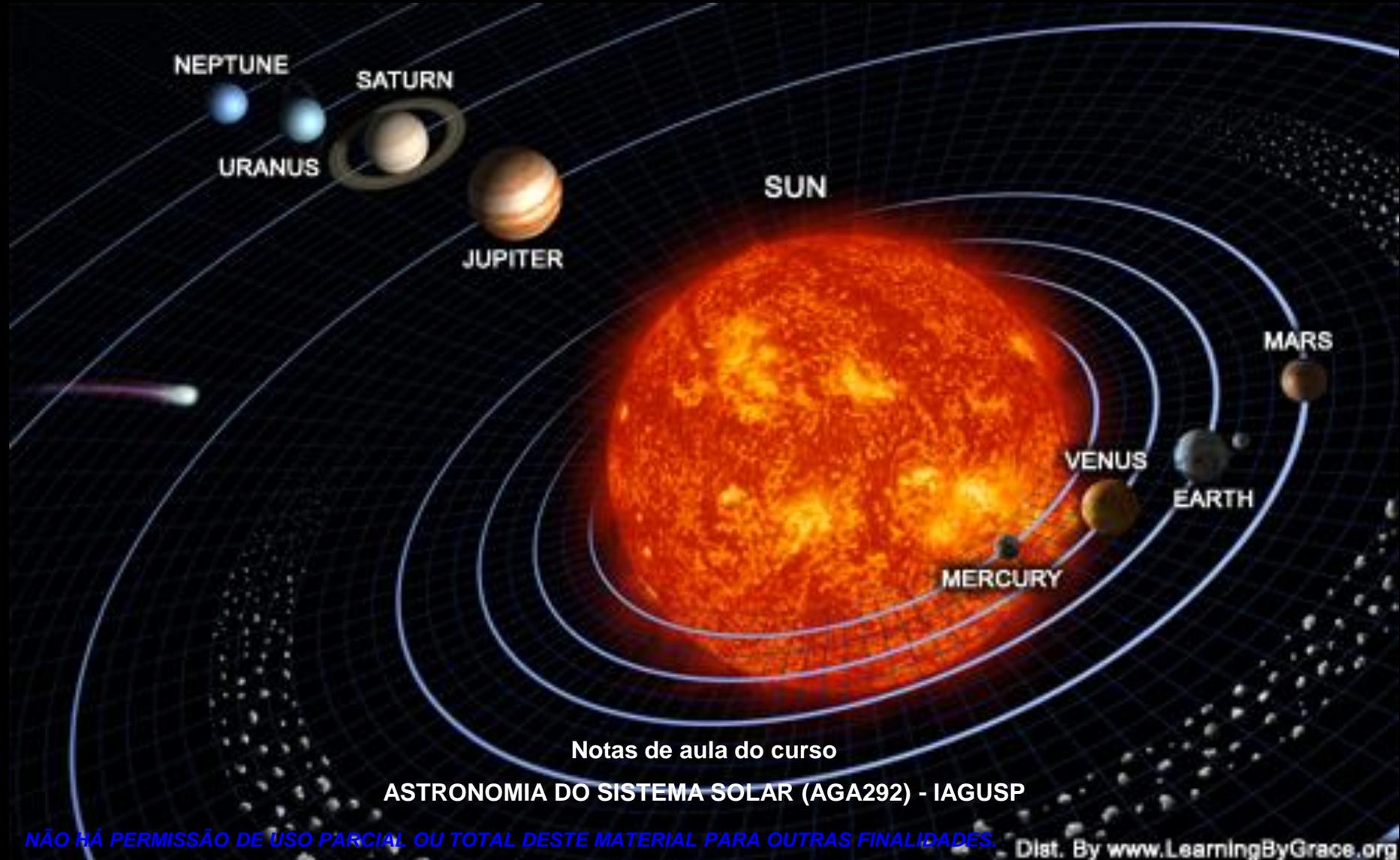


ESTRUTURA DO SISTEMA SOLAR

Enos Picazzio

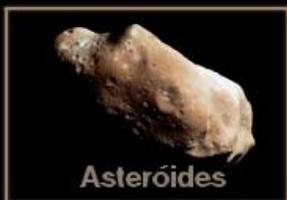


Notas de aula do curso

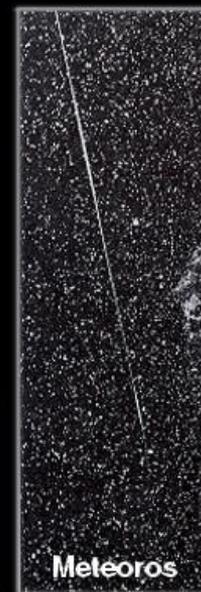
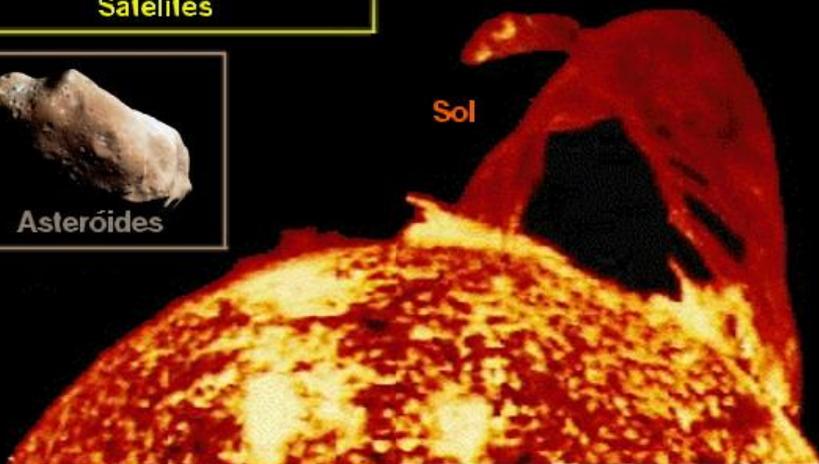
ASTRONOMIA DO SISTEMA SOLAR (AGA292) - IAGUSP

NÃO HÁ PERMISSÃO DE USO PARCIAL OU TOTAL DESTES MATERIAIS PARA OUTRAS FINALIDADES.

Dist. By www.LearningByGrace.org



Sistema Solar



Uma estrela, oito planetas, três planetas anões, dezenas de satélites, milhares de asteróides, miríades de cometas e fragmentos menores, e um espaço imenso preenchido por gás, íons, átomos e campo magnético.

Dois marcos importantes (1600...)

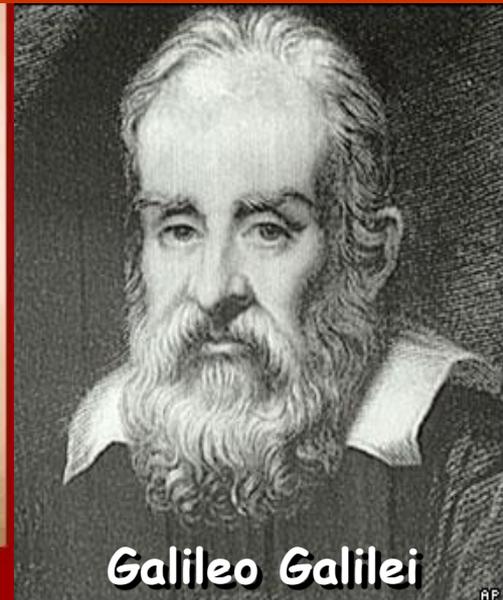
qua dare regulos prismatice esse ualeat quia ad huiusmodi
obseruaciones audere uoluit. Primo in necessitate est ut sibi
propinqua pareret ex oculis. quod obiecta selluenda, distincta, et nulla
caligine obscura representet, eadem ad minus sua quater centuplum
ratione multiplicet, tunc enim illa biscentuplo uiciora representabit,
nisi n. tale fuerit instrumentum quia omnia quae a nobis distincta sunt
in caelis, quae in praesentia enumerabuntur, intueri tentabitur frustra; ut
aut de multiplicatione instrumenti uniusquodque paruo negotio certior
reddat, circulos bicos, aut quadrata bina contineat et bina
bit, quos alter quater centis alterius maior existat, erit autem
tunc, cui maioris est diameter, ad diametrum alterius fuerit trigupla,
deinde ambo in eodem pariete insista simul a longe spectabitis,
minus quidem altero oculo ad propinqua admodum, maior uero, altero
oculo libero, comode enim id fieri licet uno eodem tempore oculis
ambobus aptis: tunc enim eiusdem apparebit magnitudinis respectu
ut ambobus, si enim organum in optata proportione obiecta multi-
plicare poterit. Cuiusmodi paruo instrumentum, de ratione disc-
tantibus dimittendas excogitandum erit; quod tali artificio conueni-
mur. sit enim facilius intelligitur quod Tubus abed. oculus inphi-
censis est. e. radij, dum nulla in oculo aperit propinqua ad

Deest,
9

obiecta fig. in lineas eef. ely. ferret. sed afforatis propin-
a illis ferret ut eef. edi. conuenit. n. et qui prius liberi ad
fig. obiecta extendebat, parte ea hi. et comprehendit; acceptis
deinde ratione distinctis et h. ad linea hi. et tabula huius refer-
ret quibus angulis in oculo ex obiecto hi. distinctis, quem
minuta quaedam in obiecto inuenimus. Quod si ista illa od.
bracket, alias ab obiecto maioribus, alias uero minoribus paratis
foraminibus, angulis pluribus, paucioribus minutis subterdentem
et distinctum; cuius ope stellarum inconstituta et aliquot minuta



Galileo's two telescopes at the IMSS in Florence

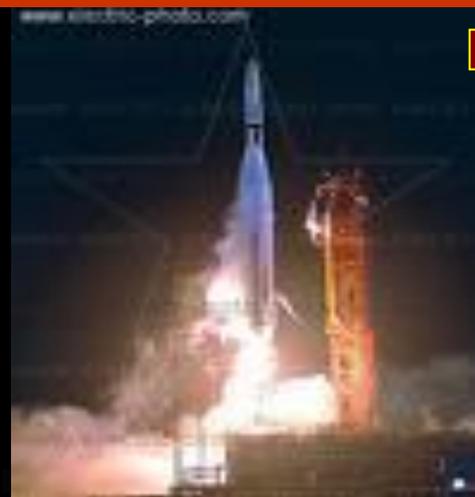


Galileo Galilei

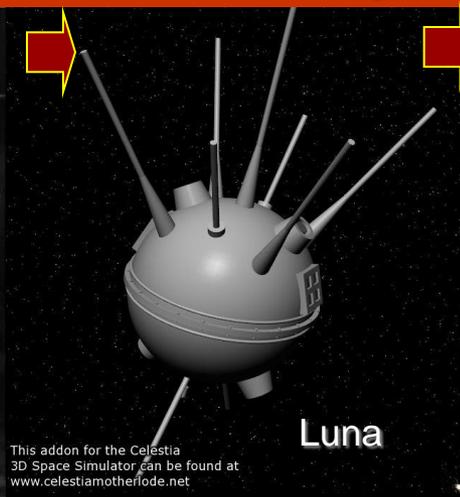


Dois marcos importantes (1957...)

Enos Picazzio
IAGUSP
Agosto 2007



Sputnik



Luna

This addon for the Celestia 3D Space Simulator can be found at www.celestiamotherfode.net



Pioneer



Voyagers, Galileo etc.

Era espacial



Mariner



Appolo



Viking



Venera

Missões espaciais atuais e próximas

Enos Picazzio
IAGUSP
Agosto 2007

Mercúrio: MESSENGER (Mercury Surface, Space Environment, Geochemistry and Ranging -NASA)

Lançada: 03/08/04 Chega: 2011

Vênus: Venus Express (ESA)

Saturno: Cassini – Huygens (EASA, NASA) (desde 01/7/04)

Lua: Chandrayaan (09 nov 2008)

Kaguya (SELENE) – 14-9-2007

Lunar Reconnaissance Orbiter / 24-4-2009

Marte

Mars Odyssey (NASA) (desde 24/10/01)

Mars Exploration Rovers

Spirit: (desde 04/01/04) e
Opportunity (desde 25/01/04)

Mars Express (ESA, NASA) Desde 26/12/03

Mars Reconnaissance Orbiter (NASA)

Desde março/06

Phoenix: NASA

Lanç: Agosto/2007

Cheg.: Maio/2008



Mars Science Laboratory

NASA:

Lanç: 2011



Plutão e Cinturão Kuiper:

New Horizons (NASA)

Lançada: 19/01/06 Chega: Julho/2015

Cometa

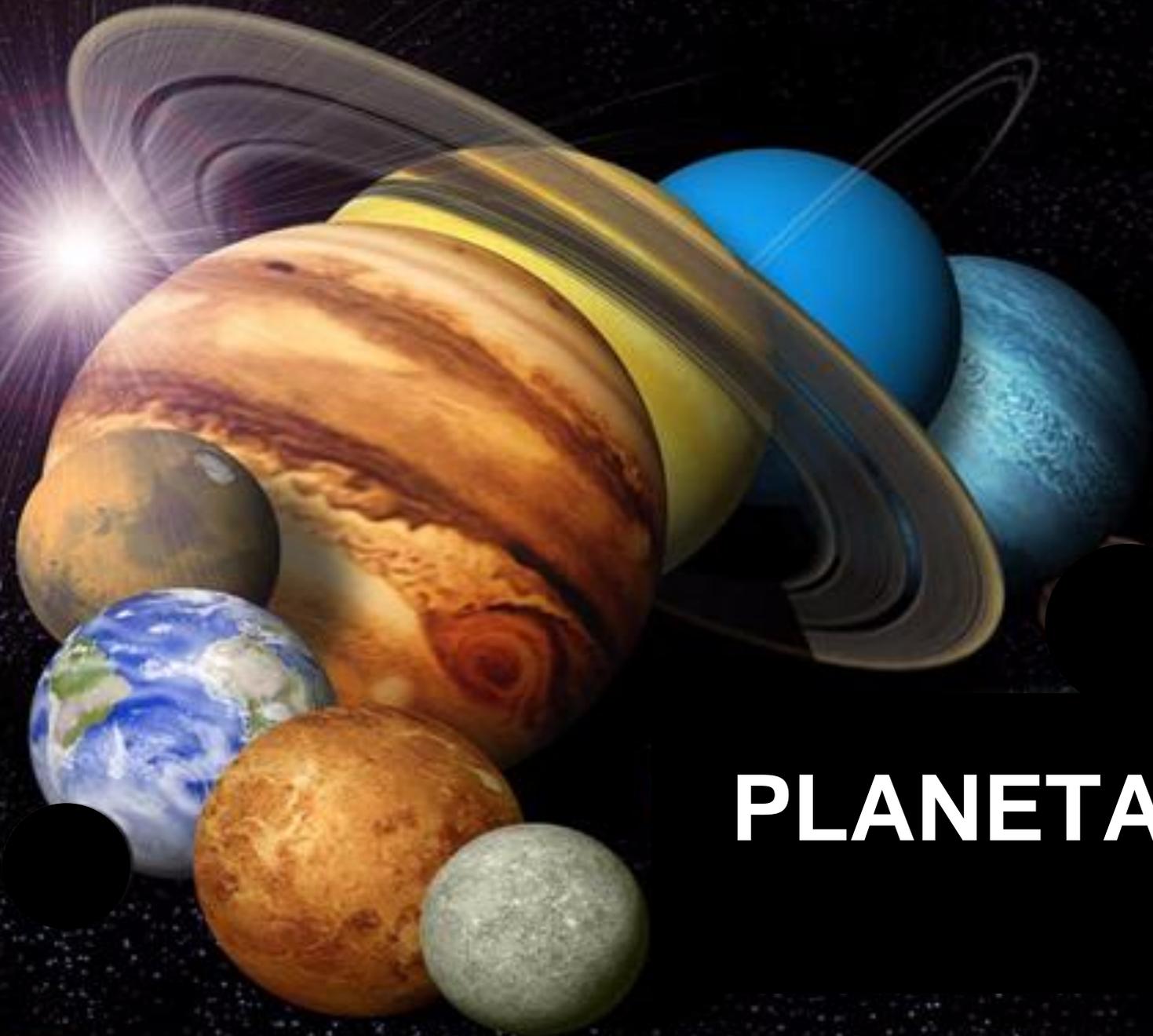
Stardust (NASA): poeira interestelar e Cometa P/Wild 2..

Retornou: 15/01/06 - Atualmente em hibernação

Deep Impact (NASA): Comet Tempel 1 (Impacto: 04/07/05)

Rosetta (ESA): Cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko. Lançada março/2004. Encontro: Maio/2014.

Antes de tratarmos individualmente os diferentes objetos do Sistema Solar, vamos nos lembrar de algumas características importantes do conjunto, por exemplo, das propriedades dinâmicas e físicas.



PLANETAS



Classificação dos planetas

Enos Picazzio
IAGUSP
Agosto 2007

* valores
normalizados
para a Terra

Telúricos ou Terrestres

Jovianos ou Gigantes

	<i>Mercúrio</i>	<i>Vênus</i>	<i>Terra</i>	<i>Marte</i>	<i>Júpiter</i>	<i>Saturno</i>	<i>Urano</i>	<i>Netuno</i>
<i>Raio*</i>	0,38	0,95	1	0,53	11,21	9,45	4	3,88
<i>Massa*</i>	0,055	0,814	1	0,104	317,7	99,66	14,53	17,06
<i>Densid.</i>	5,4	5,2	5,5	3,9	1,3	0,7	1,3	1,6
<i>Atmosf.</i>		CO ₂ (96) N(3)	N(78) O(21)	CO ₂ (95) N(3)	H(73) He(20)	H(78) He(20)	H,He(15) H ₂ O,CH ₄ NH ₃ (60)	H,He(10) H ₂ O,CH ₄ NH ₃ (60)
<i>Satélites</i>			1	2	63	60	27	13
<i>Distânc*</i>	0,39	0,72	1	1,52	5,2	9,55	19,19	30,11
<i>Rotação*</i>	58,6	-243	0,99	1,03	0,41	0,45	-0,72	0,67
<i>Transla*</i>	0,241	0,615	1	1,88	11,86	29,43	83,76	163,75
<i>Excentr.</i>	0,21	0,01	0,02	0,09	0,05	0,06	0,05	0,01
<i>Incl.Orb.</i>	7,00	3,39	0	1,85	1,31	2,49	0,77	1,77
<i>Incl.Eixo</i>	0	177,3	23,45	25,2	3,12	26,73	97,87	29,57

Classificação dos planetas

Planetas Anões

Largest known trans-Neptunian objects (TNOs)



Orbital attributes of dwarf planets^[34]

Name	Region of Solar System	Orbital radius (AU)	Orbital period (years)	Mean orbital speed (km/s)	Inclination to ecliptic (°)	Orbital eccentricity	Planetary discriminant
Ceres	Asteroid belt	2.77	4.60	17.882	10.59	0.080	0.33
Pluto	Kuiper belt	39.48	248.09	4.666	17.14	0.249	0.077
Haumea	Kuiper belt	43.34	285.4	4.484	28.19	0.189	?
Makemake	Kuiper belt	45.79	309.9	4.419	28.96	0.159	?
Eris	Scattered disc	67.67	557	3.436	44.19	0.442	0.10

Physical attributes of dwarf planets

Name	Equatorial diameter relative to the Moon	Equatorial diameter (km)	Mass relative to the Moon	Mass ($\times 10^{21}$ kg)	Density ($\times 10^3$ g/m ³)	Surface gravity (m/s ²)	Escape velocity (km/s)	Axial inclination	Rotation period (days)	Moons	Surface temp. (K)	Atmosphere
Ceres ^{[35][36]}	28.0%	974.6±3.2	1.3%	0.95	2.08	0.27	0.51	~3°	0.38	0	167	none
Pluto ^{[37][38]}	68.7%	2306±30	17.8%	13.05	2.0	0.58	1.2	119.59°	-6.39	3	44	transient
Haumea ^{[39][40]}	33.1%	1150± 300 ²⁰⁰	5.7%	4.2 ± 0.1	2.6–3.3	~0.44	~0.84			2	32 ± 3	?
Makemake ^{[39][41]}	43.2%	1500± 400 ³⁰⁰	~5%?	~4?	~2?	~0.5	~0.8			0	~30	transient?
Eris ^{[42][43]}	74.8%	2400±100	22.7%	16.7	2.3	~0.8	1.3		~0.3	1	42	transient?

Planetary discriminants^[28]

Body	Mass (M_E^*)	Λ/Λ_E^{**}	μ^{***}
Mercury	0.055	0.012 6	9.1×10^4
Venus	0.815	1.08	1.35×10^6
Earth	1.00	1.00	1.7×10^6
Mars	0.107	0.006 1	1.8×10^5
Ceres	0.000 15	8.7×10^{-9}	0.33
Jupiter	317.7	8 510	6.25×10^5
Saturn	95.2	308	1.9×10^5
Uranus	14.5	2.51	2.9×10^4
Neptune	17.1	1.79	2.4×10^4
Pluto	0.002 2	1.95×10^{-8}	0.077
Haumea	0.000 67	1.72×10^{-9}	0.02
Makemake	0.000 67	1.45×10^{-9}	0.02 ^[29]
Eris	0.002 8	3.5×10^{-8}	0.10

* M_E in Earth masses.

** $\Lambda/\Lambda_E = MR/P \times P_E/M^2 E$.

*** $\mu = M/m$, where M is the mass of the body,

and m is the aggregate mass of all the other bodies that share its orbital zone.

Planetas-anões

Largest known trans-Neptunian objects (TNOs)



Candidatos

Nome	Raio(km)
2005 FY ₉	800-100
Orcus	420-940
Sedna	590-900
2003 EL ₆₁	~750
Quaoar	494-673
2002 TC ₃₀₂	~600
Varuna	~470
2002 UX ₂₅	~455
2002 TX ₃₀₀	~450
Ixion	~411

dwarf planets^[34]

Body	Mean orbital speed (km/s)	Inclination to ecliptic (°)	Orbital eccentricity	Planetary discriminant
Ceres	17.882	10.59	0.080	0.33
Pluto	4.666	17.14	0.249	0.077
Haumea	4.484	28.19	0.189	?
Makemake	4.419	28.96	0.159	?
Eris	3.436	44.19	0.442	0.10

Physical attributes of dwarf planets

Body	Mass relative to the Moon	Mass ($\times 10^{21}$ kg)	Density ($\times 10^3$ g/m ³)	Surface gravity (m/s ²)	Escape velocity (km/s)	Axial inclination	Rotation period (days)	Moons	Surface temp. (K)	Atmosphere		
Ceres ^{[35][36]}	28.0%	974.6±3.2	1.3%	0.95	2.08	0.27	0.51	~3°	0.38	0	167	none
Pluto ^{[37][38]}	68.7%	2306±30	17.8%	13.05	2.0	0.58	1.2	119.59°	-6.39	3	44	transient
Haumea ^{[39][40]}	33.1%	1150± 300 ²⁰⁰	5.7%	4.2 ± 0.1	2.6–3.3	~0.44	~0.84			2	32 ± 3	?
Makemake ^{[39][41]}	43.2%	1500± 400 ³⁰⁰	~5%?	~4?	~2?	~0.5	~0.8			0	~30	transient?
Eris ^{[42][43]}	74.8%	2400±100	22.7%	16.7	2.3	~0.8	1.3	~0.3	~0.3	1	42	transient?

Planetary discriminants^[28]

Body	Mass (M_E^*)	Λ/Λ_E^{**}	μ^{***}
Mercury	0.055	0.012 6	9.1×10^4
Venus	0.815	1.08	1.35×10^6
Earth	1.00	1.00	1.7×10^6
Mars	0.107	0.006 1	1.8×10^5
Ceres	0.000 15	8.7×10^{-9}	0.33
Jupiter	317.7	8 510	6.25×10^5
Saturn	95.2	308	1.9×10^5
Uranus	14.5	2.51	2.9×10^4
Neptune	17.1	1.79	2.4×10^4
Pluto	0.002 2	1.95×10^{-8}	0.077
Haumea	0.000 67	1.72×10^{-9}	0.02
Makemake	0.000 67	1.45×10^{-9}	0.02 ^[29]
Eris	0.002 8	3.5×10^{-8}	0.10

* M_E in Earth masses.

** $\Lambda/\Lambda_E = MR/P \times P_E/M^2 E$.

*** $\mu = M/m$, where M is the mass of the body,

and m is the aggregate mass of all the other bodies that share its orbital zone.

A classificação em três grupos é justificável:

Terrestres ou Telúricos: pequenos, sólidos, densidade média elevada, composição química atmosférica típica de elementos pesados, poucos satélites e próximos ao Sol.

Jovianos ou Gigantes: grandes, gasosos, densidade média baixa, atmosferas espessas e de composição química mais leve, muitos satélites

Planetas anões: características intermediárias, mais parecidos com os objetos do Cinturão de Kuiper e os Transnetunianos.



Planetas do mesmo grupo apresentam semelhanças e individualidades.

Os terrestres não são exatamente iguais. Apesar de Vênus ter semelhanças com a Terra (tamanho, massa, densidade, possui atmosfera etc.) eles são muito diferentes. E ambos diferem de Marte.

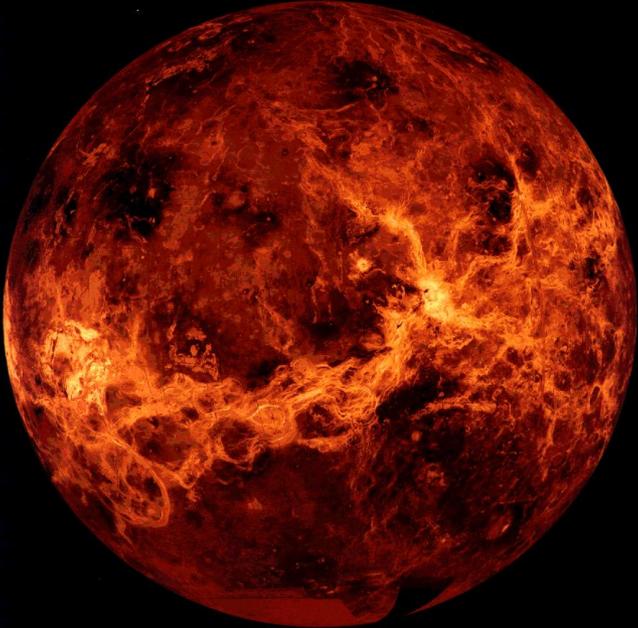
Entre os gigantes há semelhanças e diferenças também.

Situação semelhante ocorre entre asteróides, cometas e objetos transnetunianos.

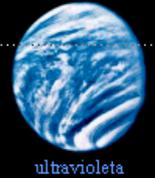
Vênus

Enos Picazzio
IAGUSP
Agosto 2007

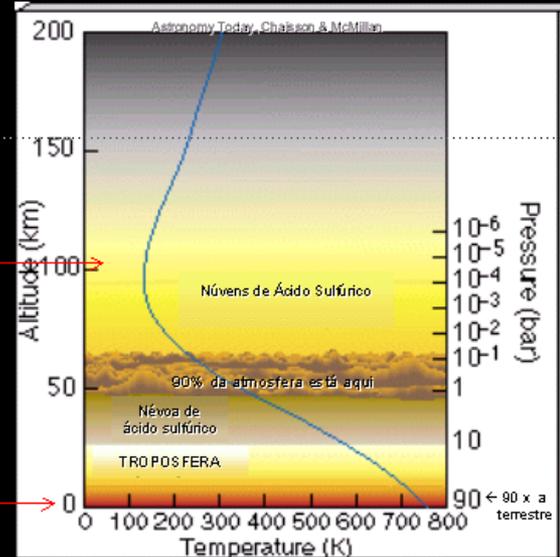
Composição química predominante (% em volume):
 CO_2 (~96,5), N (~3,5), traços de H_2O (vapor), CO, SO_2 , Ar.



Ventos circulando a 300-400 km/h, mais rápidos no equador que nos pólos. São os responsáveis pelo padrão de nuvens visto no ultravioleta.

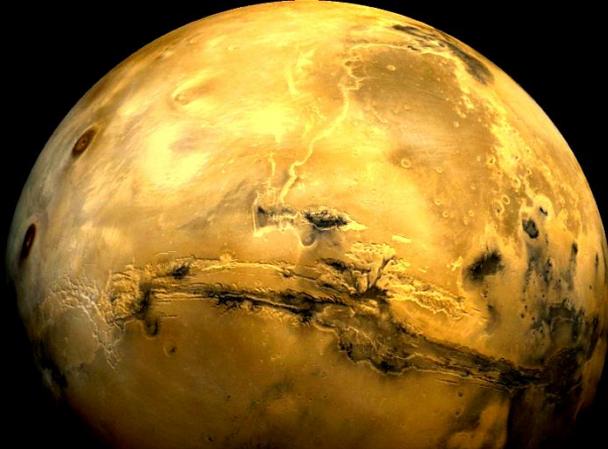


Da superfície nada se vê além das nuvens, nem o Sol. Tipicamente, os ventos movem-se a 6 km/h. Devido à estufa, a temperatura é elevada e praticamente homogêna, mesmo no hemisfério não iluminado ("noturno").



Montes MAXWELL
Altura: 11 km acima das planícies de Lakshmi.
Resolução: 15 km
Imagens (1989): sondas Pioneer (NASA) e Venera (URSS)

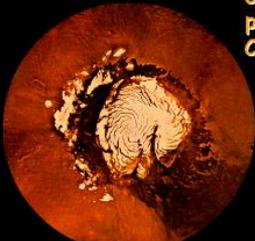
Marte



Marte

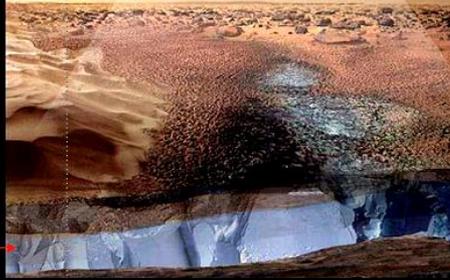
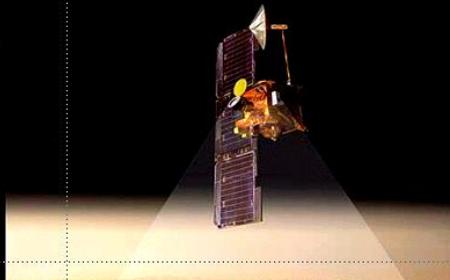
Calotas polares
CO₂ e H₂O

Onde está a água que restou?



Pólo Norte

Sob a baixa pressão atmosférica na superfície, a água vaporiza.

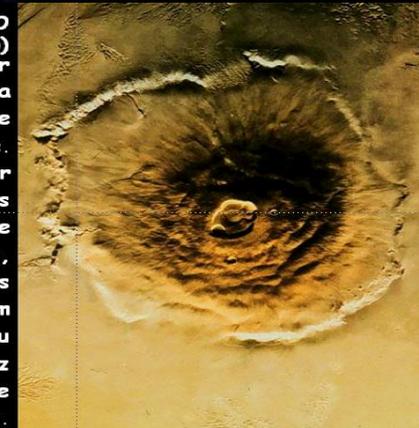


Evidência de escoamento

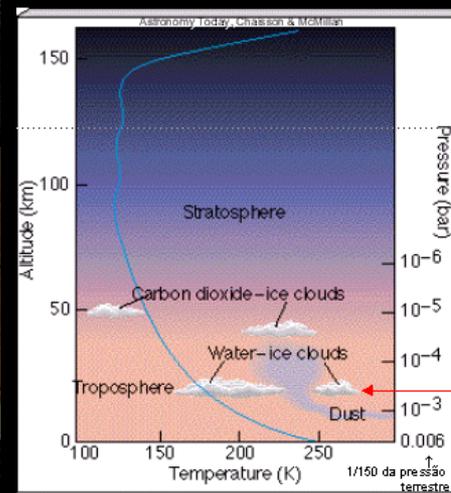
Água congelada



MONTE OLIMPO
O maior vulcão (extinto) do Sistema Solar
Elevação: 27 km acima do nível da superfície típico de Marte.
Crateras formadas por múltiplos colapsos
Fluxos de lavas de diferentes idades, mostram que as erupções que produziram essa montanha ocorreu por longo período talvez centenas de milhões de anos.



Composição química predominante (% em volume):
CO₂ (~95,3), N (~2,7), Ar (1,6), O (0,13), CO (0,07), H₂O (vapor, 0,03).



Pela manhã há uma névoa de gelo d'água nos canyons. As temperaturas da Estratosfera são baixas o suficiente para manter o CO₂ solidificado em névoas e nuvens.



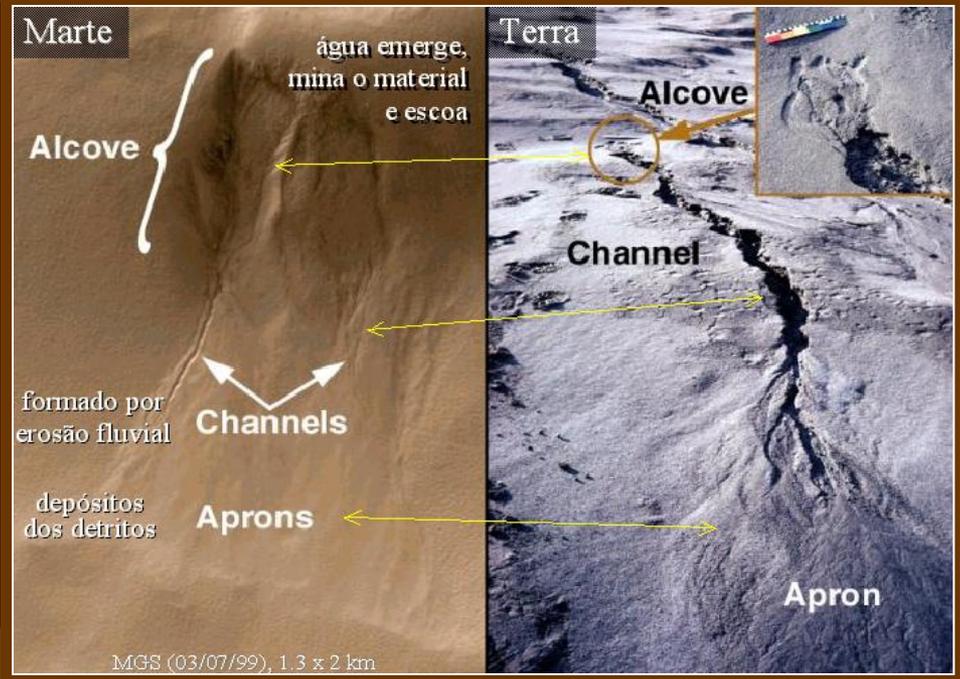
Variação de temperatura no verão:
~300 K, às 12h; a convecção eficiente elevada a Troposfera até 30 km. ~100 K, às 24h; cessa a convecção, e a Troposfera praticamente desaparece. Na média a T_{superfície} é 50K mais baixa que a terrestre.

Já houve clima favorável à existência de água líquida na superfície.

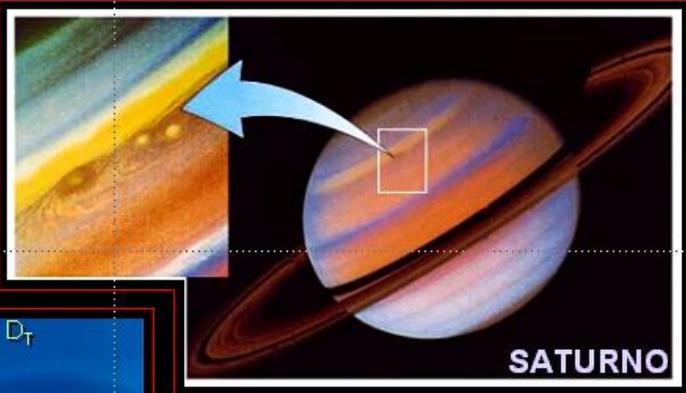
O que ocorreu?



Erosão Fluvial

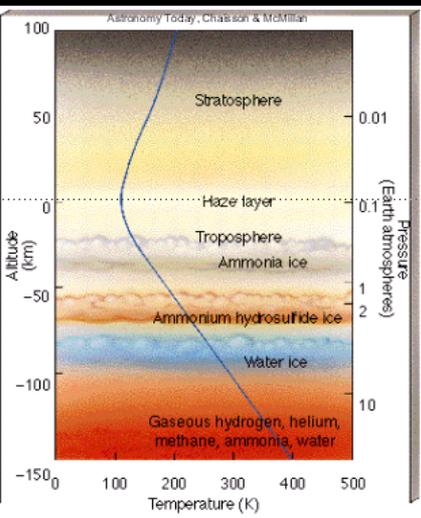


Planetas Jovianos, Gigantes ou Gasosos



D_T = diâmetro da Terra

Estrutura atmosférica



Júpiter

Composição química predominante (% em volume): H (~86,1), H₂ (~13,8), traços de CH₄, NH₃ e vapor de H₂O

As diversas camadas da atmosfera estão relacionadas às cores e à composição química.

- brancas: topos das nuvens de amônia
- amarelas, vermelhas e marrons: nuvens de gelo de hidrosulfeto de amônia (NH₄HS)
- azuis: gelo de água (que não é vista devido à espessa camada atmosférica situada acima).
- As mudanças de cores podem estar associadas tbém às reações químicas
- Sonda Galileu detectou fosfina (PH₃)

Atmosfera planetária Urano e Netuno

Composição química predominante; em percentual: H (~84), He (~14) e CH₄ (~2 p/ Urano, e ~3 p/ Netuno). Praticamente não há NH₃.

A amônia gasosa se solidifica a 70K (temperatura maior que as encontradas em Urano e Netuno) e as linhas espectrais desaparecem. Por isso a razão NH₃ / CH₄ observada nos planetas gasosos diminui quando a distância heliocêntrica aumenta.

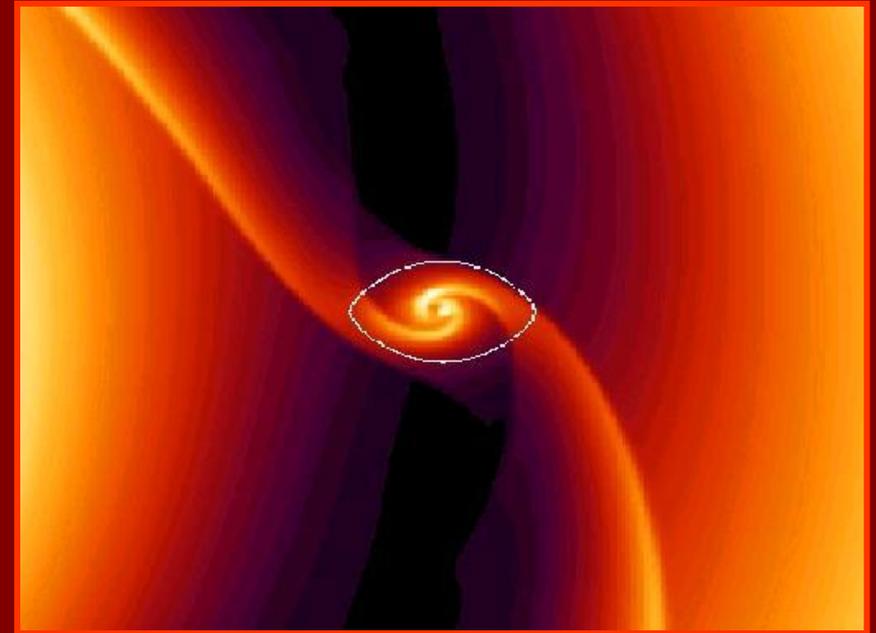
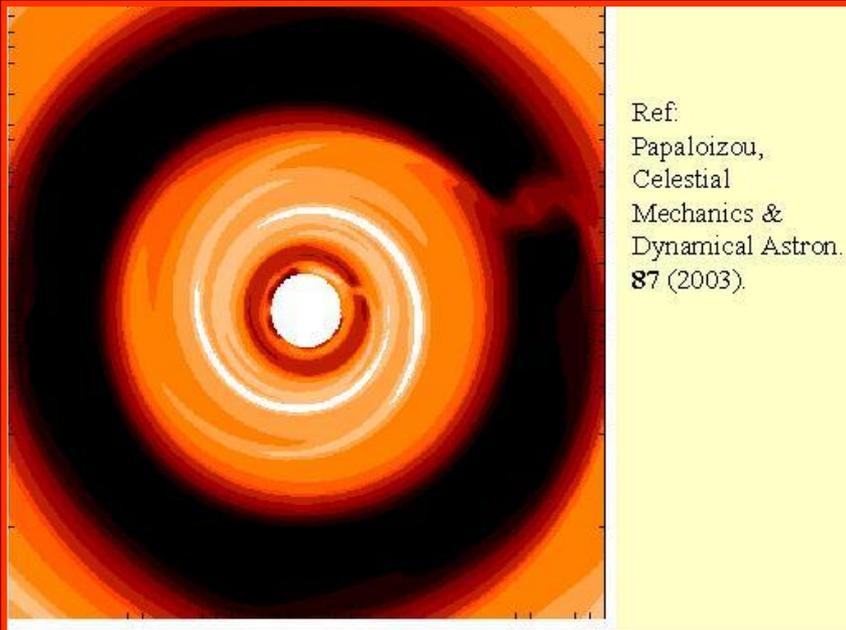
O metano absorve a luz vermelha e reflete a azul, por isso estes planetas apresentam mais detalhes nas cores azul e verde. Mais metano implica em cor mais azulada.

Urano não apresenta fonte interna de energia, como Júpiter, Saturno e Netuno. As nuvens atmosféricas de Urano apresentam ventos de 200-500 km/h.

As névoas existentes nas Estratosferas de Netuno e Urano impedem a observação direta dos padrões atmosféricos que estão abaixo, por isso eles parecem menos estruturados que Júpiter e Saturno.

Mas, o que é planeta?

- (1) **Planeta** é um corpo celeste que:
- A. está em órbita ao redor do Sol,
 - B. tem massa suficiente para que sua autogravitação supere as forças da sua rigidez fazendo-o entrar em equilíbrio, hidrostático (forma aproximadamente esférica), e
 - C. tenha limpado as vizinhanças de sua órbita.



**Um planeta se forma acumulando matéria de um anel circular,
abrindo uma clareira anular no disco.**

(1) **Planeta** é um corpo celeste que:

- A. está em órbita ao redor do Sol,
- B. tem massa suficiente para que sua auto-gravitação supere as forças da sua rigidez fazendo-o entrar em equilíbrio, hidrostático (forma aproximadamente esférica), e
- C. tenha limpado as vizinhanças de sua órbita.

(2) **Planeta anão** é um corpo celeste que:
satisfaz A e B,
não satisfaz C
não é satélite.

(3) Todos os demais objetos que orbitam o Sol serão referidos coletivamente como **Pequenos Corpos do Sistema Solar**.



Um planeta desgarrado (sem estrela)?

Onde está o limite entre
planeta anão e **corpo pequeno**?

*Reino
dos
anões*

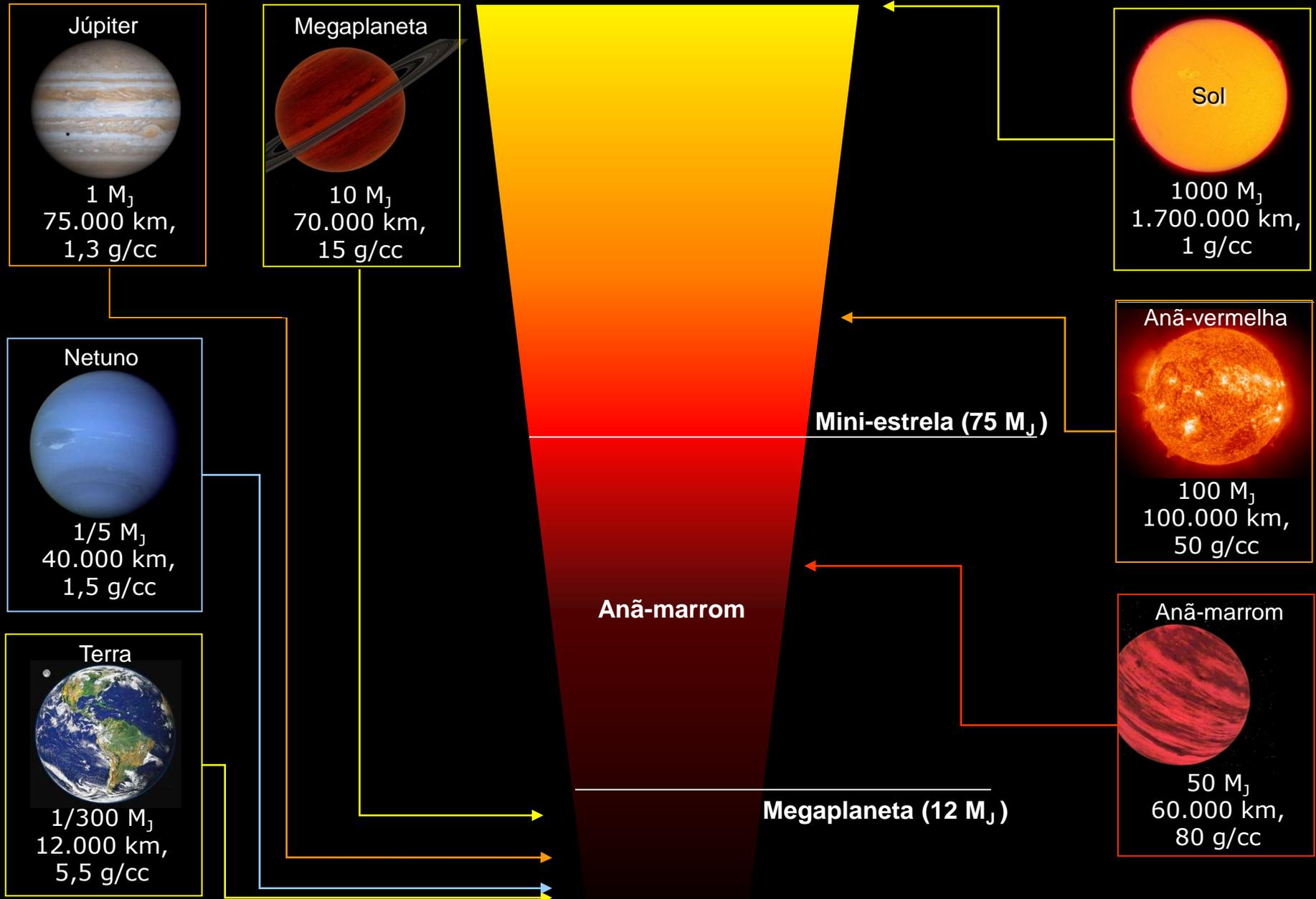


*Reino
dos
pequenos*

Minor Planet Center (MPC-IAU): **Plutão** → **134340 Plutão**

Tim Spahr (Diretor interino MPC): *é uma questão de coerência. Ceres está catalogado como "planeta menor" e fará parte do novo catálogo de "planeta anão". O mesmo deve ocorrer com Plutão e outros.*

Os tênues limites



Basri, Stern & Levinson :

fusor (fusão), *planemo* (massa planetária), *planeta*

Fusor : objeto que experimenta fusão nuclear em algum momento

anã-marrom : fusor sem fase estável de luminosidade

estrela : fusor com fase estável de luminosidade

Planemo : não-fusor e esférico

incluindo **grandes satélites** (planemos orbitando planetas),
superplanetas e **objetos-sem-estrelas** (free-floating)

Planetas: planemos orbitando fusor

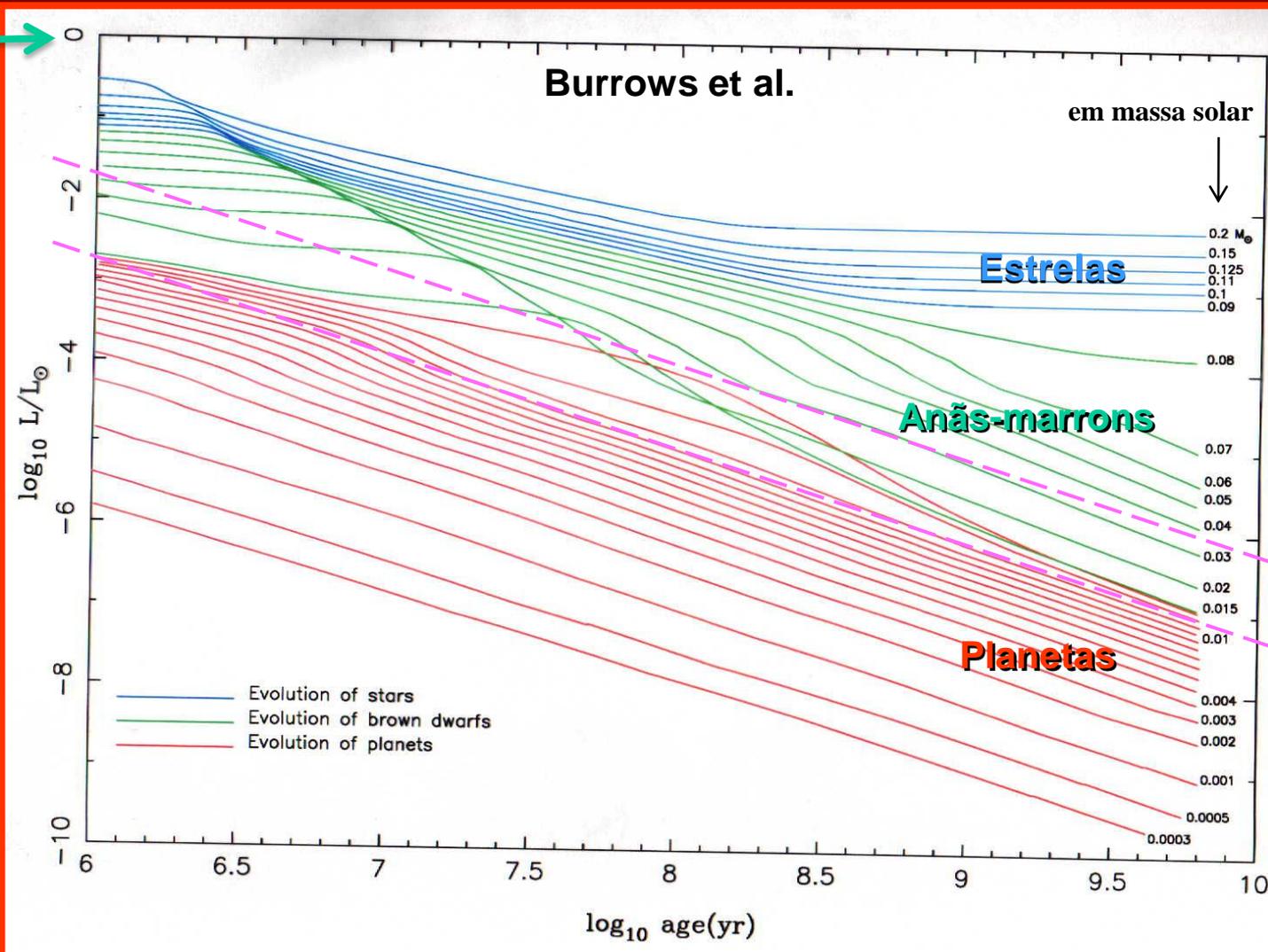
planetas menores : planetas que não são dinamicamente
dominantes

Implicações : são planetas (menores) Plutão, Ceres, Vesta, Pallas,
Varuna, Quaoar, Ixion, e provavelmente outros KBOs ainda desconhecidos

Sistema Solar: **8 planetas maiores**

Definição de planeta

SOL





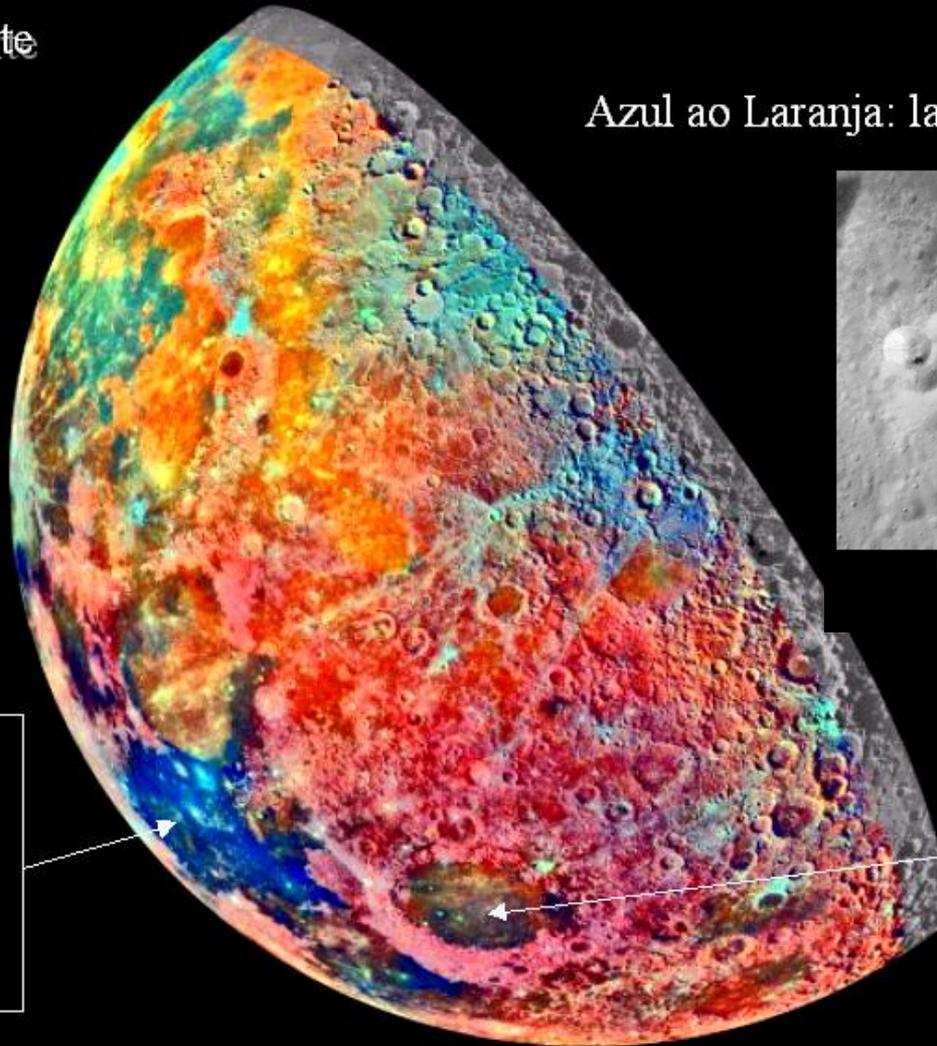
SATÉLITES

Lua

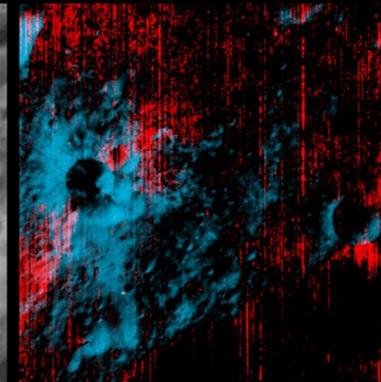
Mosaico de 53 imagens obtidas com 3
filtros espectrais. Cores falsas.

Pólo Norte

Azul ao Laranja: lavas vulcânicas



Infrared Reflectance



Blue = water absorption strength
Red = Hydroxyl absorption

Chandrayaan-1 Moon Mineralogy Mapper

Azul escuro:
Mar da
Tranquilidade
terreno rico em
titanium

Mar das Crises
surrounded by
shocking pink
colors indicating
material of the
lunar highlands.

Galileo, 1992, NASA

Satélites jovianos (63): Io

Enos Picazzio
IAGUSP
Agosto 2007



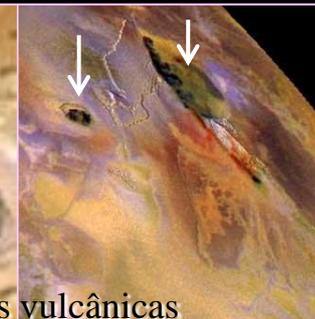
Vulcão em atividade



Cinzas vulcânicas



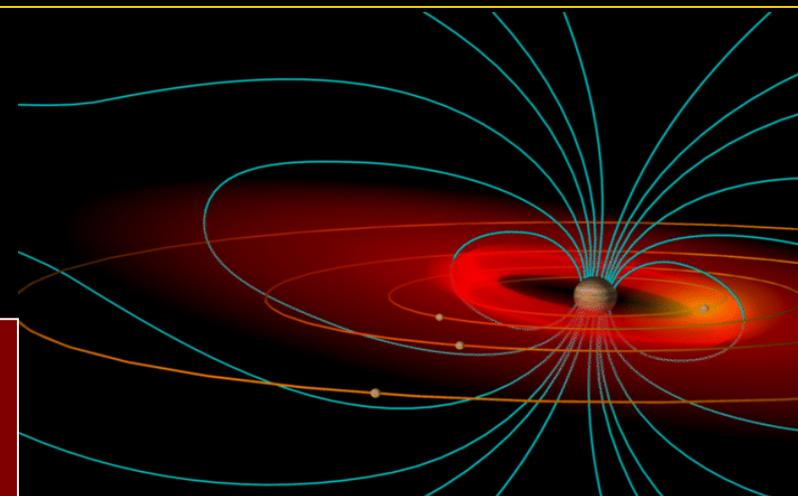
Crateras vulcânicas



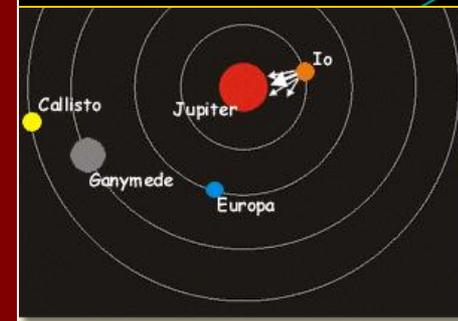
A maior atividade vulcânica do Sistema Solar.

- * Diâmetro: 3630 km
- * Densidade média: $3,53 \text{ g/cm}^3$, consistente com rocha, núcleo metálico e crosta de sais de sódio e potássio; rico em enxofre. O manto fundido contém enxofre, SO_2 e silicatos.
- * Órbita: $6 R_J$ (71540 km)
- * Temp.: -145 a -223 (°C)

Toróide de plasma contendo íons pesados como O^+ e S^+ , por onde Io orbita Júpiter



Marés 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.

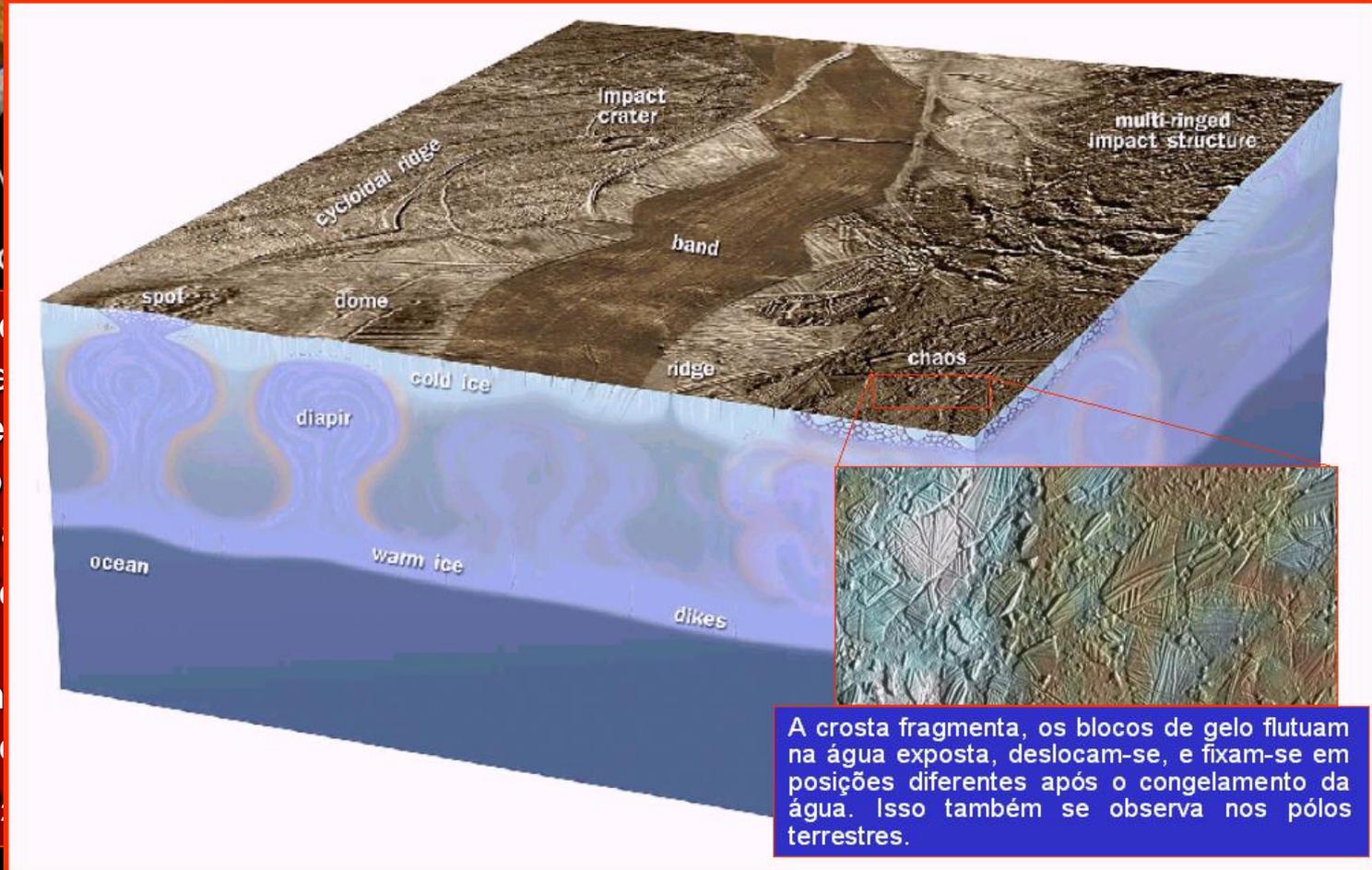
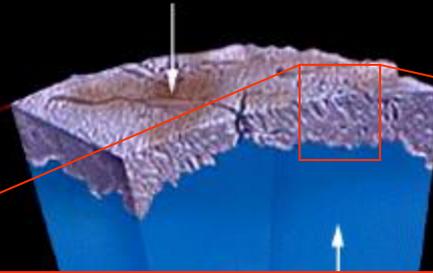
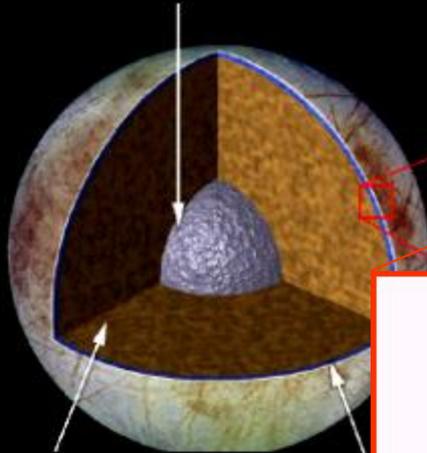


Satélites jovianos (63): Europa

Enos Picazzio
IAGUSP
Agosto 2007

Núcleo metálico

Superfície congelada



Interior rochoso

Camada

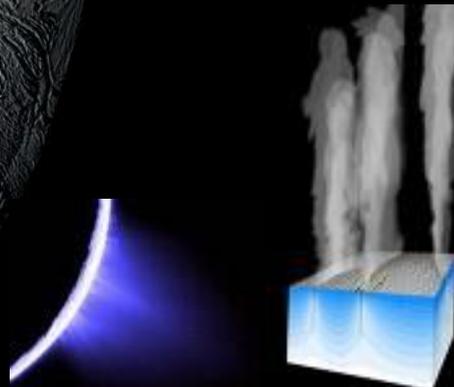
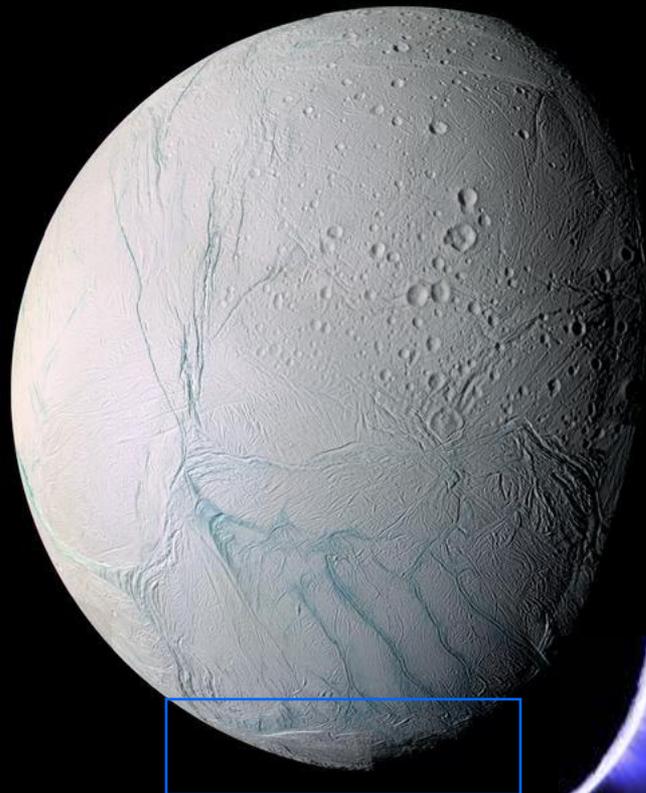
- Superfície mar... estrias, com de... Provavelmente gelo que recob... distorção de m...
- Não há atmosf... ao fato de que baixíssima tem... condensam im... presença de O...

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.

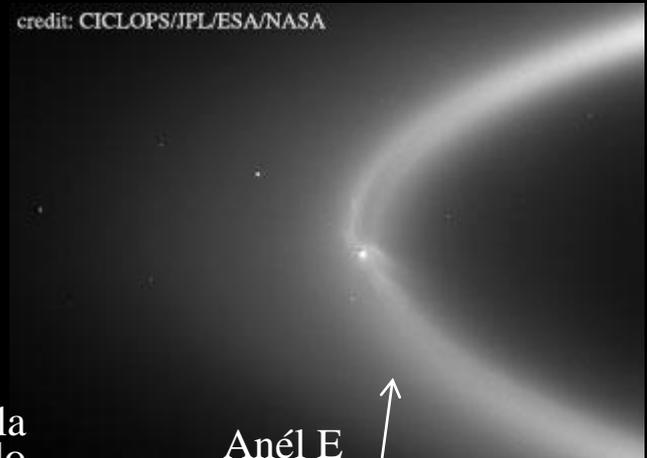
Satélites saturninos (60): Encélado

Enos Picazzio
IAGUSP
Agosto 2007

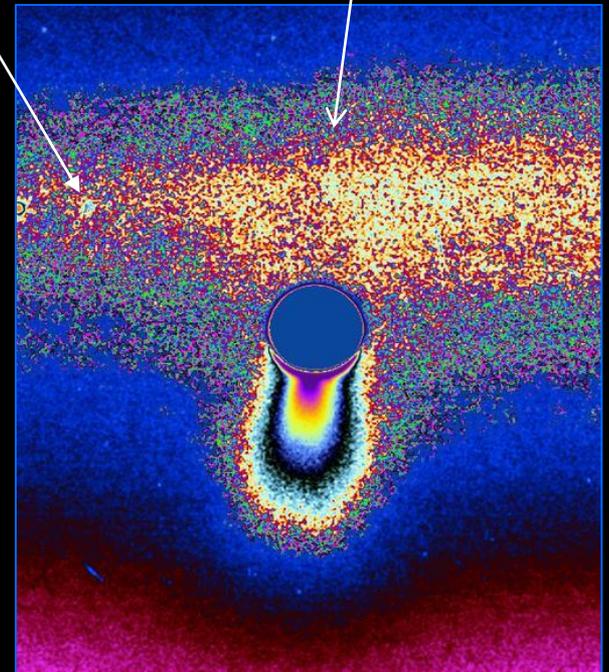
Jatos de gelo lançam poeira a centenas de km acima da superfície no pólo sul. Parte dessa poeira escapa e forma o anél difuso E, por onde ele circula.



credit: CICLOPS/JPL/ESA/NASA



Estrela de fundo



Cassini - 24/3/2006

Satélites saturninos (60): Titã

Enos Picazzio
IAGUSP
Agosto 2007

Huygens: pousou em 14/01/2005

100.000 km²

Canais de erosão
produzidos por
metano líquido

Lago: lama de
hidrocarbonetos
Temperatura
próxima a de
congelamento?

Ilhas de
água
congelada.

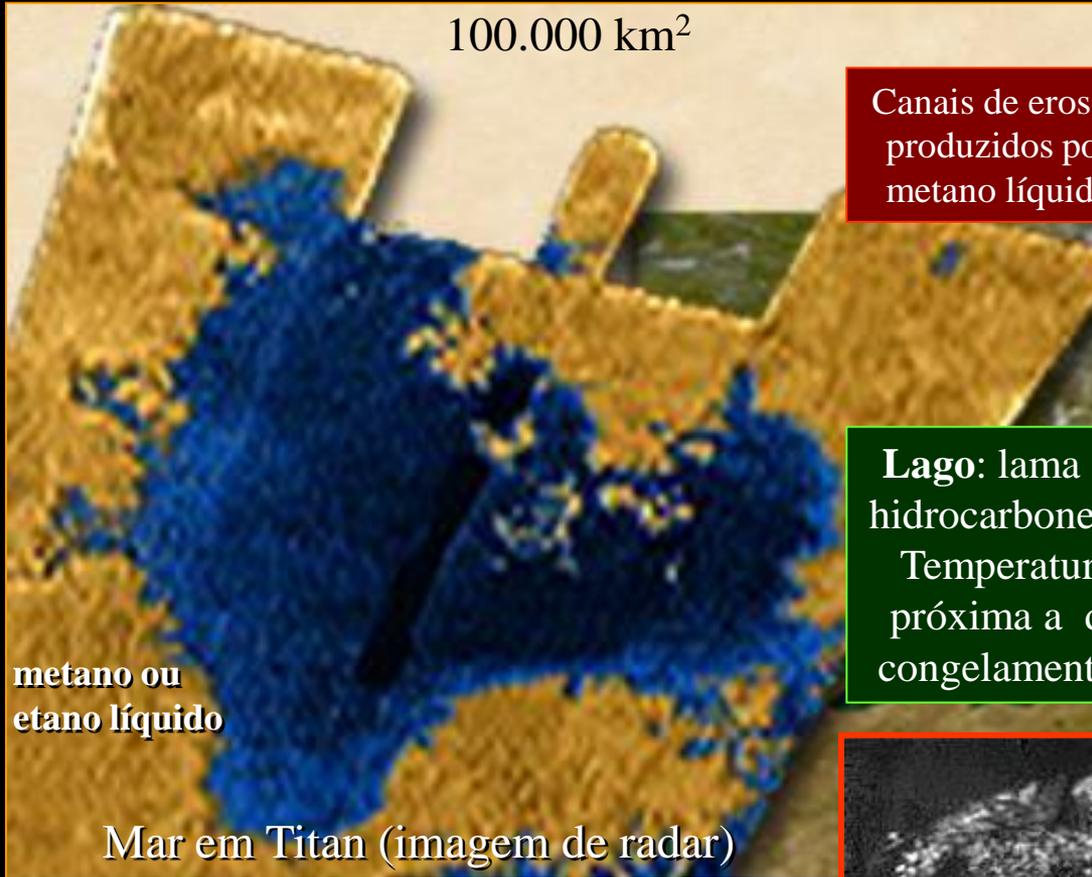
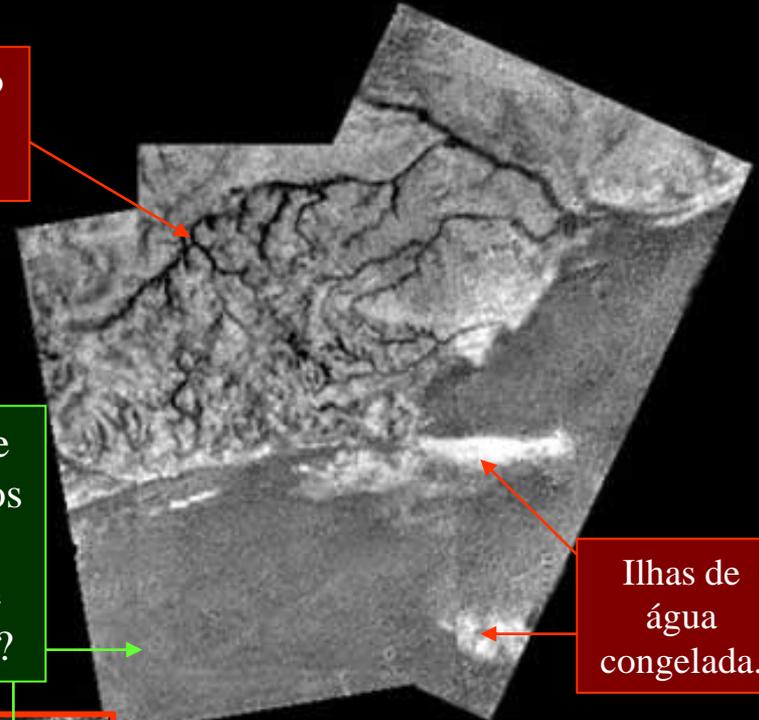
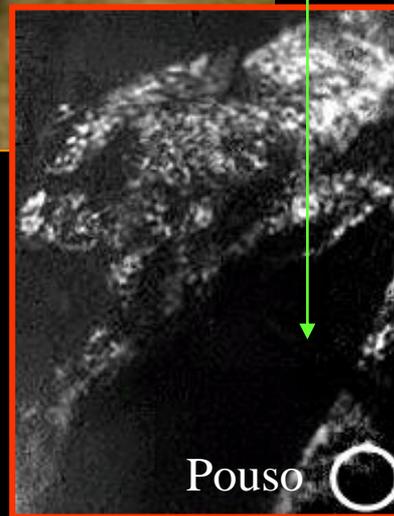
⁴⁰Ar da atmosfera pode ter
originado de atividade
vulcânica, não de lava mas
de água e amônia.

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

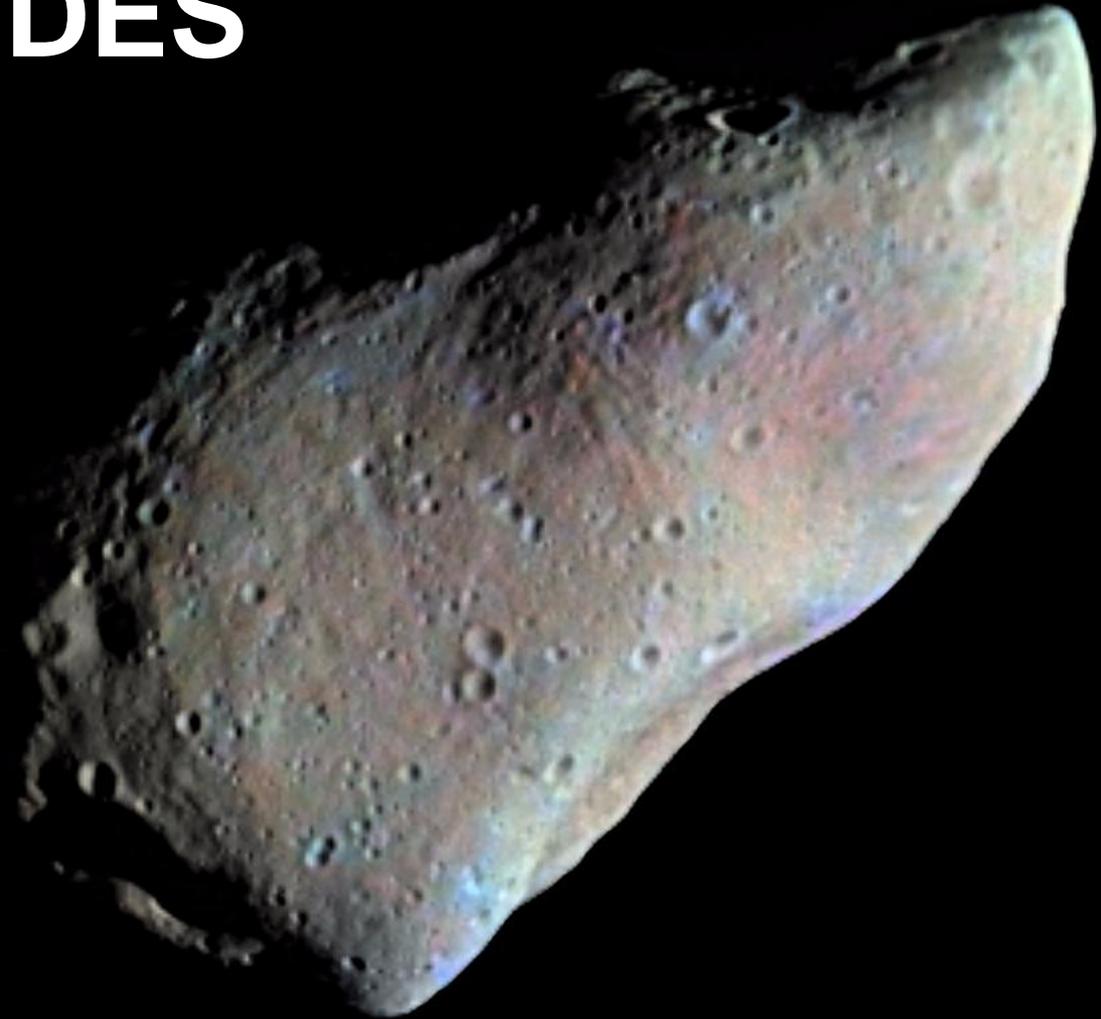
Pouso

metano ou
etano líquido

Mar em Titan (imagem de radar)



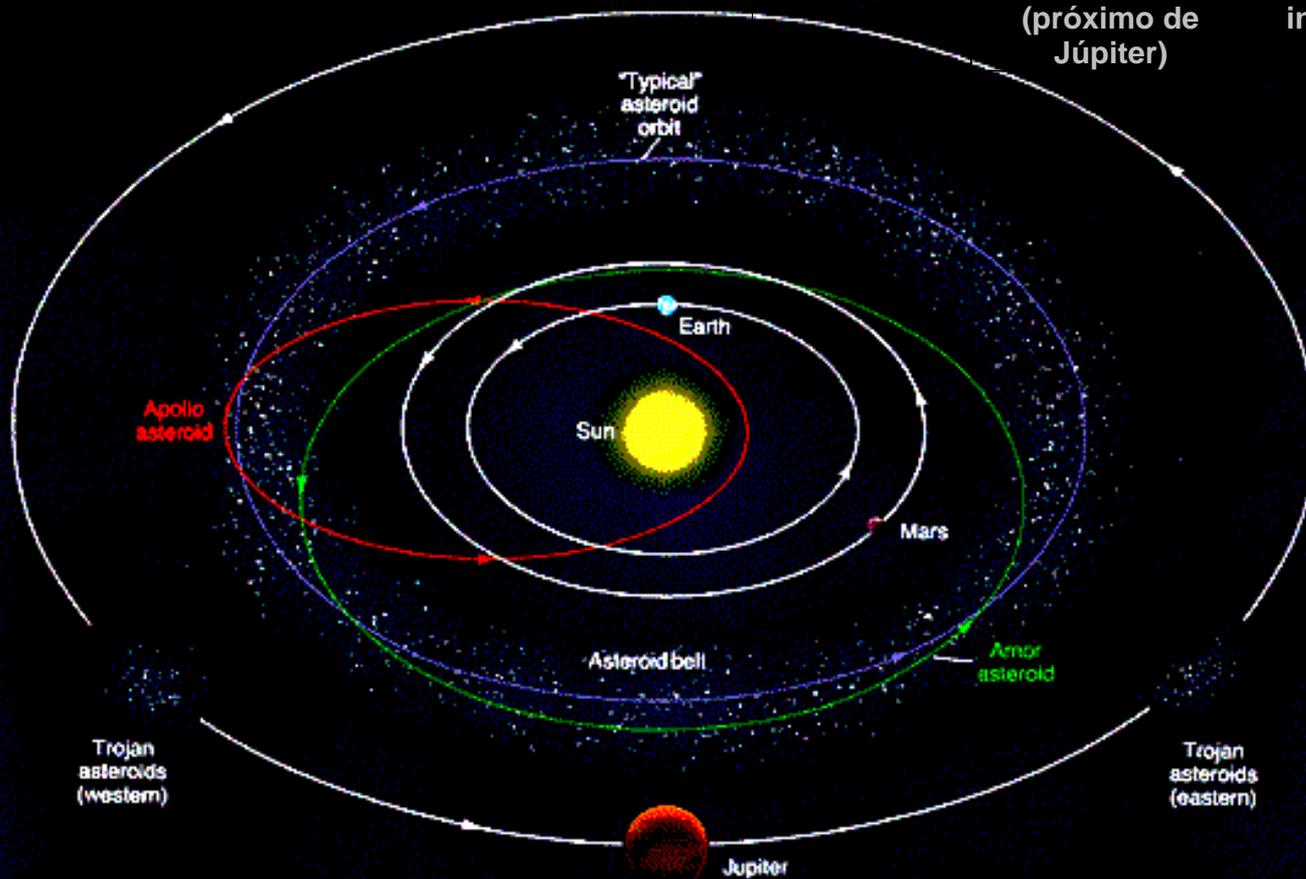
ASTERÓIDES



Gaspra

Cinturão

Tipo	C	M	S
Abundância	60%	≤ 10%	≈ 30%
Composição predominante	C + Fe ₃ O ₄	metais	silicatos
Albedo	< 5%	≈ 10%	≈ 15%
Cor	escuros	intermediário	claros
Posição	cinturão externo (próximo de Júpiter)	cinturão intermediário	cinturão interno (próximo de Marte)



– Grupo Atenas:

- semi-eixo maior $< 1,0$ UA
- distância afélica $> 0,983$ UA
- cruzam a órbita da Terra

– Grupo Apollo:

- semi-eixo maior $> 1,0$ UA
- distância periélica $< 1,017$ UA
- cruzam as órbitas da Terra e de Marte

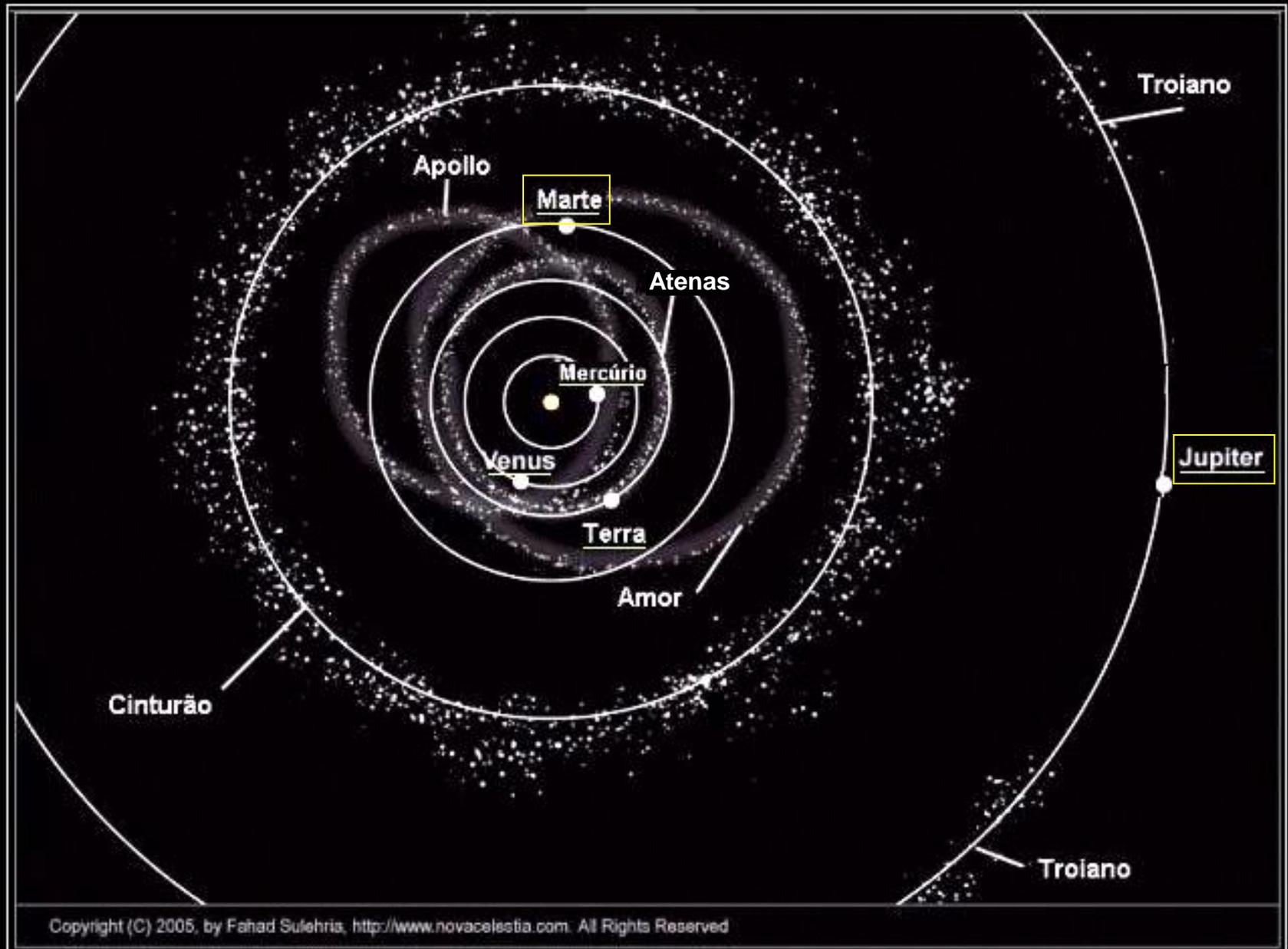
– **31 deles têm diâmetros maiores que 2 km**

– Grupo Amor:

- distância periélica entre $1,017$ e $1,3$ UA
- cruzam a órbita de Marte.

Asteróides próximos da Terra (NEA)

Enos Picazzio
IAGUSP
Agosto 2007



Ida e seu satélite Dáctilo

Tipo S



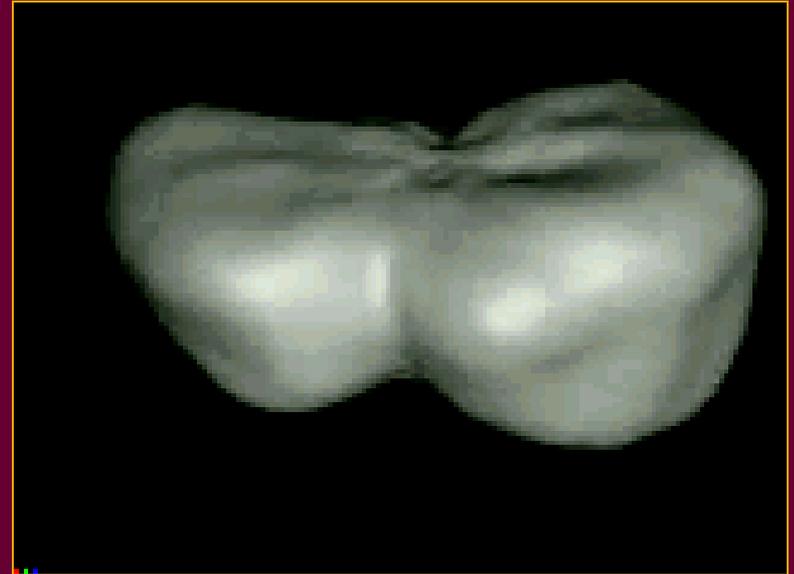
cerca de 60-km

Idade: 1 bilhão de anos

cerca de 1,5-km

distância: 90-km

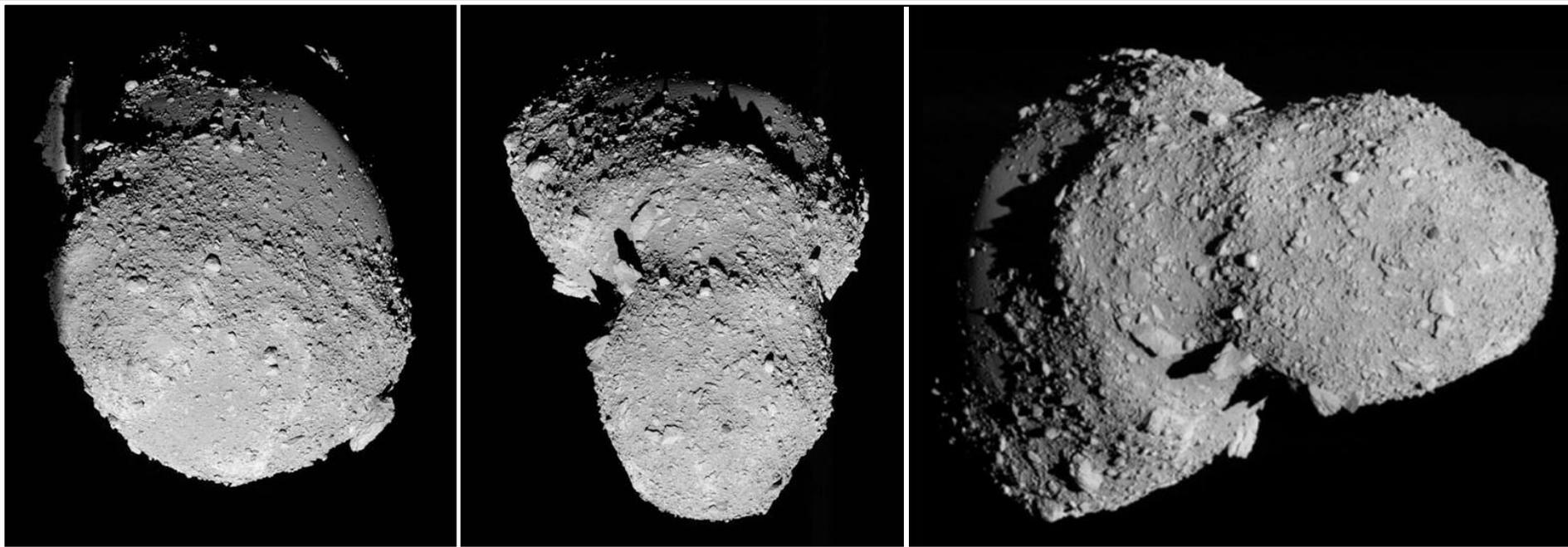
Castal



A densidade média indica material poroso, ou blocos rochosos agregados pela força gravitacional.

Neste caso há indícios de dois blocos principais (asteróides?) que se uniram por atração. Não há sinal de impacto violento que explicaria a fragmentação de um bloco monolítico.

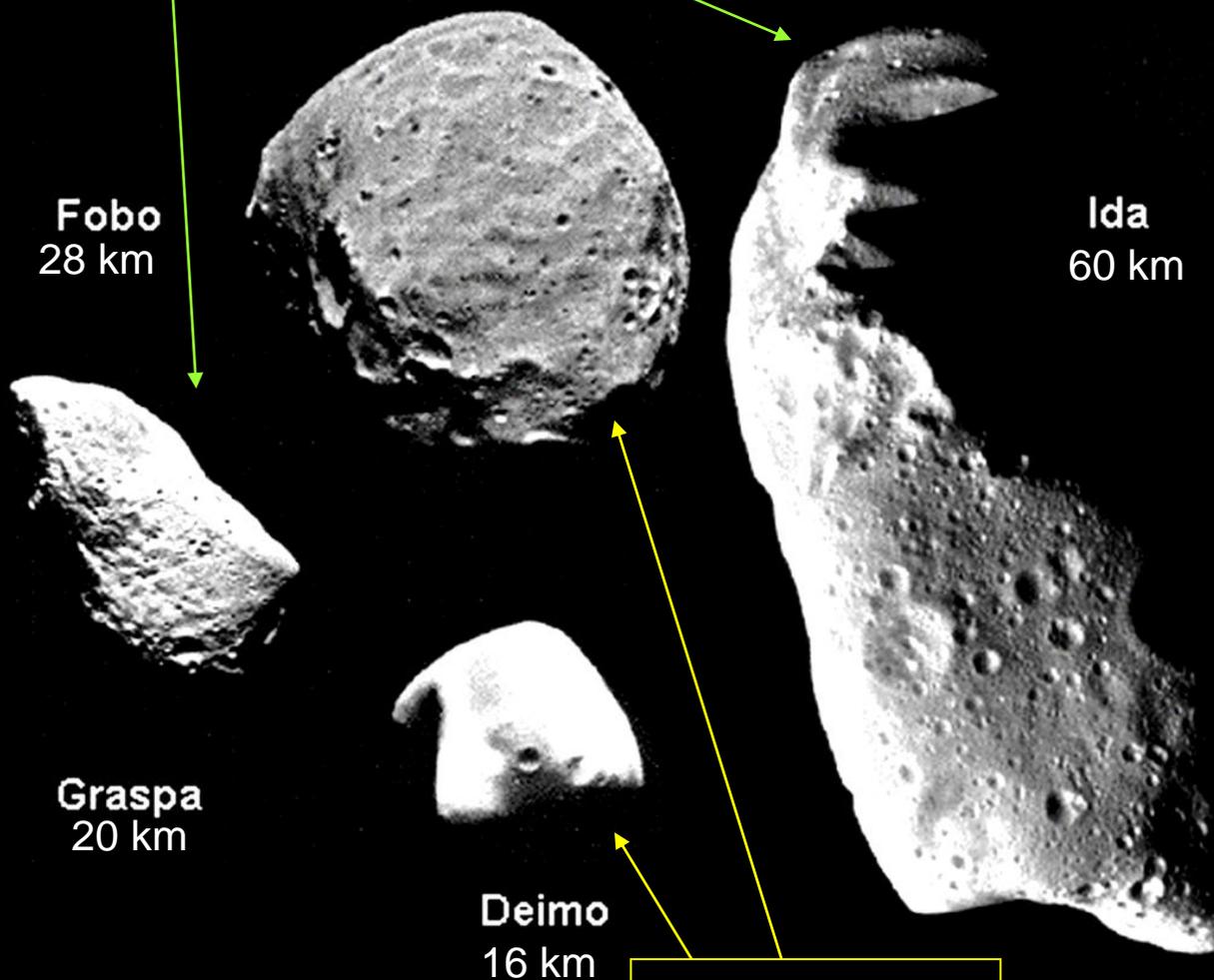
Itokawa



Aglomerado de cascalhos?

Asteróides

Semelhantes?

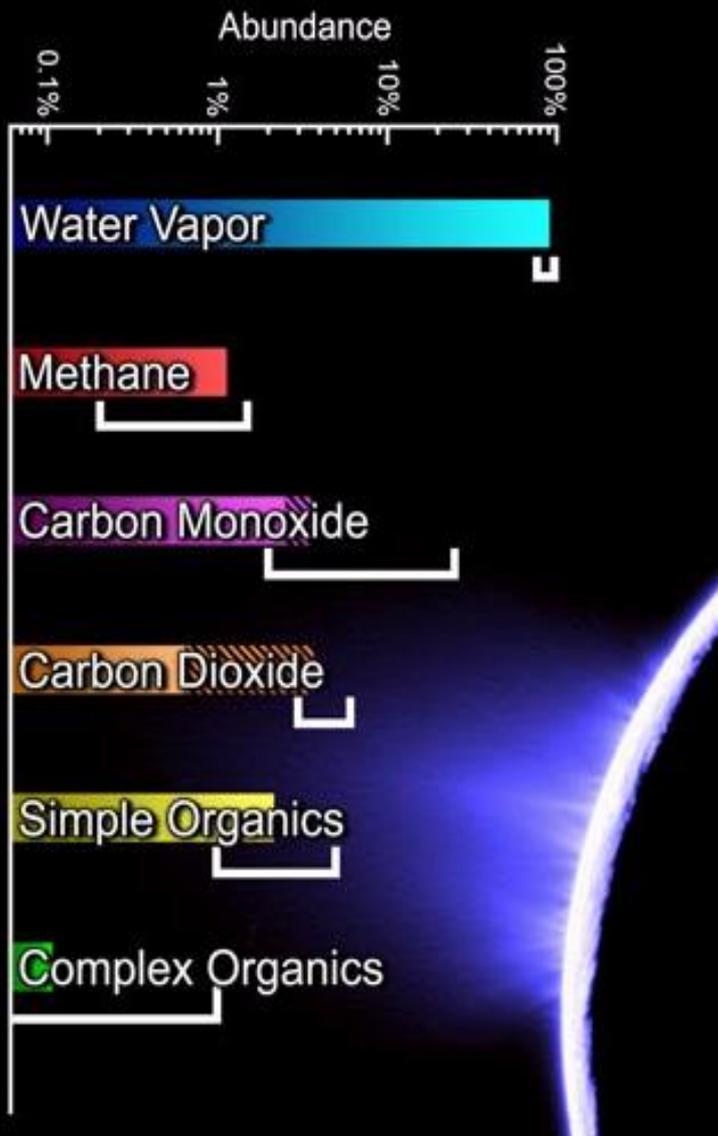


Satélites

COMETAS

C/1995 O1 (Hale-Bopp)

Região Transnetuniana – corpos congelados



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



gás ionizado gás neutro + poeira



Cometa Hale-Bopp (C/1995 O1)



Comet McNaught over the Warrumbungles

2007 Jan 28, 18:40 UT, Canon 50D, 50mm F2.8, 50000 exp., ISO 1600. Copyright Robert H. McNaught

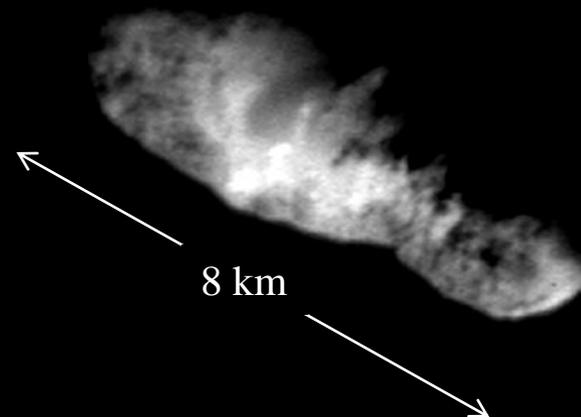
**Os cometas
abasteceram a Terra**

Cometas: missões

Halley: 16 x 8 x 8 km

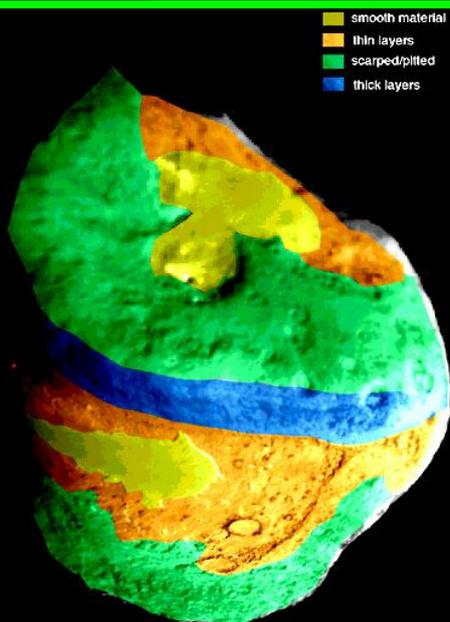
Lagos congelados; sob aquecimento vaporizam gases e poeira

8 x 4 km



19/P Borrelly

Tempel 1



Mapa geológico:
material plano
camada fina
terreno escarpado
camada espessa

4 x 14 km

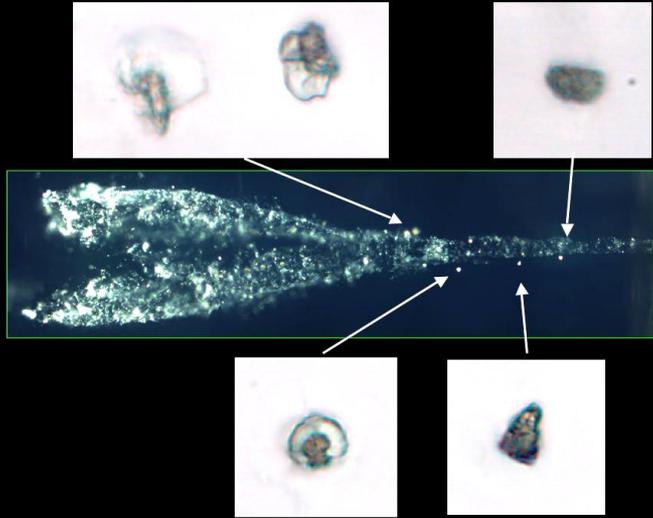
Wild 2

Aparência à 500 km de distância

~ 5 km



Poeira aprisionada no aparato de gel



poeira do Wild 2

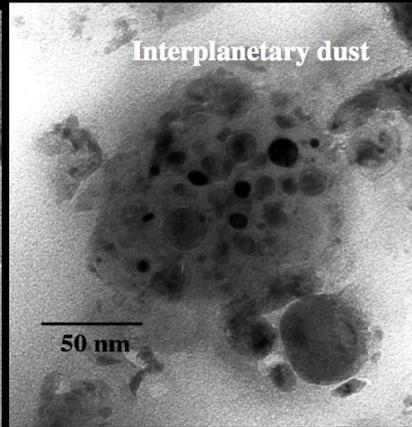
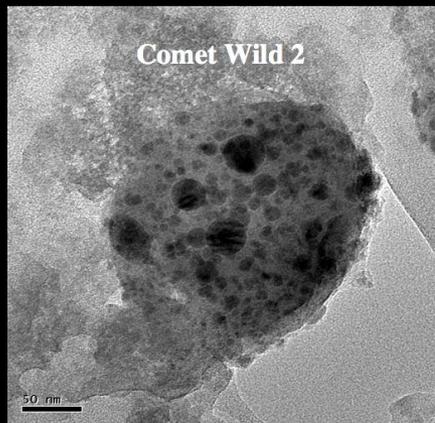


Côndrulos:

esferóides
milimétricos
de olivina
[(Mg,Fe)SiO₄],
e piroxênio
[(Mg,Fe)SiO₃]

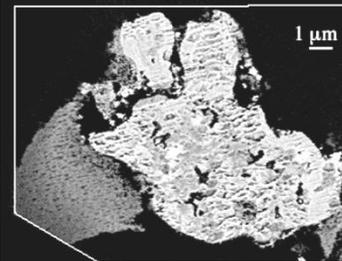
GEMS ?

(Glass with Embedded Metal and Sulfides)

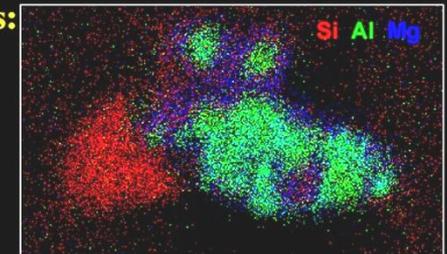


SEM-EDS X-ray Maps: overlay maps

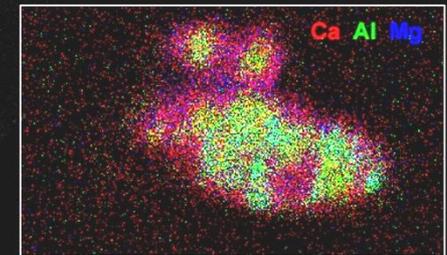
"Easter" C054.4.25.0
potted butt in acrylic



BSE image, 4.0 kV, high contrast



EDS X-ray maps, 10 kV



Composição química

Espécies mais abundantes

H_2O , NH_3 , CH_4 , CO_2 , C_2H_2 , CN , C_2 , C_3 ,
 CH , NH , NH_2 ,

CO^+ , N_2^+ , OH^+ , CH^+ , H_2O

Poeira

Composição básica:

80% água, 16% CO , 4% CO_2 , e traços de amônia e metano

Nota-se uma certa regularidade entre elas:

1. os sentidos de revolução e de rotação dos planetas (exceto Vênus e Urano) coincidem com o sentido de rotação do Sol; “rotação direta”
2. as órbitas dos planetas (exceto Mercúrio) são quase circulares e coplanares à eclíptica;
3. as órbitas da maioria dos satélites também são quase circulares e coplanares com o plano do equador dos seus planetas;
4. as distâncias heliocêntricas dos planetas, assim como as distâncias orbitais dos satélites, seguem uma lei de espaçamento regular;
5. juntos, os planetas apresentam momento angular muito maior que o do Sol; (quantidade de movimento angular = mvr ; massa, velocidade orbital, raio);
6. há planetas com anéis no plano equatorial e rotação direta;
7. os planetas apresentam composição química diferenciada;
8. os cometas de períodos longos têm distribuição espacial quase isotrópica, ao contrário dos cometas de períodos curtos (próximos ao plano da eclíptica);
9. adiante de Plutão há uma população de corpos pequenos com órbitas quase circulares (algumas são altamente excêntricas) e coplanares à eclíptica;

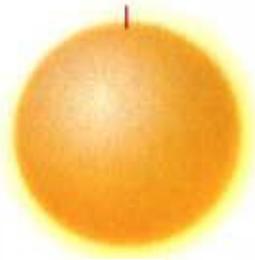
Propriedades dinâmicas e físicas do Sistema Solar

Essas características resultam do processo de formação do sistema de corpos que orbitam o Sol.

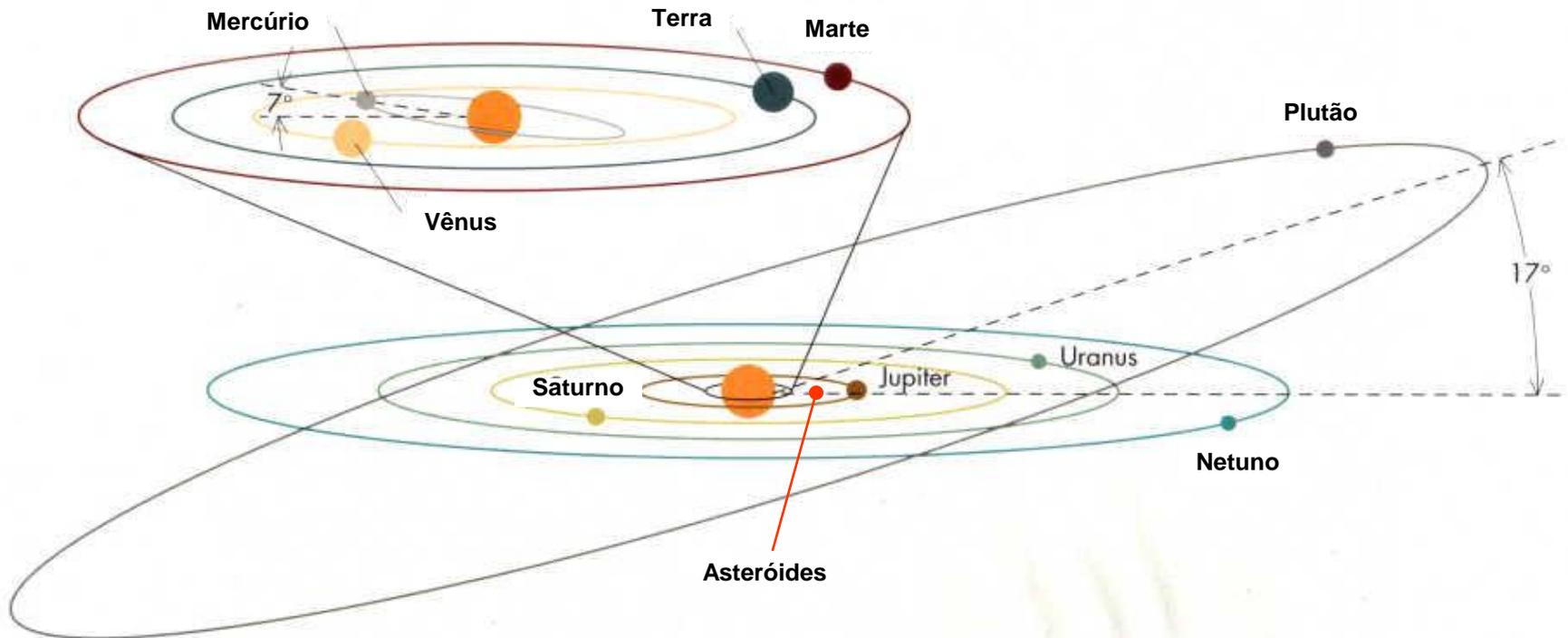
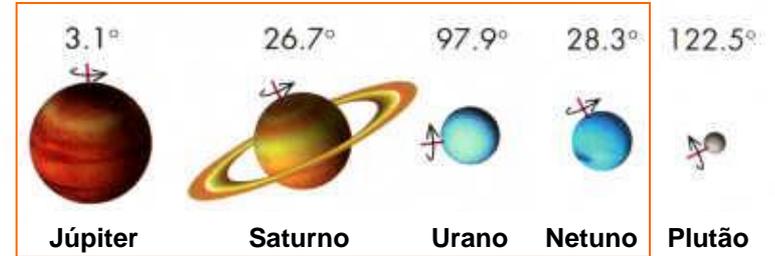
Na formação da estrela, a nuvem primordial em colapso entra em rotação e acaba por formar um disco de matéria (gases e poeira) no seu plano equatorial, do qual se formarão todos os corpos (planetas, satélites, asteróides, cometas etc.). Essa é a razão do sentido de rotação direta (de oeste para leste, visto do norte eclíptico) predominante no Sistema Solar.

Parte da energia rotacional é transmitida ao disco e aos objetos ali formados, e a estrela perde rotação: o período de rotação do Sol é ~ 29 dias e de Júpiter e Saturno é ~10 horas.

A estrutura do Sistema Solar



Sol



A estrutura do Sistema Solar

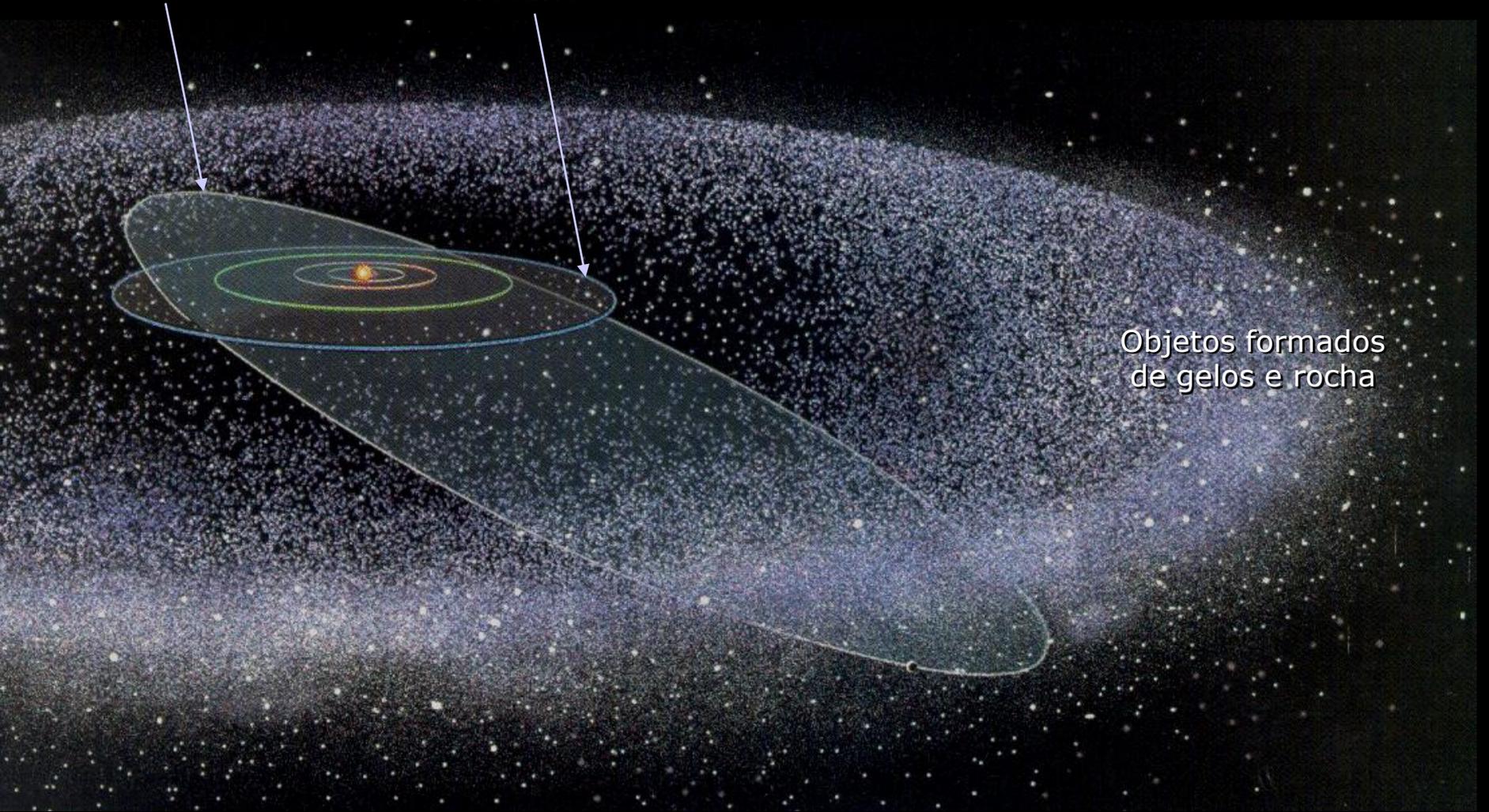
Enos Picazzio
IAGUSP
Agosto 2007

O Cinturão de Edgeworth-Kuiper

Plutão

Netuno

Objetos formados
de gelos e rocha



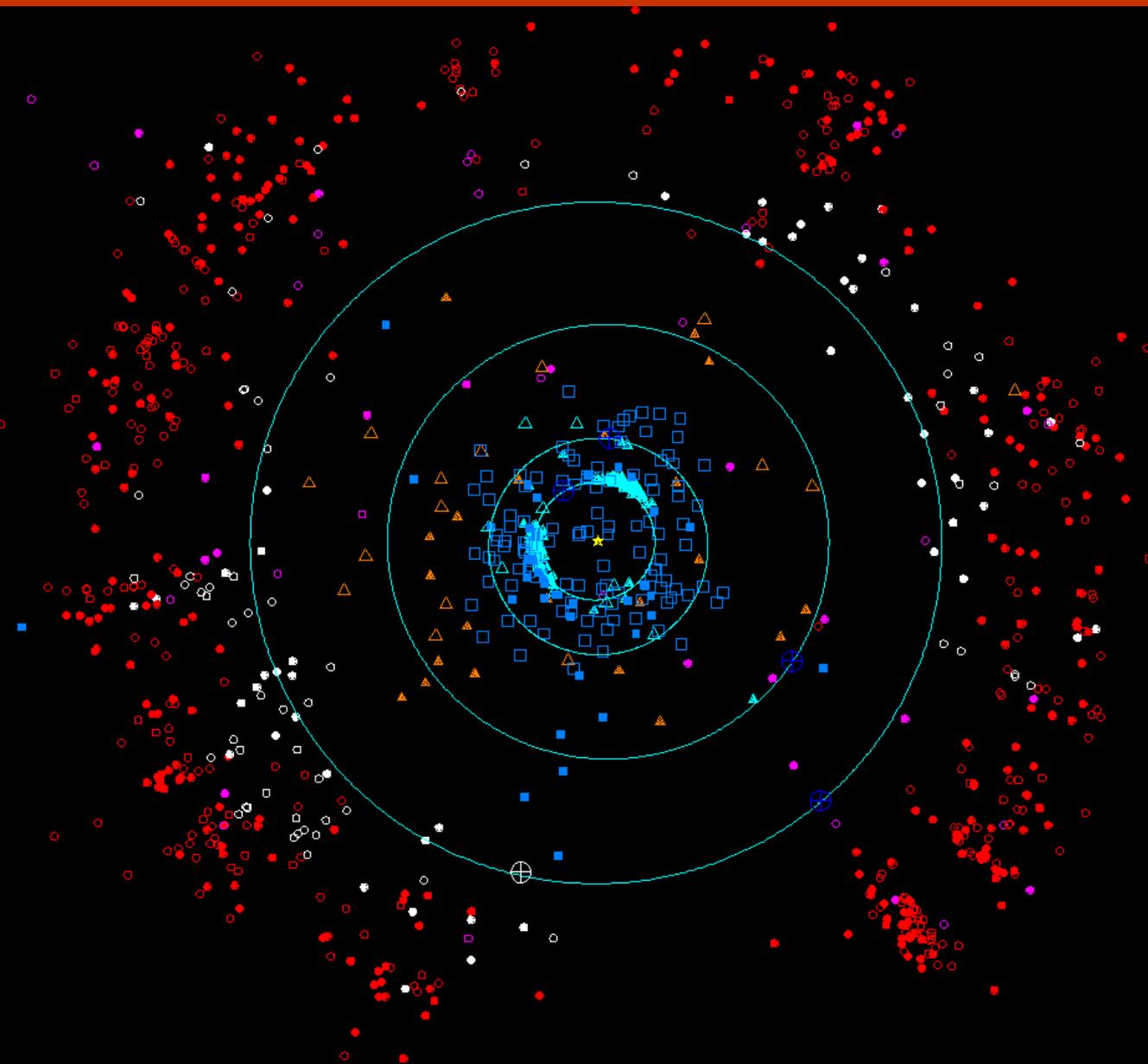
A estrutura do Sistema Solar

Enos Picazzio
IAGUSP
Agosto 2007

Os maiores objetos do Cinturão de Kuiper



A estrutura do Sistema Solar



Planetas: órbitas vistas em azul

Localização corrente: símbolos grandes nesta cor

Objetos raros com órbitas de elevada excentricidades,

Objetos Centauro:

Objetos Plutinos: (Plutão é o gde círculo branco),

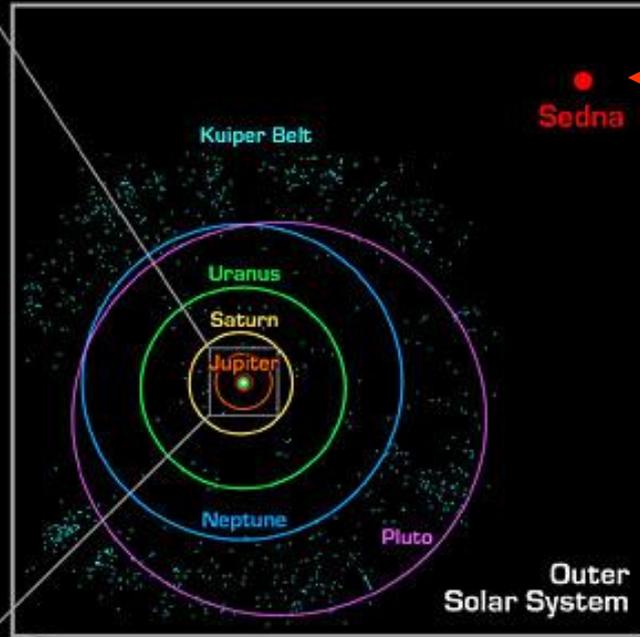
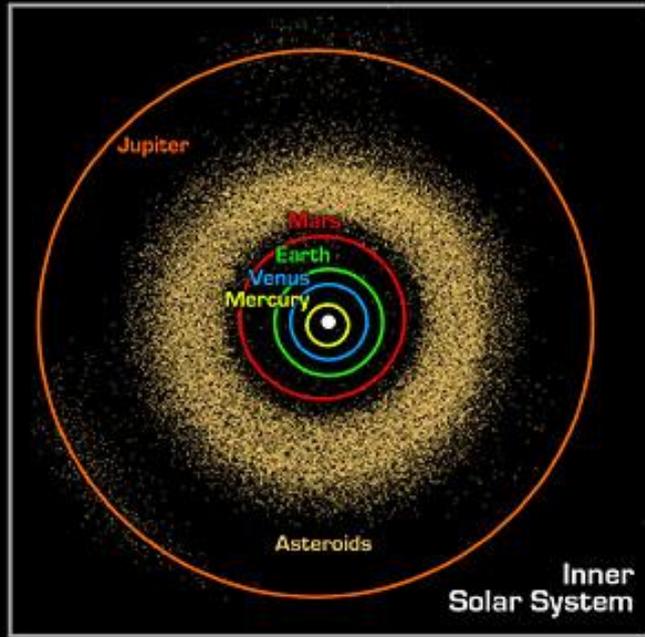
Objetos espalhados do disco

Objetos clássicos

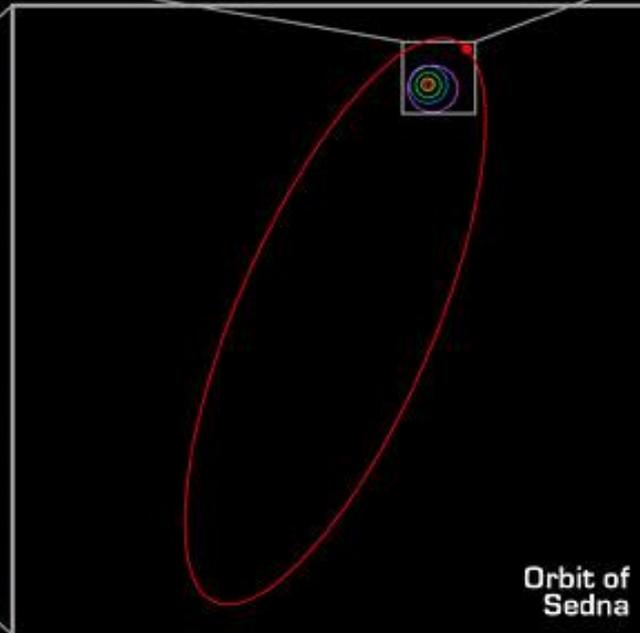
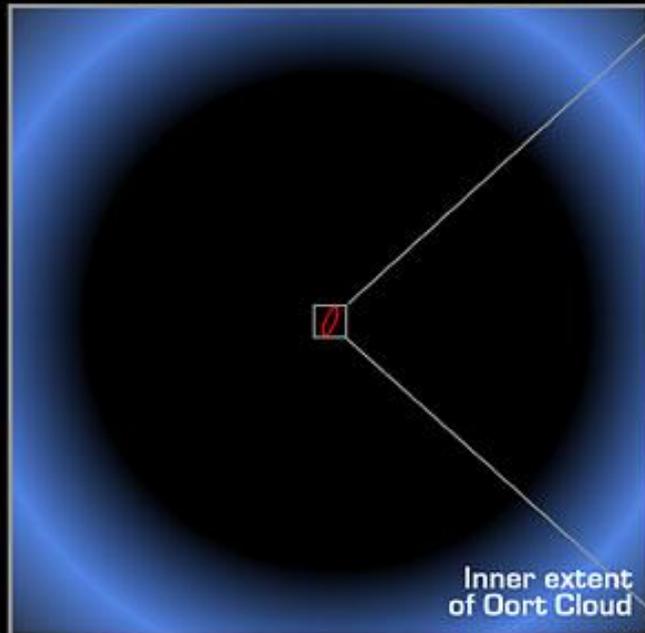
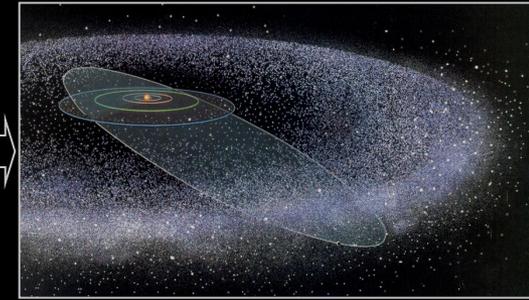
Cometas periódicos

Outros cometas

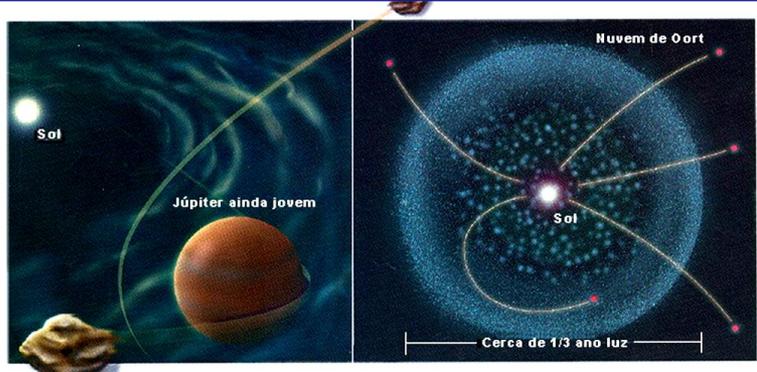
A estrutura do Sistema Solar



← Sedna
Candidato a planeta anão



Cometas: de onde eles vêm?



Períodos longos: formados na região dos gasosos e expelidos para cá por interação gravitacional.

Cinturão Edgeworht-Kuiper

Plutão

Nuvem de Oort
30.000 a 100.000 UA

Períodos curtos e médios:
formados nesta região

