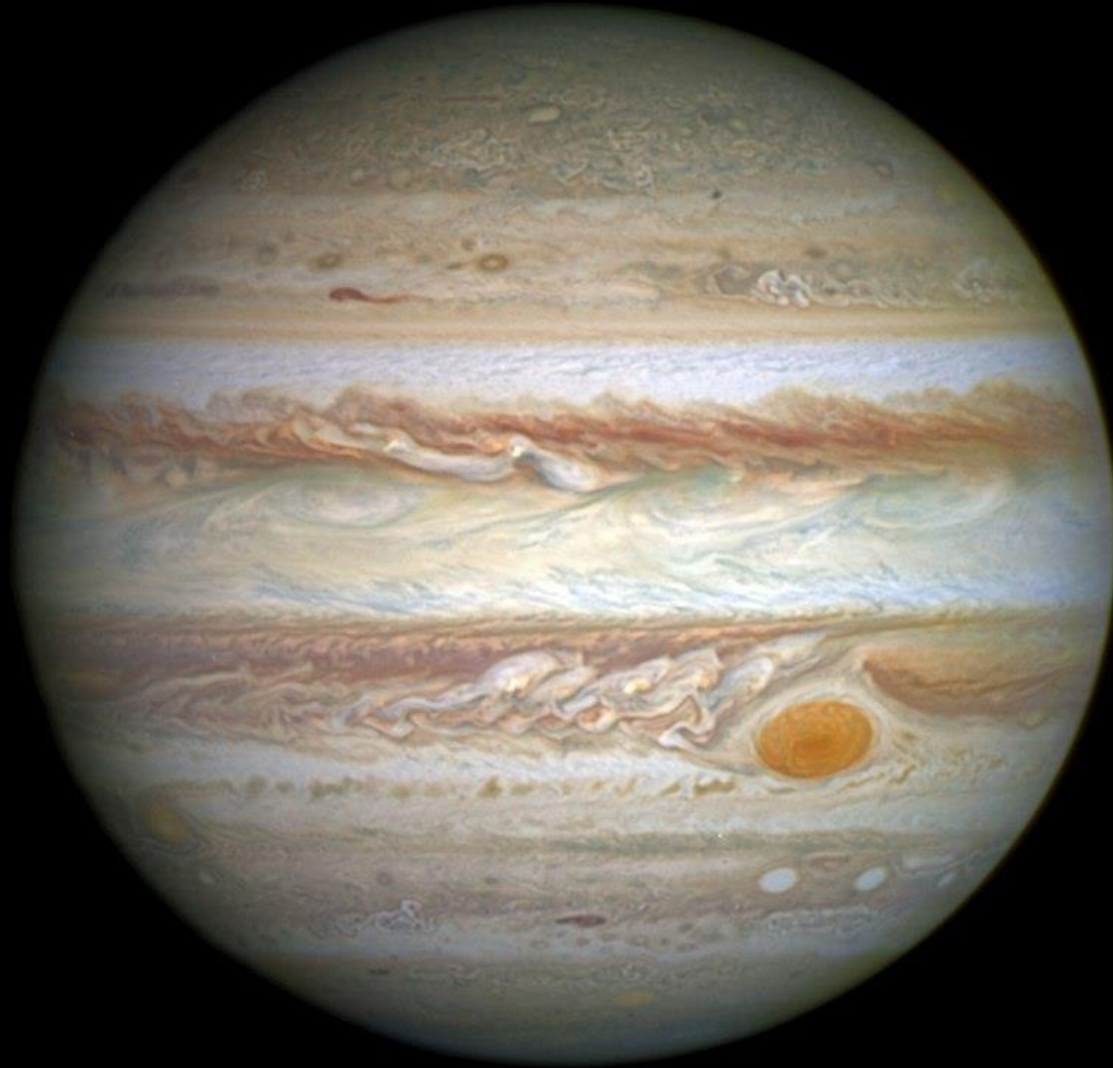


Sistema Solar Exterior



Estrutura Externa do Sistema Solar

Planetas Externos: Júpiter, Saturno, Urano, Netuno

características da estrutura interna, atmosfera, satélites e anéis.

Satélites peculiares: Rhea, Enceladus, Titan, Europa.

Comparação da Estrutura Interna dos Planetas Gasosos.

Comparação da Estrutura Geral dos Planetas do Sistema Solar

Júpiter

Características Gerais



5° do S.Solar com $D = 778.330.000 \text{ km}$ (5.20 UA)

Diâmetro: 142.984 km (equatorial)

Maior e mais massivo ($d \sim 11 d_{\text{Terra}}$, $M \sim 300 M_{\text{terra}}$)

Menor densidade que os terrestres

Dominado por H e He (condensados e aprisionados na atm. devido a grande distância ao Sol) Disco fino e muitos satélites (~ 63)

Poderoso emissor em ondas de rádio vindas do cinturão de partículas carregadas confinadas por fortes campos magnéticos e de descargas elétricas que ocorrem na atmosfera superior

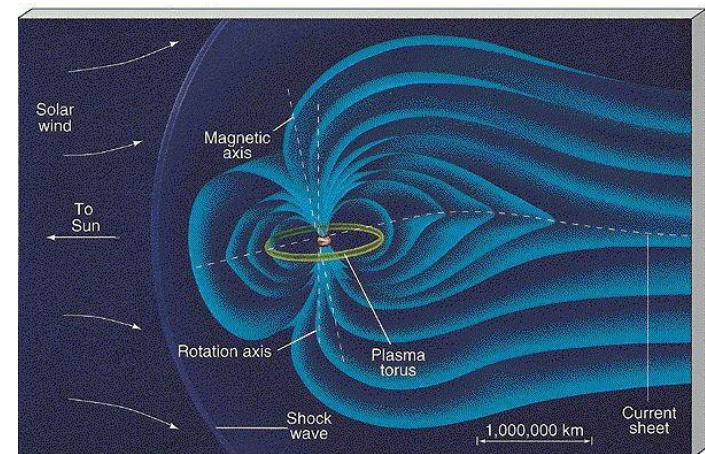
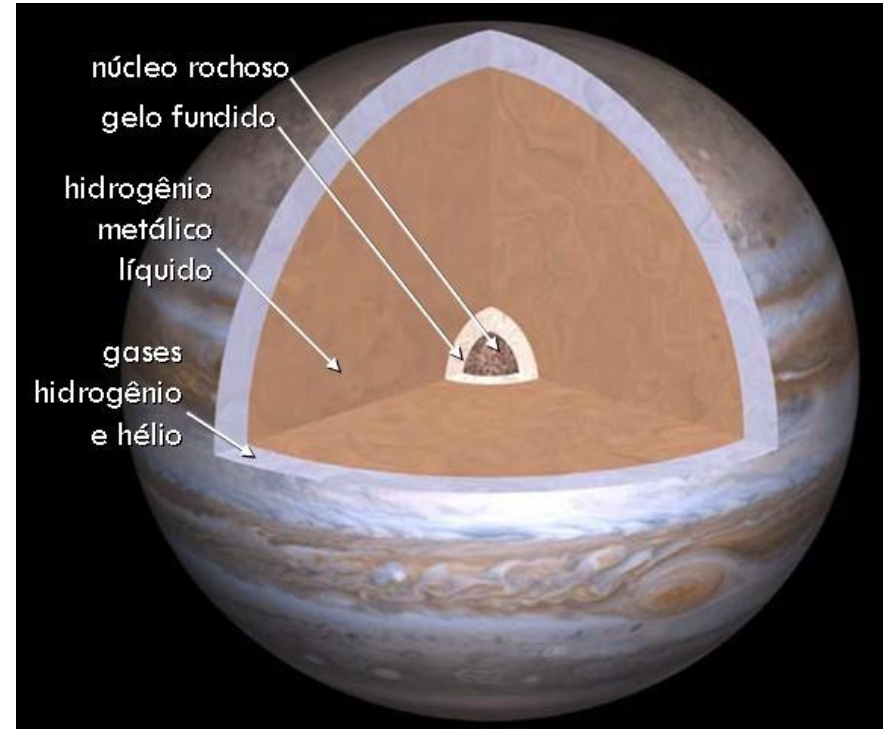
Atmosfera e Interior

Estudados via observações e teoria

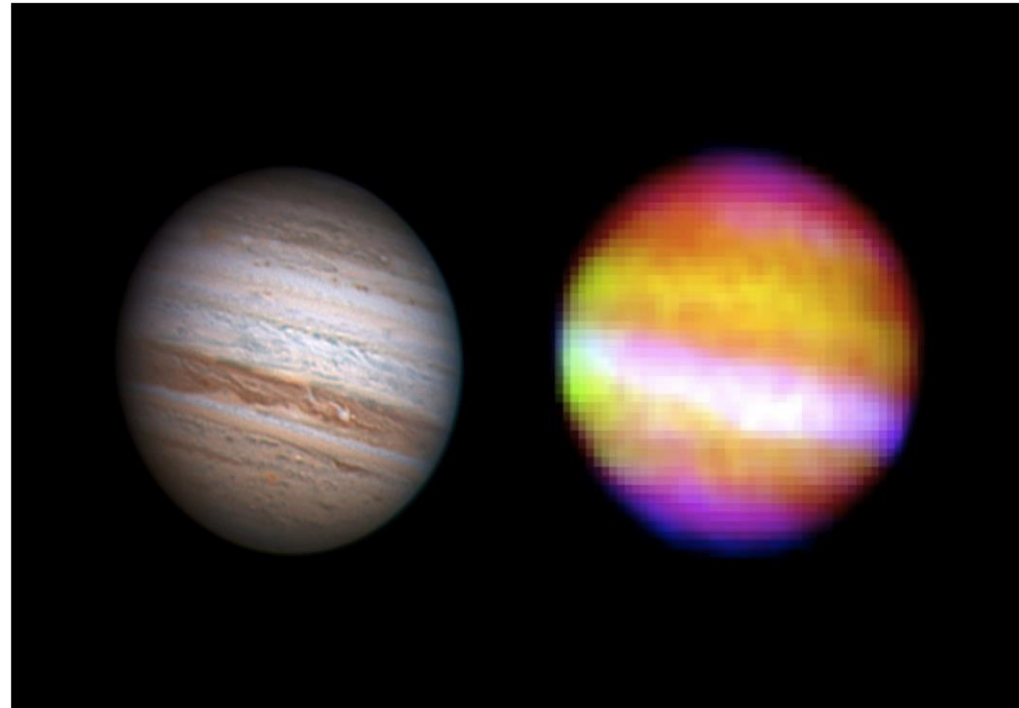
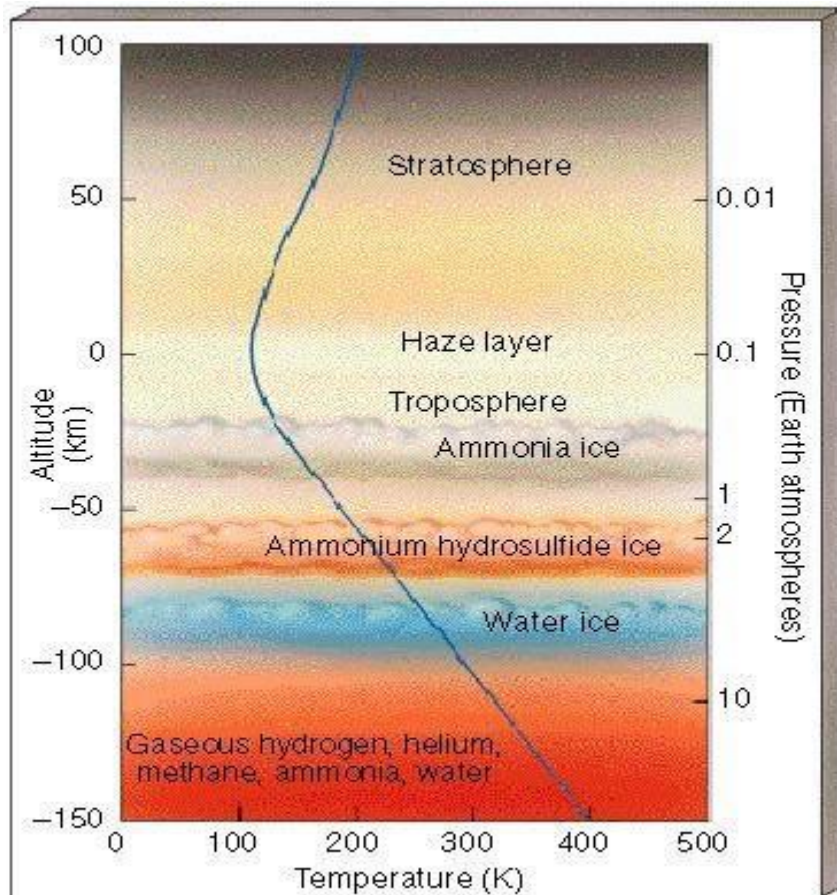
Interior inteiramente fluido, com pequeno caroço rochoso de elementos pesados, escoado na “fase de diferenciação”, que gera por **atrito** com a camada intermediária o Campo Magnético (CM)

Camada logo acima do núcleo é extensa, **H metálico-liquido** (eletrons e protons ionizados devido alta P e T)

Camada externa gasosa com predominância de H molecular e He, além de derivados de H como amônia (NH₃), metano (CH₄), H₂S e água.



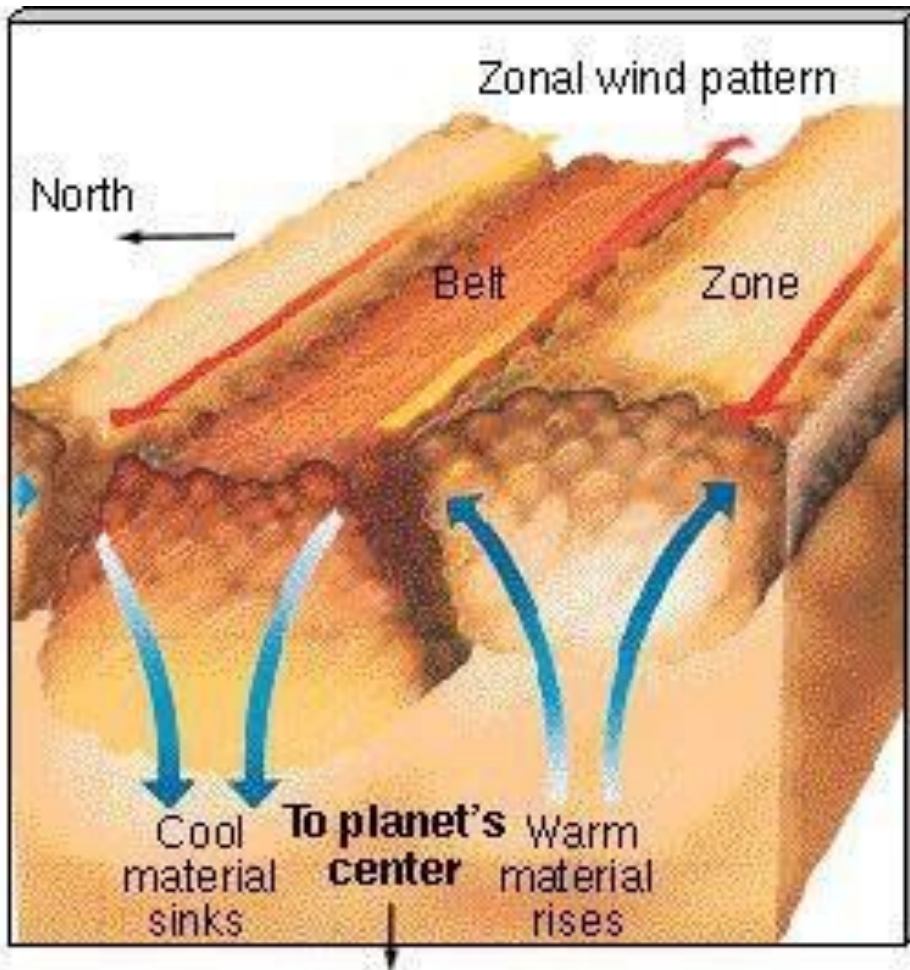
Atmosfera (pressão e temperatura) em Função da Altura



Estratosfera de Júpiter , à direita

Aparência da atmosfera com estrutura
em bandas escuras e brilhantes

Padrão de faixas escuras e claras na atmosfera

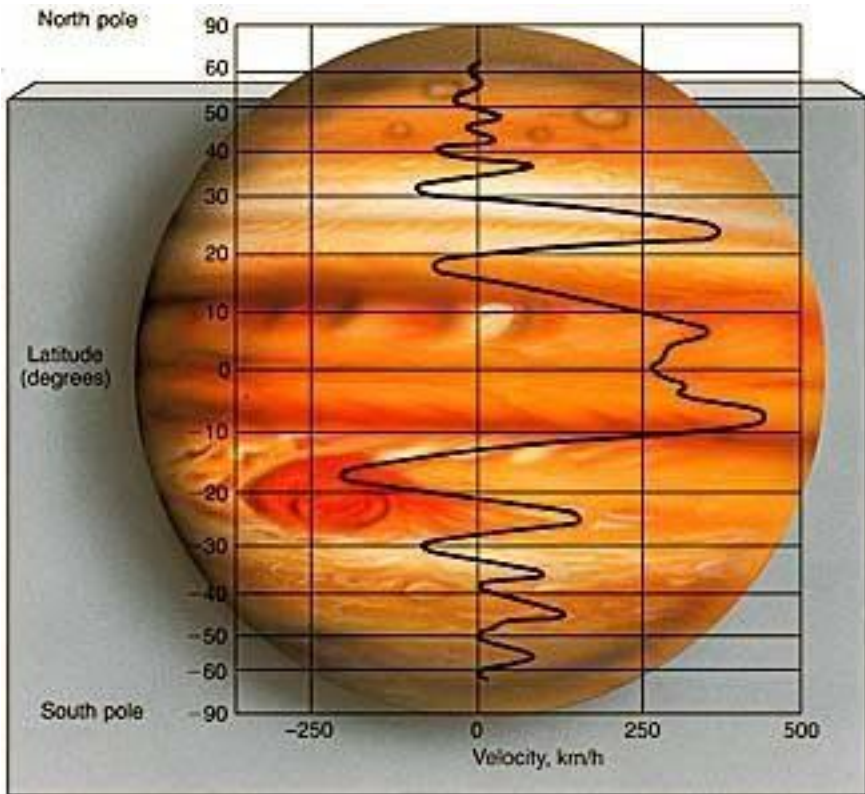


Devido a diferença entre o calor interno e externo vai haver **gradiente de Temperatura (T)**, gerando efeito de **convecção**.

Este efeito associado a **alta rotação**, **circulação complexa** e **ventos rotatórios distendidos**, gera faixas escuras (gás caindo) + faixas claras (gás subindo)

Alta Rotação

...gera efeito achatado nos polos e dilatado no equador (7% em relação aos pólos)



Rápida rotação é devido a acreção de gás da sua vizinhança no início de sua formação.

Para manter a conservação do momento angular (L), a velocidade aumentou...

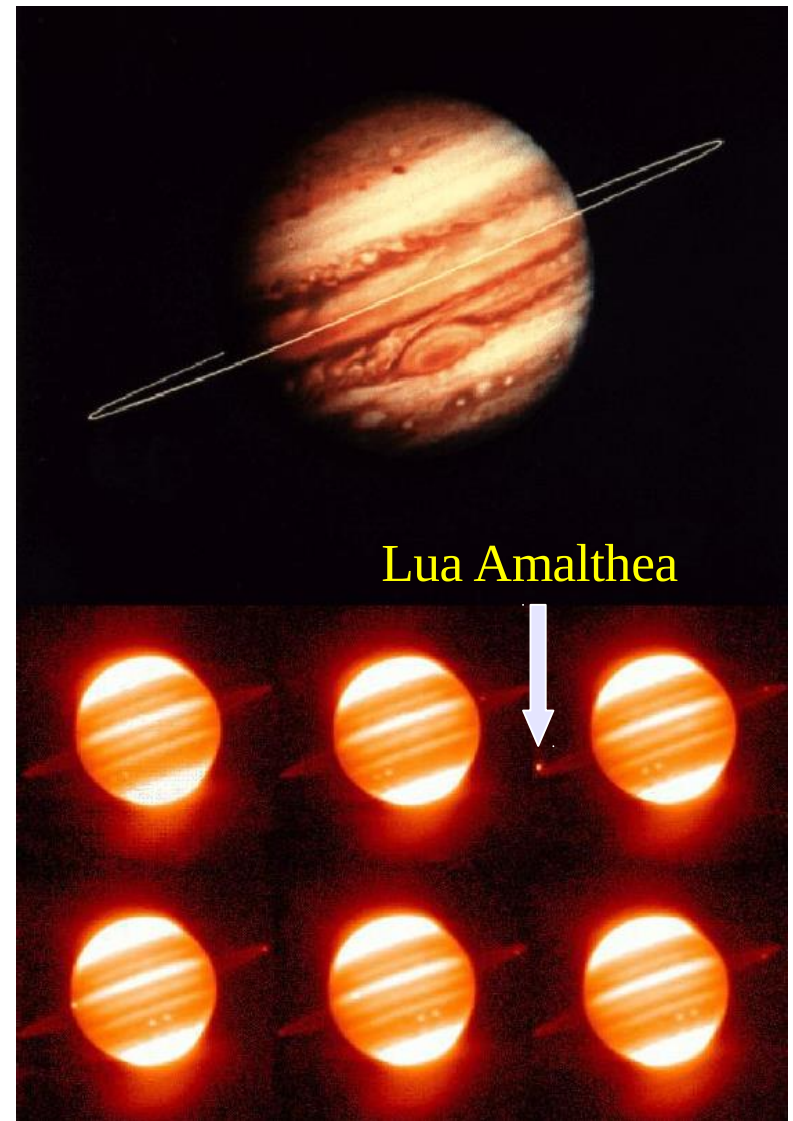
Estrutura oval, presente nos últimos 300 anos, conhecido como **grande mancha vermelha**, associado a temporais e turbulência de nuvens nas camadas superiores da atmosfera.

Anéis

Júpiter tem 3 anéis (mais fracos do que Saturno), cuja natureza é de partículas de poeira fina, daí a dificuldade de se observar.

Anel principal com 30 km de espessura e 6400 km de largura.

Atinge a órbita da lua Amalthea →



Muitos satélites

...vamos ver os Galileanos...

Satelites de Júpiter



The Jupiter System

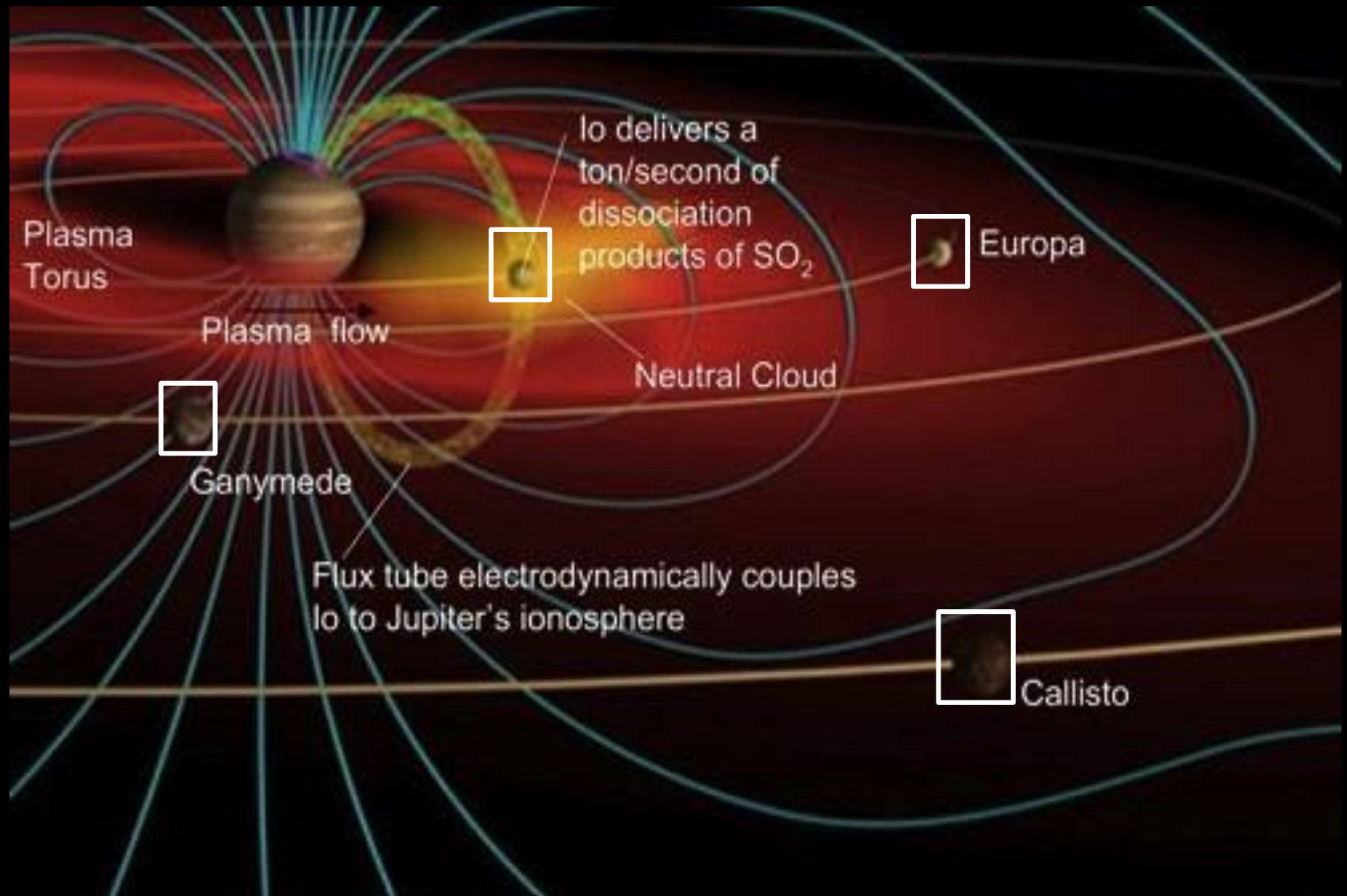
© Copyright 1998 by Calvin J. Hamilton

Satélites Galileanos – dimensões relativas

- Io
- Europa
- Ganimede
- Calisto

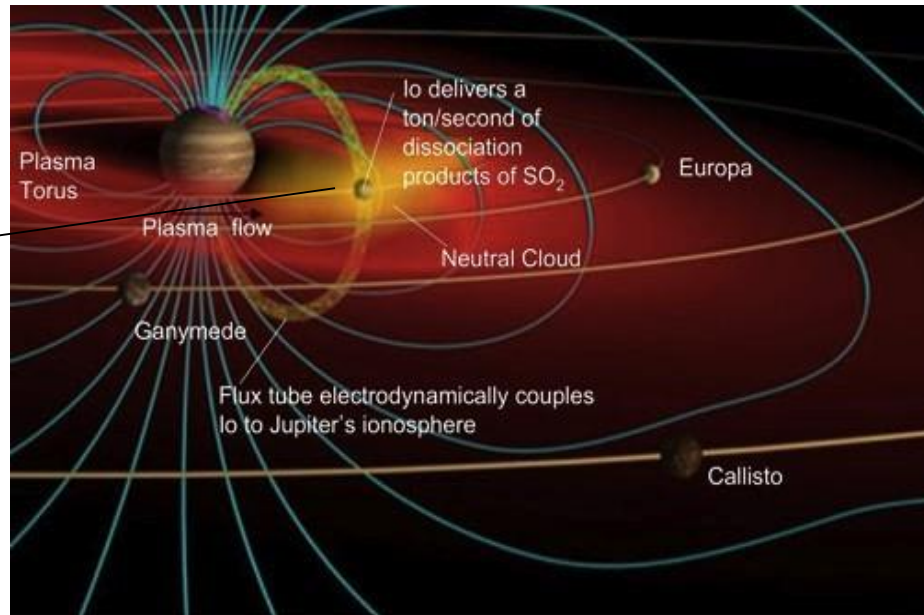
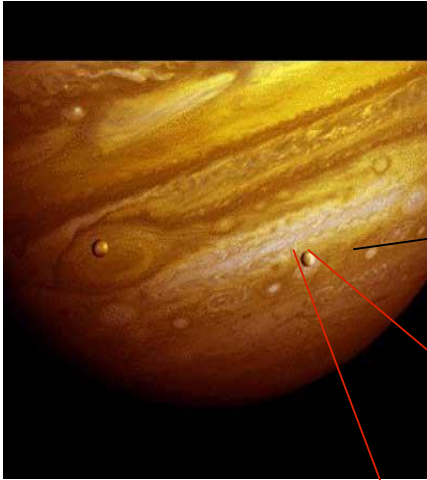


Imediações de Júpiter



IO

Geologicamente o mais ativo do SS



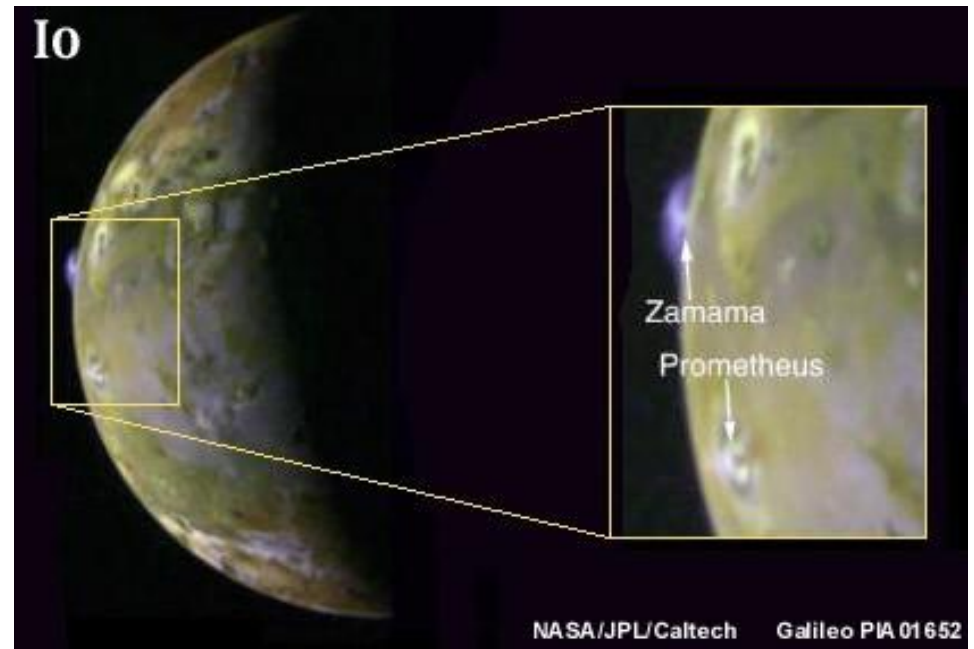
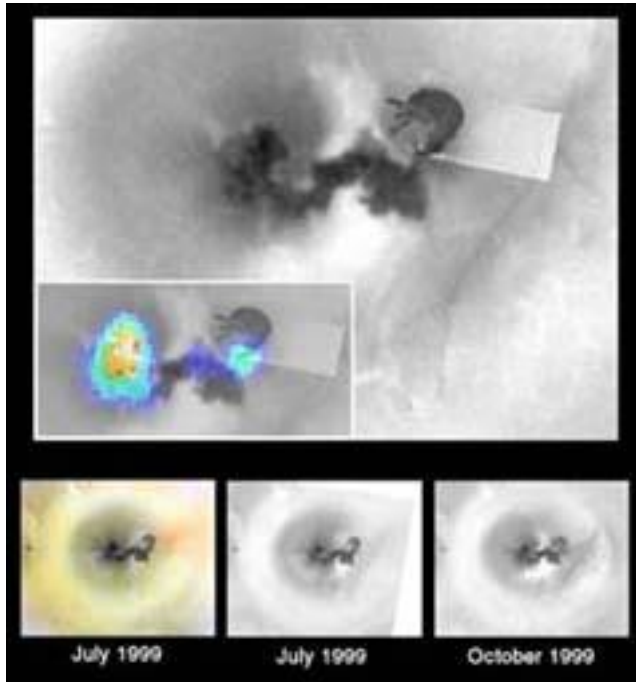
Vulcões *ativos* em vários lugares

Atividade somada a densidade e alta temperatura implica em um interior quase fundido



Reg. brilhantes com cores amarelo e laranja devido ao enxofre vulcânico

IO



Nenhuma cratera

Gás ejetado por erupção

Vulcões *ativos* em vários lugares

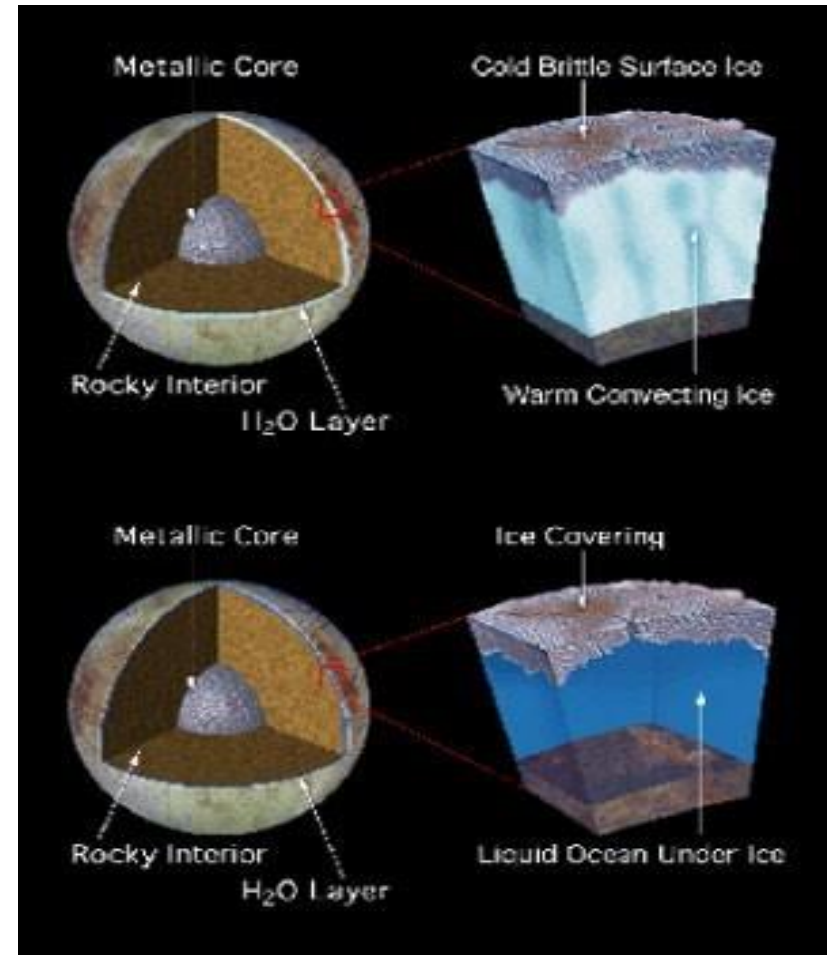
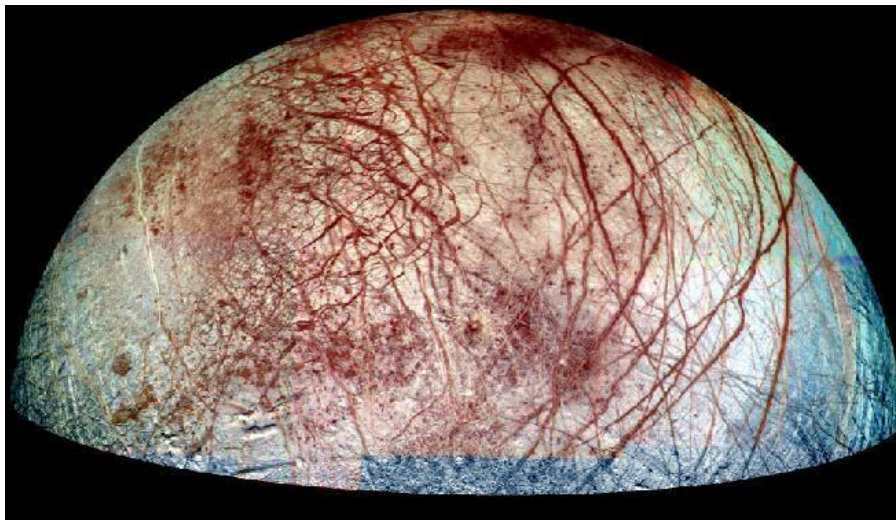
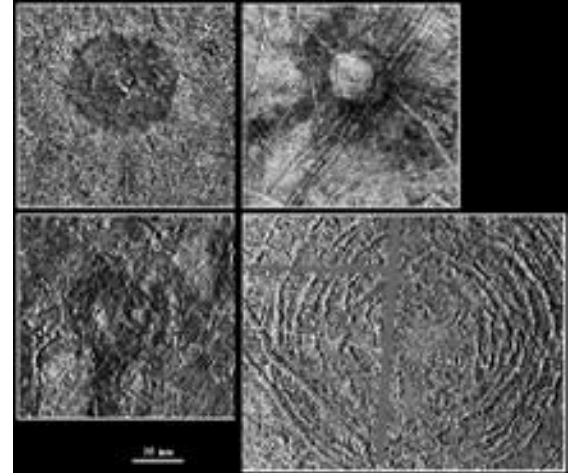
Europa

Superfície craquelada com poucas crateras, portanto, **superfície jovem.**

Renovada e/ou remodelada recentemente devido a intensa força de maré.

Superfície de gelo fria e quebradiça
Possível oceano de água sob superfície.

Evidências de Atividade Tectônica

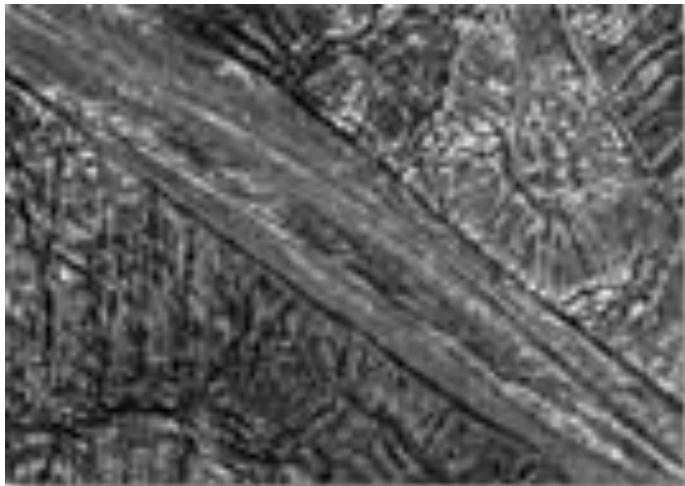


Ganymede

Maior satélite do SS

Superfície com muitas crateras de impacto -> +- velha

Regiões vincadas -> alguma Atividade Tectônica

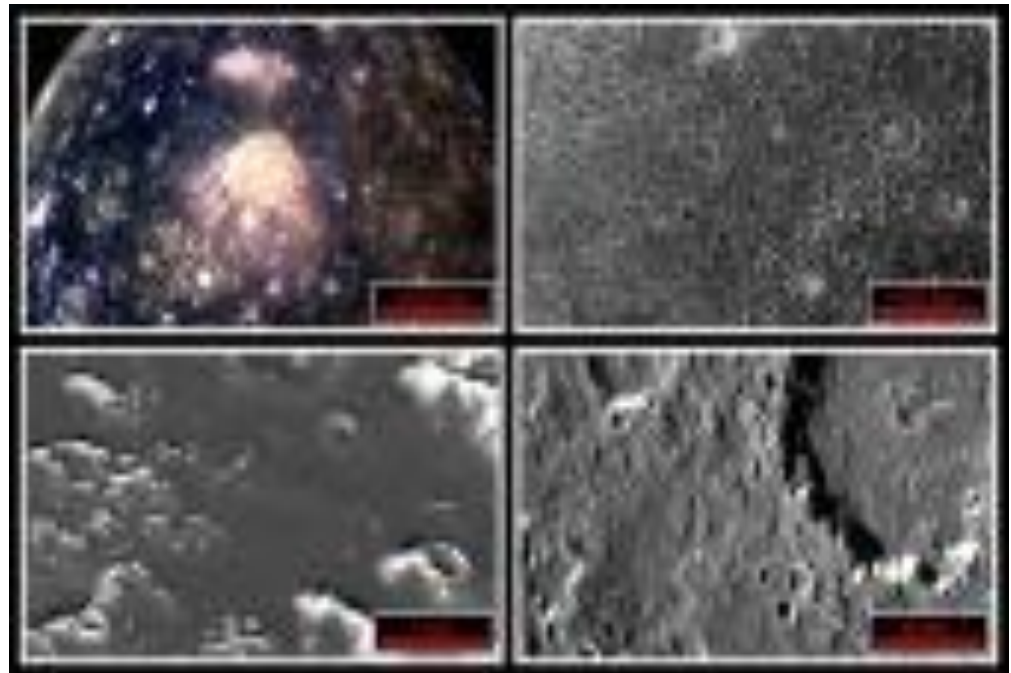
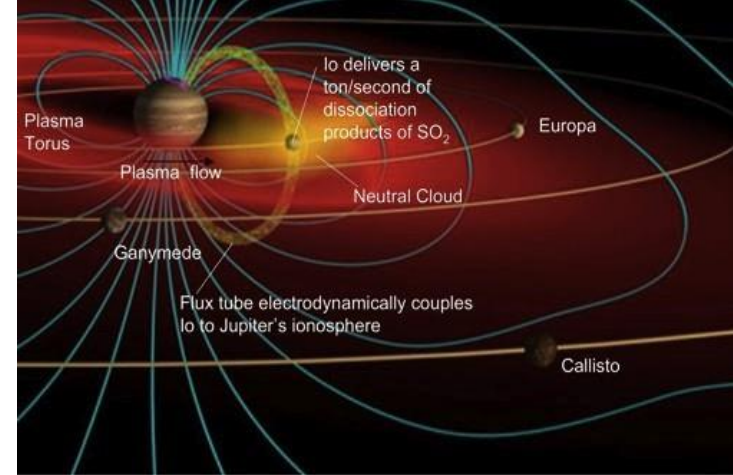


Callisto

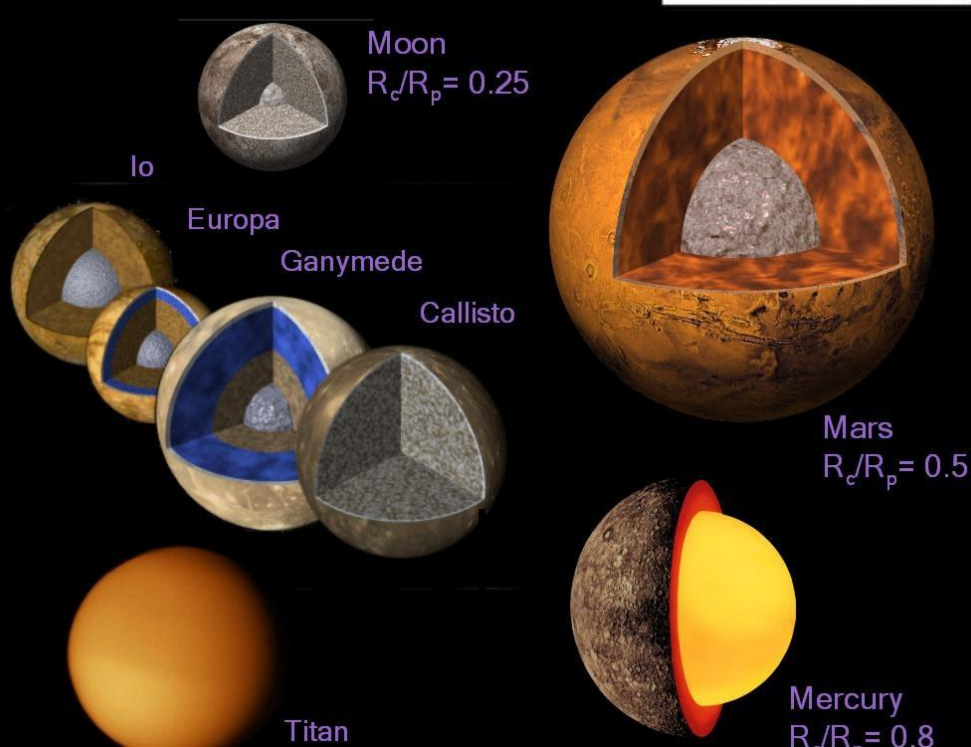
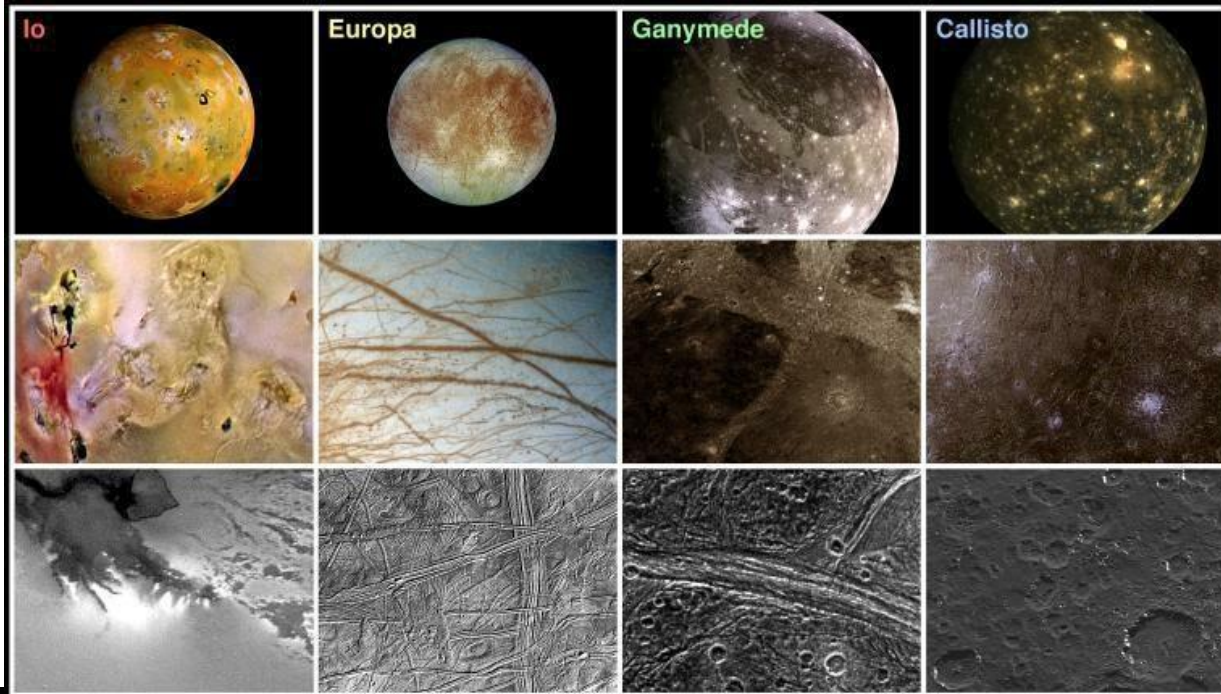
Superfície antiga **dominada** por crateras de impacto

Coberto de gelo escurecido devido a longa exposição ao Ultra Violeta

Crateras brancas são gelo exposto



Comparando Superfícies e Estrutura Interna dos Satélites Galileanos



Relative characteristics

	Io	Europa	Ganymede	Callisto	Moon
Radius (km)	1822	1561	2631	2410	1738
Mean density (g/cm ³)	3.53	3.01	1.94	1.83	3.34
Average surface Temperature (K)	118	103	113	118	253
Period (days)	1.769	3.551	7.155	16.689	27.322

Water/ice density is $\sim 1 \text{ g/cm}^3$

Saturno

6° SS com Distância ~ 9.2 UA

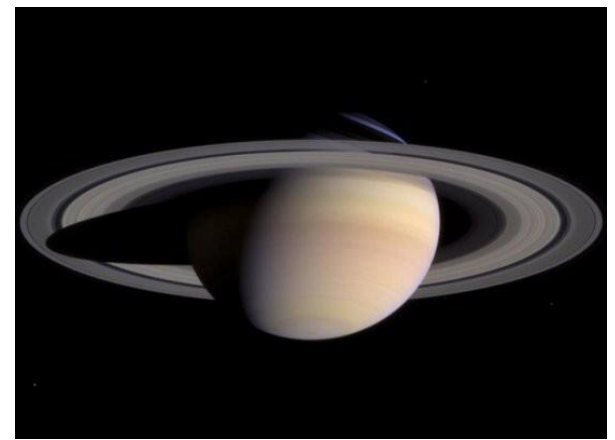
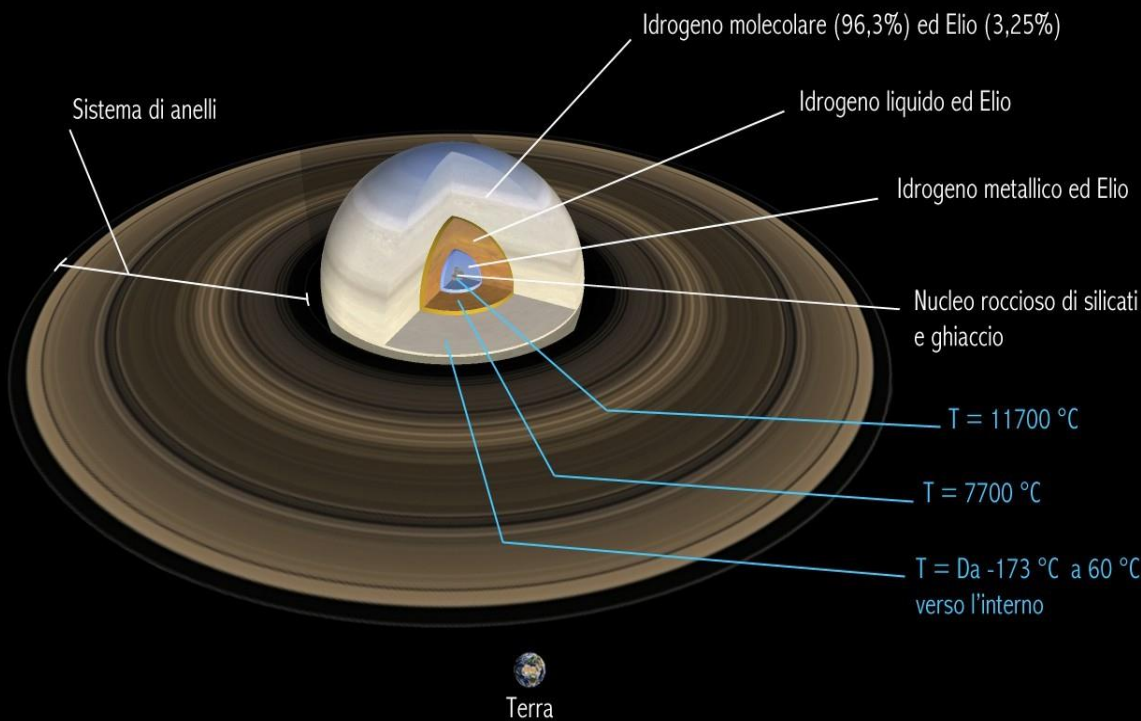
Densidade < água (1.000 kg/m^3)

Sistema de anéis (2004 – evidências de novo sistema)

33 luas (**Rhea, Encelados e Titã: luas que merecem especial atenção**)

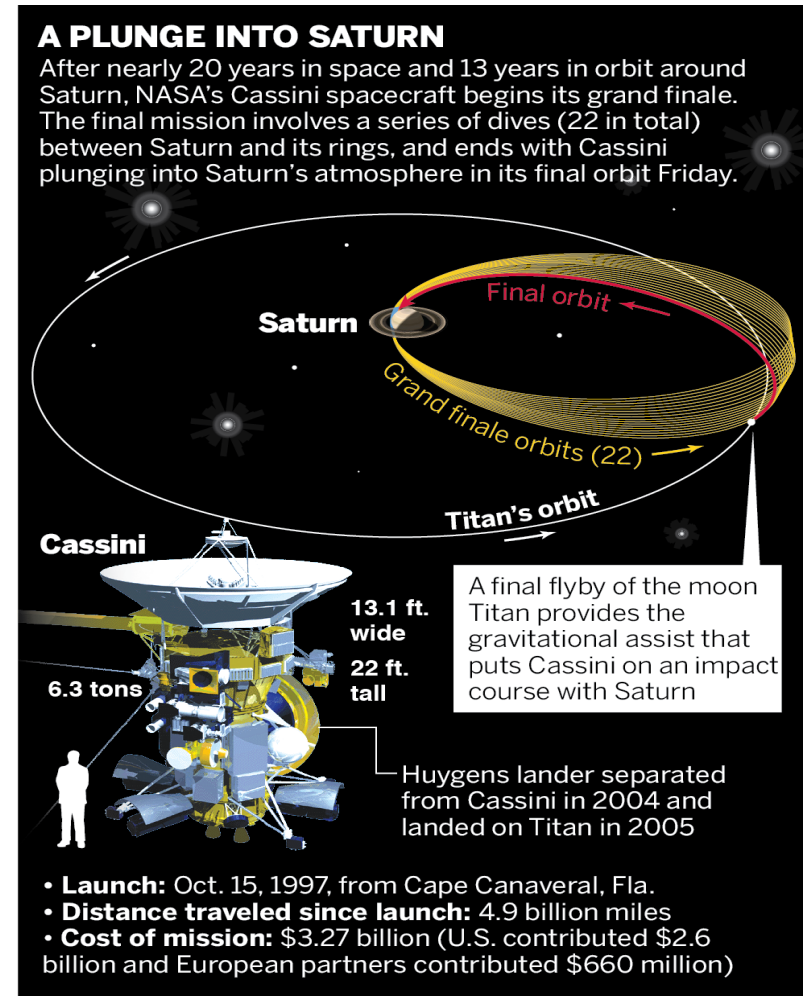
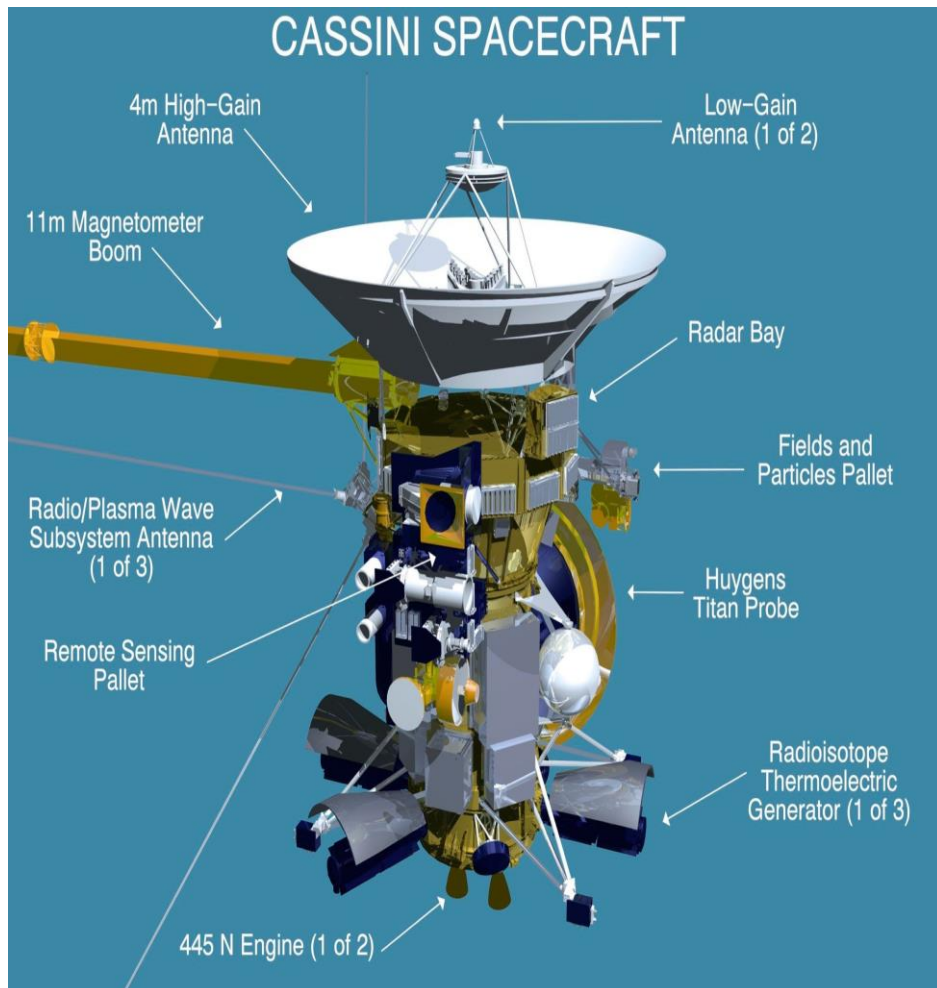
Interior e Atmosfera → Muito semelhante a Júpiter

Struttura interna di Saturno



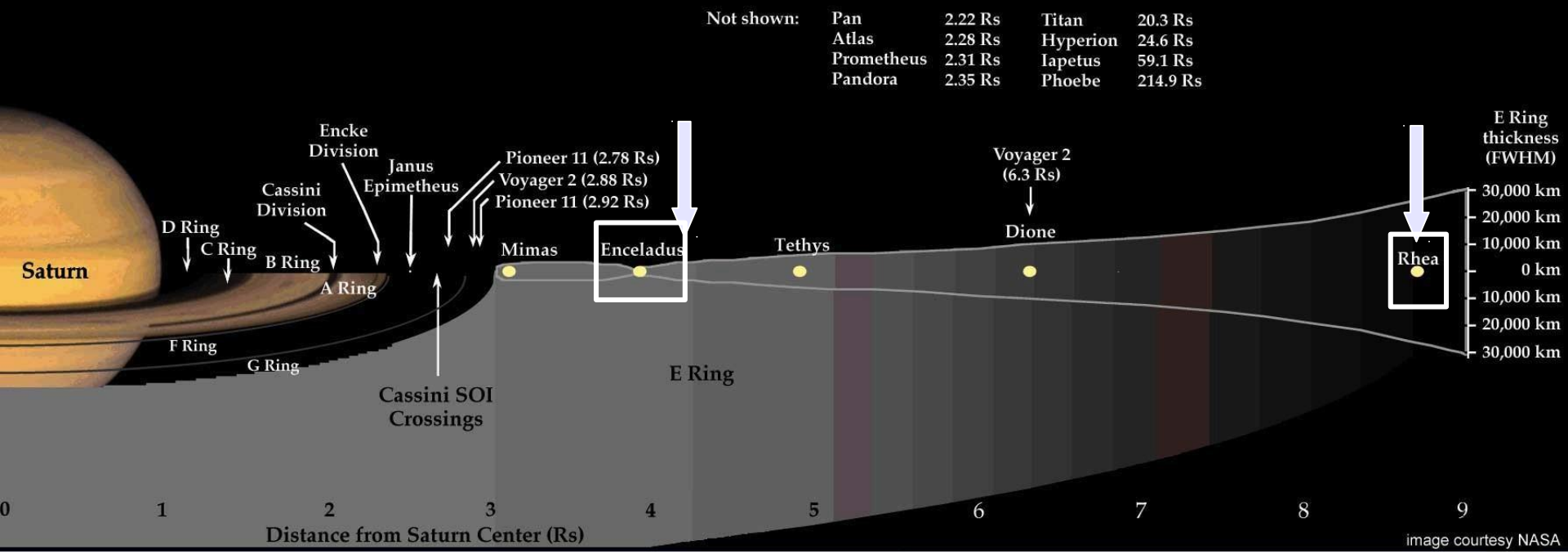
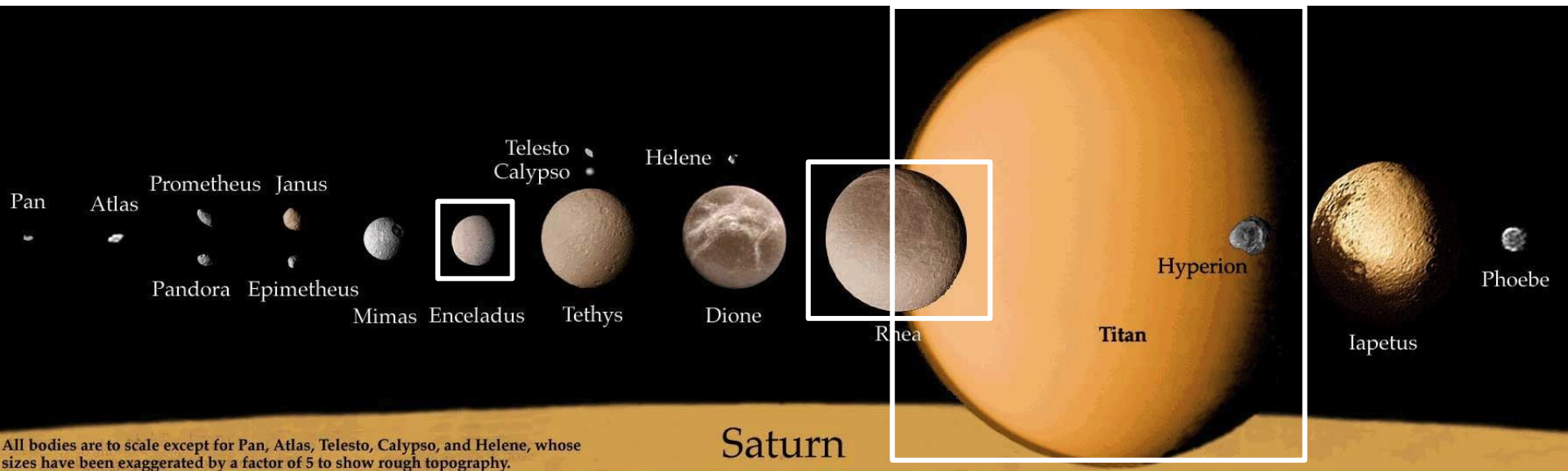
Saturno

NASA – Cassini Spasecraft - 20 anos de pesquisa. Setembro 2017 finalizou sua jornada....



Source: AP, NASA

TRIBUNE NEWS SERVICE



Luas "Atípicas"

Rhea, Enceladus, Titã



Rhea

2ª maior lua de Saturno, a Sonda Cassini parece ter encontrado evidência de **material orbitando a lua.**

O material parece se depositar em um disco, e pelo menos 1 anel parece ter sido detectado pelos instrumentos da Cassini.

É a primeira vez que se suspeita de anéis ao redor de uma lua.

http://www.nasa.gov/mission_pages/cassini/media/rhea20080306.html

Enceladus...

Enceladus
'E-17' Flyby

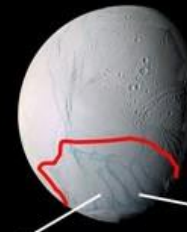
Sampling the Plumes

Mar. 27, 2012

Planetary Heat Flow



Avg Earth
87 mW/m²



Enceladus
South Polar Terrain
250 mW/m²



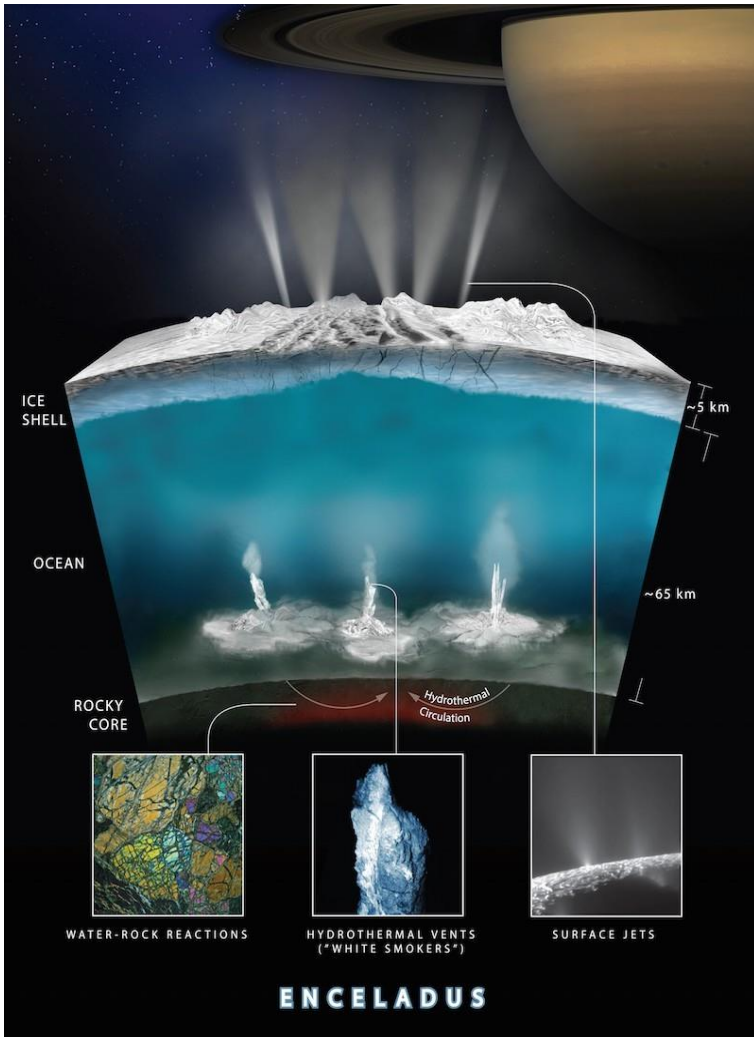
Yellowstone
2500 mW/m²



Tiger Stripe Hot Spots
13,000 mW/m²

A sonda Cassini detectou “**geysers**” semelhantes aos que se observam na Terra (Yellowstone) além da presença de sais de sódio, potássio e carbonatos nas plumas de vapor de água que emanam de Enceladus.

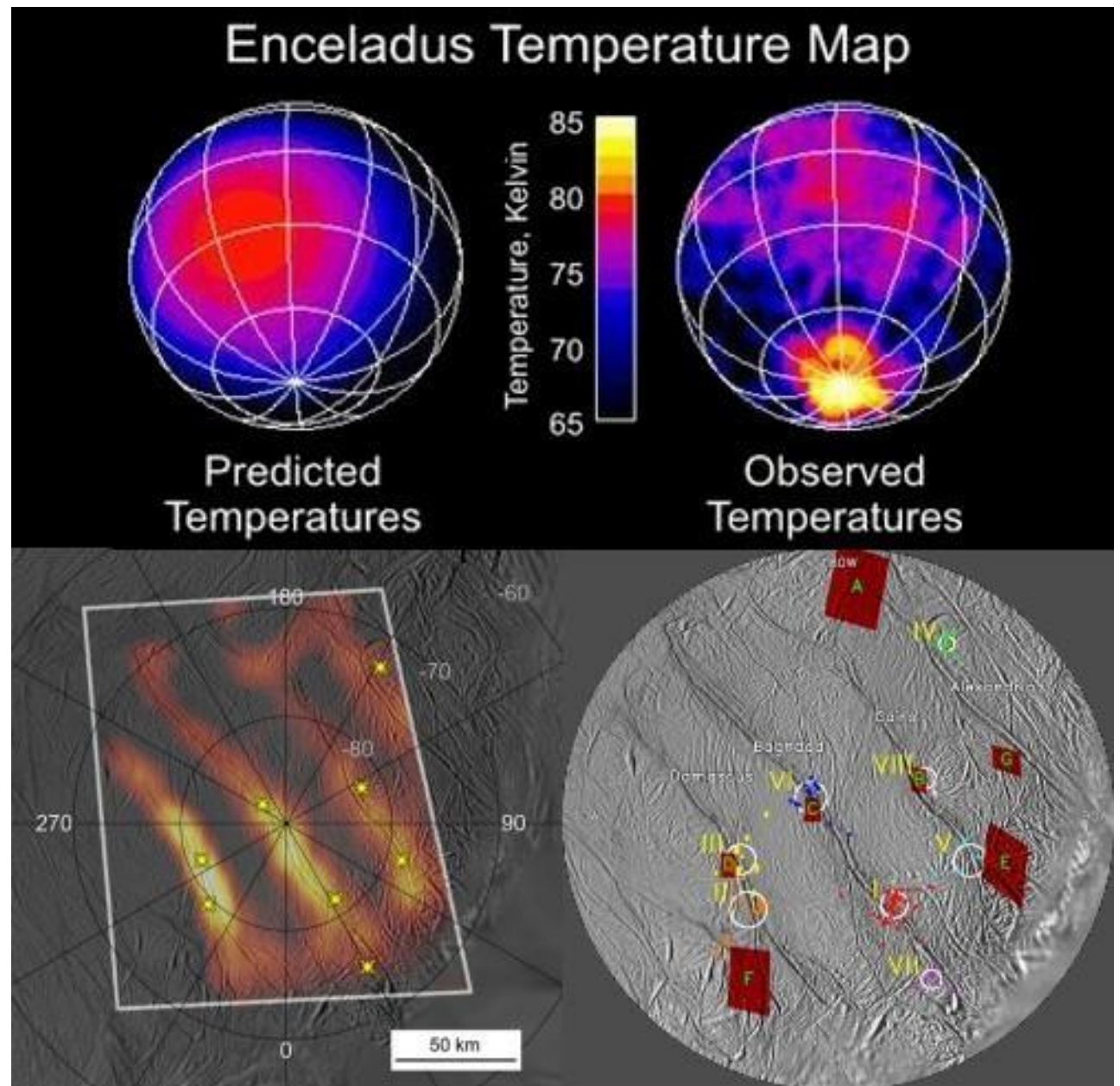
Enceladus



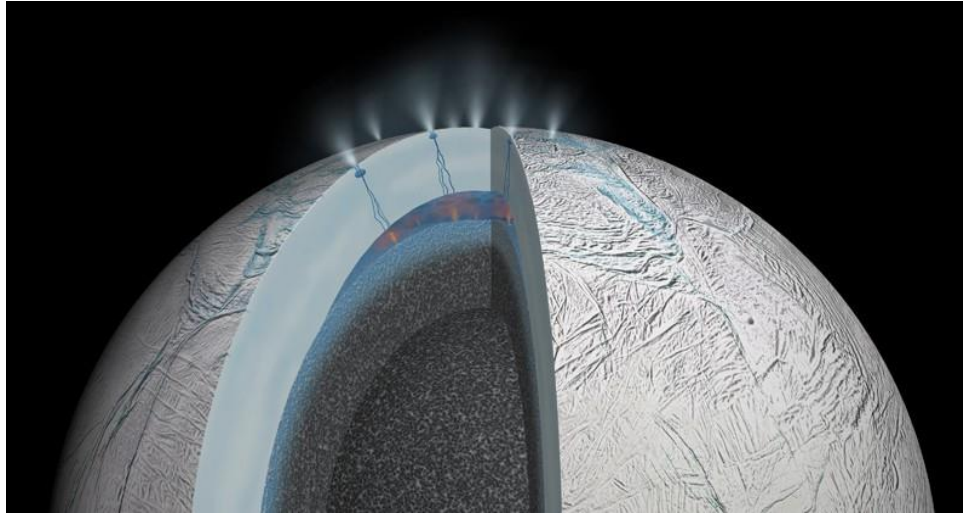
Uma das hipóteses do fenômeno é a de que existe um oceano subsuperficial onde água, **calor** e compostos minerais são estocados antes de serem ejetados.

A presença detectada de átomos de oxigênio poderia potencialmente proporcionar a base para a química pré-biológica ?

O calor parece vir do oceano, que seria responsável por um sistema de circulação no interior da lua, onde ocorreria um processo de bombeamento da água para a superfície.



Enceladus – Novas Teorias

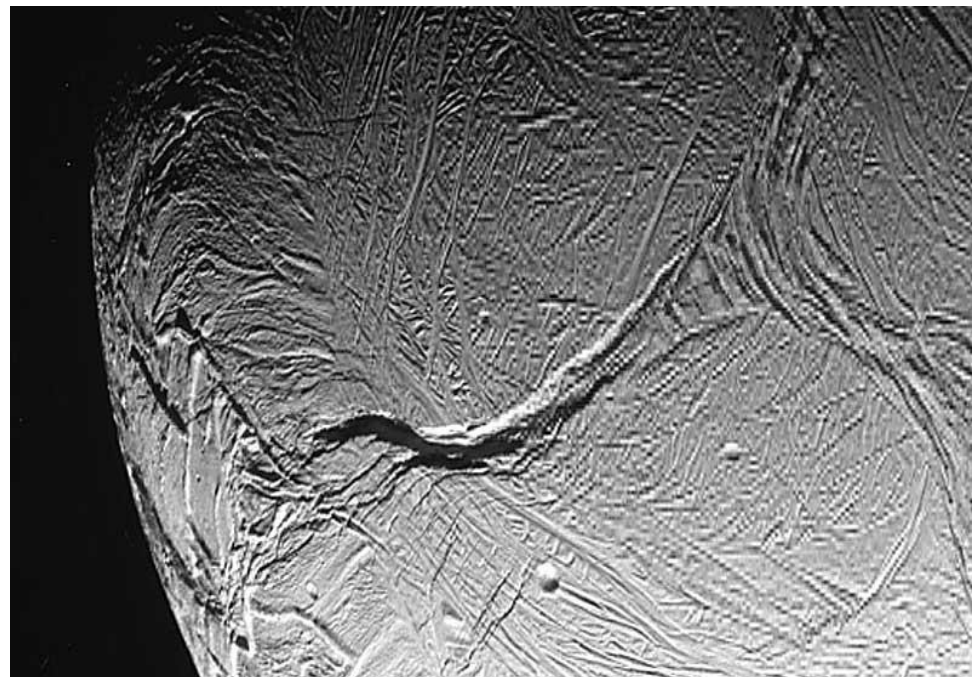
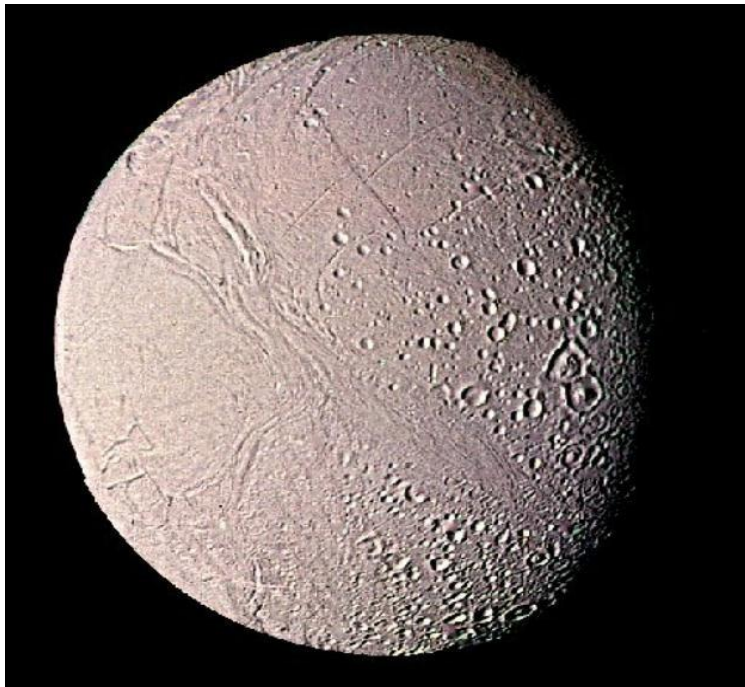


Grupo IAG propõe utilizar teoria das marés, que trata os corpos celestes como fluidos, para explicar como um satélite recoberto de gelo apresenta uma região de vulcanismo de água. Satélites como Encélado, Io e Europa (os dois últimos orbitam Júpiter) têm nas marés a única fonte de calor. Por serem relativamente pequenos, esses satélites não contam com o calor dos minerais radioativos presentes nas rochas, como ocorre no planeta Terra, por exemplo.

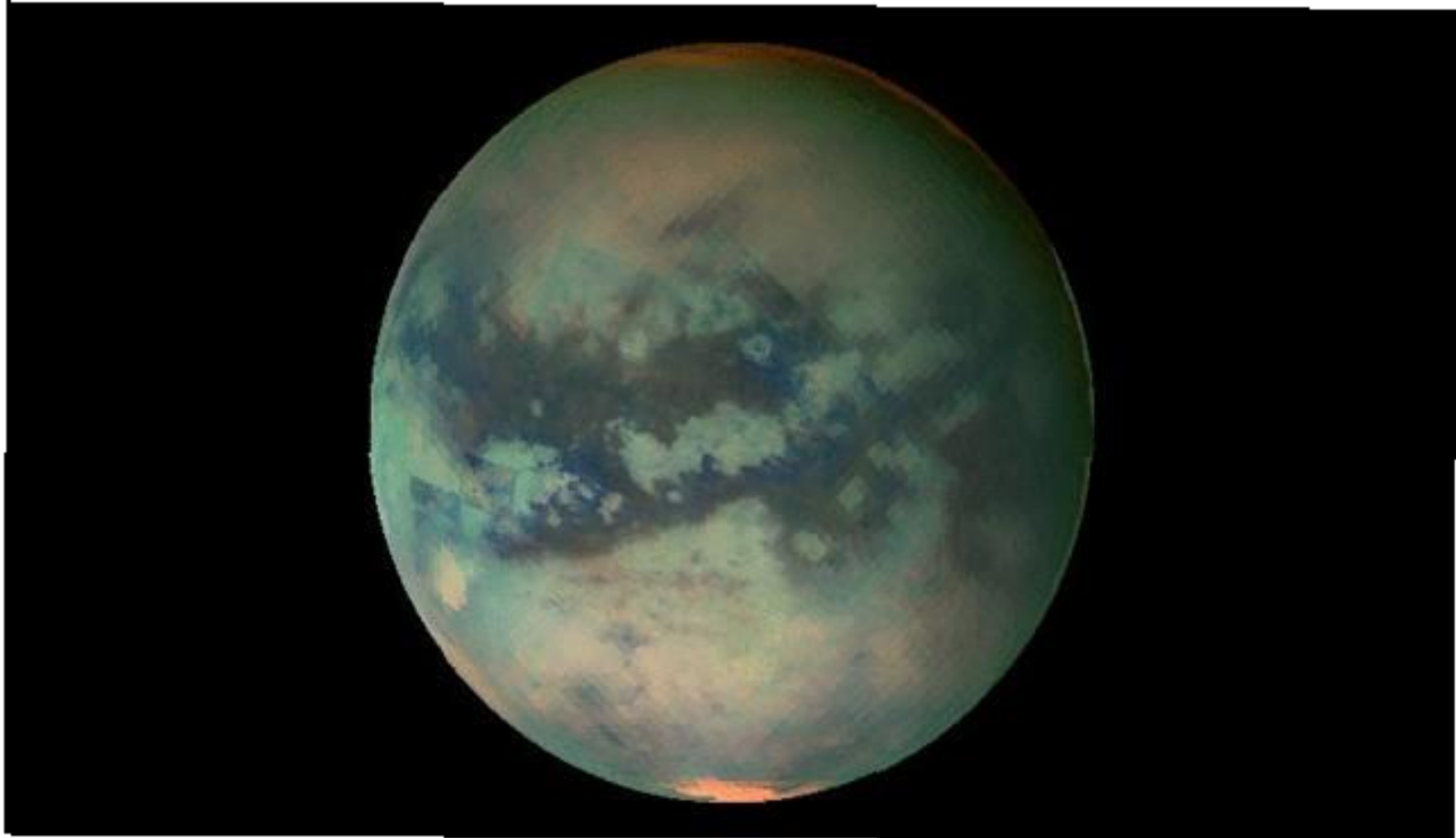
O primeiro trabalho que calculou o fluxo de calor de 10 GW foi publicado em um artigo na revista Nature Astronomy em novembro de 2017.

Enceladus

características da superfície



Titan



This image of Titan shows data taken with Cassini's visual and infrared mapping spectrometer during the last three flybys of Titan. The flybys took place on Oct. 28, 2005, Dec. 26, 2005, and Jan. 15, 2006.Â

<http://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?release=2014-274>

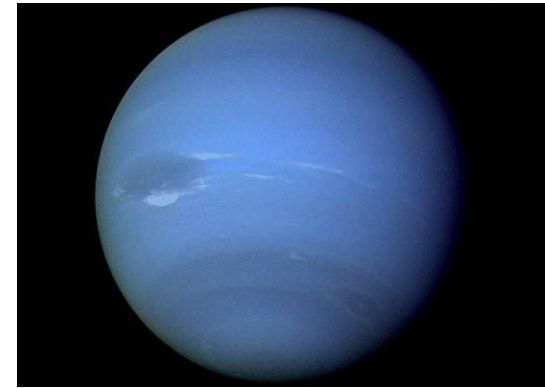
Titã é a única lua do sistema solar que é envolta em uma atmosfera densa. Como o nosso planeta, a Terra, Titã experimenta estações. Como ela faz sua órbita de 29 anos em torno do sol, juntamente com Saturno, cada estação dura cerca de sete anos terrestres.

O interruptor sazonal mais recente ocorreu em 2009, quando o inverno deu lugar à primavera no hemisfério norte, e no verão a transição para o outono no hemisfério sul.



Urano – Netuno

...Planetas gêmeos
...Não visíveis a olho nú



Urano ~ 19.2 UA

27 luas, 11 sistemas de anéis (via eclipse),
eixo inclinado 98° inclinação -> PN não recebe luz direta

Netuno ~ 30 UA

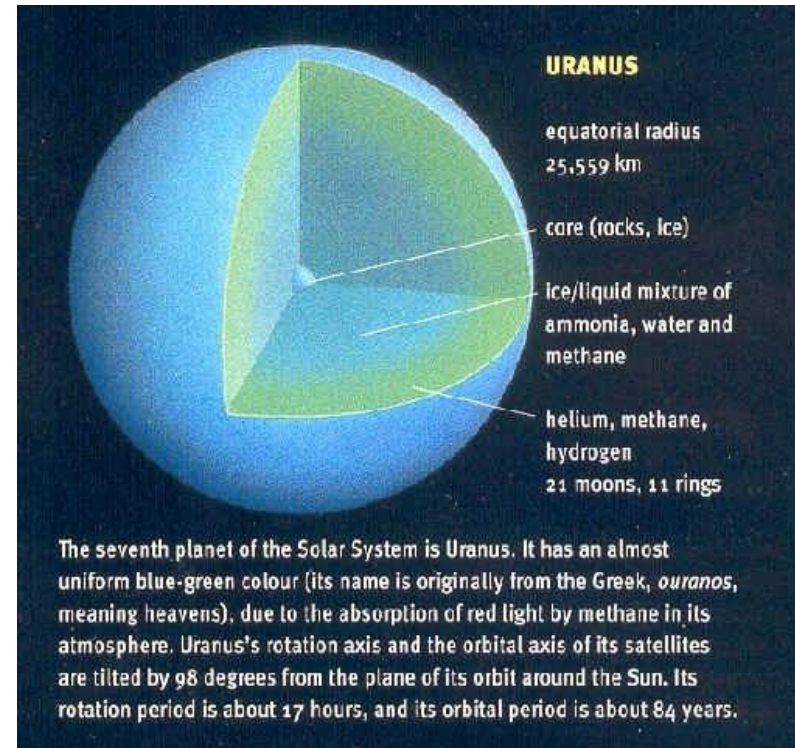
13 luas, 6 sistemas de anéis, ventos violentos
(~1600 Km/h)

Ambos muito semelhantes nas propriedades gerais

Ambos cor azul é resultado da absorção e espalhamento da luz vermelha pelo gás de metano na atmosfera

Atms e interiores → semelhantes a Júpiter

Ambos com Campo Magnético e com anéis

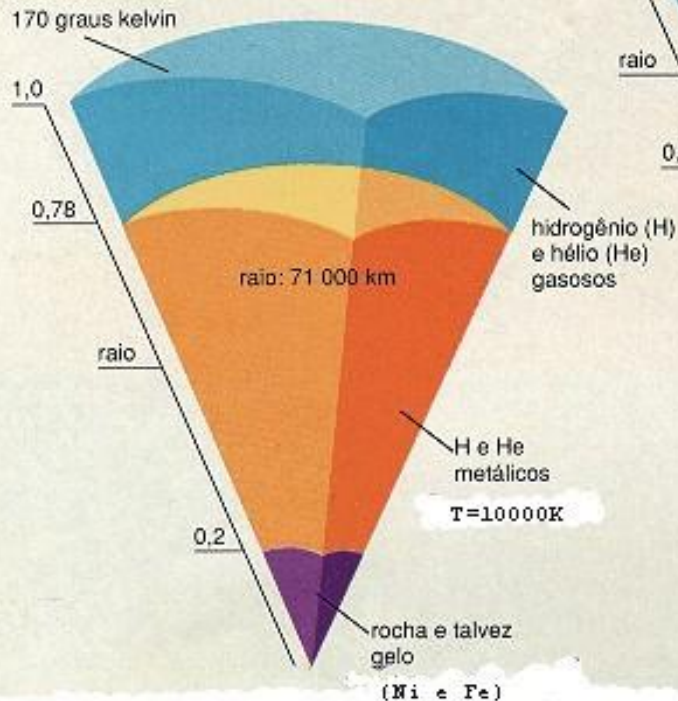


Estrutura Global Semelhante entre os Externos

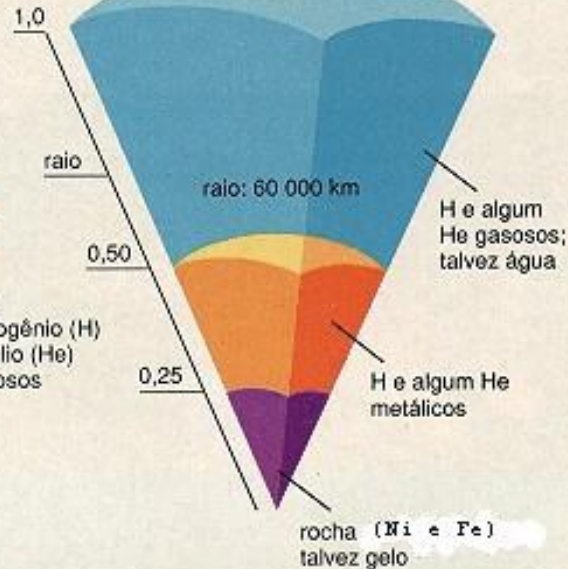
Planetas de gás

Júpiter

Grande quantidade de hélio atmosférico indica que pouco se transformou desde os tempos em que o sistema solar nasceu



135 graus kelvin

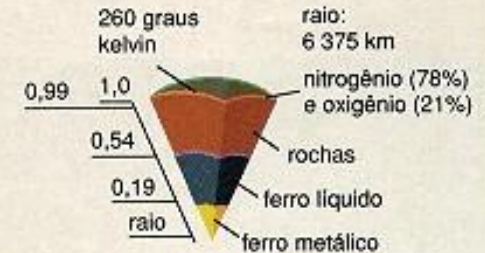


Saturno

Parte do hélio precipitou-se para o fundo da atmosfera e alterou sua composição

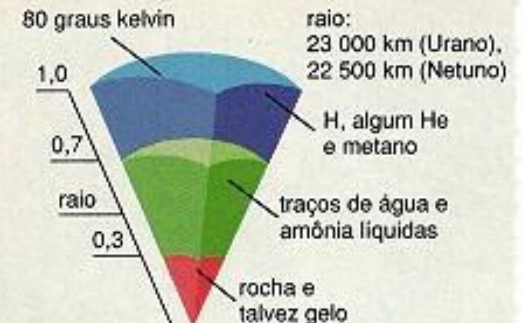
Terra

Predomínio de rochas em vez de gás; até 16 km concentra-se 90% da atmosfera

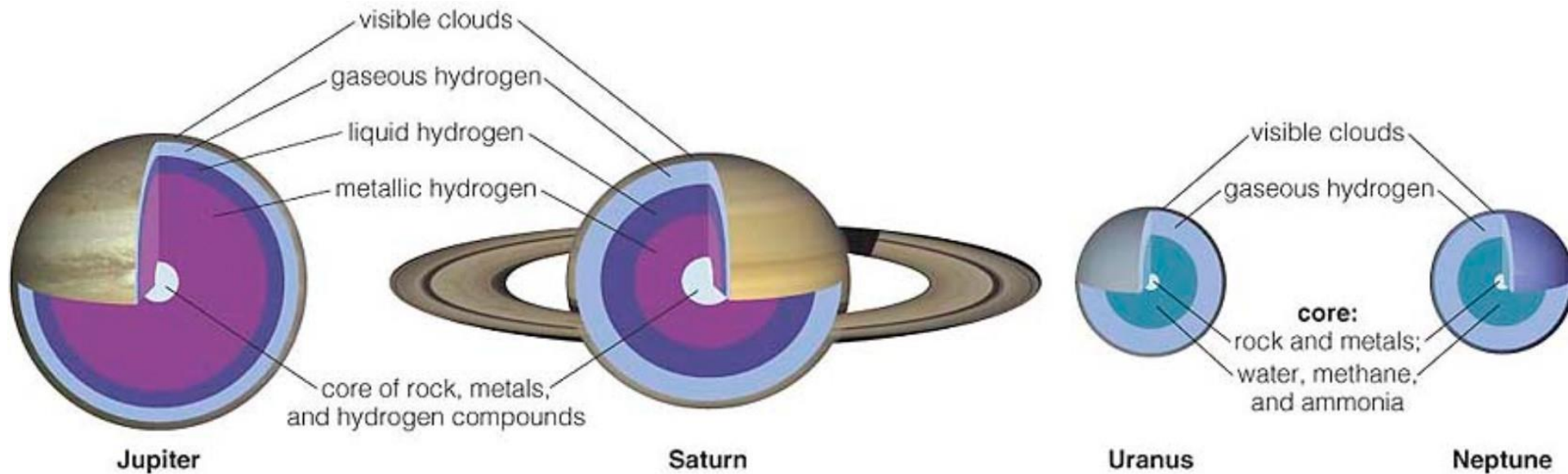


Urano e Netuno

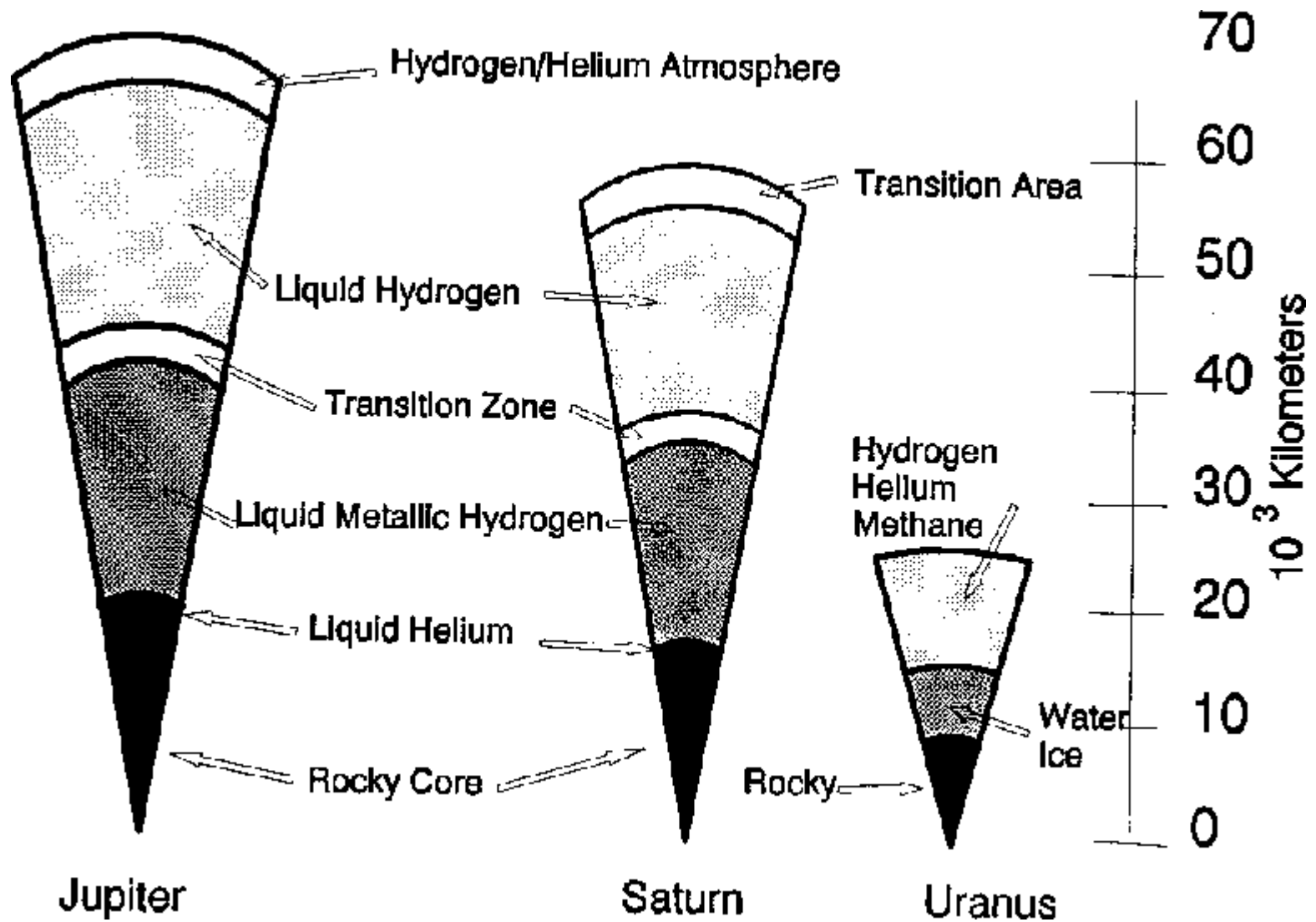
Muito pouco conhecidos



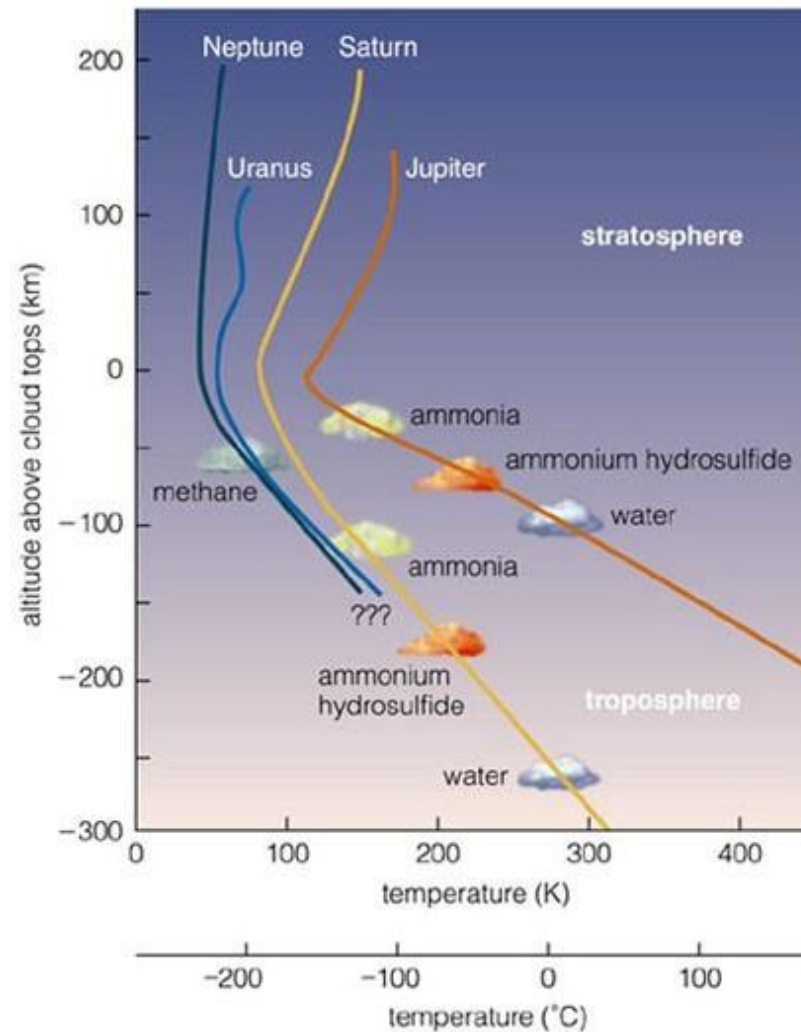
Comparando a Estrutura Interna dos 4 planetas Externos



Comparação das Dimensões na Estrutura Interna dos Externos

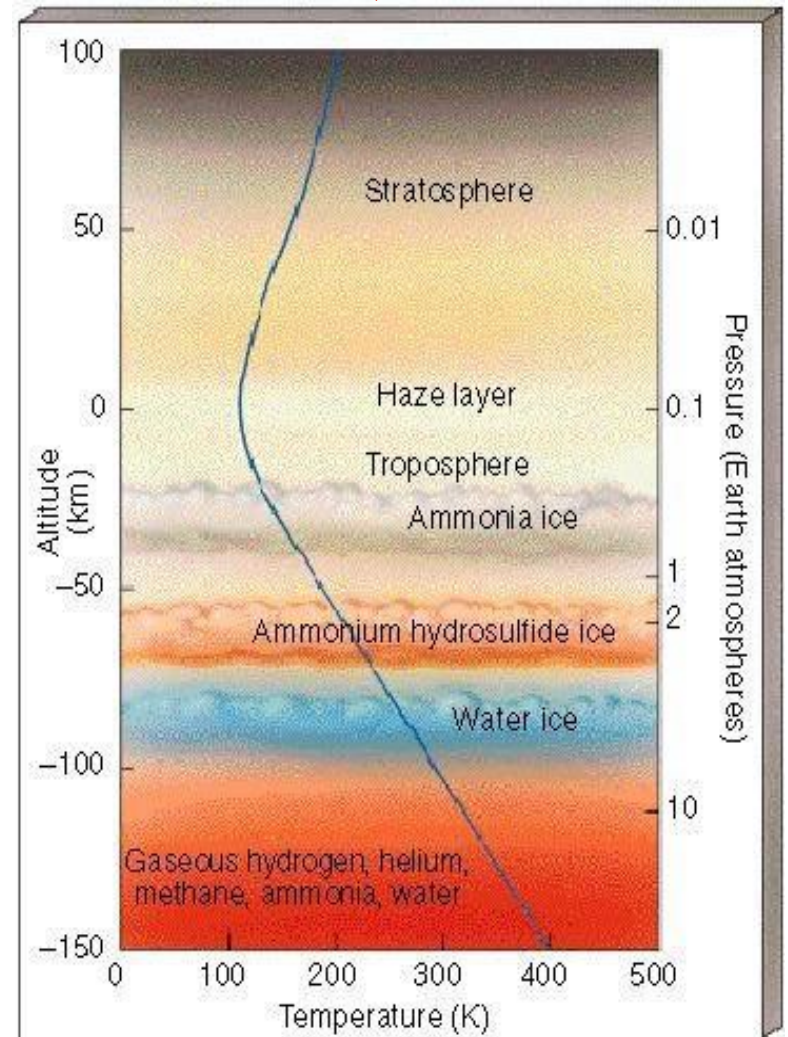
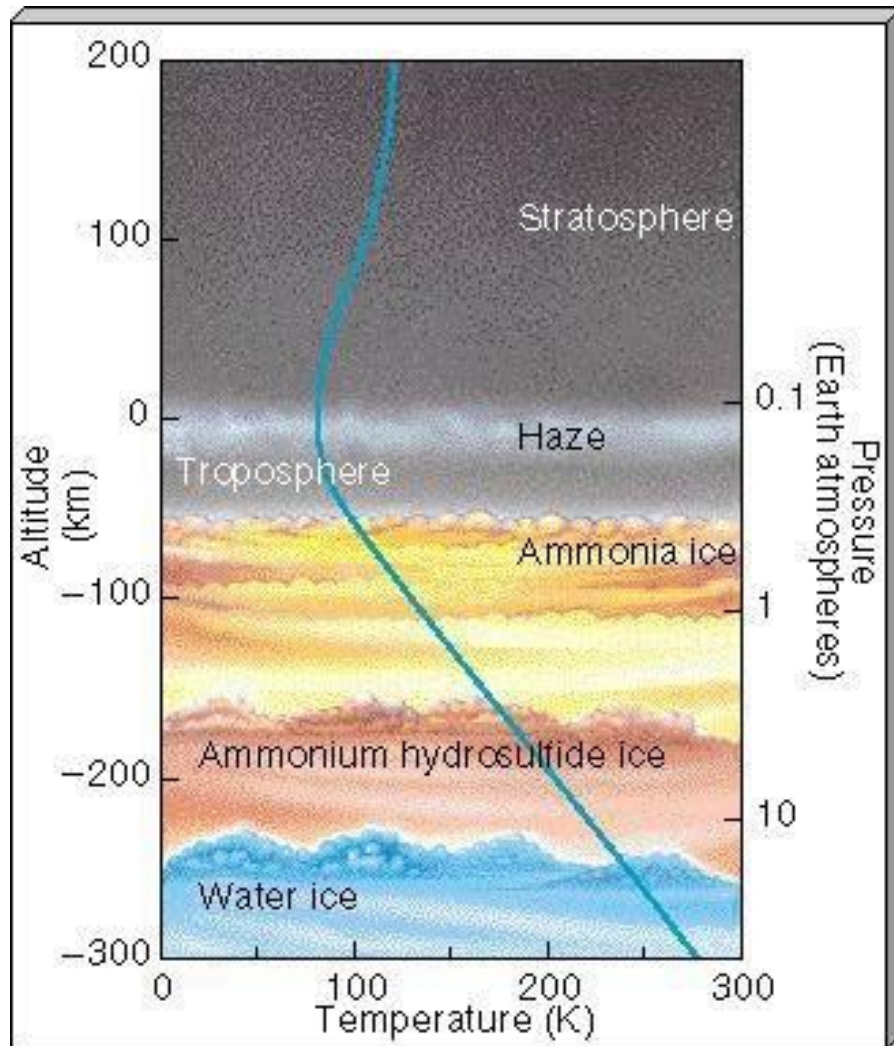


Comparando a Atmosfera dos Gigantes Gasosos



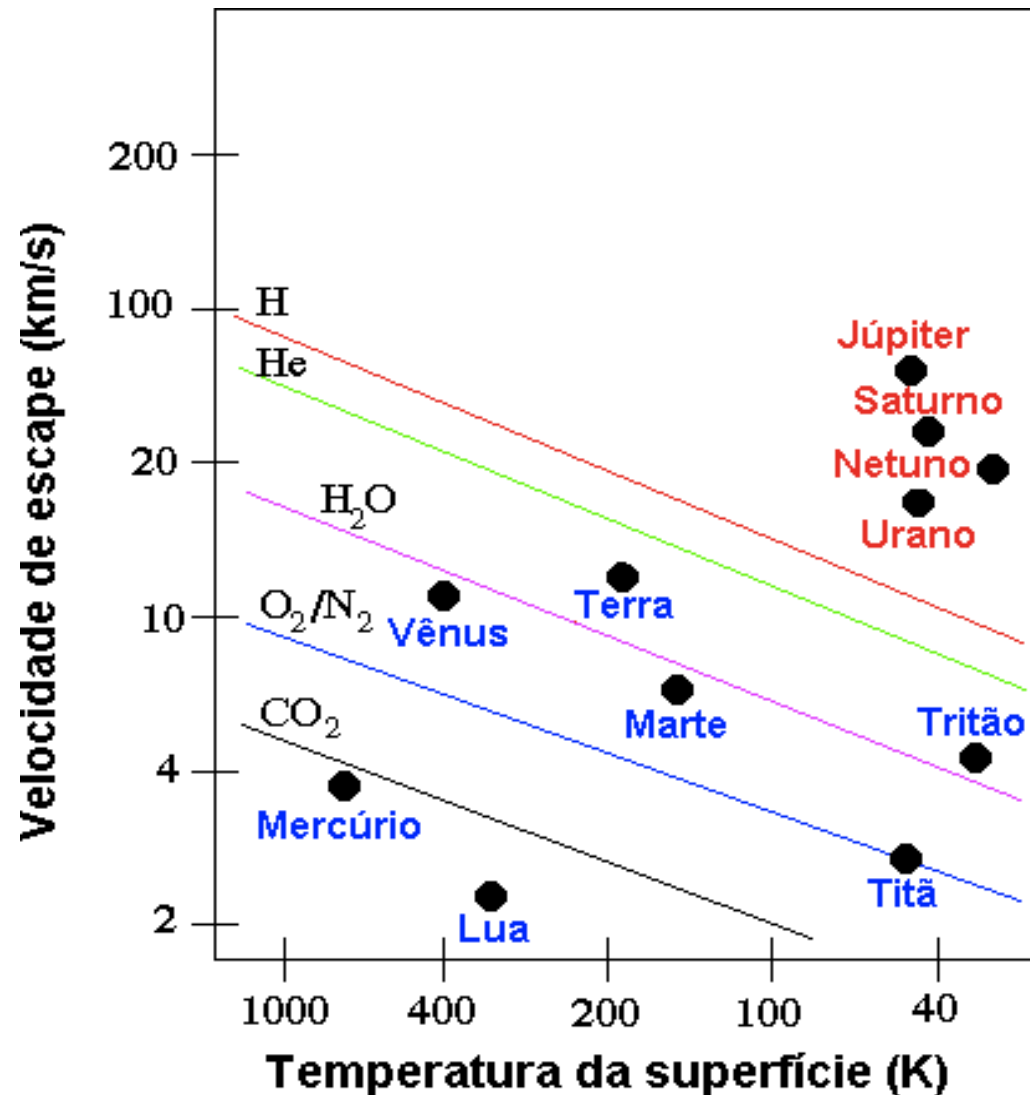
Saturno

Atmosfera semelhante a de Júpiter



Temperatura dos Planetas Externos em Função da Velocidade de Escape

...manutenção do envelope de gás...



Plutão – planeta anão

Caronte e mais 4 luas

Descoberto em 1930 como resultado de intensiva pesquisa relacionada com perturbações nas órbitas de Urano e Netuno.

Foge inteiramente das características presentes dos planetas externos, ou seja, não é gasoso. Entretanto, muito similar aos objetos presentes no Cinturão de Kuiper

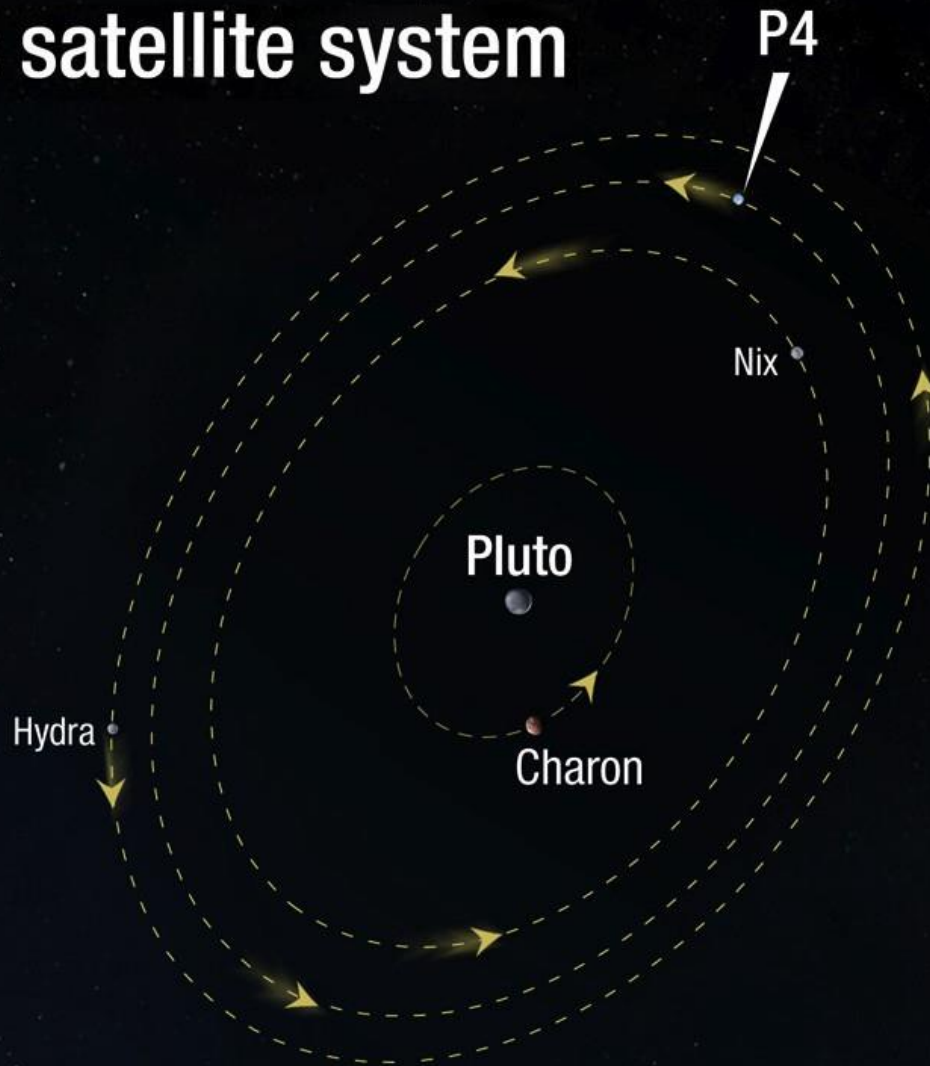
Atípico, pequeno (2302 Km - menor que a Lua), com maior satélite, mais próximo e muito gde, CARONTE (1007 Km) (parecia ser outro caso de “Sistema” semelhante a um planeta duplo). Outros 4 satélites foram descobertos (Hidra, Nix, Cérbero e Estige).

4.3 bilhões de Km, com $T \sim -180^\circ$ e $G \sim 1/15$ Terra

Órbita inclinada (17 graus em relação a eclíptica) e excêntrica e rotação retrógrada. Invade a órbita de Netuno por 20 anos de seus 249 anos de orbita em torno do Sol



Pluto's satellite system



Representação artística da sonda New Horizons, que chegou ao Sistema de Plutão em 14/07/ 2015

Descobertas...

Dimensão maior do que se estimava -

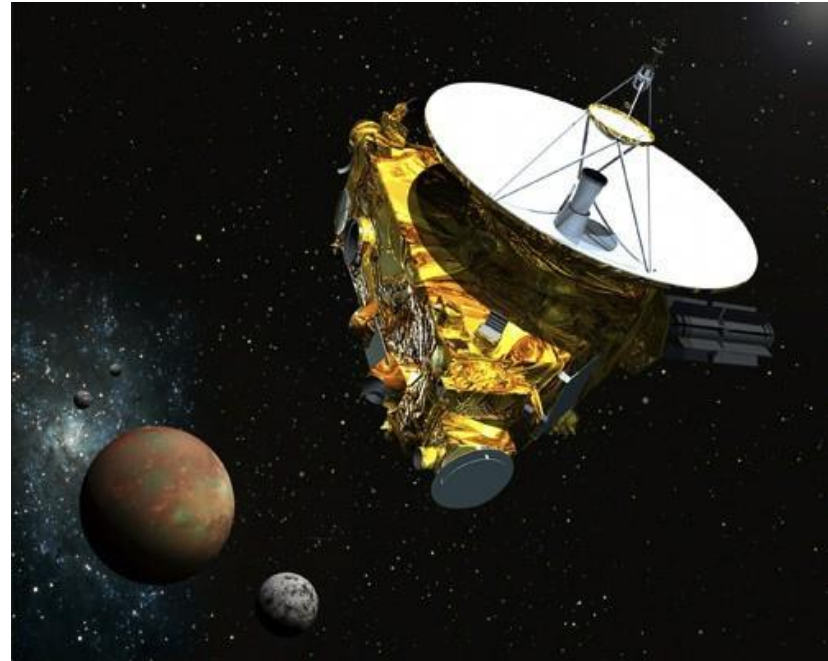
Núcleo denso com camada espessa de gelo

...oceano líquido abaixo?

Grande diversidade geológica

Composição química original na superfície

Parece haver sinais de atividade geológica recente



Superfície

Distante do Sol, a superfície reflete condições do início formação do SS, e apresenta muitas crateras.

Regiões claras: gelo

Regiões escuras: silicatos, rochas



Atmosfera

Estudos espectroscópicos mostram uma atmosfera primária composta de **metano** com provável mistura de **nitrogênio**.

Tem uma atmosfera de gás apenas quando está na fase mais próxima do Sol (como durante o final do século XX). Em órbitas mais distantes do Sol, a temperatura é tão fria que todos os gases da atmosfera se precipitam na forma sólida.

Origem

Diferente dos demais planetas...

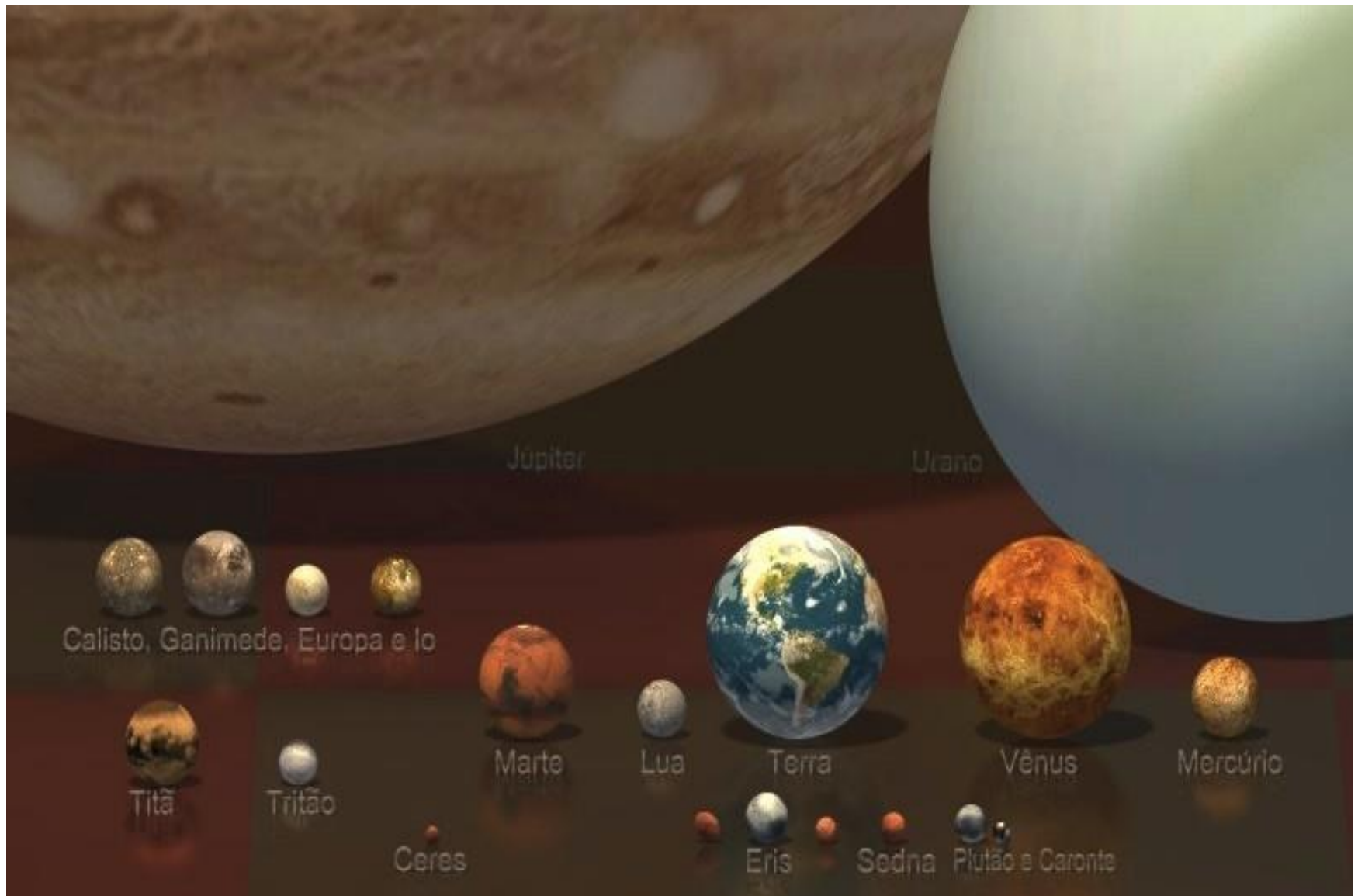
2 Possíveis Cenários:

1 Plutão teria sido uma **lua de Netuno** que teria sido ejetada devido a colisão com Tritão – hipótese descartada pois sabemos que Plutão tem satélites próprios.

2 Grande planetesimal formado no Sistema Solar Externo do mesmo modo que as luas dos grandes planetas externos.

...Muitos mais corpos no Sistema Solar Externo devem existir, similares a Plutão e aos satélites gigantes.

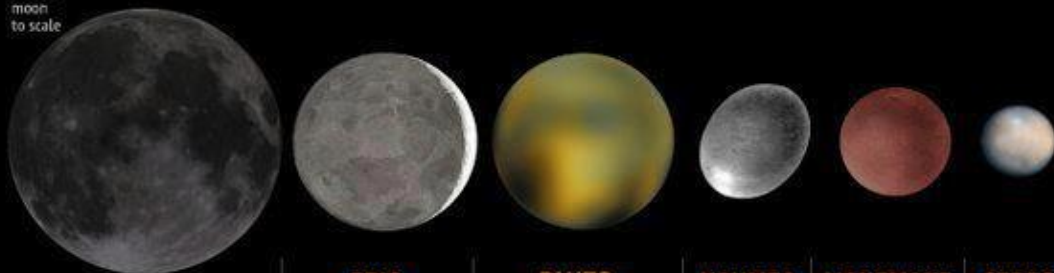
Comparação de Dimensões de alguns Planetas e Luas do Sistema Solar



Dwarf Planets in the Solar System

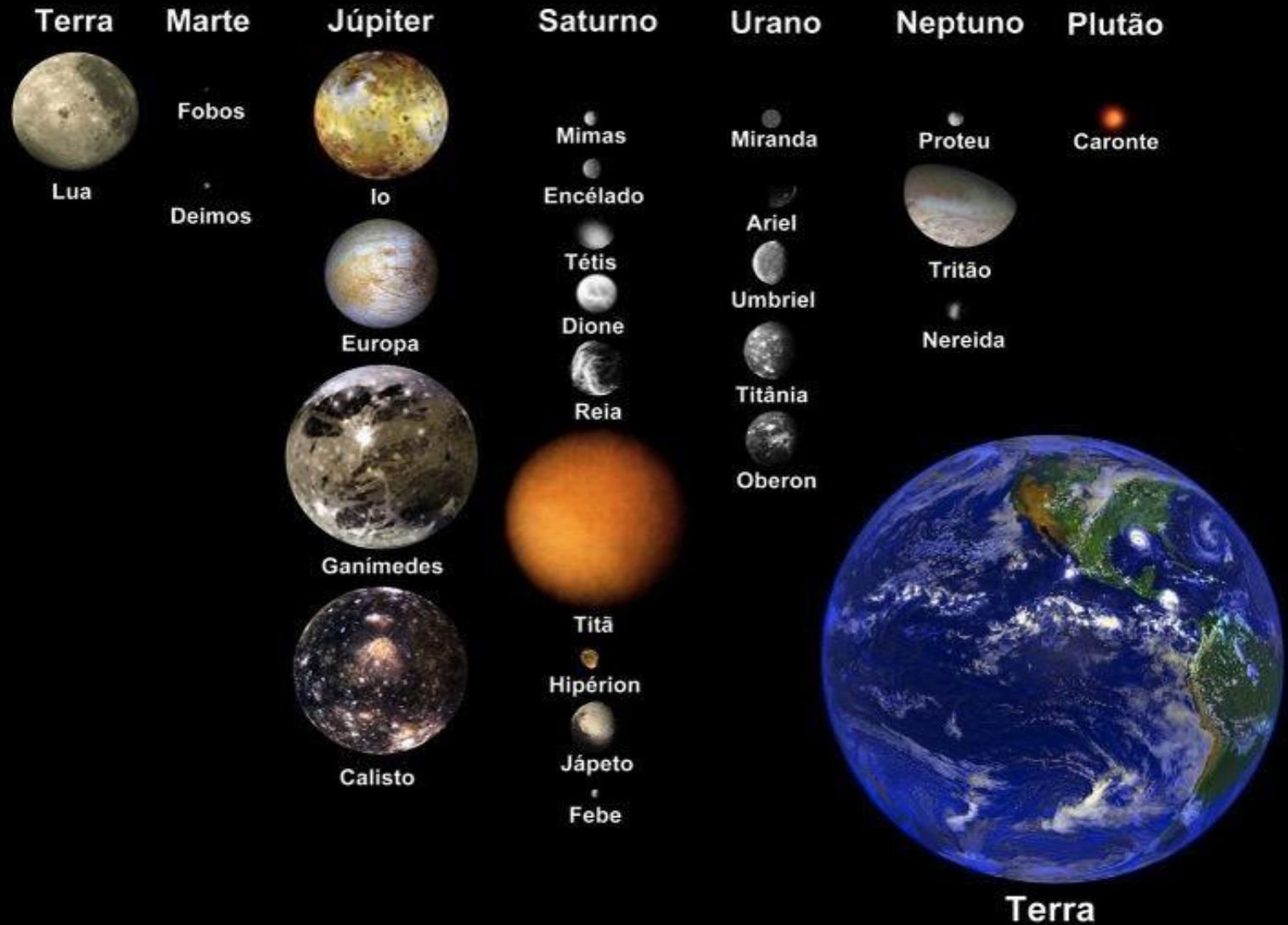
In 2006, the organization responsible for classifying celestial bodies, the International Astronomical Union (IAU) decided that a new class of objects was needed. Pluto, considered a planet since its discovery in 1930, was reclassified into the new "dwarf planet" category. To date, five dwarf planets have been found, although some astronomers expect there may be as many as 50 in the solar system.

Earth's
moon
to scale



	ERIS	PLUTO	HAUMEA	MAKEMAKE	CERES
Year of discovery	2003	1930	2003	2005	1801
Diameter (mean)	1,445 miles 2,326 km	1,430 miles 2,302 km	892.3 miles 1,436 km	882 miles 1,420 km	591.8 miles 952.4 km
Orbital period (Earth years)	561.4	247.9	281.9	305.34	4.6
Distance from sun (times Earth's distance)	68	39.5	43.1	45.3	2.8
Orbital inclination (degrees)	46.9	17.14	28.2	29	10.59
Rotation period	25.9 hours	6.39 Earth days	3.9 hours	22.5 hours	9.1 hours
Moons	1	5	2	0	0

Principais Luas do Sistema Solar



Constituição do sistema solar

Planeta	Massa (em relação à Terra)	Raio / km	Distância ao Sol/milhões de km	Velocidade orbital/ km/s	Período de translação	Período de rotação	Temperatura média na superfície / °C	Número de luas
Mercúrio	0,06	2439	58,5	47,89	87,97 dias	58,6 dias	166,86	0
Vénus	0,82	6050	108	35,03	224,70 dias	243,0 dias	456,85	0
Terra	1,00	6378	150	29,79	365,25 dias	23,9 horas	14	1
Marte	0,11	3378	228	24,13	686,98 dias	24,6 horas	-46	2
Júpiter	318,00	71492	780	13,06	11,86 anos	9,9 horas	17,35	64
Saturno	95,00	60268	431	9,64	29,46 anos	10,7 horas	-139,15	62
Urano	15,00	25559	2878	6,81	84,01 anos	17,2 horas	-197,15	27
Neptuno	17,00	24760	4509	5,43	164,79 anos	16,1 horas	-200,15	13

Vimos então a Estrutura Externa do Sistema Solar que se refere a extensão desde **4 unidades astronómicas até 30-50 UA**.

É caracterizada pela presença de **planetas gigantes gasosos, todos eles com a presença de anéis, pouco densos ($700\text{-}1700\text{ kg/cm}^3$), e com uma enorme quantidade de satélites**.

A composição química destes planetas é relativamente alta em **elementos leves e gases voláteis (H e He)**.