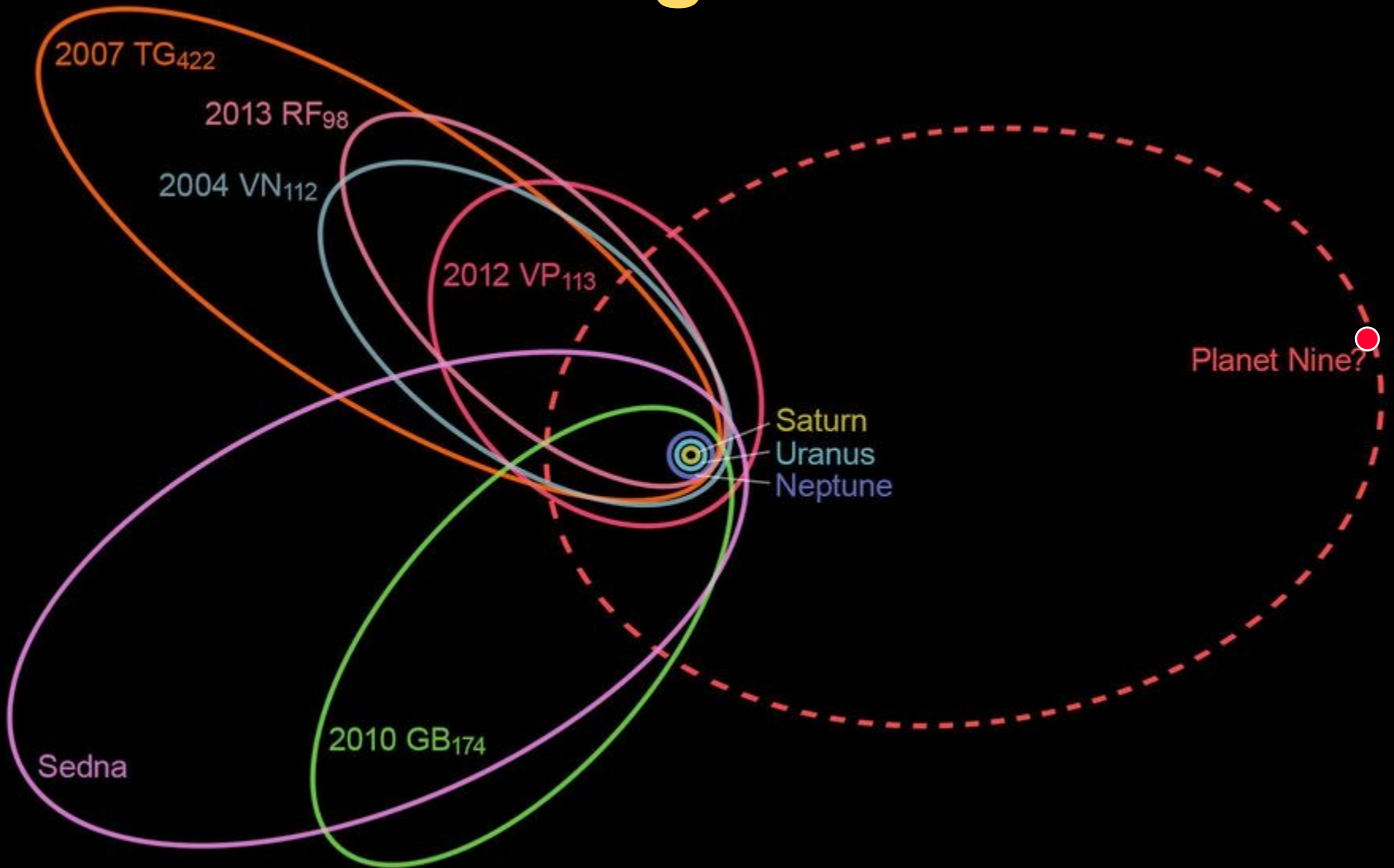
Por causa das perturbações gravitacionais, a órbita final deixa de ser uma elipse.

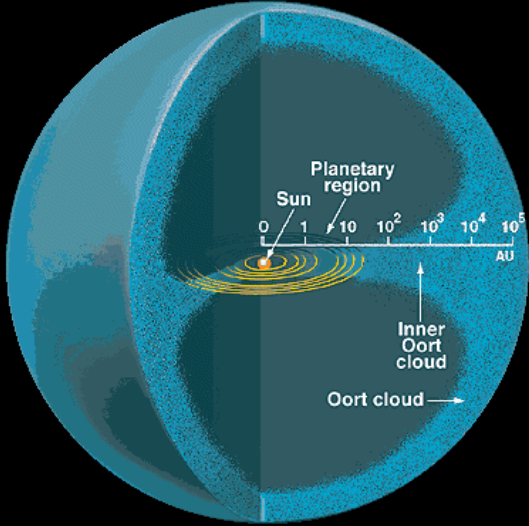
Nono planeta?

Perturbações nas órbitas de planetas conhecidos (principalmente Netuno) sugerem a existência de um planeta perturbador ainda não observado.

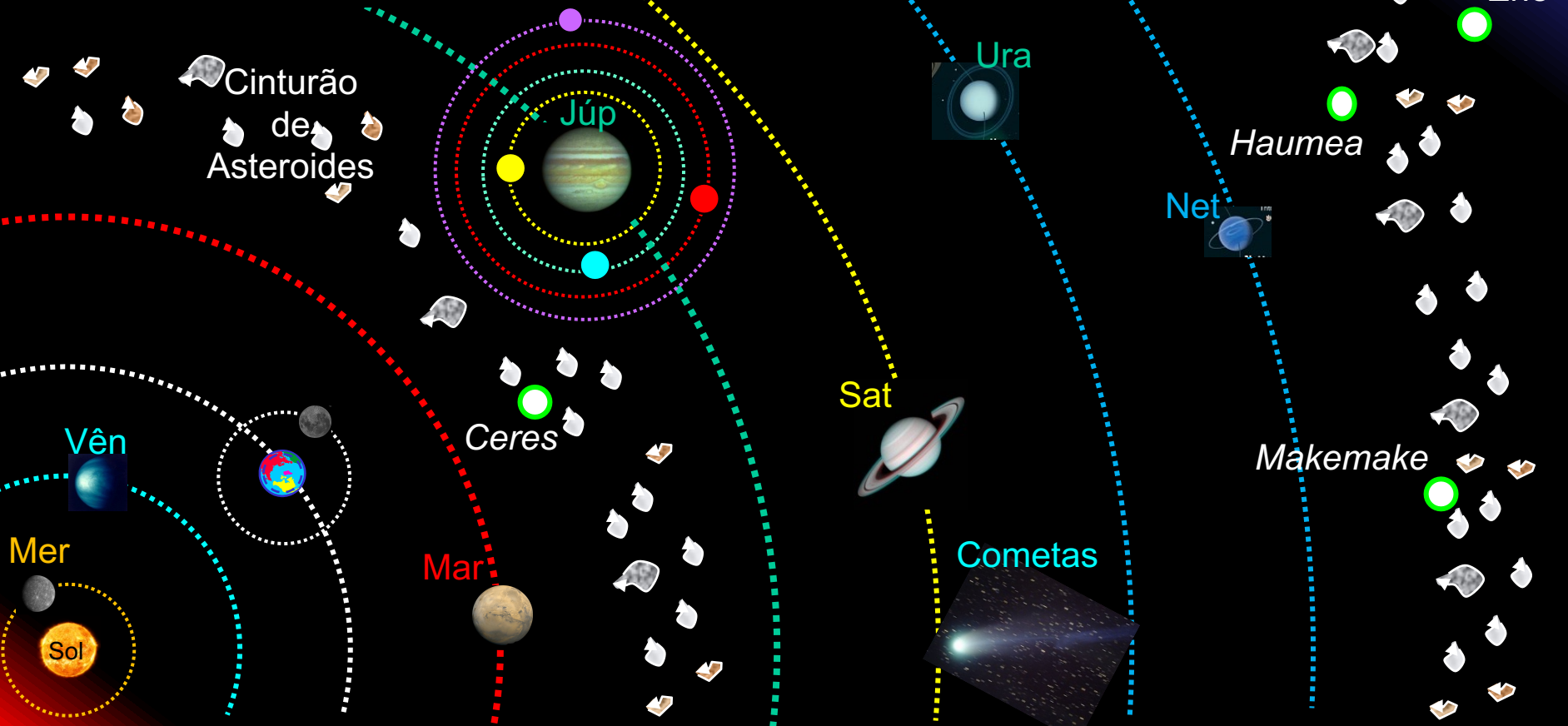


Órbita do alegado Planeta 9

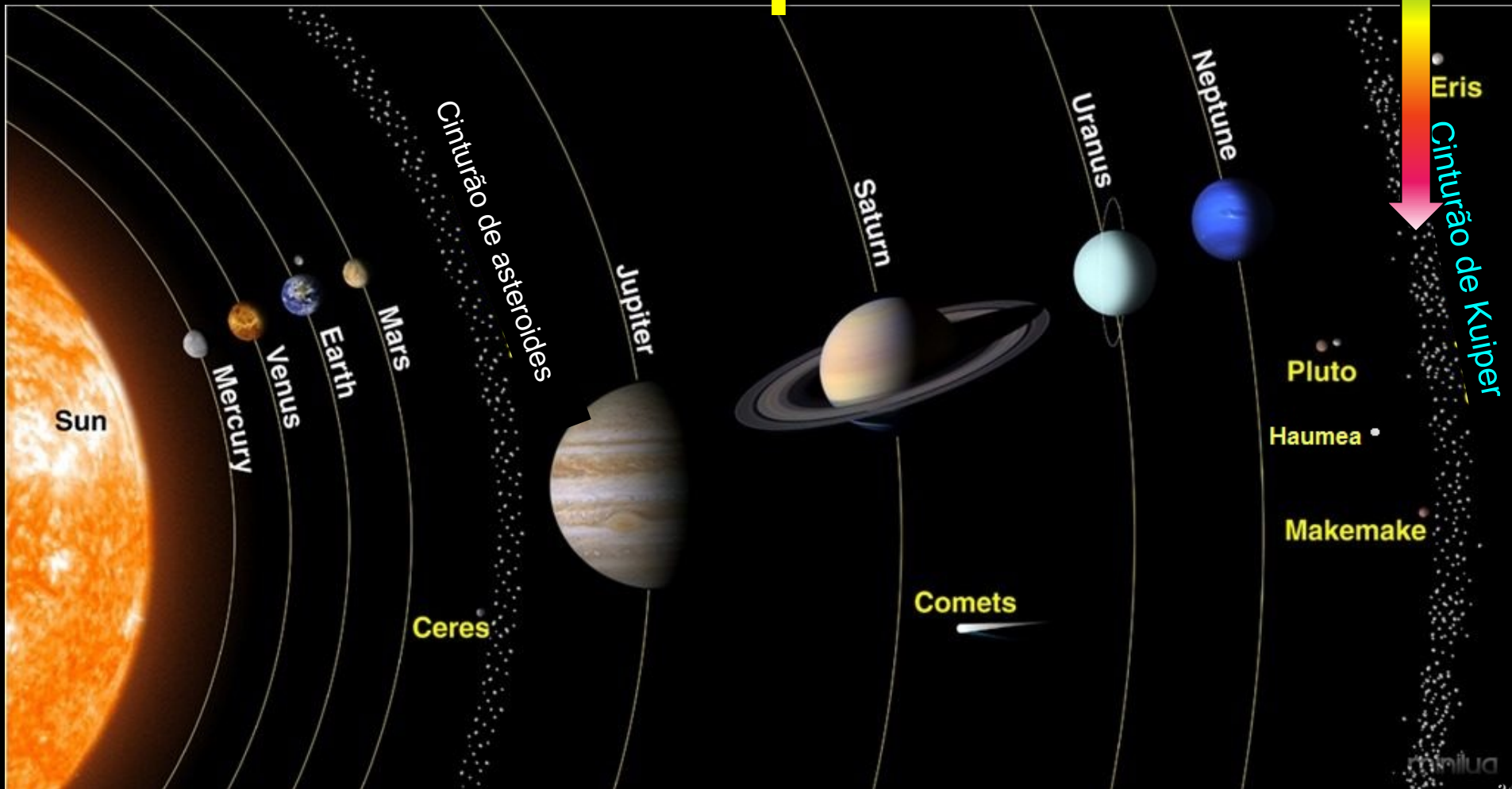
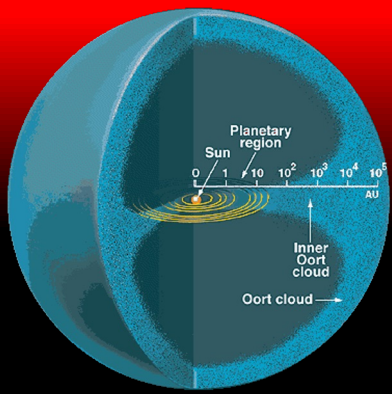




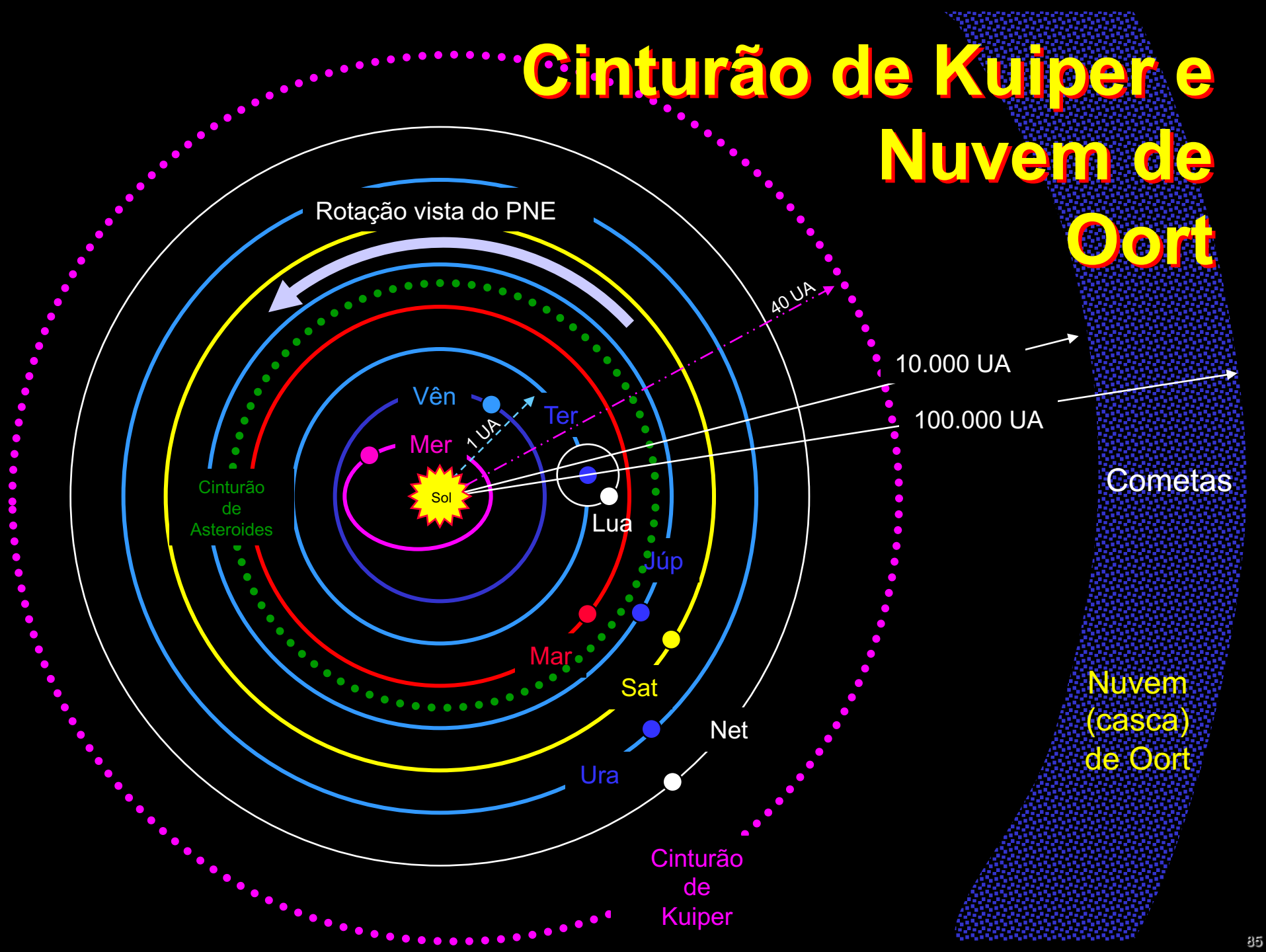
Sistema Solar até o Cinturão de Kuiper



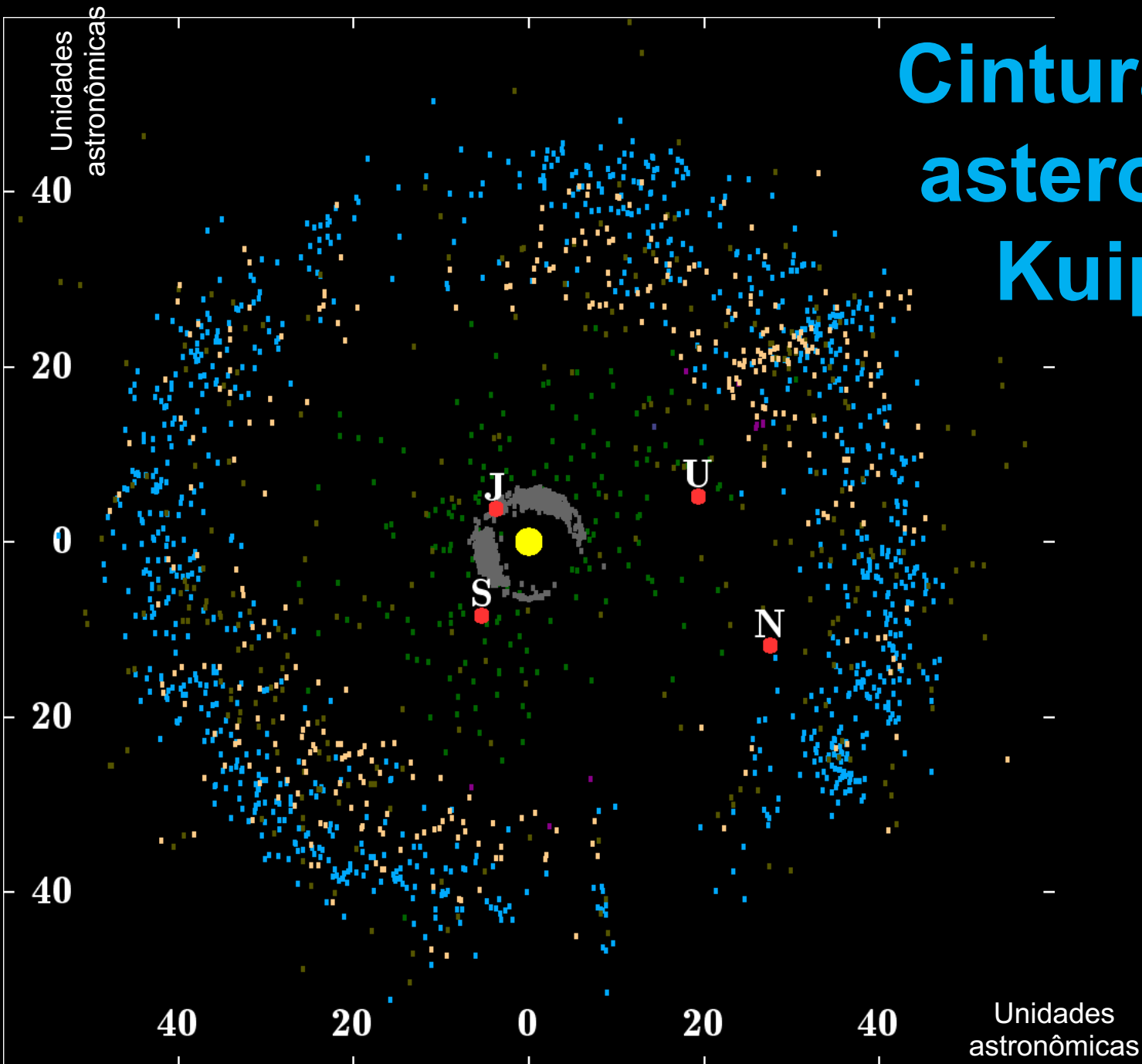
Cinturão de Kuiper



Cinturão de Kuiper e Nuvem de Oort



Cinturão de asteroides Kuiper

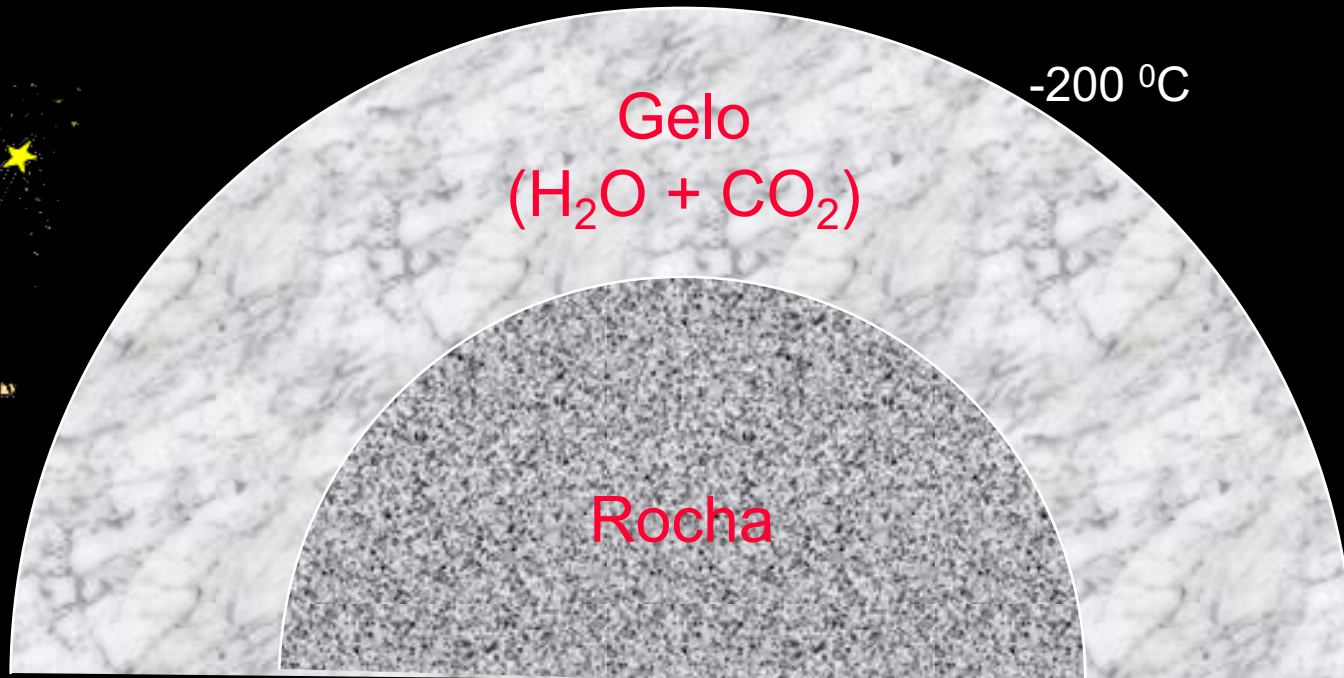


Os maiores objetos trans-netunianos



Estrutura interna de Plutão

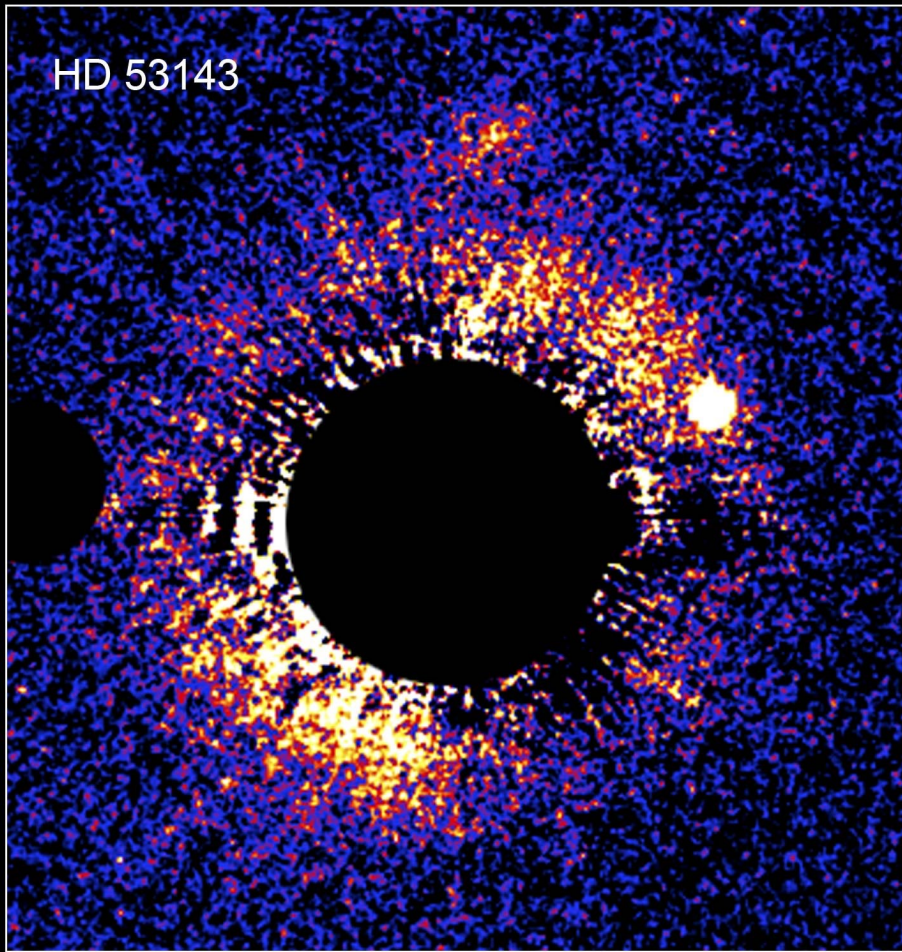
Velocidade de escape
7,7 km/s



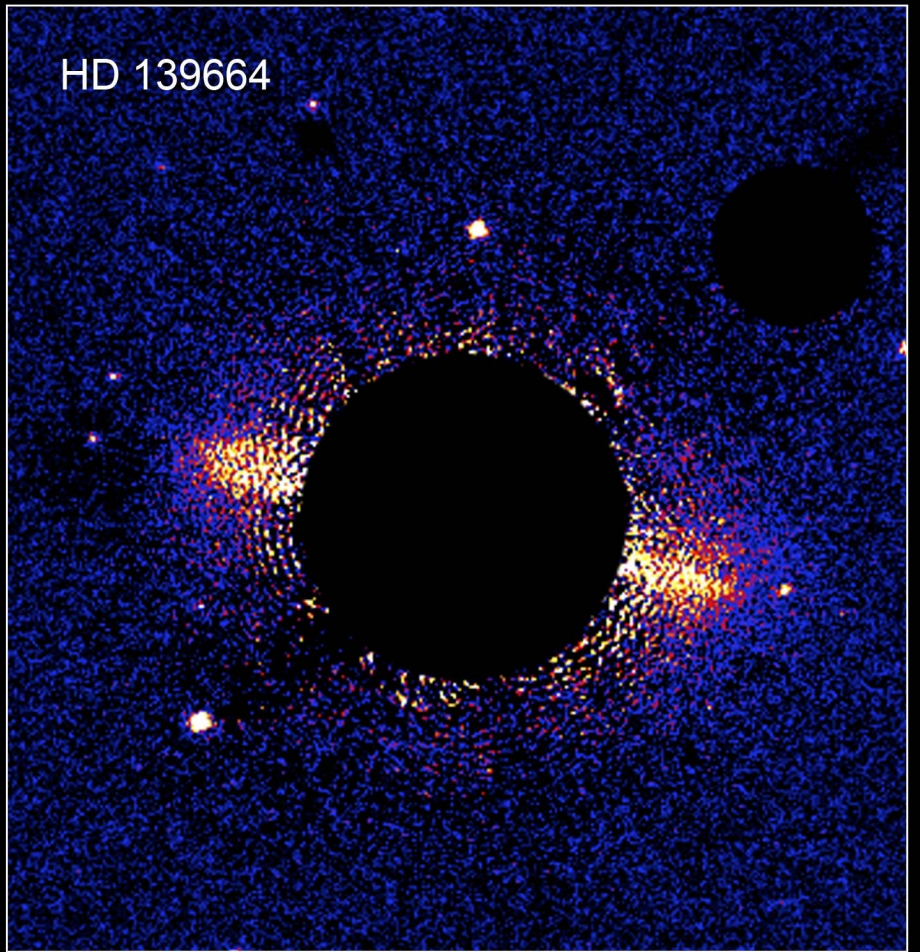
1.200 km

Cinturões de Kuiper em outras estrelas?

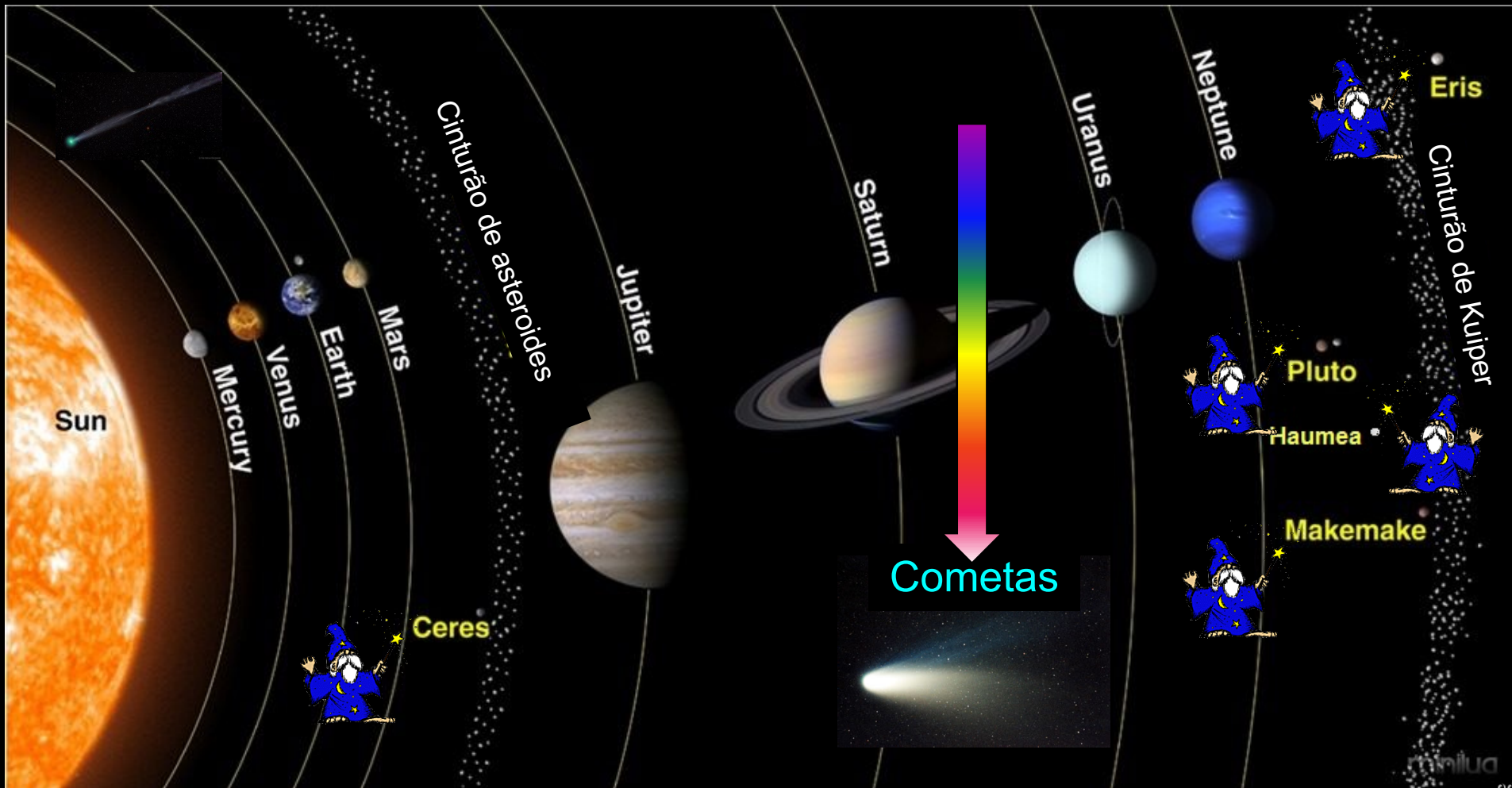
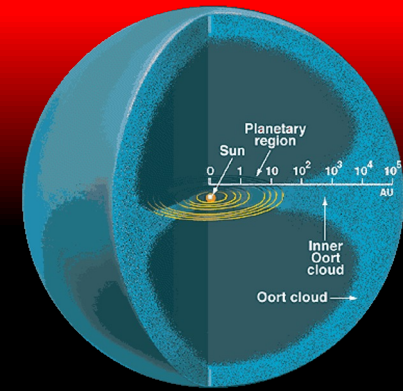
HD 53143



HD 139664



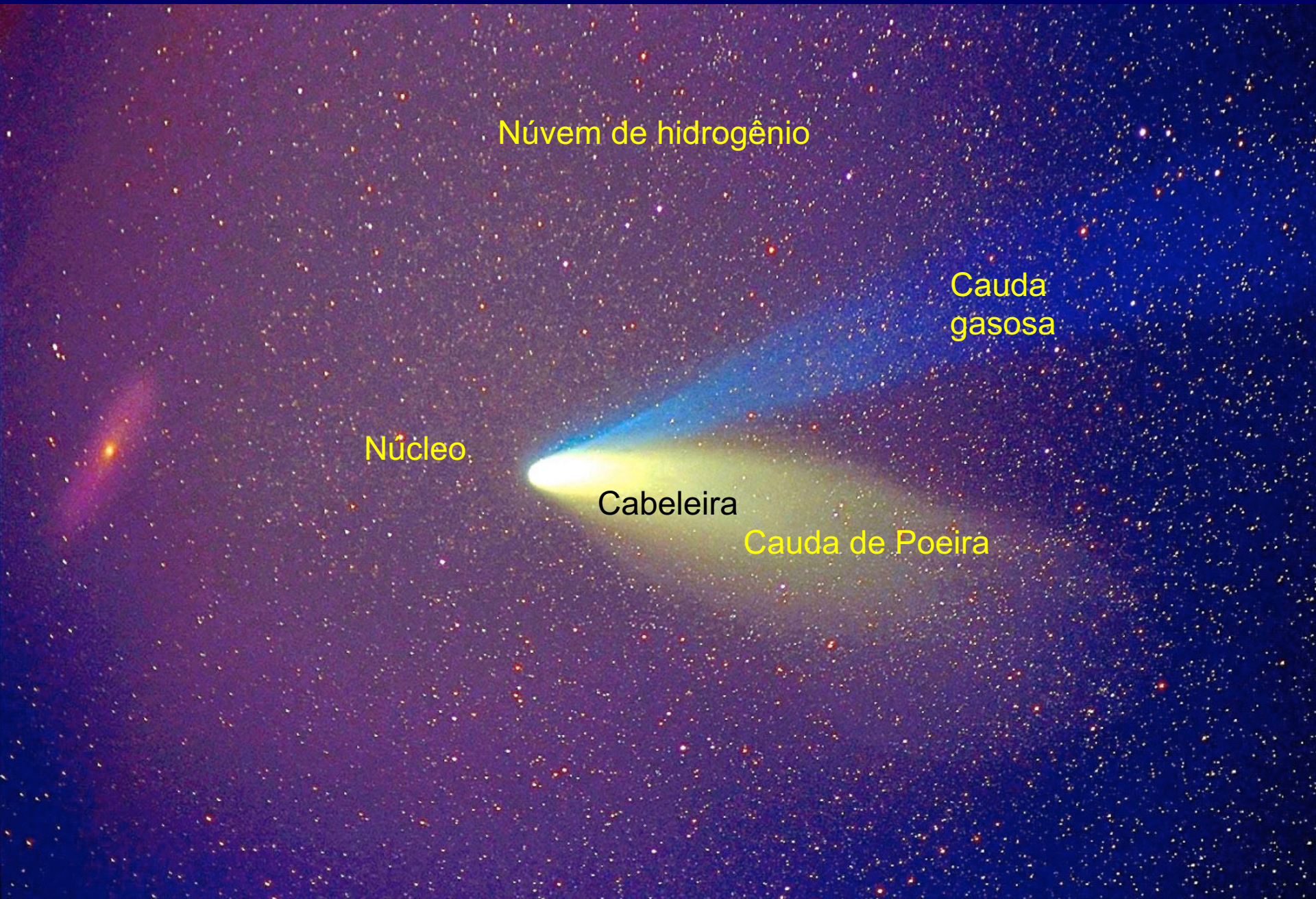
Cometas



Visão de um cometa



Estrutura de um cometa



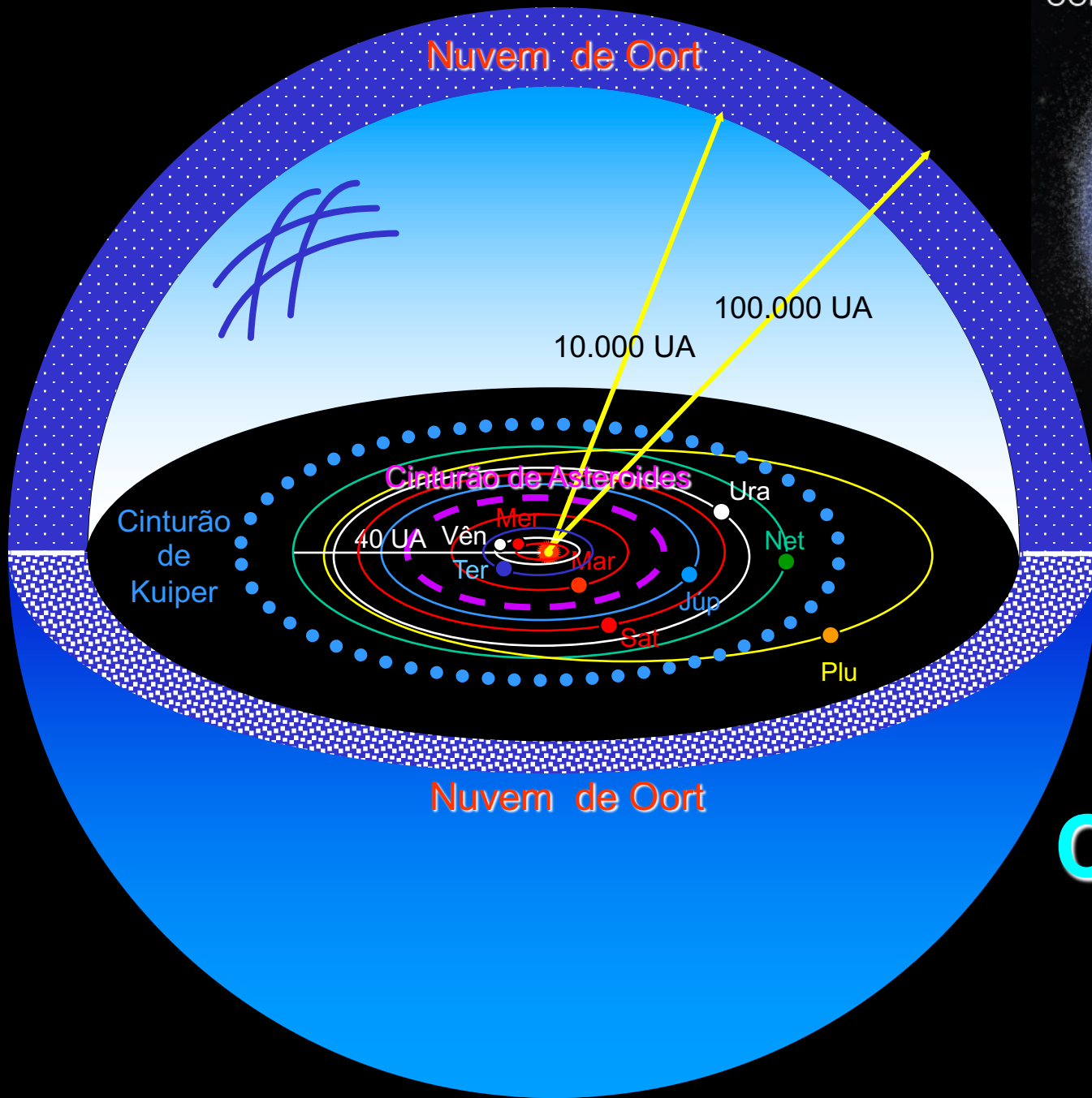
Núvem de hidrogênio

Cauda
gasosa

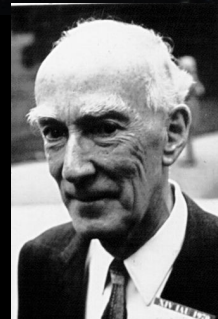
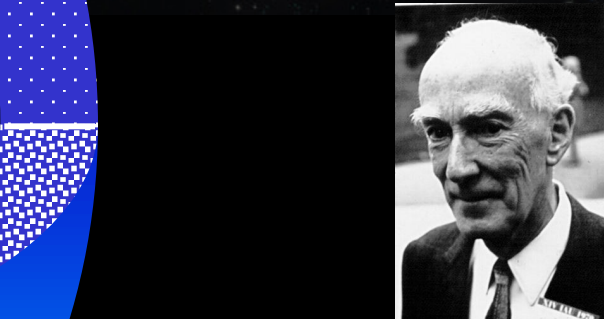
Núcleo

Cabeleira

Cauda de Poeira



OORT CLOUD



Oort

Confins do Sistema Solar

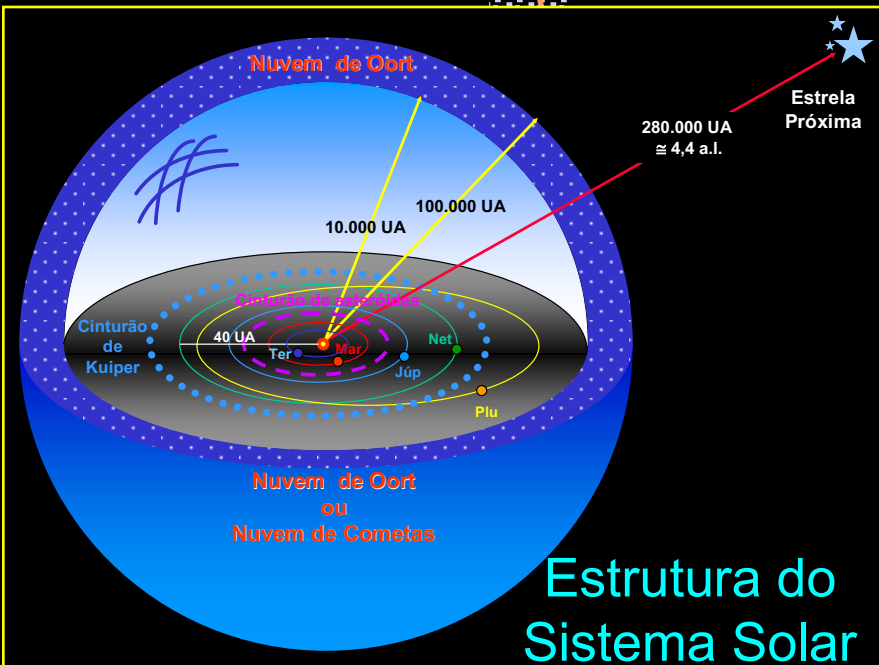
Origem dos Cometas

Distância entre Sol e Terra: 1 Unidade Astronômica

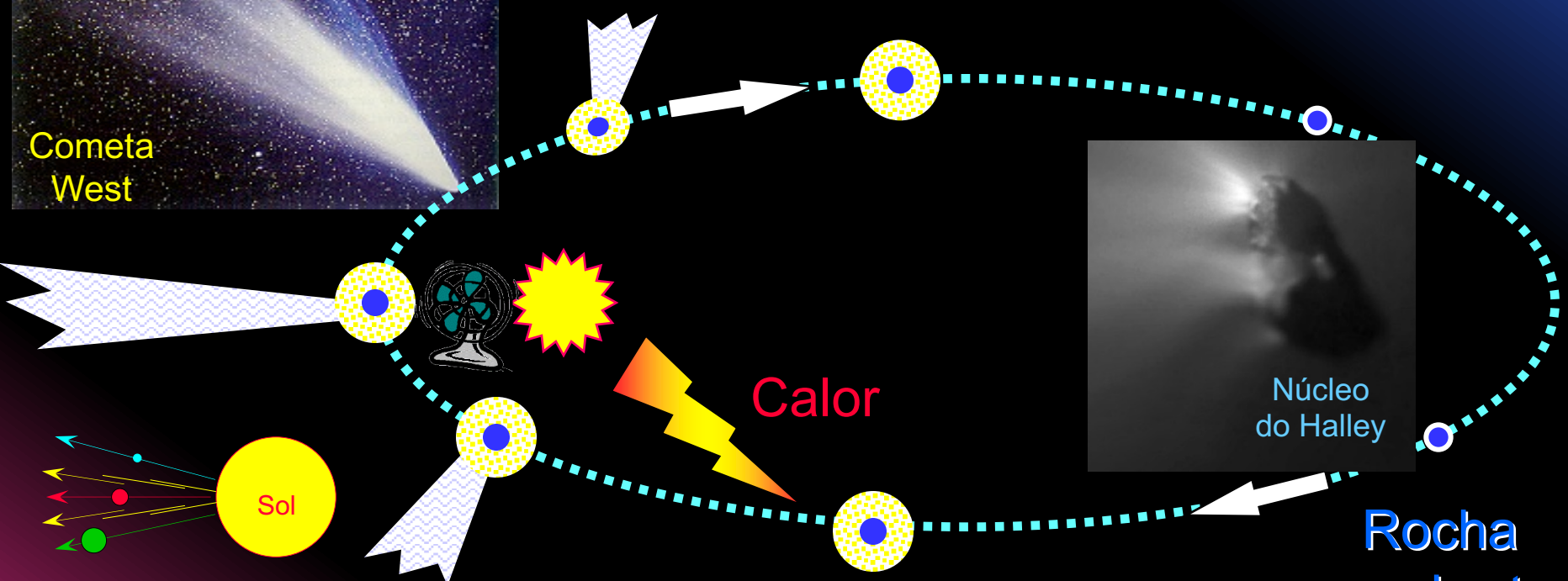
Planeta de grande massa

100 000 ua

100 bilhões de cometas




Estrutura de um cometa



Cauda
gerada pelo
Vento e pela
Radiação solares

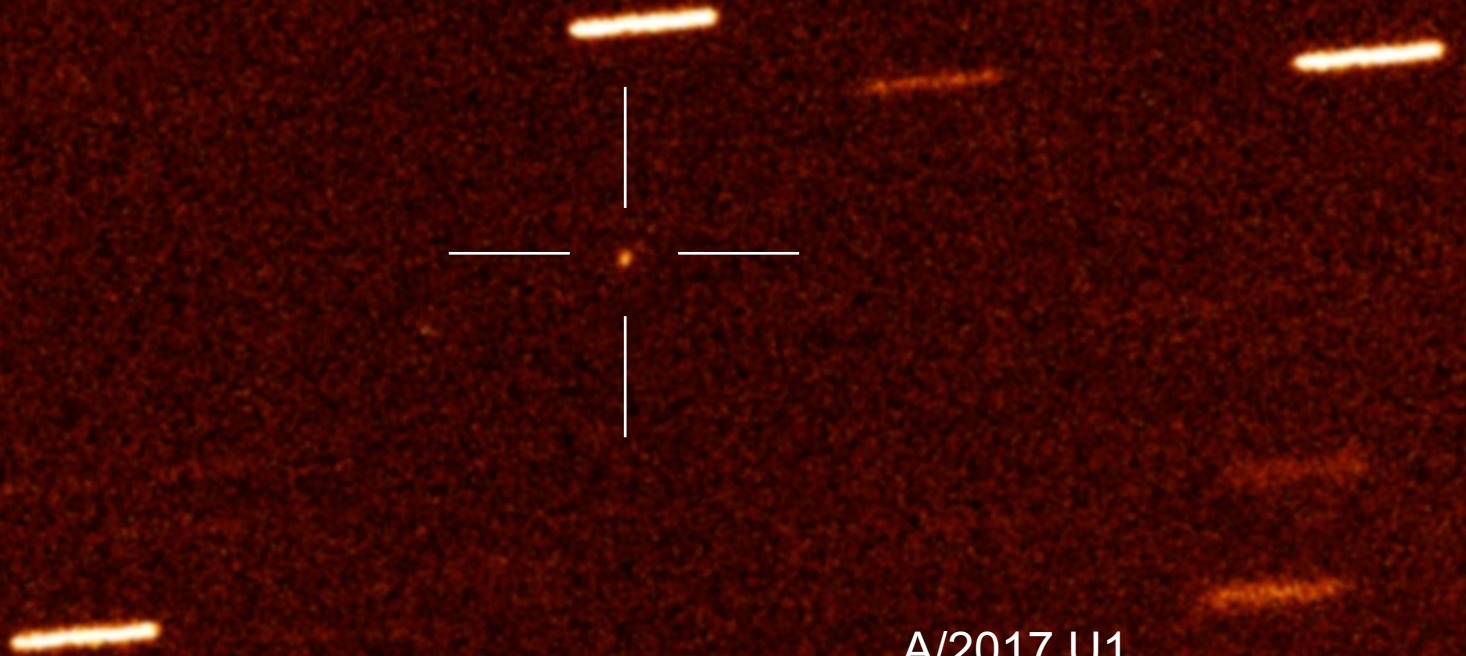
Cabeleira
de gás e poeira

Rocha
recoberta
com gelo
de água e
de CO₂



**Cometa vindo
de fora do
Sistema Solar**

Visitante interestelar



A/2017 U1

Órbita hiperbólica

Velocidade ~ 26 km/s

Dados implicam em origem extrassistema solar

Oumuamua



Impressão artística do
primeiro objeto
extrassolar observado

Trajetórias possíveis para um objeto no Sistema Solar

Direção da velocidade de encaminhamento horizontal

Velocidade



d



M

Elíptica
 $v < v_{\text{circ}}$

Circular
 $v = v_{\text{circ}}$

$$v_{\text{circ}} = \sqrt{\frac{G \cdot M}{d}}$$

Elíptica

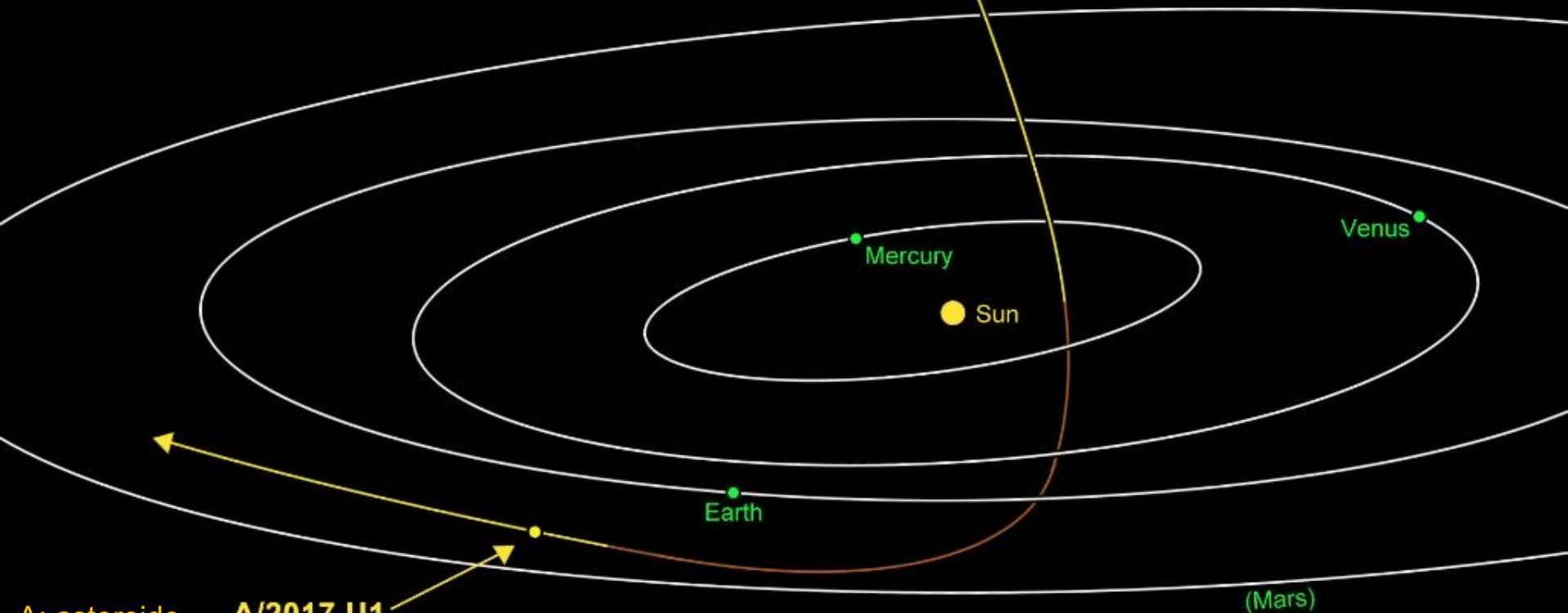
$v_{\text{circ}} < v < v_{\text{parab}}$

Hiperbólica
 $v > v_{\text{parab}}$
Objeto sai do Sistema Solar

Parabólica
 $v = v_{\text{parab}} = \sqrt{2} v_{\text{circ}}$

Visitante de fora do Sistema Solar

October 25, 2017



- A: asteroide **A/2017 U1**
- C: cometa **C/2017 U1**
- I: interestelar **1I/2017 U1**
- Oumuamua**

A/2017 U1
Órbita hiperbólica
Velocidade ~ 26 km/s

Dados implicam em origem extra-sistema solar

Leis de Kepler



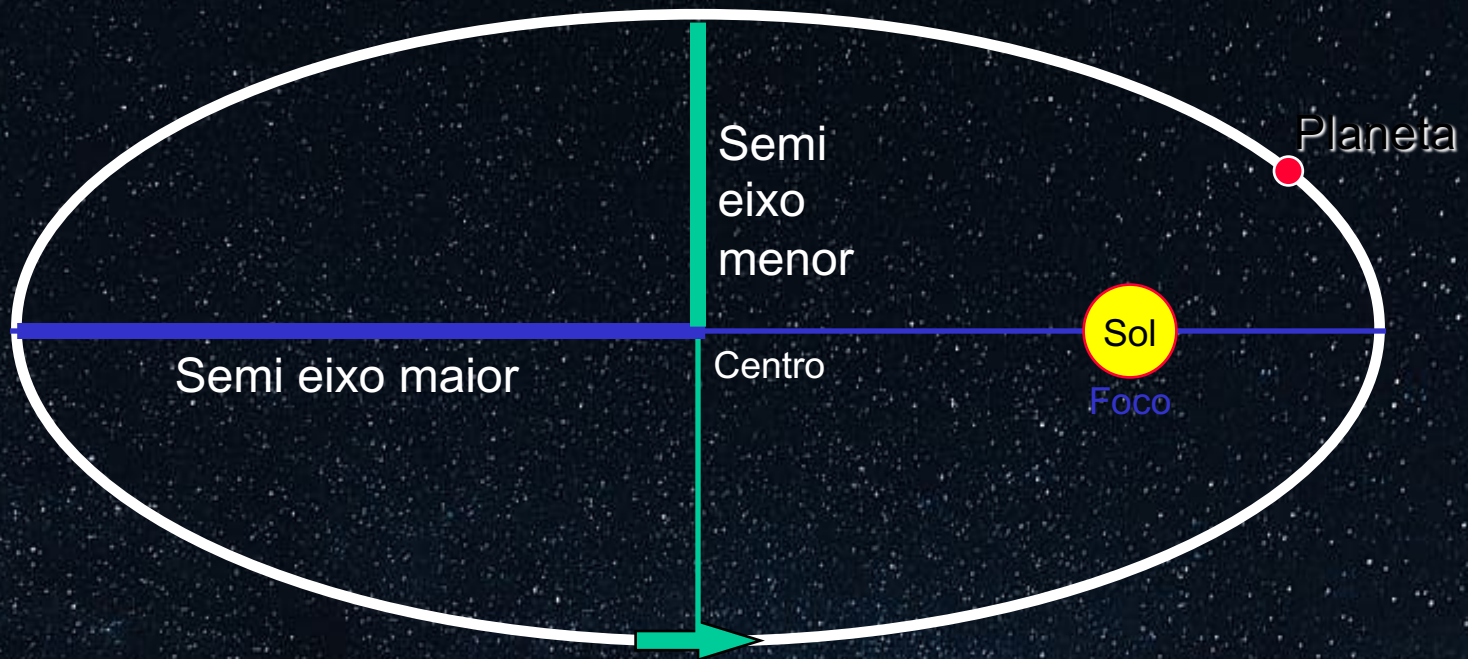
Johannes Kepler (1571 - 1630)

Copérnico (1473-1543)

Galileu (1564-1642)

Newton (1643-1727)

Primeira lei de Kepler

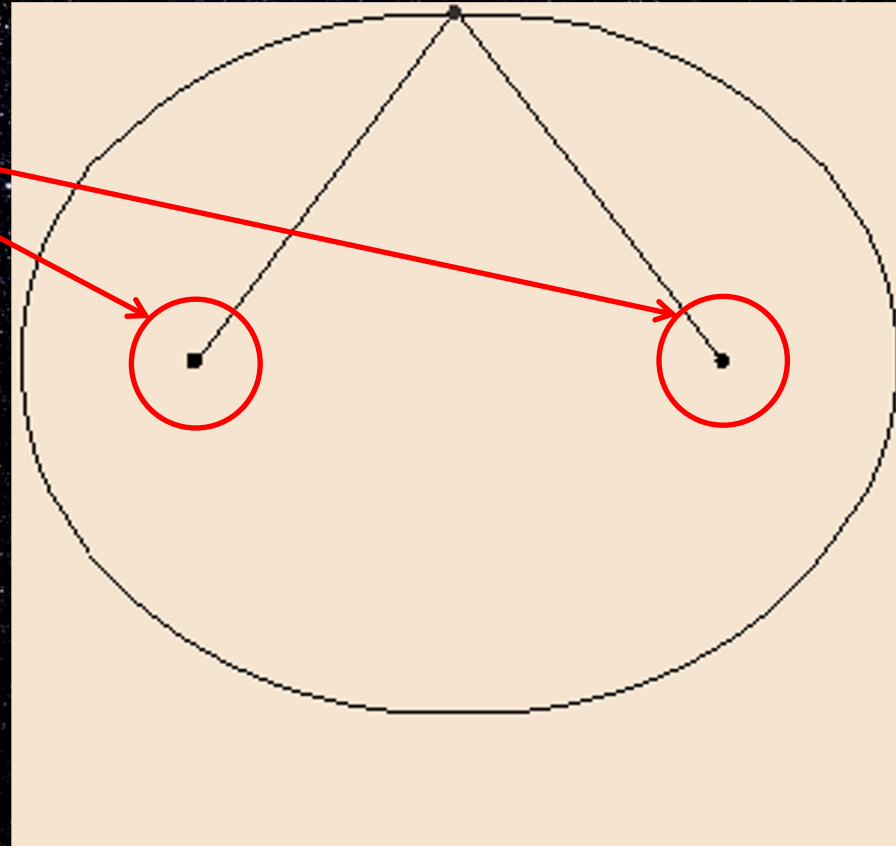
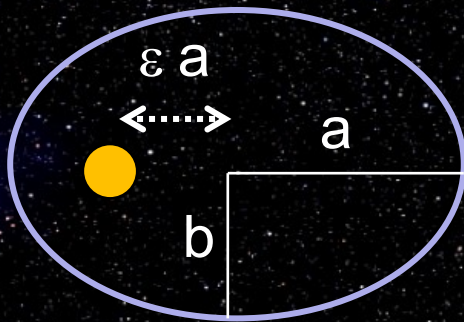


Um planeta gira em torno do Sol numa órbita elíptica, sendo que o Sol ocupa um dos focos da elipse.

Elipse

$$R_1 + R_2 = \text{cte} = 2a$$

Focos da elipse



a: semi eixo maior
b: semi eixo menor
 ϵ : excentricidade

Vênus: 0.007
Terra: 0.017
Marte: 0.093
Mercúrio: 0.206

Terceira lei de Kepler

$$\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{GM} = \text{cte}$$

T: período de translação em torno do Sol
a: semi eixo maior (raio, se for órbita circular)

$$\frac{T^2}{a^3} = 1 \quad \text{Se T em anos e a em U.A.}$$

Exemplo da terceira lei

Júpiter em translação ao redor do Sol:

$T \approx 11,86$ anos

$$\frac{T^2}{a^3} = \frac{(11,86)^2}{a^3} = 1 \longrightarrow a \approx 5,2 \text{ UA}$$

Exemplo da terceira lei

Terra em translação ao redor do Sol:

$$T \approx 1 \text{ ano} \approx 365 \text{ dias} \approx 3.536.000 \text{ s}$$

$$a \approx 1 \text{ UA} \approx 150.000.000.000 \text{ m}$$

$$G \approx 6,7 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 / \text{Kg} \cdot \text{s}^2$$

$$\frac{T^2}{a^3} = \frac{4 \pi^2}{GM} \longrightarrow M \approx 3,5 \cdot 10^{31} \text{ Kg}$$