

Enos Picazzio

# CEU 1 - IAGUSP - 2004



The diagram illustrates the components of the Solar System. At the center is the Sun (Sol), a large, glowing orange and red sphere. Surrounding it are various celestial bodies: four terrestrial planets (Mercury, Venus, Earth, and Mars) shown as small spheres; two Jovian planets (Jupiter and Saturn) shown as larger spheres with bands and rings; several moons (Satélites) shown as smaller spheres; an asteroid (Asteróides) shown as a rocky fragment; a meteorite (Meteoritos) shown as a small rock; a meteor (Meteoros) shown as a streak of light; and comets (Cometas) shown as bright objects with long tails. The title 'Sistema Solar' is written in a stylized font in the center.

**Planetas Terrestres**

**Planetas Jovianos**

**Satélites**

**Sistema Solar**

**Sol**

**Asteróides**

**Meteoritos**

**Meteoros**

**Caronte**

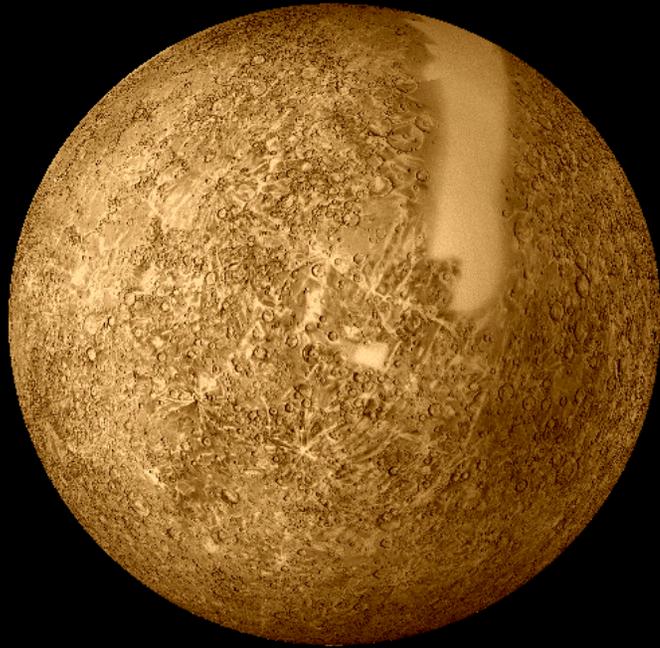
**Plutão**

**Cometas**

Um a estrela, nove planetas, dezenas de satélites, milhares de asteróides, milhares de cometas e fragmentos menores, e um espaço imenso preenchido por gás, íons, átomos, partículas subatômicas e campo magnético.

Notas de aula. Não é autorizada a comercialização e/ou reprodução parcial ou total deste material.

# PLANETAS



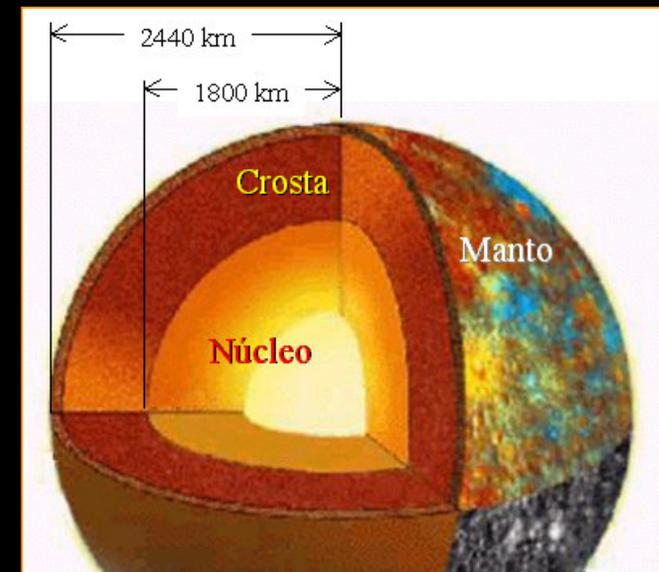
# MERCÚRIO

Conhecemos pouco. Não há dados sísmicos.

Duas características importantes:

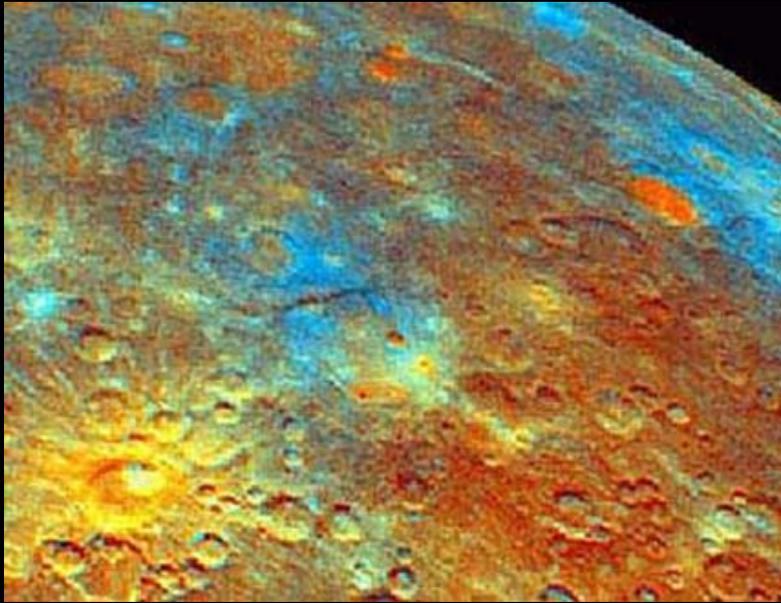
- Densidade (5,43 g/cc) é elevada
  - alta proporção de metal (~ 70% em massa)
  - núcleo é proporcionalmente gde (~ 74% do raio)
- Campo magnético substancial (~ 1% do terrestre)
  - Como um núcleo frio gera Campo Magnético?
  - Parcialmente líquido?; presença de enxôfre?
  - Ou é primordial fóssil?

## INTERIOR

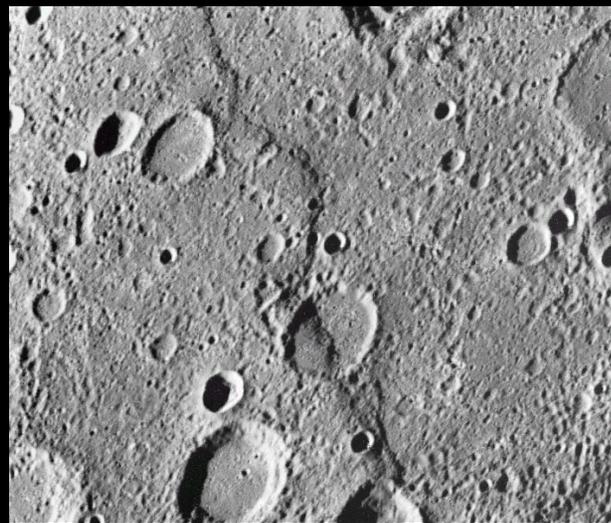


A missão Messenger (2006) poderá decidir.

# MERCÚRIO



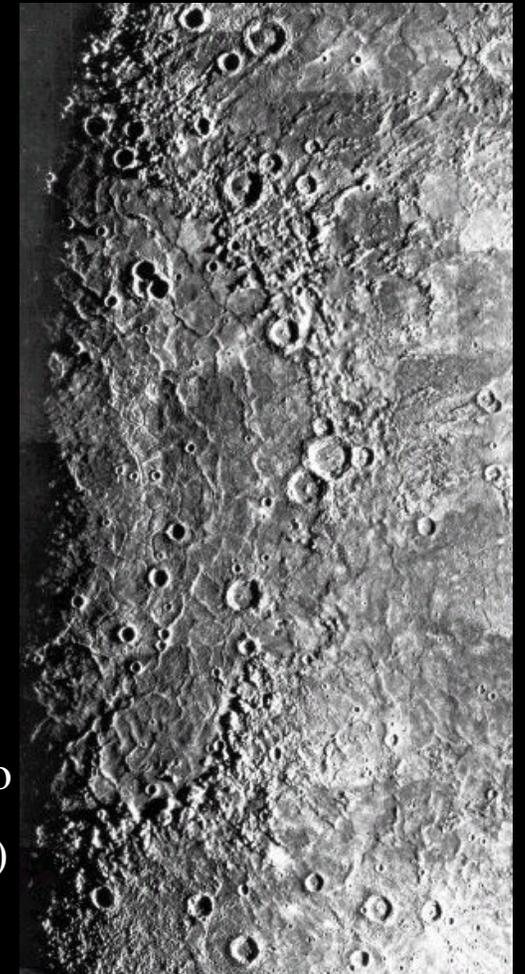
**Contraste evidencia diferenças em  
composição química**



Falhas

Base “Caloris”  
Colisão violenta  
produziu bordos  
múltiplos.

Terreno na direção  
Antipodal é  
“enrugado”  
(posição de encontro  
de ondas de choque)

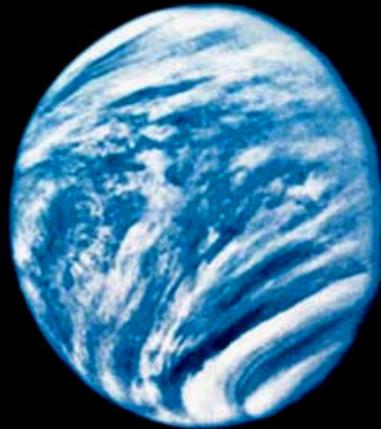


# VÊNUS

A atmosfera de Vênus é muito espessa e esconde sua superfície.



visível



ultravioleta

## PARÂMETROS FÍSICOS

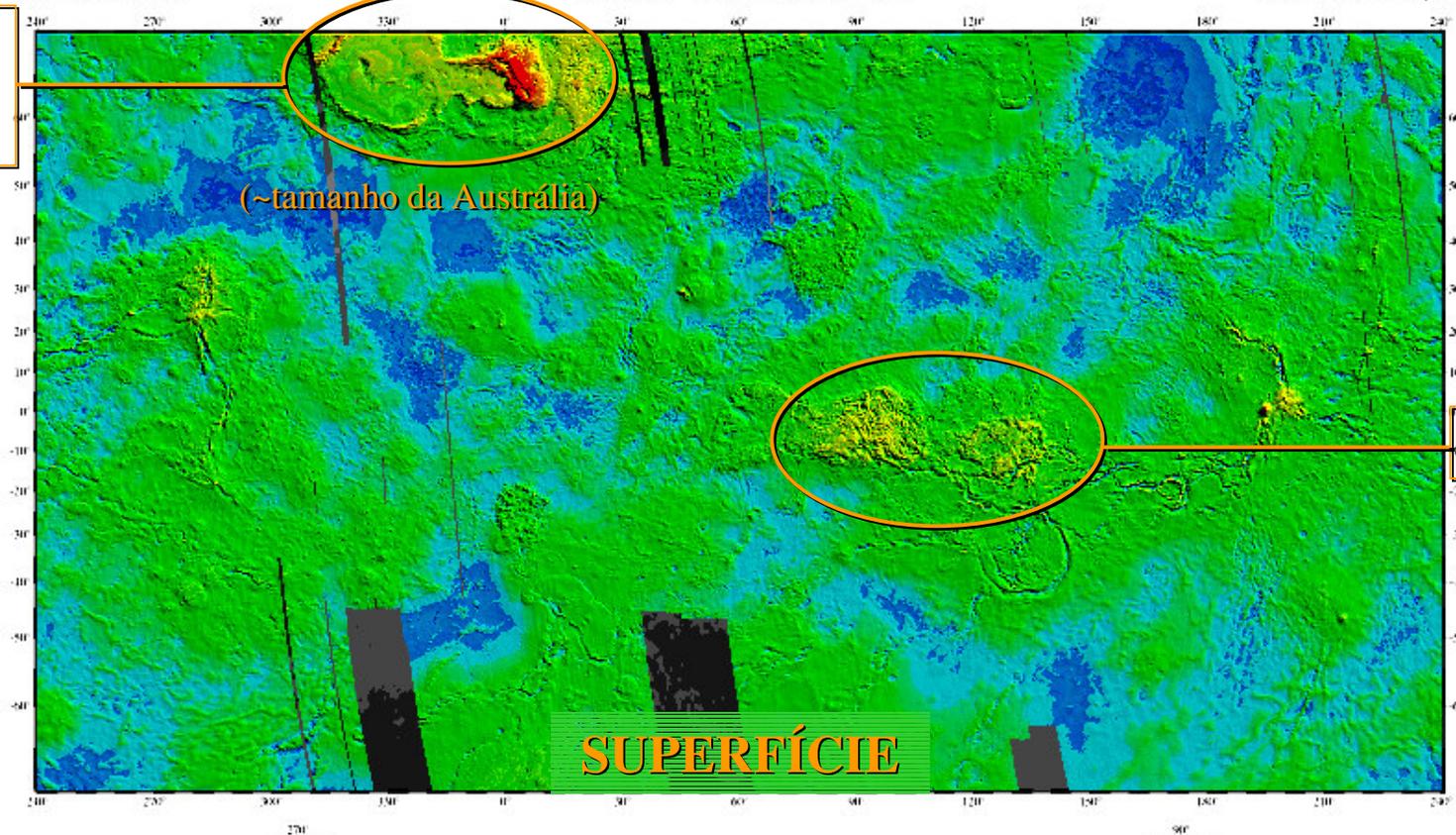
	Vênus	Terra	Vênus/Terra
Massa (10 <sup>24</sup> kg)	4.8685	5.9736	0.815
Volume (10 <sup>10</sup> km <sup>3</sup> )	92.843	108.321	0.857
Raio Equatorial (km)	6051.8	6378.1	0.949
Raio Polar (km)	6051.8	6356.8	0.952
Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	5243	5515	0.951
Gravidade na Superf. (m/s <sup>2</sup> )	8.87	9.78	0.907
Irradiância Solar (W/m <sup>2</sup> )	2613.9	1367.6	1.911
Intervalo Topografico (km)	15	20	0.750
Satélites	0	1	

MAGELLAN

VENUS TOPOGRAPHY

GTDRP.3;2

Ishtar:  
montes  
Maxwell



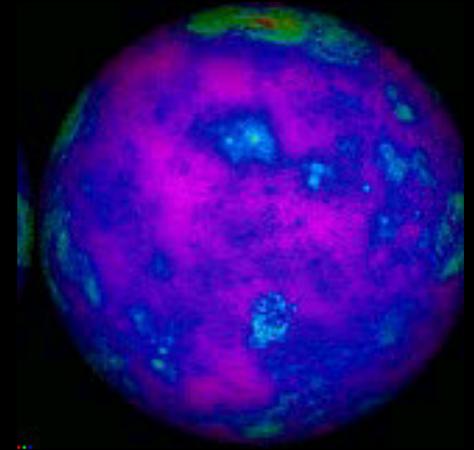
(~tamanho da Austrália)

Afrodite

SUPERFÍCIE



- imagem sintetizada a partir de dados de radar,
- superfície relativamente plana, com desnível aproximado de 14 km. Apenas 20% da superfície têm elevações.
- apesar da presença constante de matéria vulcânica, não há evidência de atividade tectônica.



# **SUPERFÍCIE**

Região de Ishtar



## **Montes MAXWELL**

Altura: 11 km acima das planícies de Lakshmi.

Resolução: 15 km

Imagens (1989): sondas Pioneer (NASA) e Venera (URSS)

*dpa*

# **SUPERFÍCIE**

Região de Afrodite

## **Monte MAAT**

Maior vulcão (ativo?) local.

Altura: ~ 8 km acima do raio médio de Vênus.

Resolução: 75 metros!

*dpa*

# **SUPERFÍCIE**

Região de Afrodite

## **Monte SAPPAS**

Vulcão duplo (visto no horizonte, à oeste do Monte Maat ).

Região de Alta Regio.

*dpa*

# **SUPERFÍCIE**

Região de Afrodite

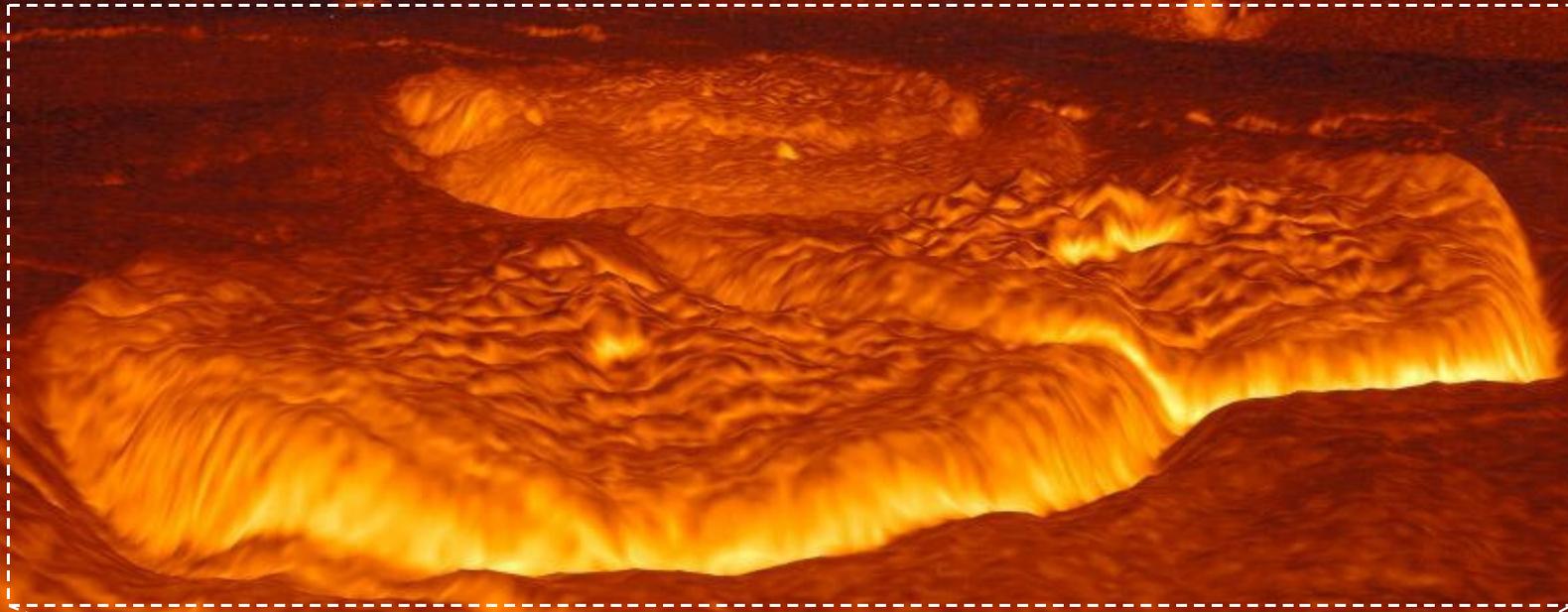
## **Monte OZZA**

Vista de Ozza e Maat, do sudoeste.

Região de Alta Regio.

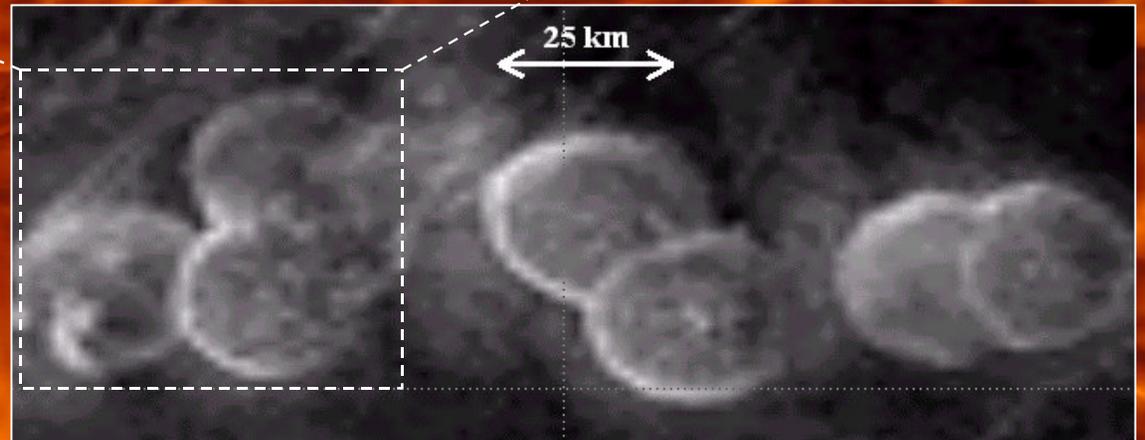
*dpa*

# SUPERFÍCIE

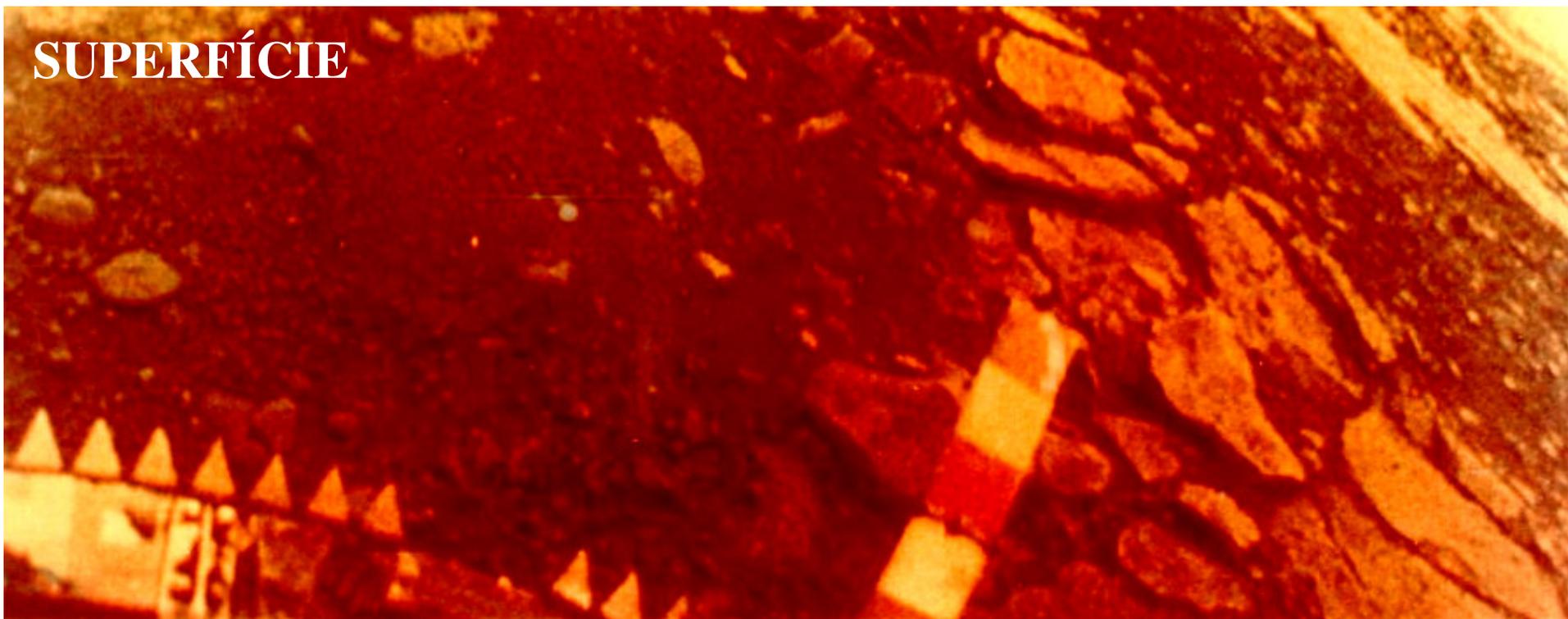


## DOMOS

**Rocha derretida aflora e retrai, deixando uma fina crosta que posteriormente racha e afunda**



# **SUPERFÍCIE**



**Única imagem  
detalhada da superfície  
venuziana, obtida pela  
sonda russa Venera.**

**Os contornos  
pontagudos das  
rochas são resultantes  
da rachadura por  
aquecimento, e  
denunciam a ausência  
de erosão eólica.**



## **Principais resultados científicos da sonda radarmétrica Magalhães.**

**Tectônica:** *não há evidências de placas.*

**Matéria vulcânica:** *presente em 85% da superfície*

**Erosão:** *processo lento e pouco eficiente*

**Topografia:** *80% da superfície é plana; variação  $\approx 1$  km.*

**Idade da superfície:**  *$\sim 500$  milhões anos*

**Processo responsável:** *lento e contínuo ou série de eventos maciços ?*

**Gravidade superficial:** *altamente correlacionada com topografia*

*→ houve controle do processo por mecanismos internos*



04/07/97 - Mars Pathfinder Sojourner

# MARTE



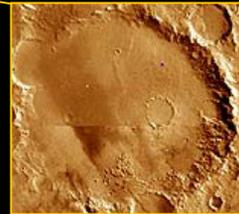
08/01/04 - Mars Exploration Rover Spirit



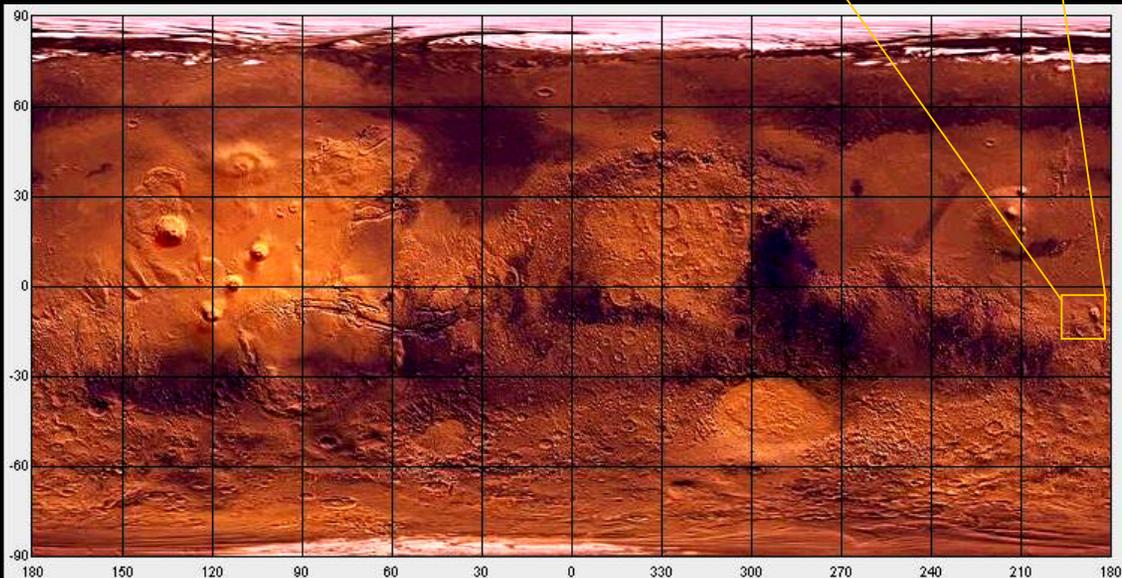
# Mars Exploration Rover Spirit



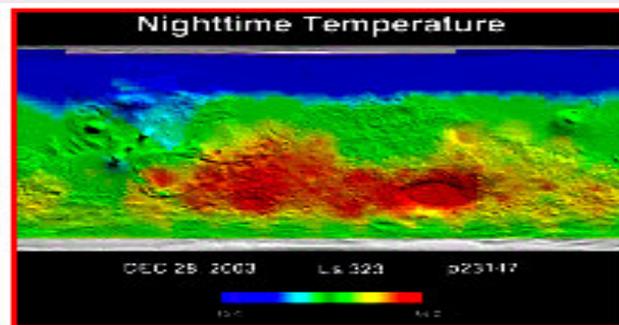
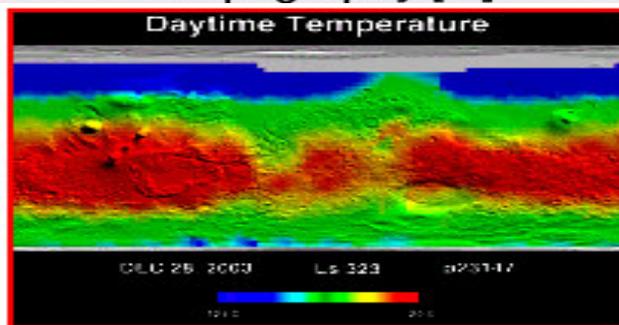
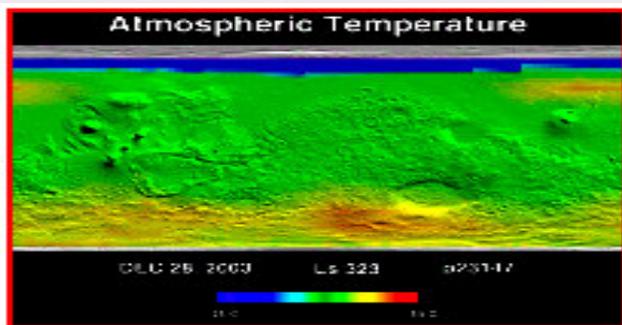
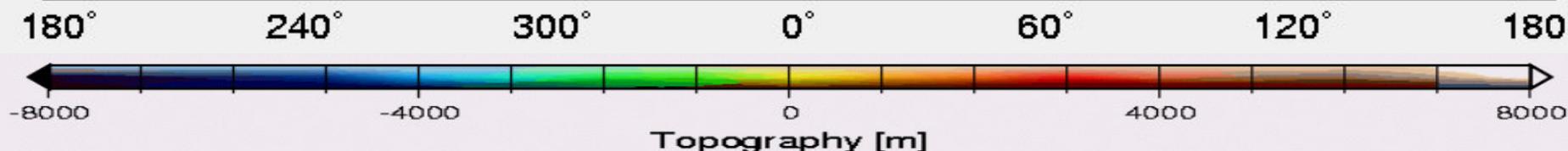
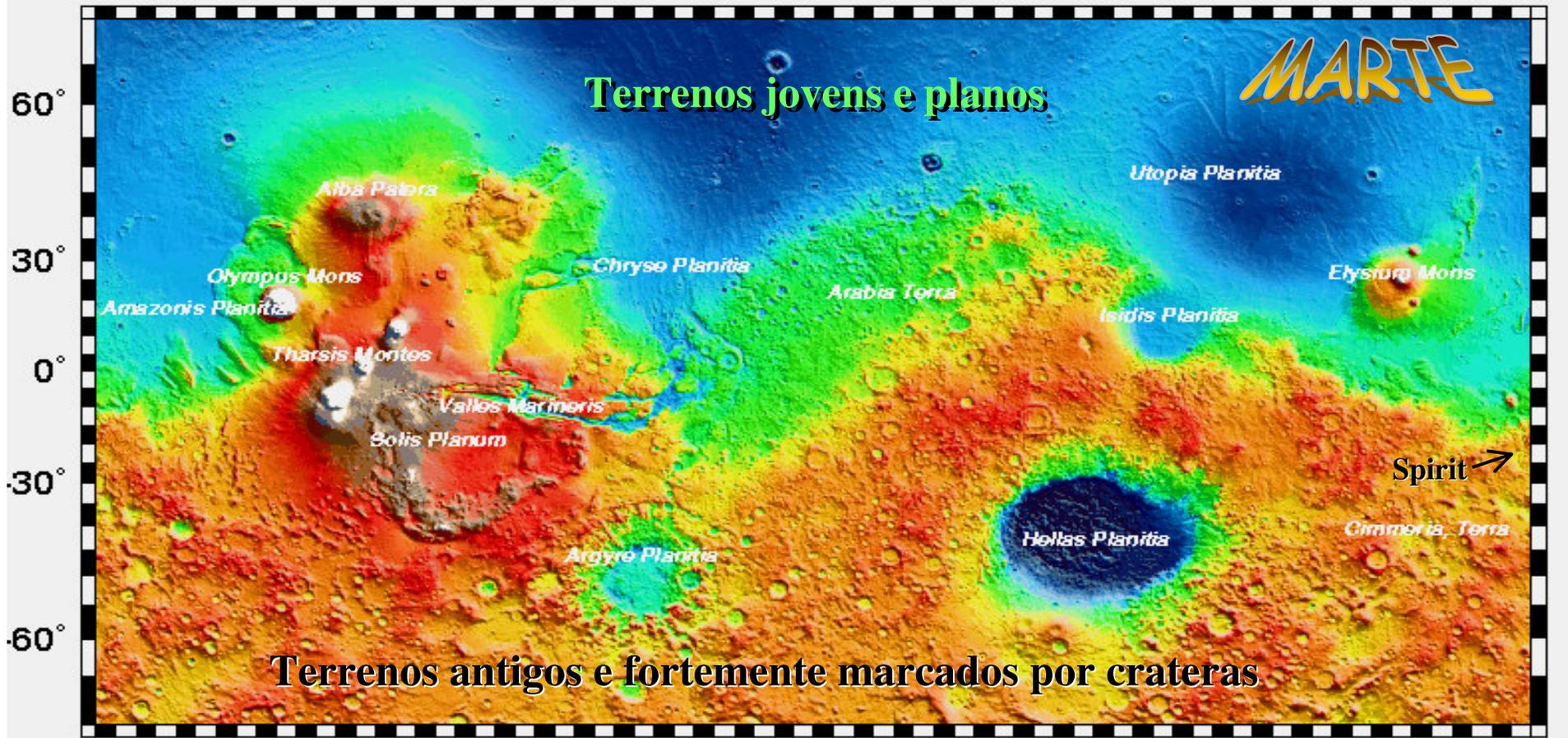
1a. Visão panorâmica (360°)



NASA - 03/01/2004 - Cratera GUSEV



1a. Visão do horizonte



**MARTE**



## **POLO NORTE**

**Coberto por CO<sub>2</sub> sobre H<sub>2</sub>O, congelados.**

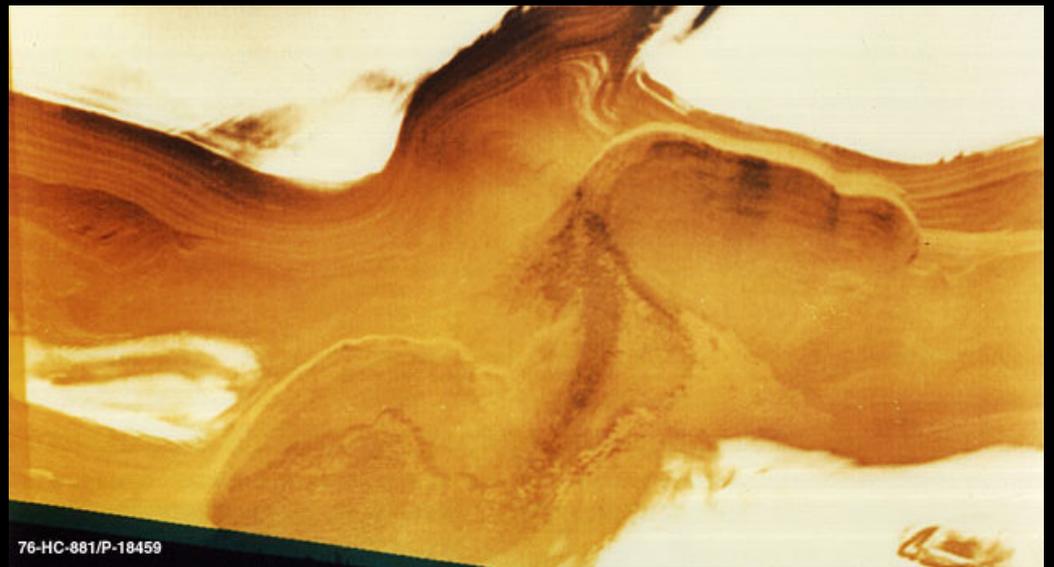
**Conteúdo estimado NÃO justifica os imensos canais provocados por erosão fluvial, observados pelas sondas Mariner e Viking**

## **CAMADAS DA CAPA POLAR**

**Camadas alternadas de poeira e gelo (CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O).**

**Registros de mudanças sazonais ou mudanças de longo termo na órbita?**

**Excelente sítio p/ estudos sobre o passado de Marte**



76-HC-881/P-18459

# MARTE



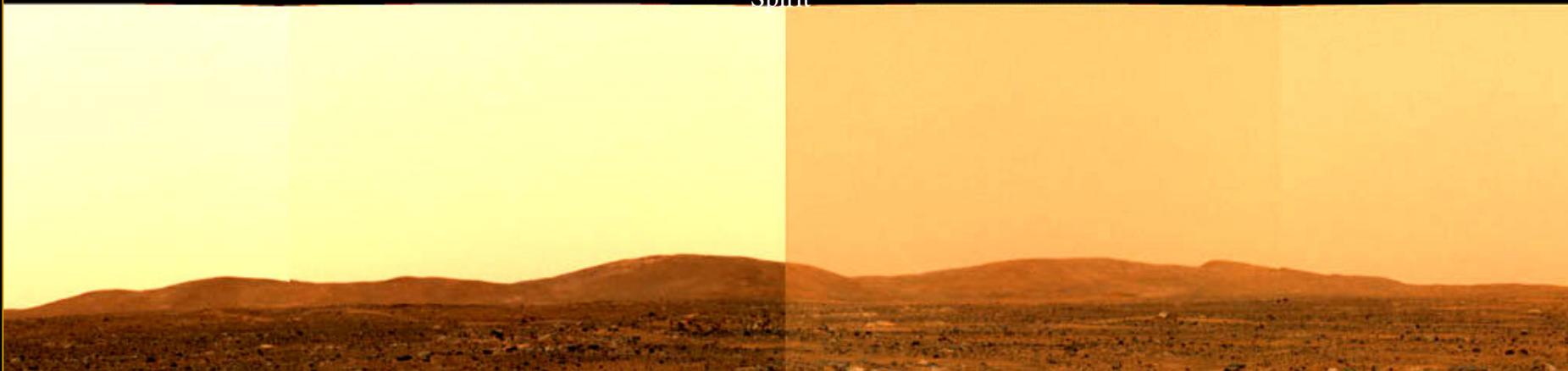
## DUNAS

**Semelhantes às terrestres e presentes em quase toda a superfície.**

**Apresentam mudanças com o tempo que podem indicar a direção dos ventos.**

**Dunas internas às crateras são conhecidas como dunas intracratera.**

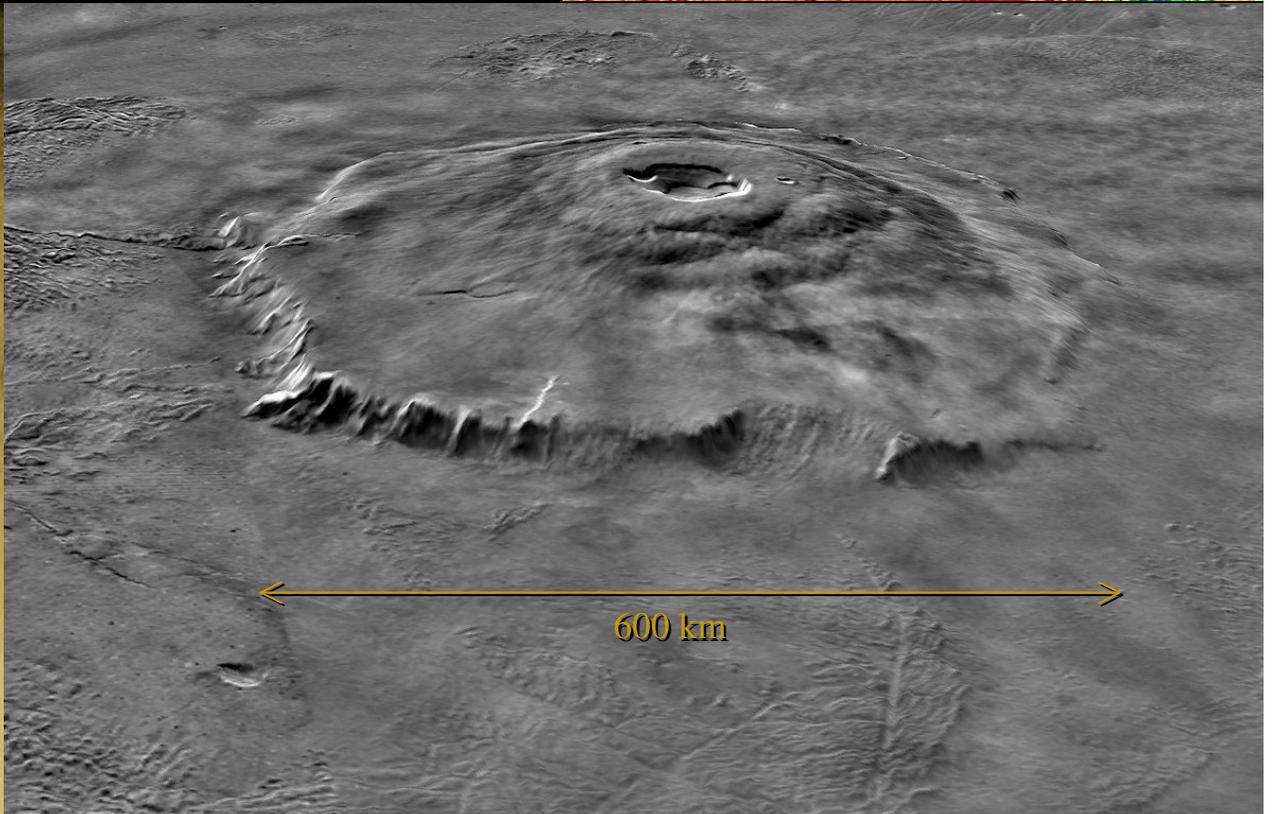
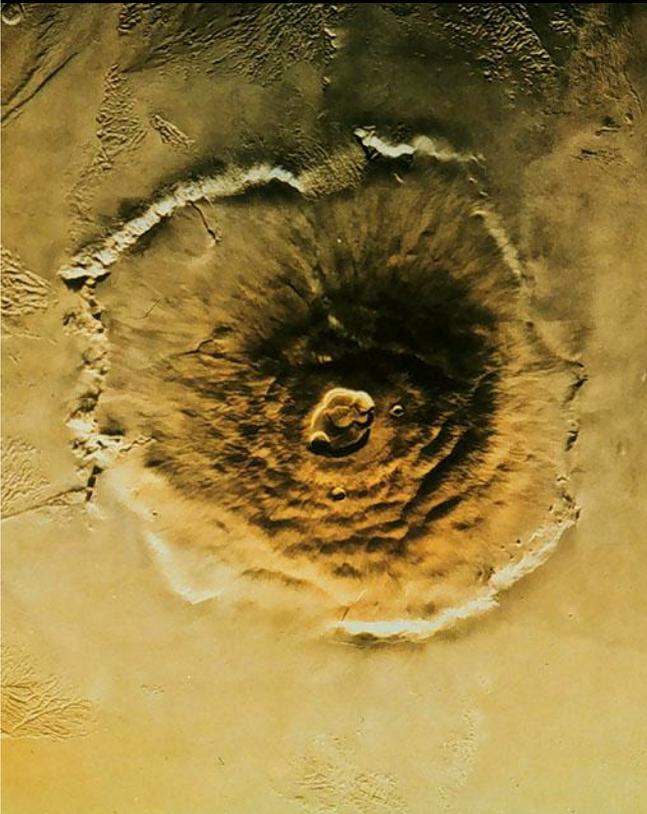
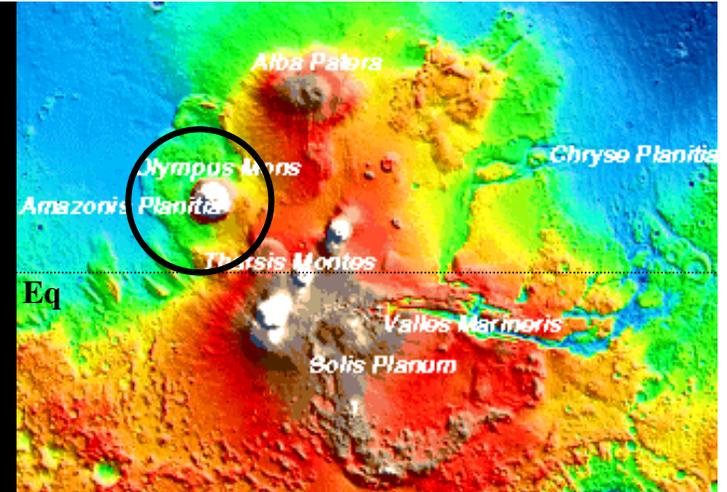
P2217: Sol 5 @ 10:31-10:46 Spirit P2218: Sol 3 @ 13:25-13:48 LST



# MONTE OLIMPO

- o maior vulcão (extinto) do Sistema Solar
- altura: 27 km

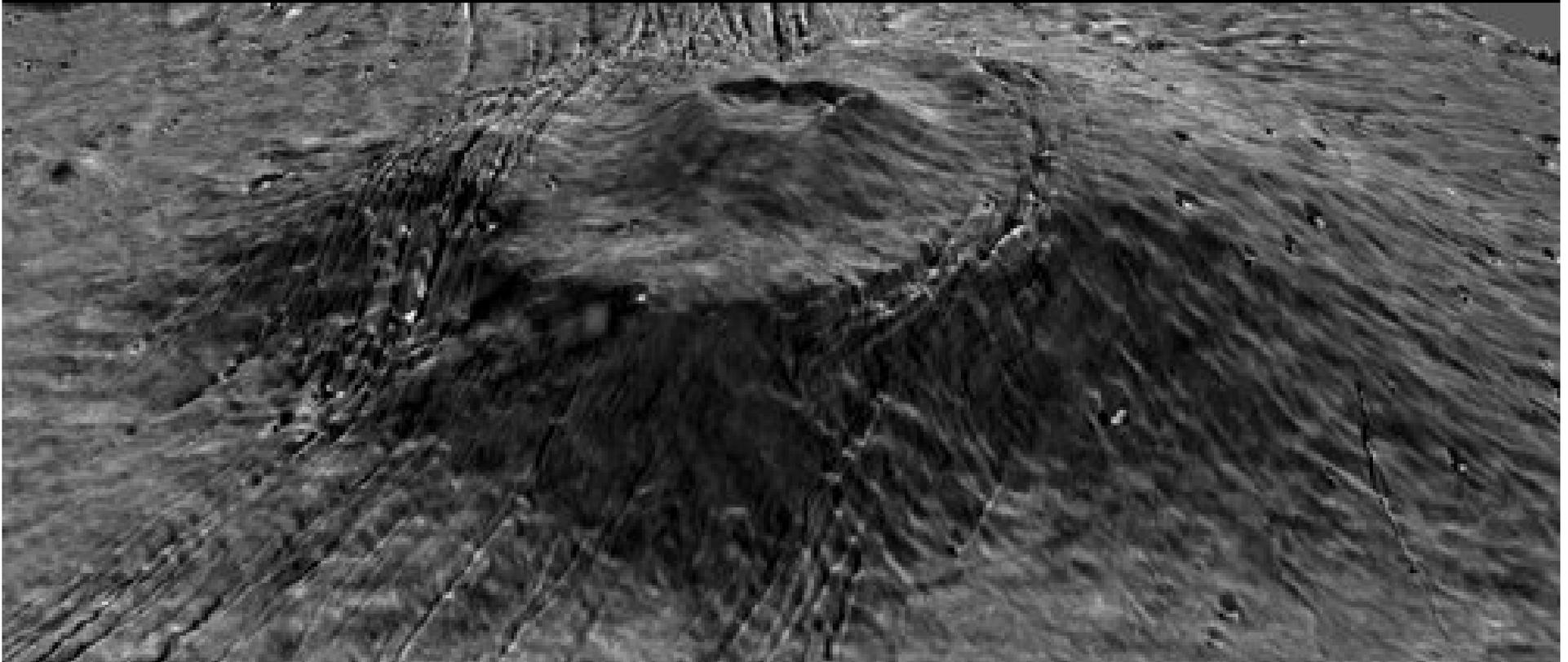
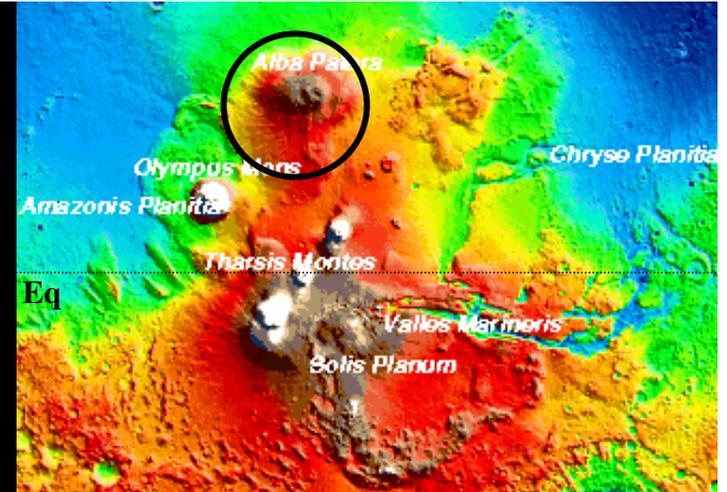
A história do vulcanismo marciano parece ser mais ativa que a de muitos planetas.



fluxos de lavas de diferentes idades, mostram que as erupções ocorreram por longo período (centenas de milhões de anos).

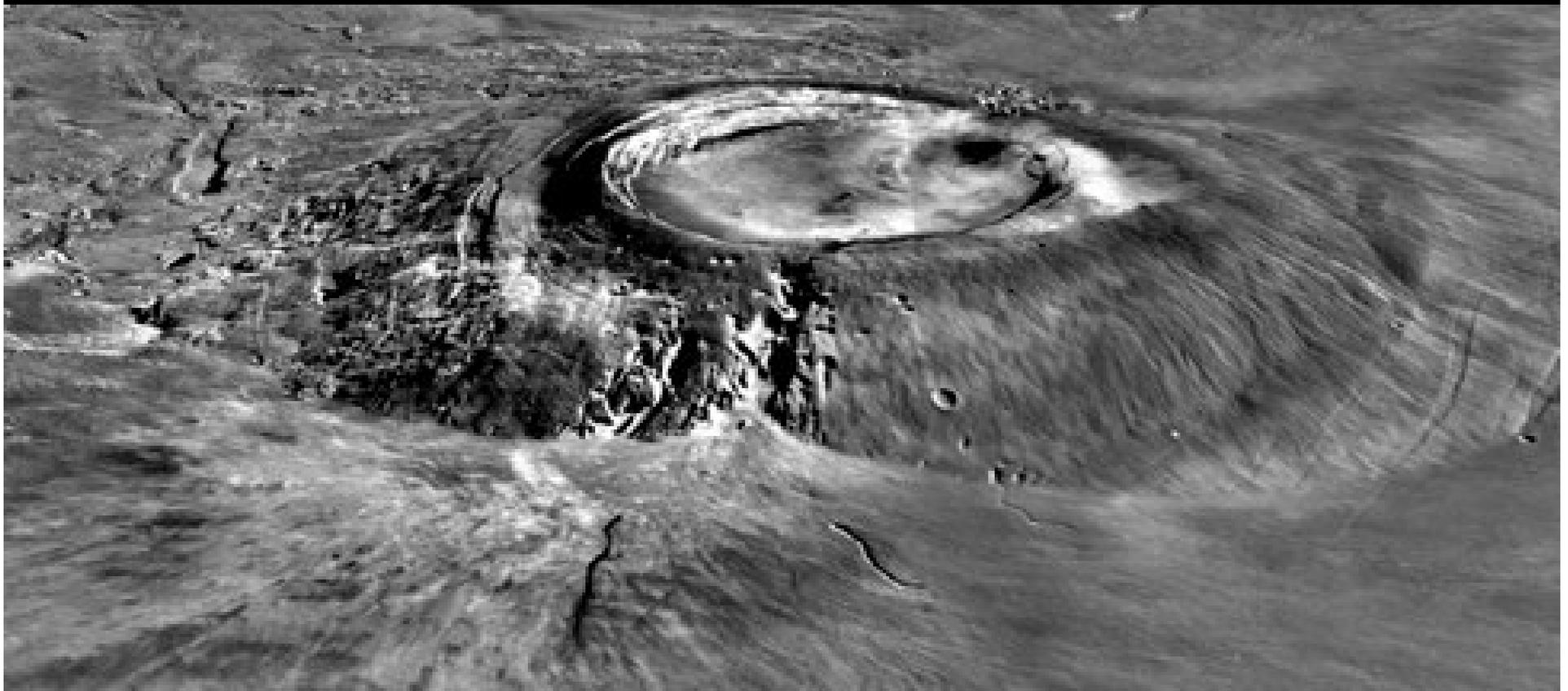
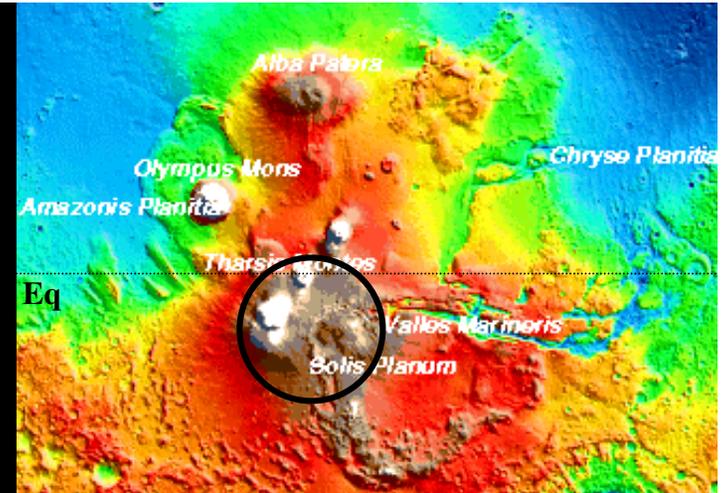
# MARTE

## ALBA PATERA



# MARTE

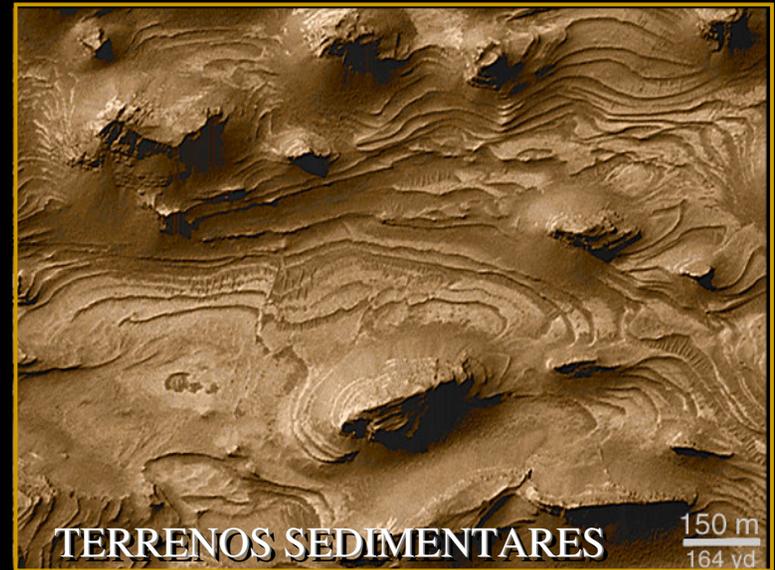
## ARSIA



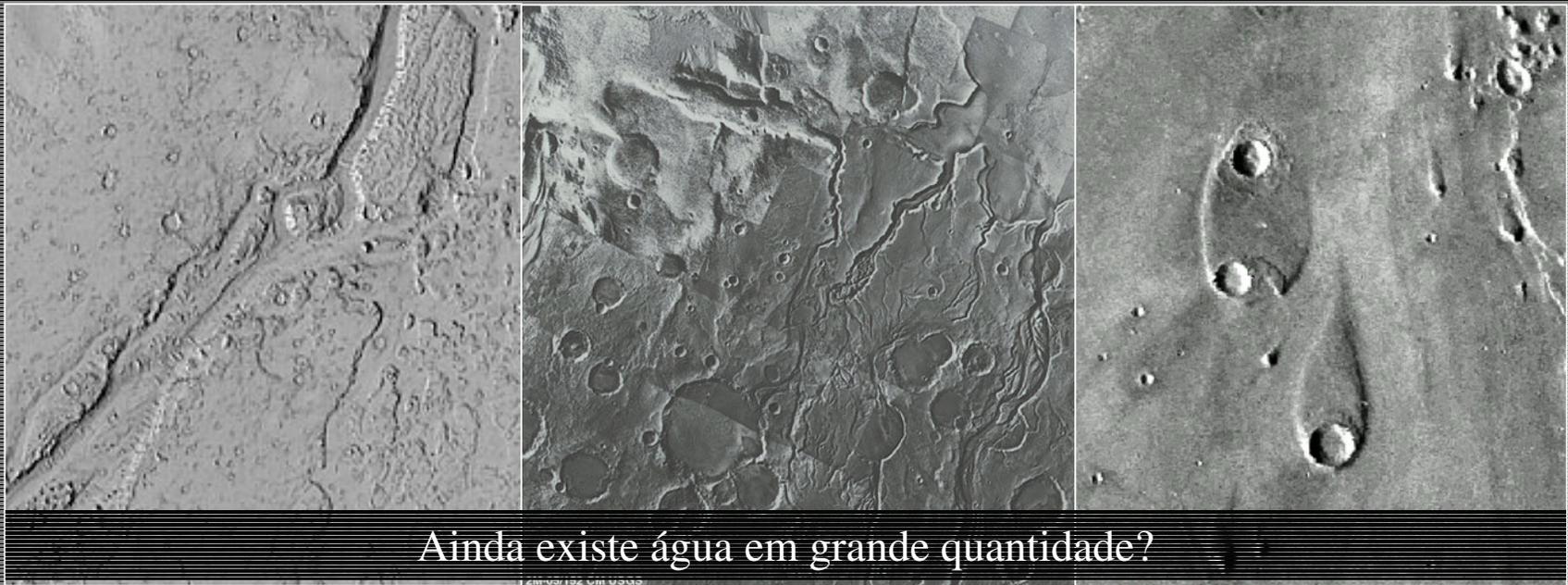
# MARTE

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

Na forma líquida, a água contida na atmosfera atual cobriria a superfície com uma camada de apenas 6 microns!



## EROSÃO FLUVIAL



Ainda existe água em grande quantidade?

# MARTE

Permafrost: solo permanentemente congelado.  
Na Terra eles aparecem nas regiões árticas e proximidades.

Um impacto de grandes proporções pode liquefazer o permafrost e provocar a liberação da água subterrânea, provocando erosão fluvial também de grandes proporções.

Vento: principal processo de modelagem (eólica) da superfície

## HISTÓRIA DA ÁGUA EM MARTE

( HÁ BILHÕES DE ANOS )



4,0



3,8



3,5



2,0

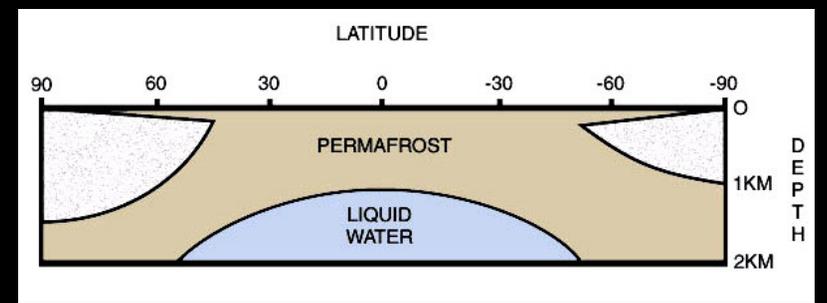
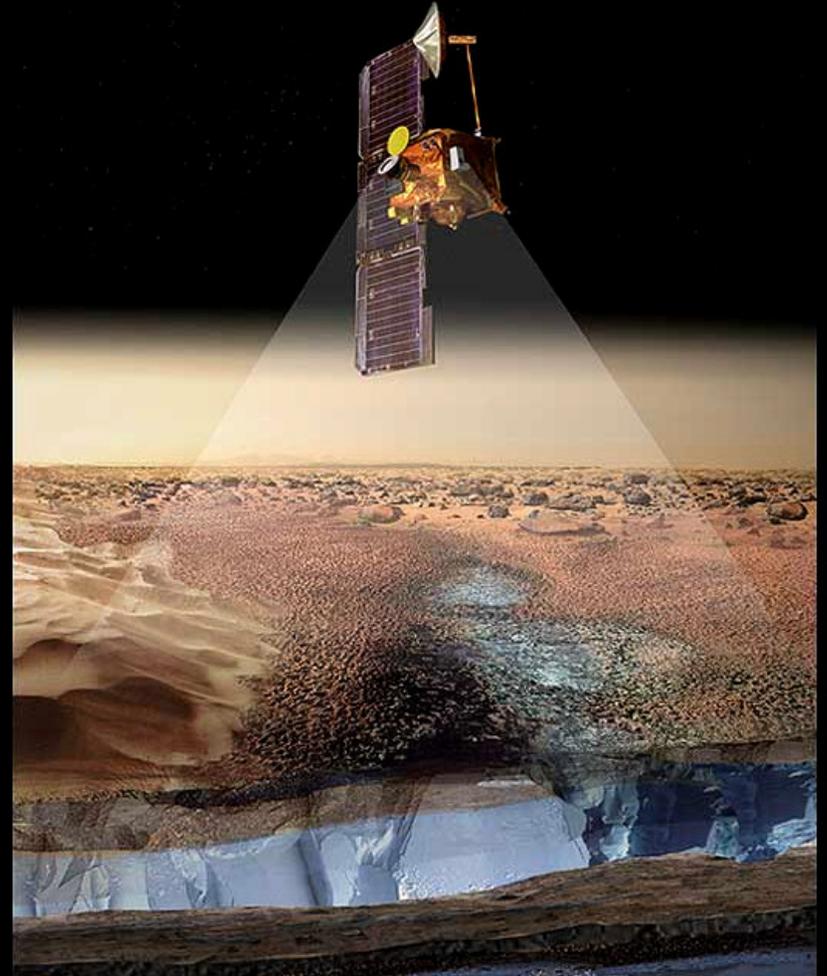


1,0



AGORA

## ÁGUA NO SUBSOLO



**MARTE**

## **UMA CRATERA JOVEM**

**Mesmo as crateras mais jovens apresentam padrões de ejeção de material fluído, que indicam a presença de água ou gelo subterrâneos.**

**Esta cratera de 30 km de diâmetro é resultado de um impacto meteorítico em terreno plano do hemisfério norte.**

**O terreno nas vizinhanças de 70 km está coberto por material ejetado desse impacto.**



# MARTE

Image processed by U.S. Geological Survey

## VALES "MARINERIS"

Nome dado em homenagem à sonda *Mariner 9*

Os "canyons" estendem-se por cerca de 1/5 da circunferência de Marte.

Eles surgiram das falhas da crosta logo no início da história marciana, e foram moldados por longo período de erosão eólica.

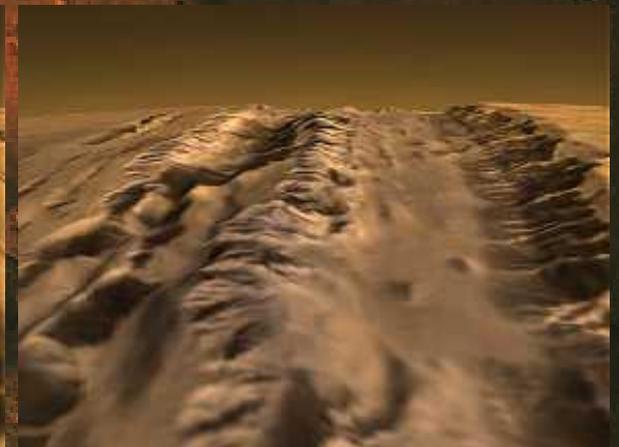
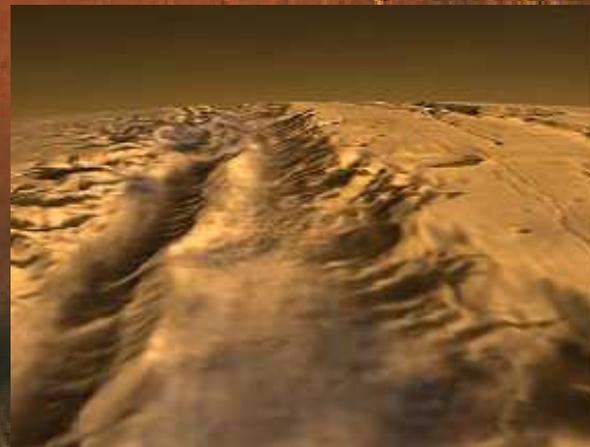
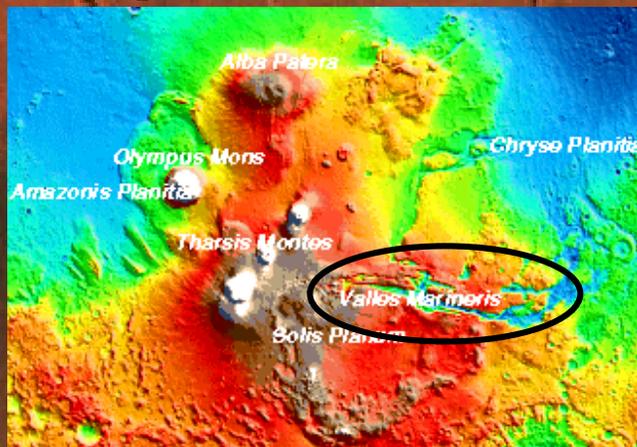


Image processed by U.S. Geological Survey

**MARTE**

## **CANDOR CHASMA (ABISMO)**

**Nestes desfiladeiros há numerosos deslizamentos sobrepostos, blocos fraturados de depósitos em lagos antigos, e crateras esculpidas por sedimentos formados por ação eólica.**

**Depósitos de lava vulcânica estão presentes por toda parte, indicando uma origem complexa de falhas da crosta, vulcanismo e água depositada..**

Imagem processada por U.S. Geological Survey

**MARTE**



## **Planície Amazônica**

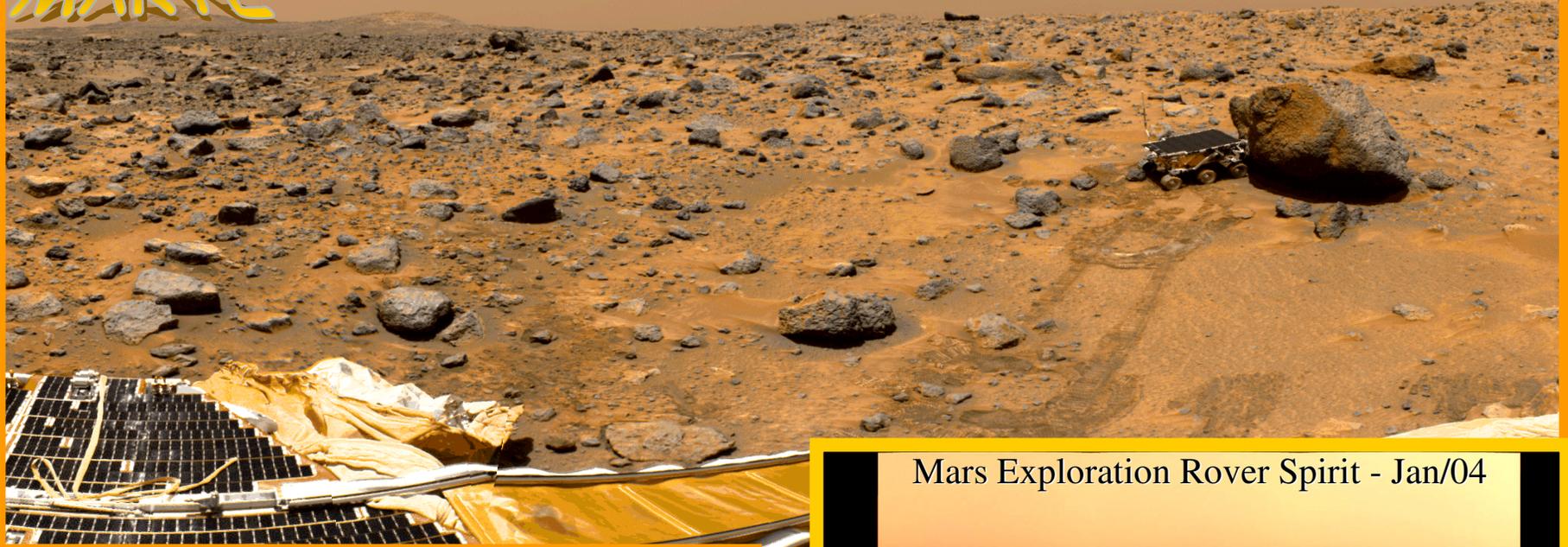
**Região fronteira  
entre os  
terrenos do  
SUL (antigos e  
fortemente marcados  
por crateras)  
e do NORTE (jovens  
e planos).**

**Caracterizada por  
canais e penhascos  
irregulares e  
erodidos.**

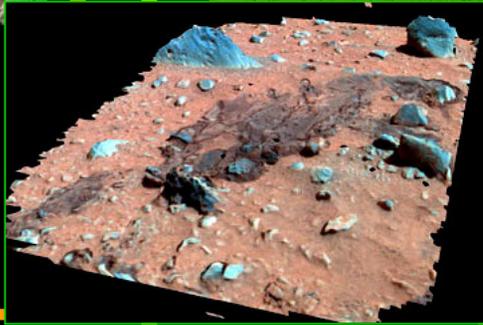
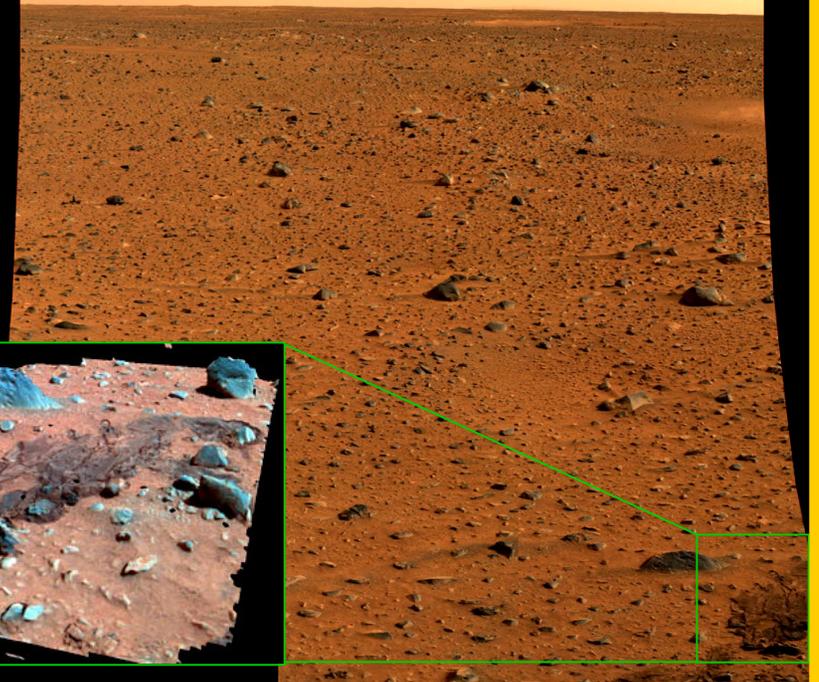
**Pela diversidade de  
terrenos (jovens e  
antigos) essa região é  
forte candidata à ser  
explorada em futuro  
próximo**

MARTE

Mars Pathfinder Sojourner - Julho/97

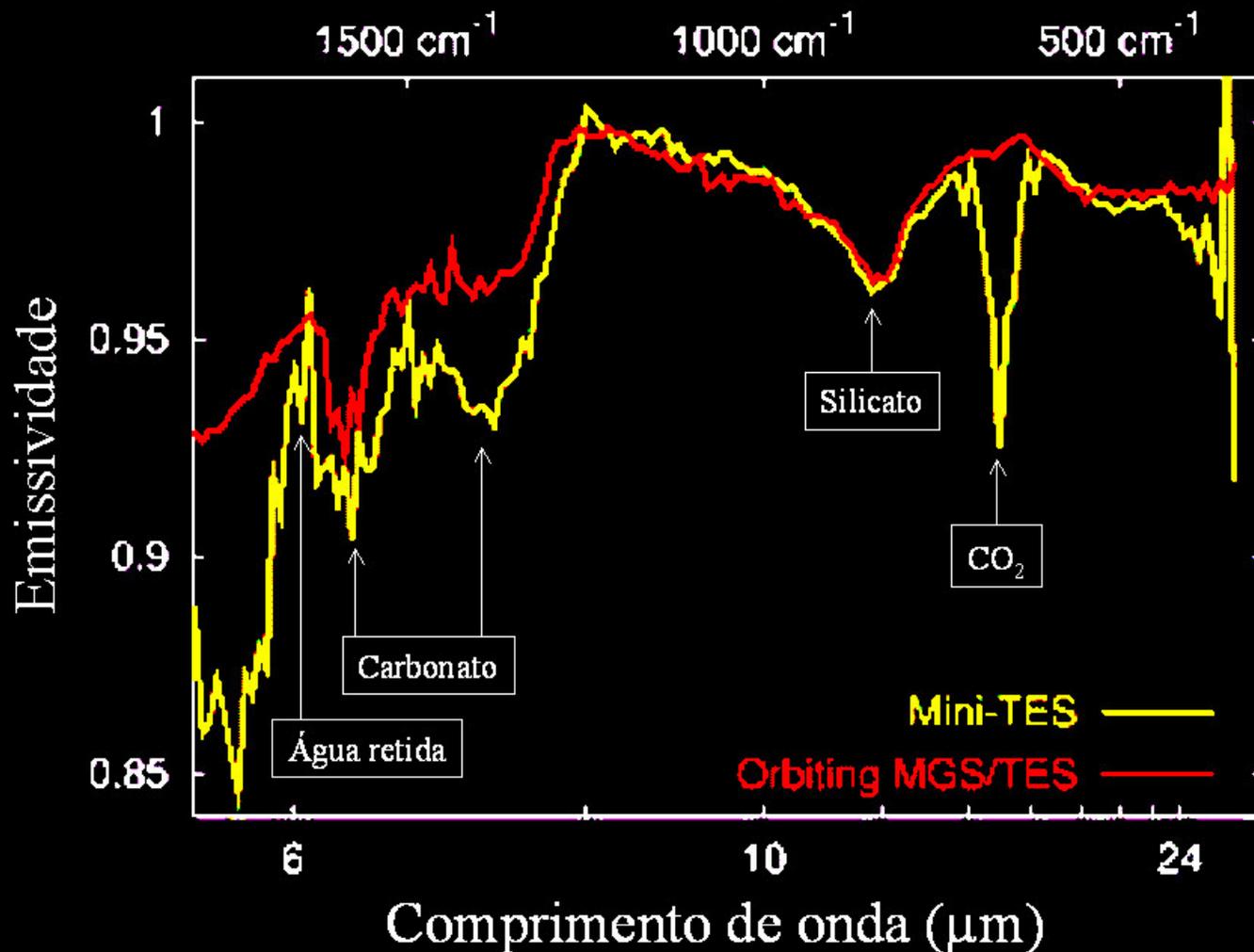


Mars Exploration Rover Spirit - Jan/04



# MARTE

Mars Exploration Rover Spirit, NASA, Jan/2004



## Meteorito marciano ALH 84001



esferas (0,15mm)  
de carbonato

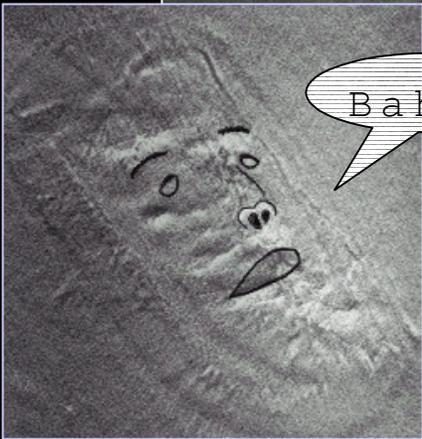
**Carbonatos:** rochas e minerais que contém "CO<sub>3</sub>" (Ca CO<sub>3</sub>, Mg CO<sub>3</sub>...) formados por processos puramente químicos, ou através de organismos vivos.

Ambos os casos exigem a presença da água líquida.

MARTE

Viking 1976

Mars Global Surveyor 2001



Bahhh!

Vista com maior resolução e melhor qualidade a imagem da  
“face” desaparece.

<http://mars.jpl.nasa.gov/mgs/msss/camera/images/>

# ***Atmosfera planetária***

---

## **PRÉ-REQUISITOS PARA EXISTÊNCIA**

**\* presença de gases e sólidos**

**\* condição de retenção:  $V_{\text{térmica}} < V_{\text{escape}}$**

**Velocidade térmica: aumenta com a temperatura ambiente,  
diminui com a massa da molécula do gás**

**Velocidade de escape: aumenta com a massa do planeta,  
diminui com a altura do solo**

**Conclusão: planetas pequenos e quentes não retém atmosfera  
planetas grandes e frios possuem atmosferas primitivas**

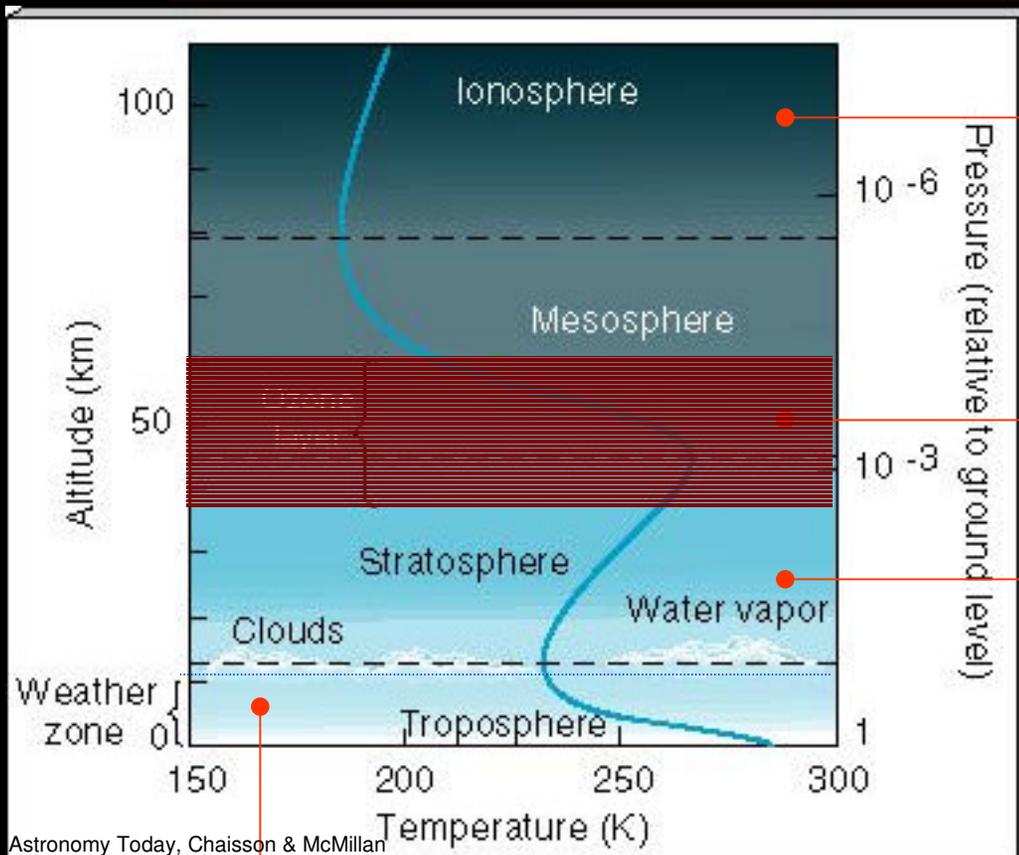
# Atmosfera planetária

Terra

## Estrutura atmosférica

$$V_{\text{escape}} = 11,2 \text{ km/s}$$

Composição predominante (% em volume): N (78), O (21), Ar (0,9) CO<sub>2</sub> (0,03)



Aqui a atmosfera é praticamente ionizada pela radiação solar mais energética, incluindo raio-X

Na camada de ozona, a radiação ultravioleta é absorvida pelo oxigênio, ozônio (O<sub>3</sub>) e nitrogênio. É uma camada protetora da vida.

A presença da radiação ultravioleta aumenta com a altura.

O aquecimento da Troposfera é causado pela absorção (convecção) do calor proveniente do solo, por isso a temperatura decai com a altura. Aqui ocorrem os fenômenos atmosféricos. *90% da atmosfera está contida aqui.*

# Atmosfera planetária

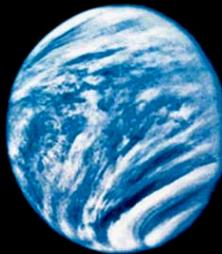
Vênus

## Estrutura atmosférica

$$V_{\text{escape}} = 10,4 \text{ km/s}$$

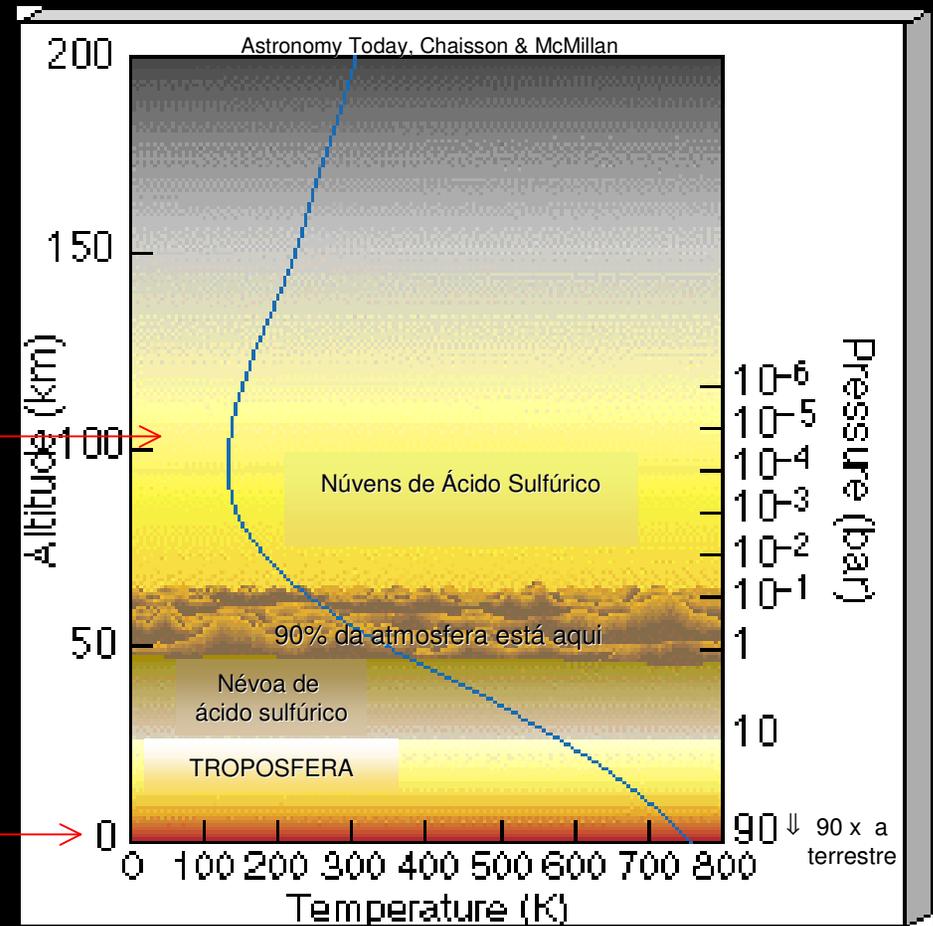
Composição química predominante (% em volume):  
 $\text{CO}_2$  (~96,5), N (~3,5), traços de  $\text{H}_2\text{O}$  (vapor), CO,  $\text{SO}_2$ , Ar.

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



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”).

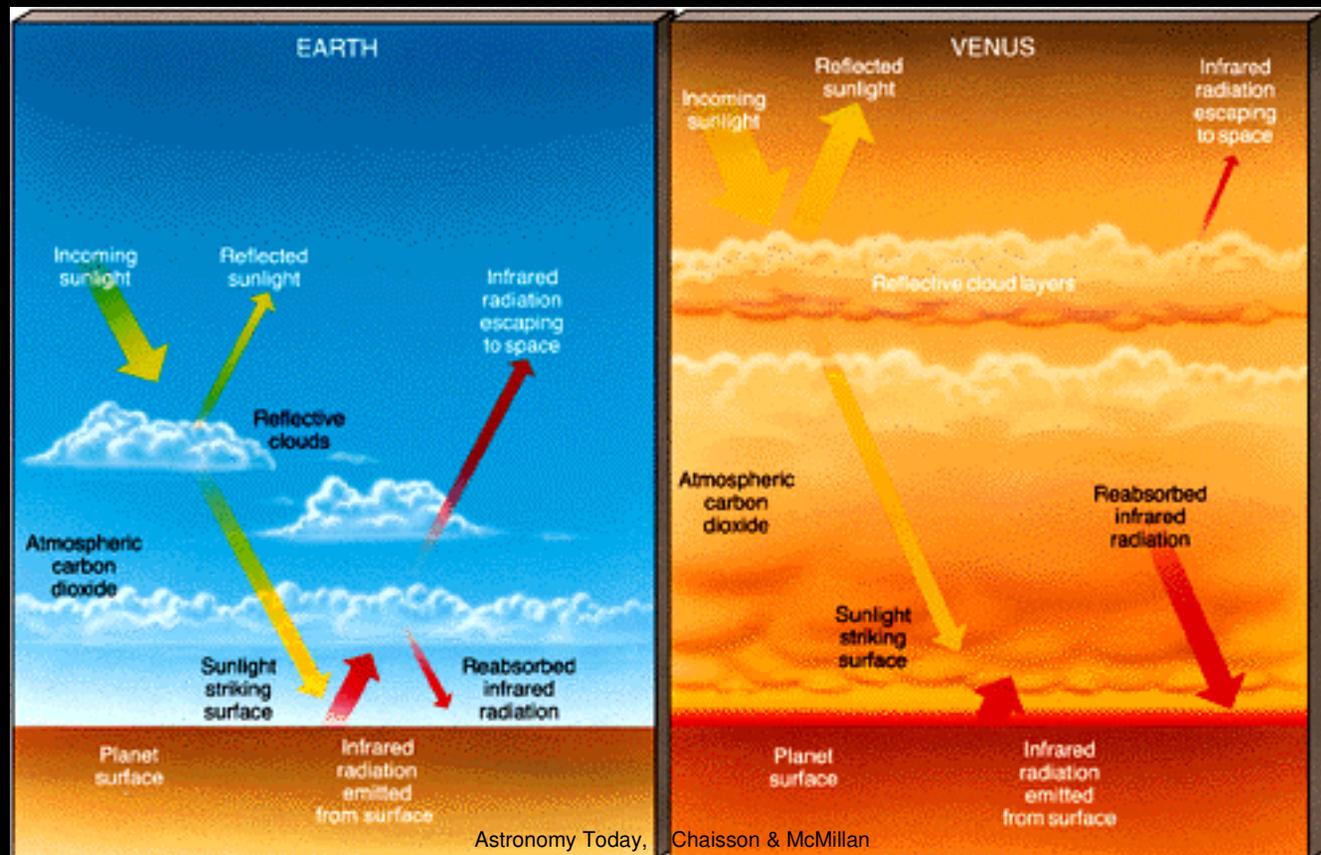


# Atmosfera planetária

## Vênus

O Efeito Estufa é necessário para a própria existência da atmosfera. Em Vênus ele é causado pelo  $\text{CO}_2$ . A radiação infravermelha (calor) fica retida em sua atmosfera. Na Terra, o  $\text{CO}_2$  inicial foi incorporado às rochas, posteriormente consumido pela fotossíntese.

A água tbém provoca aquecimento. Na Terra ela formou os oceanos, em Vênus ela permaneceu como vapor na atmosfera, contribuindo para o aquecimento. Vênus está mais próximo do Sol.



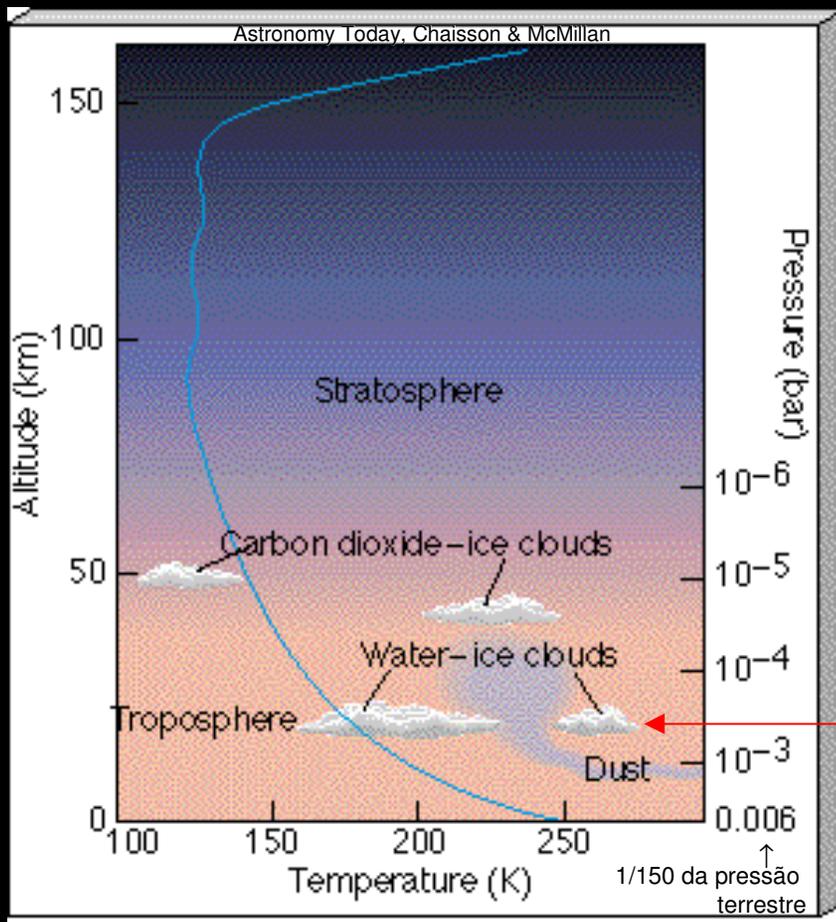
# Atmosfera planetária

Marte

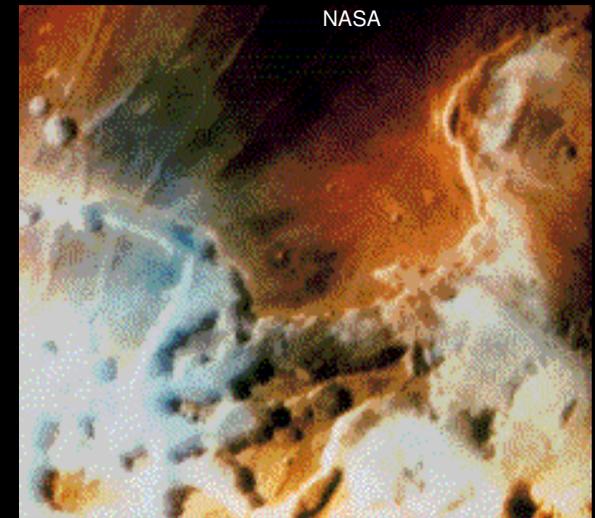
## Estrutura atmosférica

$V_{\text{escape}} = 5 \text{ km/s}$

Composição química predominante (% em volume):  
 $\text{CO}_2$  (~95,3), N (~2,7), Ar (1,6), O (0,13), CO (0,07),  $\text{H}_2\text{O}$  (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  $\text{CO}_2$  solidificado em névoas e nuvens.



Varição 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  $T_{\text{superfície}}$  é 50K mais baixa que a terrestre.

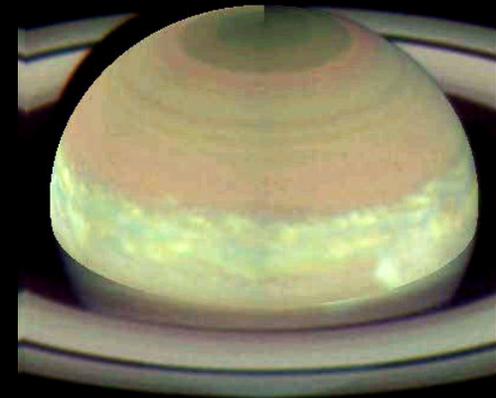
# *Atmosfera planetária*

## Os 4 gigantes

Júpiter



Saturno



Aug 1  
94

Urano



Netuno

Anéis de Saturno



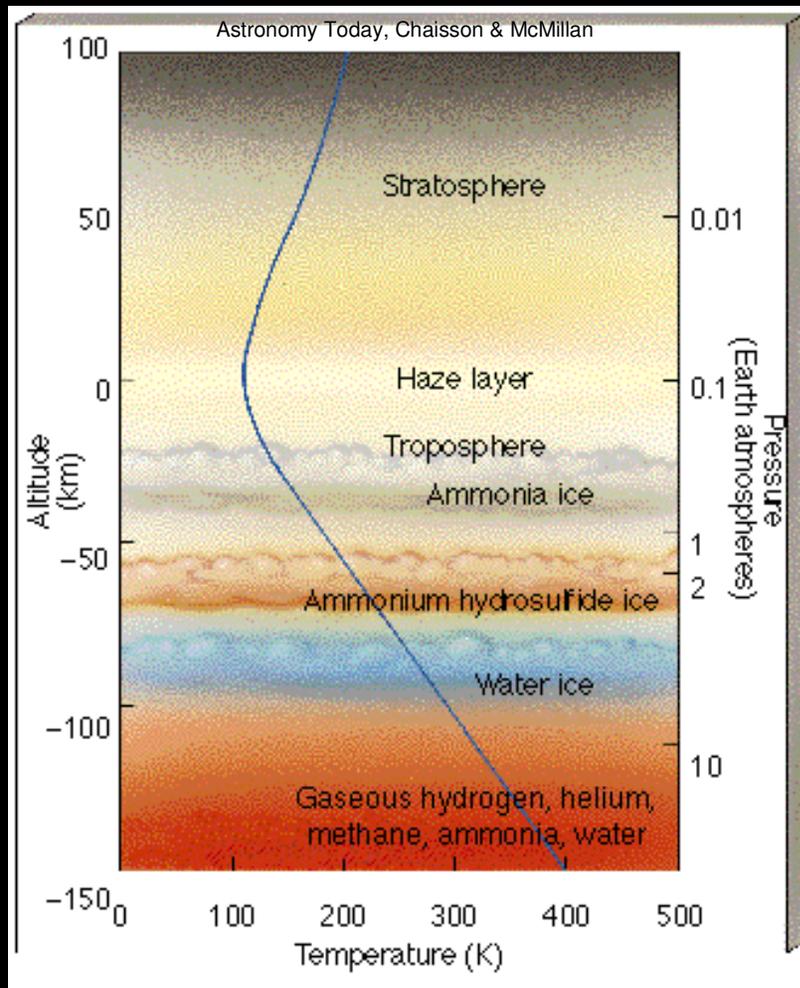
# Atmosfera planetária

Júpiter

## Estrutura atmosférica

$$V_{\text{escape}} = 59,5 \text{ km/s}$$

Composição química predominante (% em volume): H (~86,1), H<sub>2</sub> (~13,8), traços de CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub> e vapor de H<sub>2</sub>O

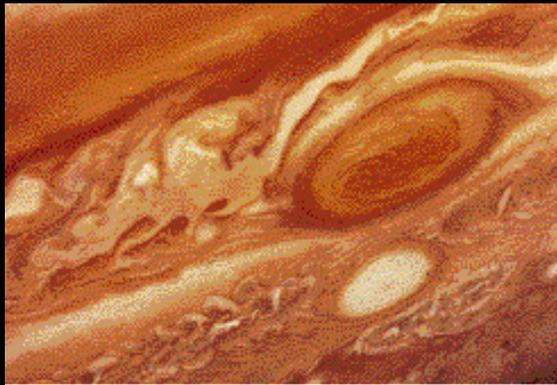


As diversas camadas da atmosfera estão relacionadas às cores e à composição química.

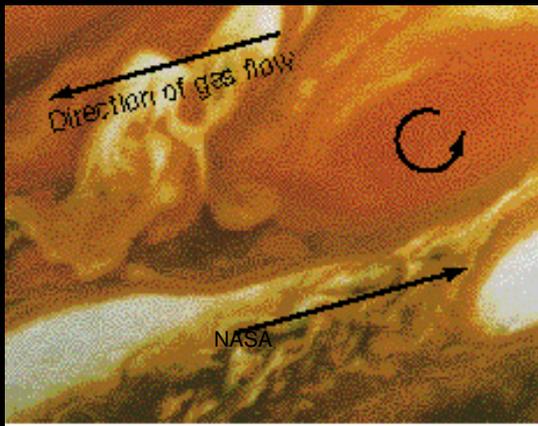
- brancas: topos das nuvens de amônia
- **amarelas**, **vermelhas** e **marrons**: nuvens de gelo de hidrosulfeto de amônia (NH<sub>4</sub>HS)
- **azuis**: gelo de água (que não é vista devido à espessa camada atmosférica situada acima).
- As mudanças de cores podem estar associadas tbém às reações químicas
- Sonda Galileu detectou fosfina (PH<sub>3</sub>)

# Atmosfera planetária

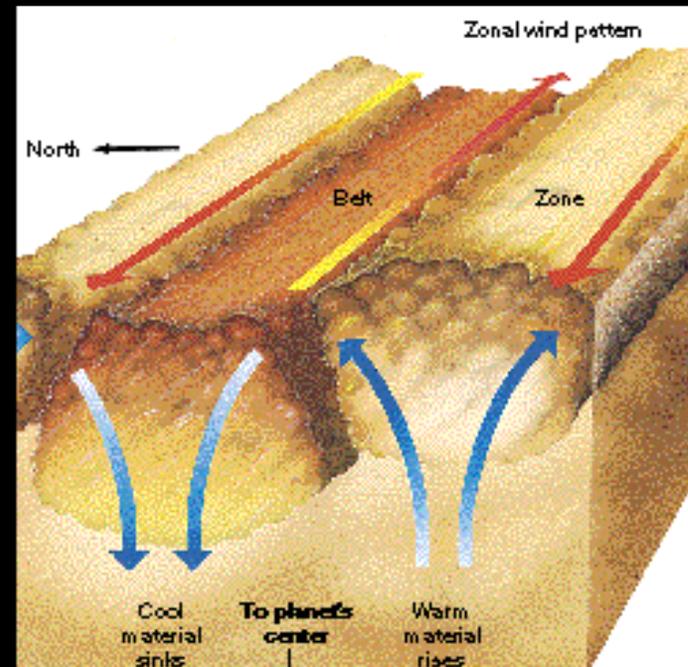
Júpiter



A **Grande Mancha Vermelha (GMV)**. Zona ascendente de alta pressão, girando na direção anti-horária. Sua estabilidade é devida à dinâmica da atmosfera.



Está entre zonas de fluxos opostos, daí o sentido de rotação anti-horário.



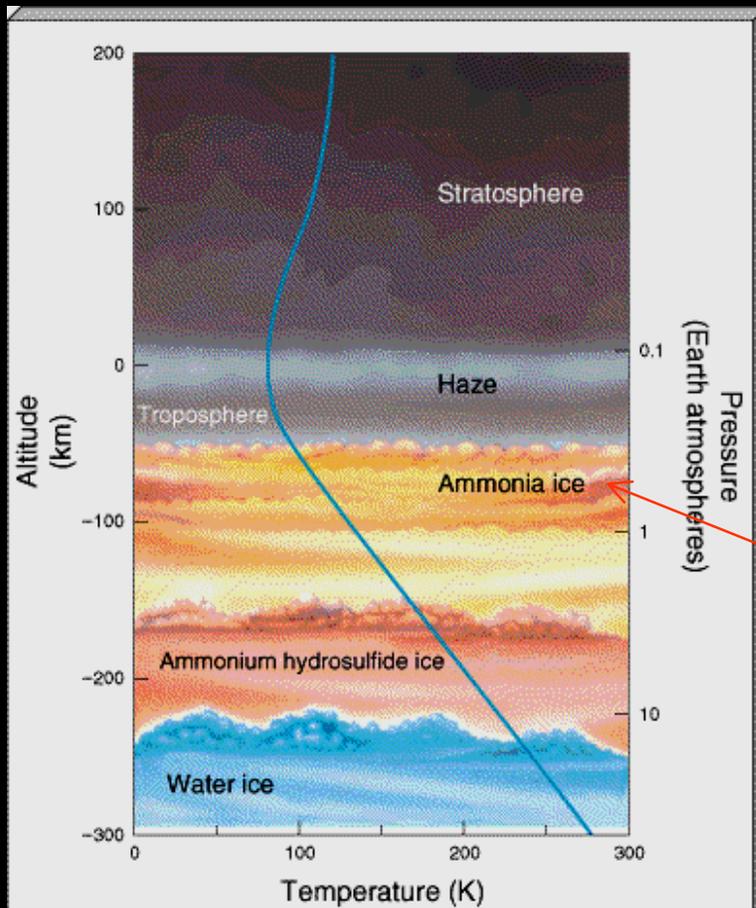
- Os gases aquecidos ascendentes aparecem como zonas claras, enquanto os gases frios descendentes criam zonas escuras. Na Terra os ventos de superfície tendem a fluir das regiões de alta para baixa pressão.
- A rápida rotação de Júpiter induz a circulação de correntes atmosféricas em cinturões.
- Como a rotação varia com a latitude (maior no equador e menor nos pólos) os pólos têm padrão atmosférico mais simples.

# Atmosfera planetária

## Saturno

### Estrutura atmosférica

$$V_{\text{escape}} = 35,5 \text{ km/s}$$



Astronomy Today, Chaisson & McMillan

Composição química predominante (% em volume):  $H$  (~92,4),  $H_2$  (~7,4), traços de  $CH_4$  (~0,2),  $NH_3$  (~0,02).

As temperaturas são menores que as de Júpiter; Saturno está mais longe do Sol e sua atmosfera é mais espessa.

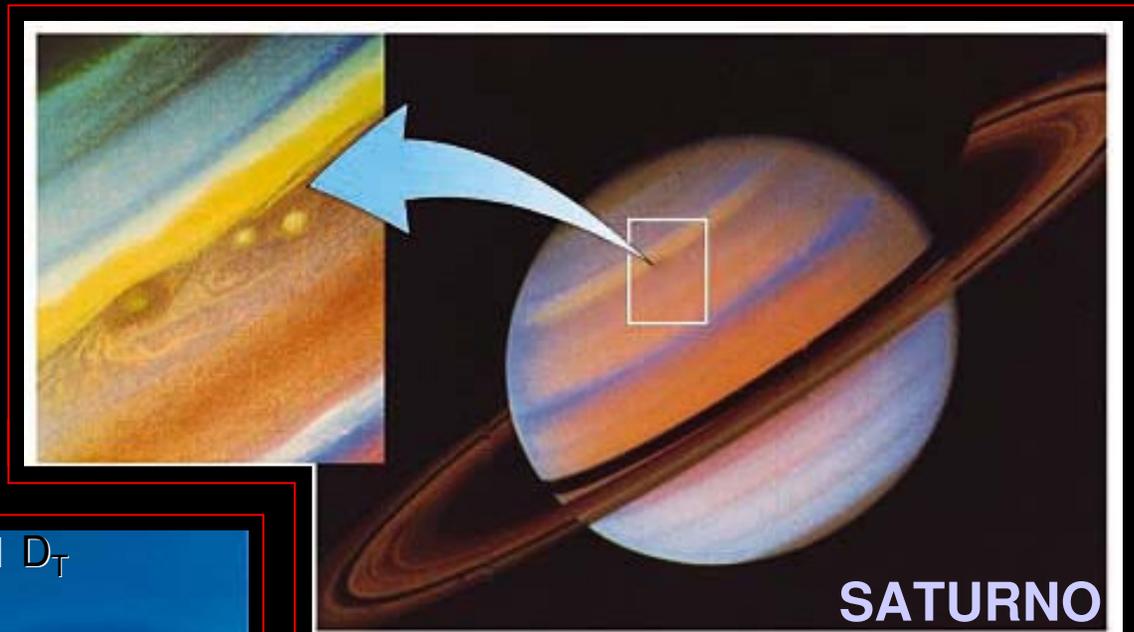
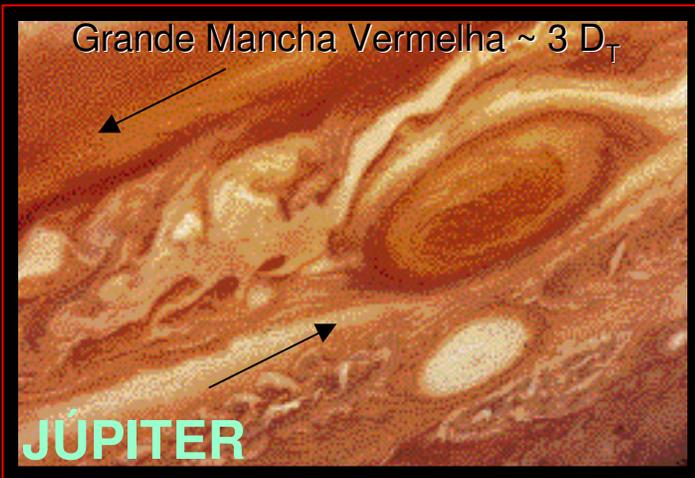
Topo das nuvens visíveis. Acima delas há névoa produzida pelo aquecimento solar dos gases da Troposfera, responsável pela falta de nitidez da imagem do planeta.

A espessura total das três camadas de nuvens é ~200km, contra os ~80km de Júpiter. A causa é a menor gravidade.

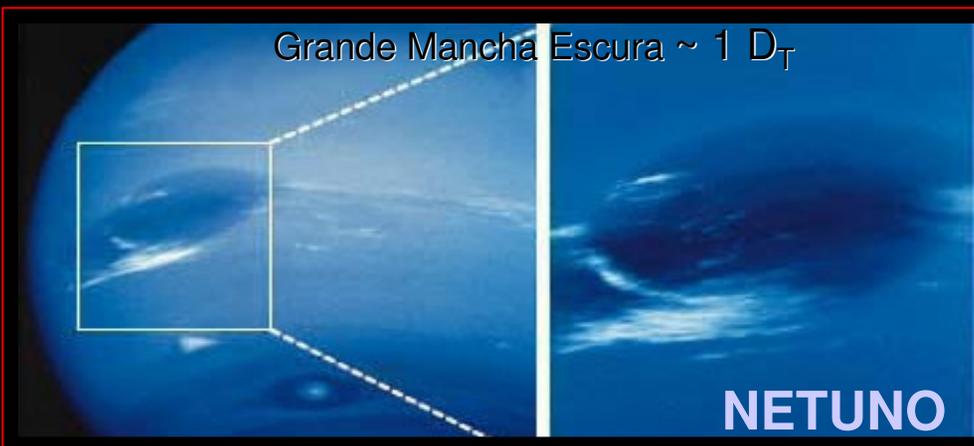
# Atmosfera planetária

## As manchas

Imagens da NASA



Em setembro de 1990 surgiu uma mancha branca no hemisfério sul que, aos poucos, se transformou numa banda de nuvens na altura do equador.

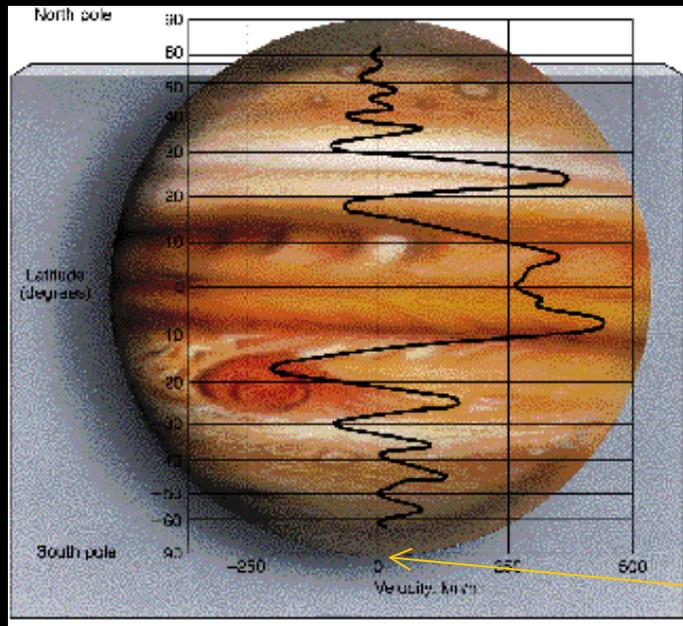


$D_T$  = diâmetro da Terra

# Atmosfera planetária

## Júpiter

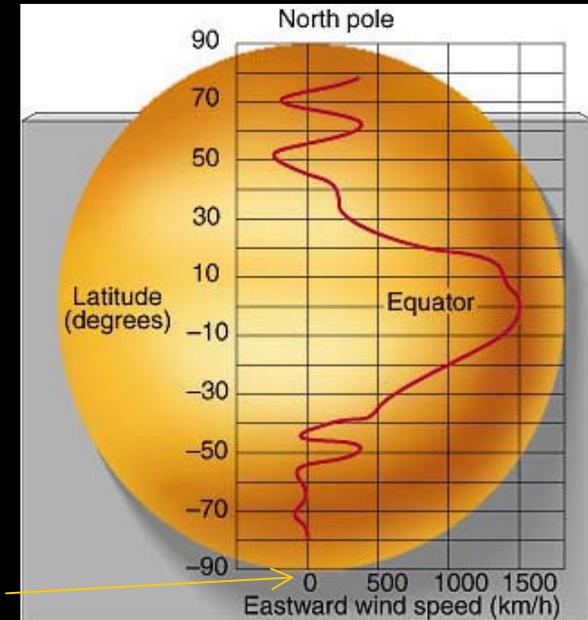
Período sideral de rotação: ~9h 50m



Astronomy Today, Chaisson & McMillan

Relativo à velocidade de rotação interna, ~ polar

Período sideral de rotação: ~10h 34m



Astronomy Today, Chaisson & McMillan

Cinturões de circulação.  
A rápida rotação de Júpiter  
provoca a circulação de correntes  
atmosféricas em cinturões.

Os ventos alcançam velocidades  
ainda maiores do que em Júpiter.  
Da mesma forma, as bandas  
parecem estar associadas às  
variações de velocidade dos ventos.

Ainda não se conhece as razões das diferenças de padrões observados em Júpiter e Saturno.

# Atmosfera planetária

## Urano e Netuno

*Composição química predominante, em percentual: H (~84), He (~14) e CH<sub>4</sub> (~2 p/ Urano, e ~3 p/ Netuno). Praticamente não há NH<sub>3</sub>.*

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 NH<sub>3</sub> / CH<sub>4</sub> observada nos planetas gasosos diminui quando a distância heliocêntrica aumenta.

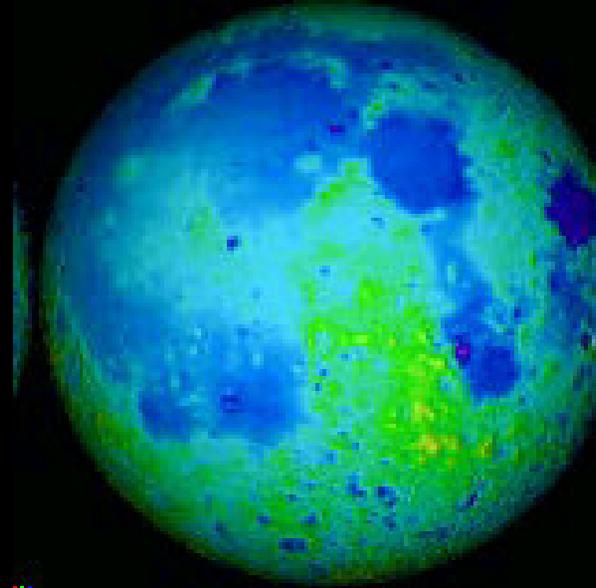
O metano absorve a luz vermelha e reflete a azul, por isso estes planetas apresentam mais detalhes nas cores azul e verde. Mais metano implica em cor mais azulada.

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

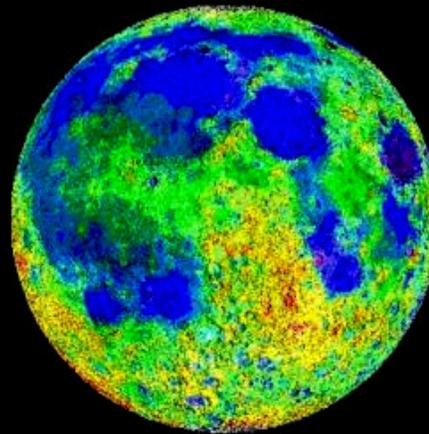
As névoas existentes nas Estratosferas de Netuno e Urano impedem a observação direta dos padrões atmosféricos que estão abaixo, por isso eles parecem menos estruturados que Júpiter e Saturno.

# SATÉLLITES

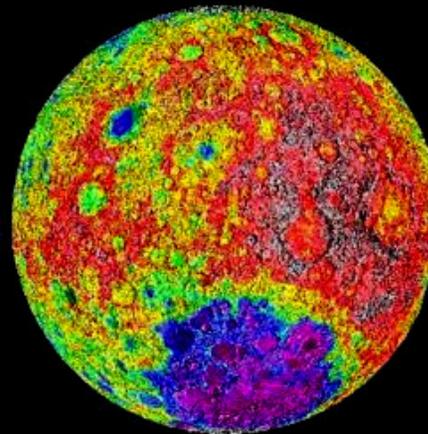
# LUA - Satélite da Terra



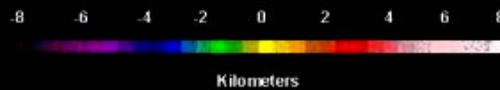
*Clementine* Topographic Map of the Moon  
Contour Interval - 500 m



Near Side



Far Side

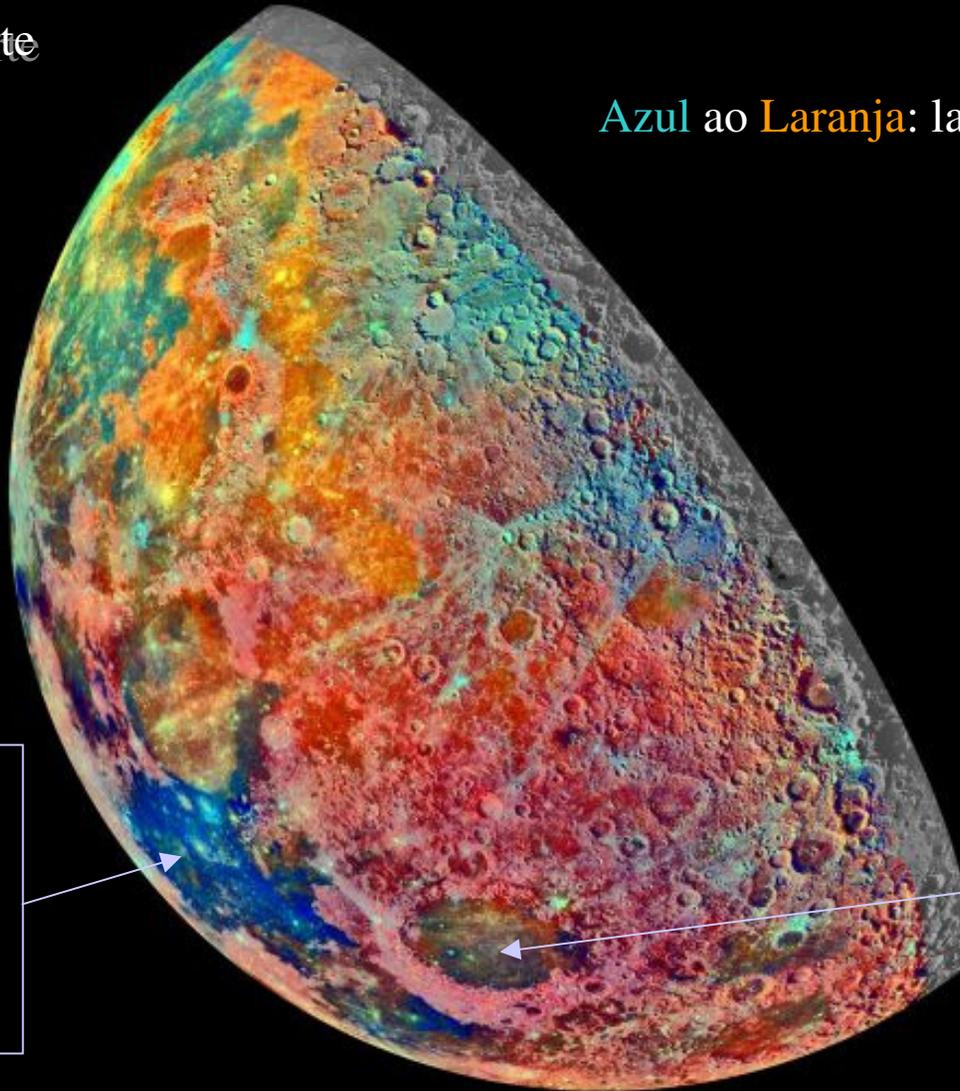


# Topografia da Lua (sonda Galileo)

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

Pólo Norte

Azul ao Laranja: lavas vulcânicas



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

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

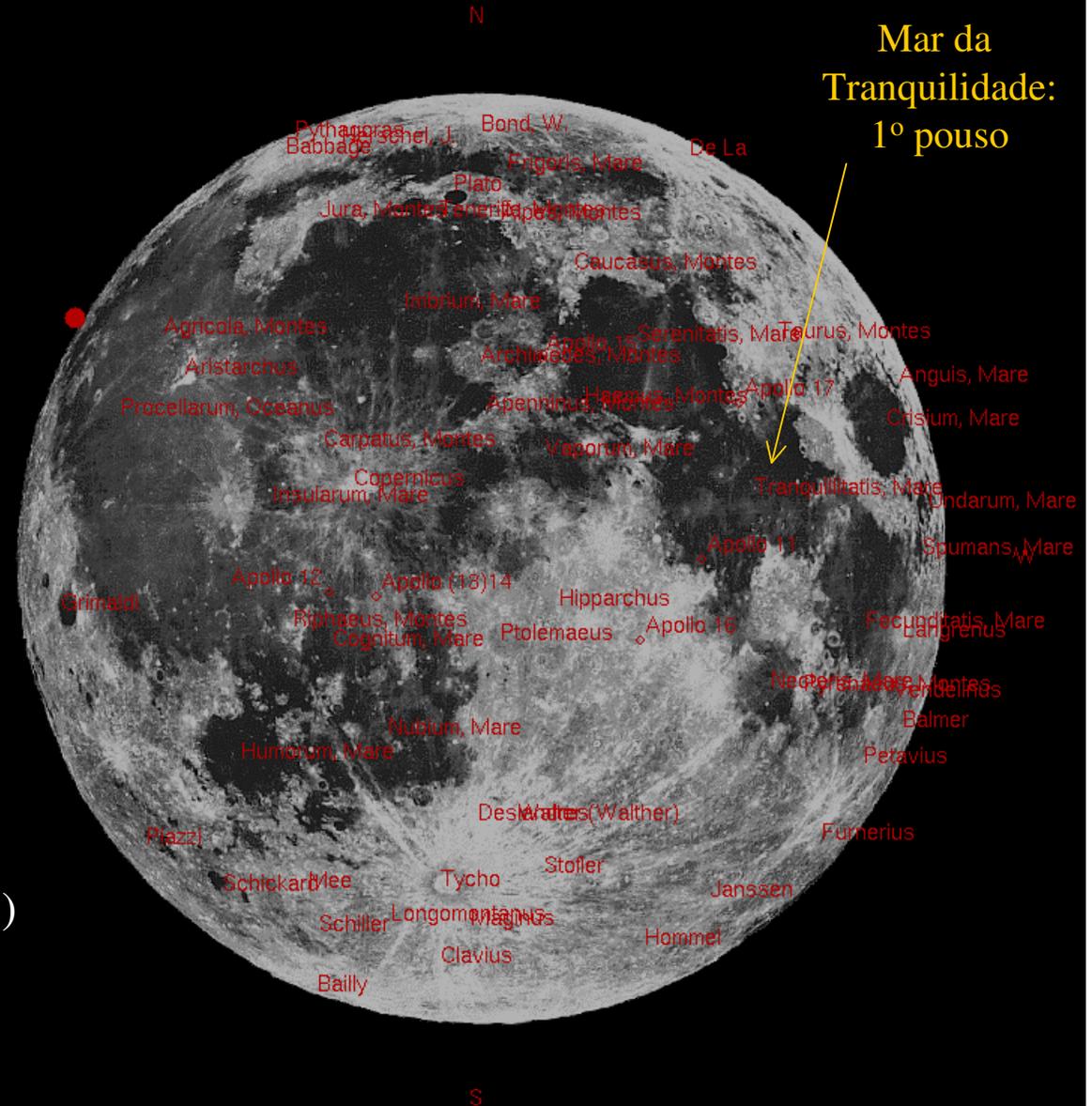
# Topografia da Lua (figuras mais evidentes)

## Mares

- regiões baixas, planas e mais escuras
- jovens (3 a 4 bilhões de anos)
- formadas de lavas solidificadas (rochas basálticas)

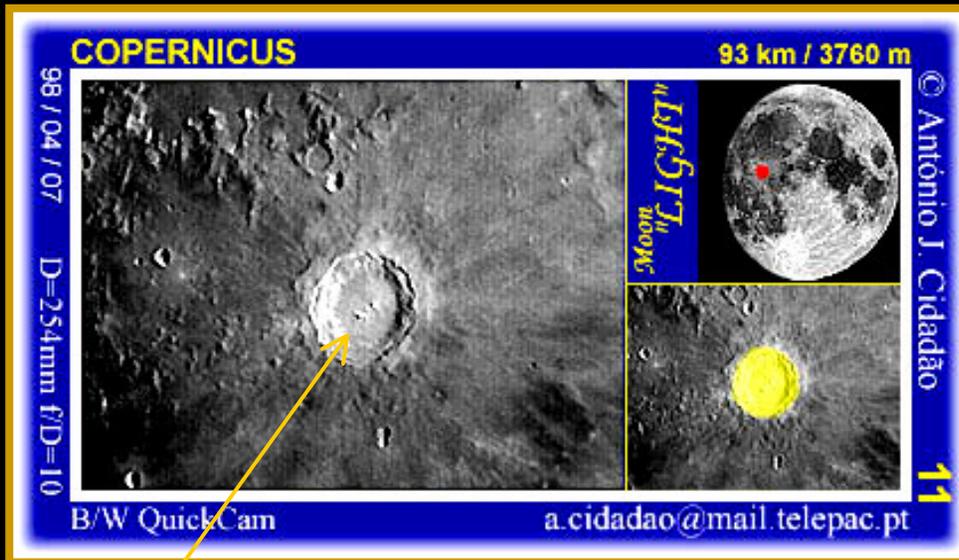
## Continentes

- regiões elevadas, irregulares, mais claras
- antigos (4 a 4,5 bilhões de anos)
- fortemente fragmentado por impactos de meteoróides



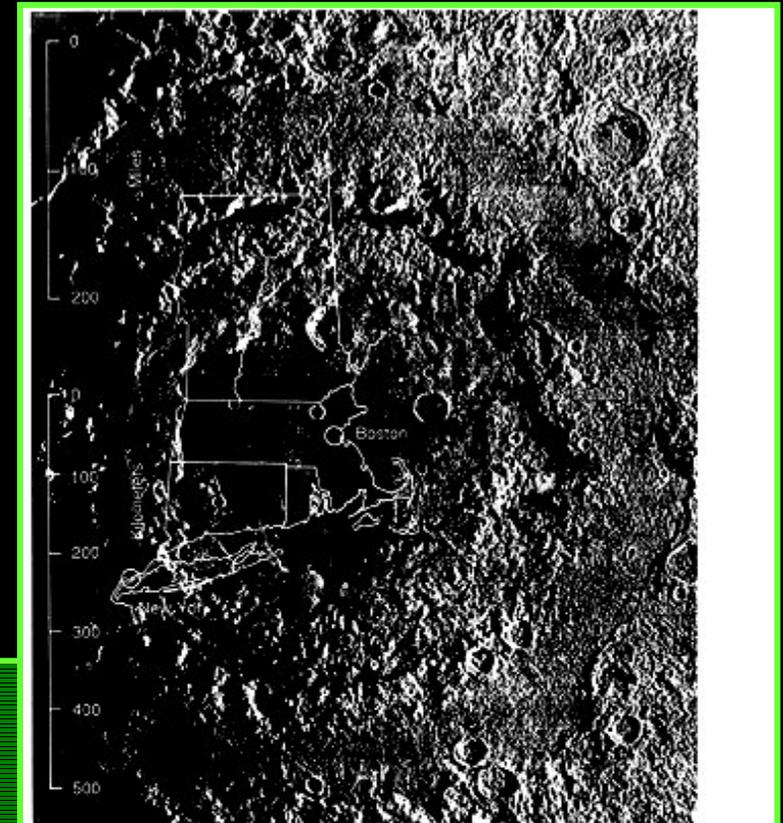
# Topografia da Lua (figuras mais evidentes)

## Cratera de Impacto

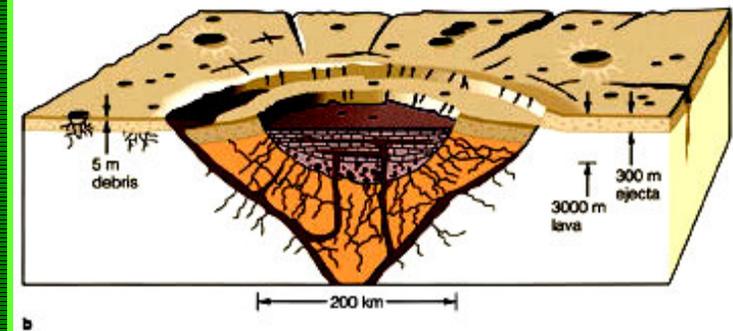


Pico central  
é uma  
característica

- Base Oriental é uma cratera de impacto, multi-anelada.
- Lava foi liberada pela colisão, formando depósitos de material escuro ao longo das fraturas.
- Crateras como essa surgem de processo composto de impacto-e-vulcanismo.



Base Oriental



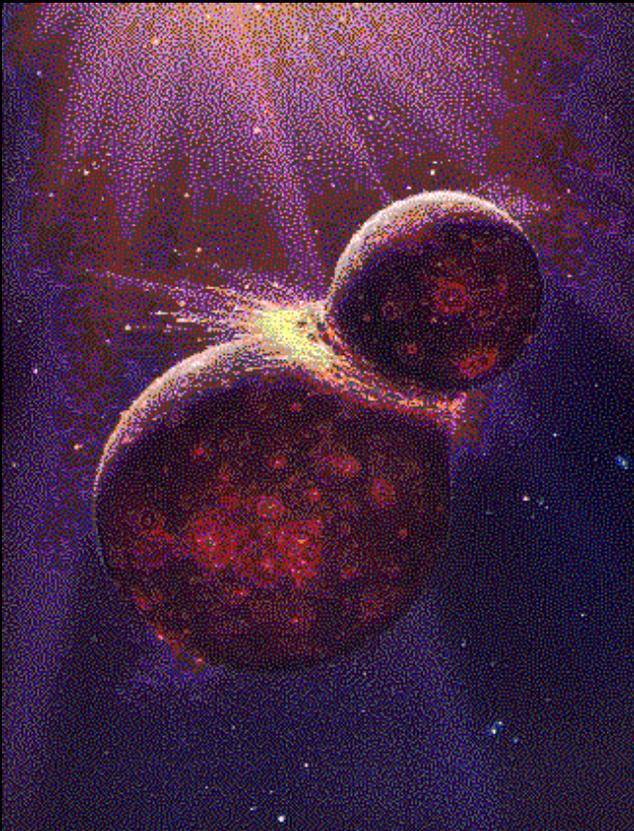
# Poeira cobre a superfície lunar

Toda a superfície lunar é recoberta por um camada de poeira, chamada REGOLITO.

Essa poeira é formada de minúsculas partículas rochosas originadas da pulverização das rochas pelas sucessivas colisões com meteoróides.



# Impacto teria originado a Lua



Resumidamente, por que esta é uma boa hipótese?

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

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

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

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

# Fobos & Deimos (Pânico & Terror)

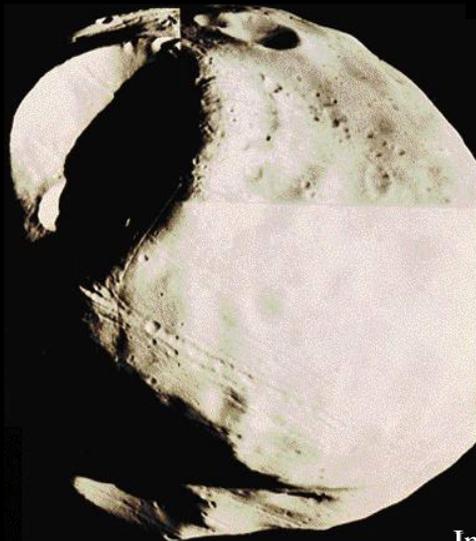


THEN



NOW

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



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

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

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

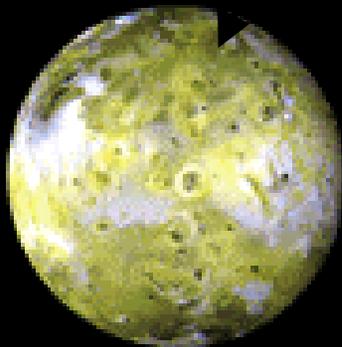


Embora suas órbitas sejam quase circulares e estejam próximas ao plano equatorial marciano, há muita diferença entre as densidades médias deles e de Marte. Provavelmente sejam asteróides capturados.

# Satélites Galileanos de Júpiter

Io	Europa	Ganimedes	Calisto
85,22 hr	171,71 hr	400,54 hr	período
----- 2:1 -----			ressonância
----- 4:1 -----			

comparáveis à Lua

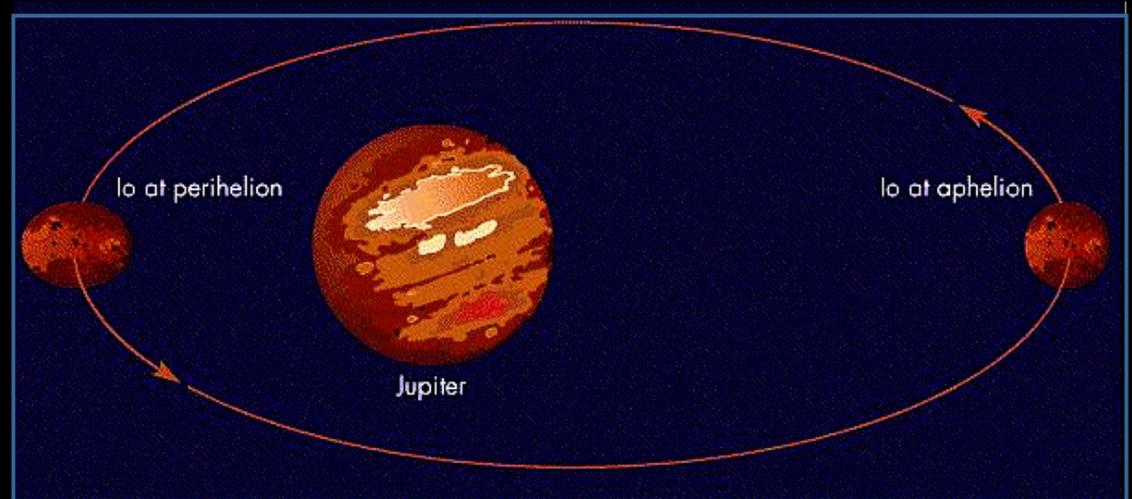


1000 km

comparáveis à Mercúrio



# Io, satélite mais interno



**Diâmetro:** 3630 km

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

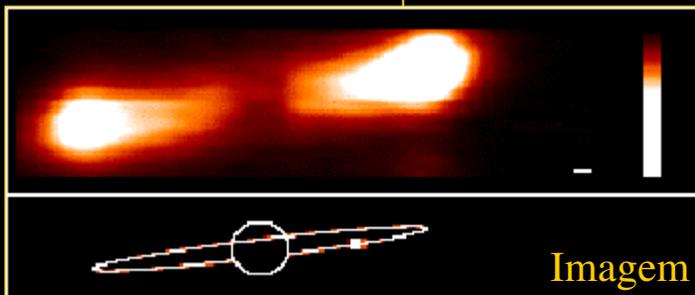
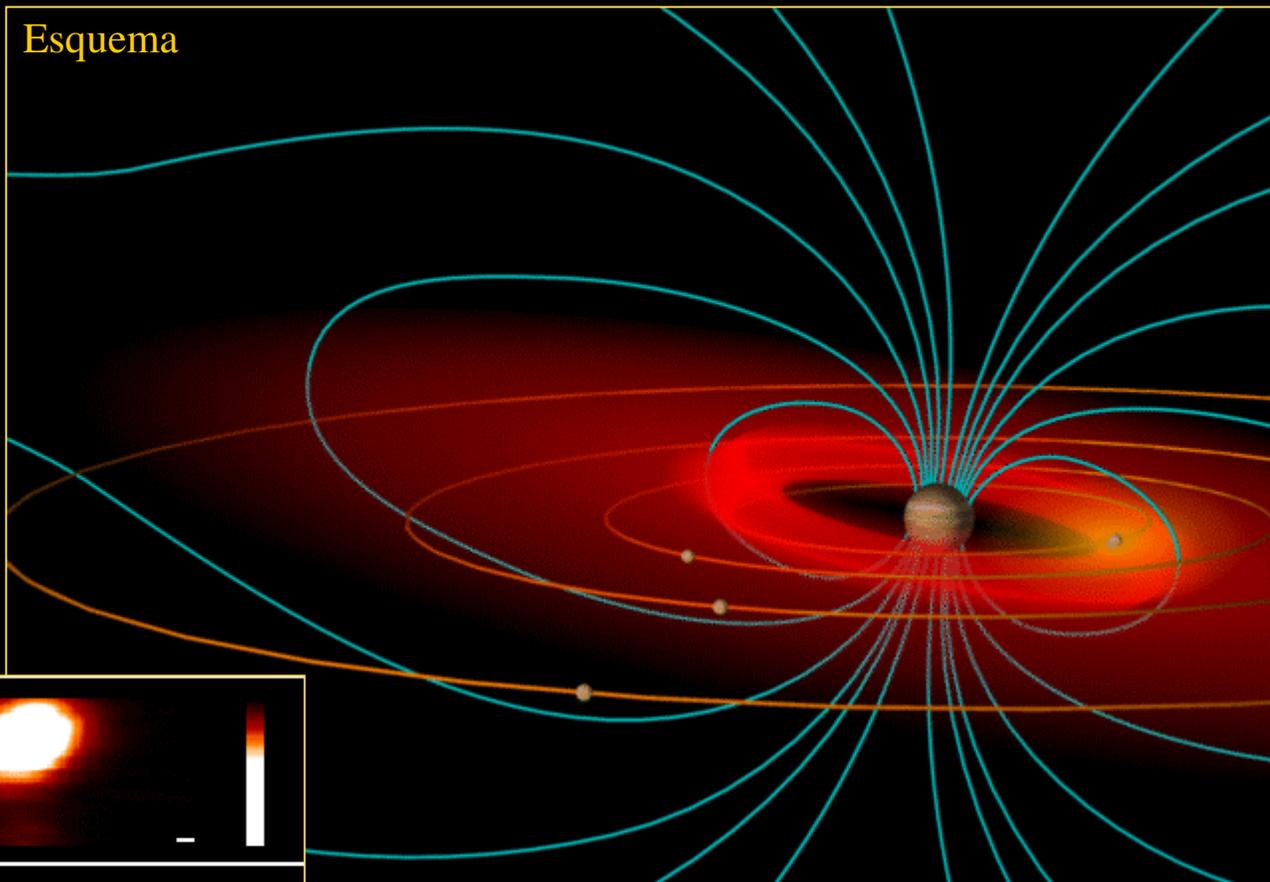
**Órbita:** 6 R<sub>J</sub> (71540 km)

**Temp.:** -145 a -223 (°C)

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

# Io, satélite mais interno

Partículas energéticas eletricamente carregadas da magnetosfera chocam-se com átomos neutros liberados da atmosfera de Io e os ioniza. Isso produz um toróide de plasma contendo íons pesados como  $O^+$  e  $S^+$ , por onde Io orbita Júpiter.



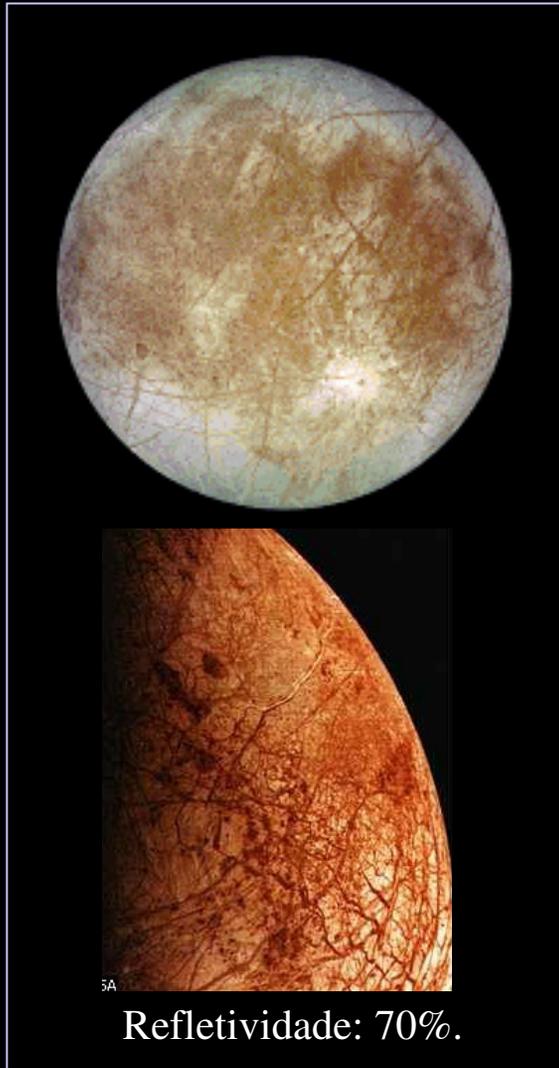
Imagem

[ganesh.colorado.edu/nick/images.html](http://ganesh.colorado.edu/nick/images.html)

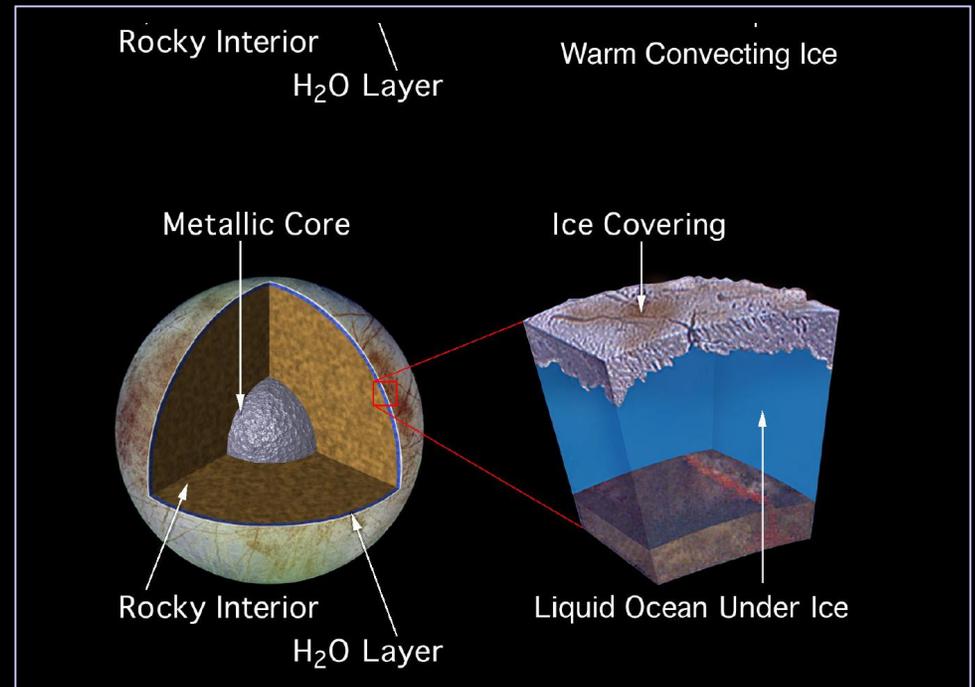
# Europa [3136 km]

Densidade média: 3,03 g/cm<sup>3</sup>.

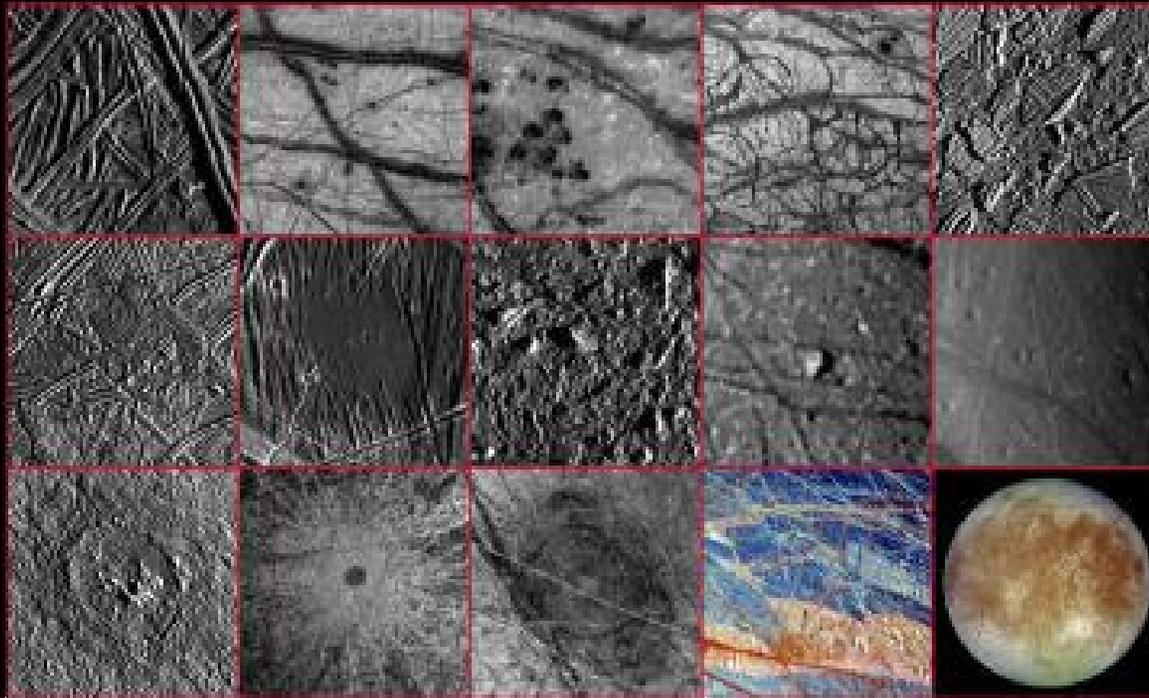
Temperatura: < -180 °C(meio dia local)



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



# Figuras de superfície em Europa

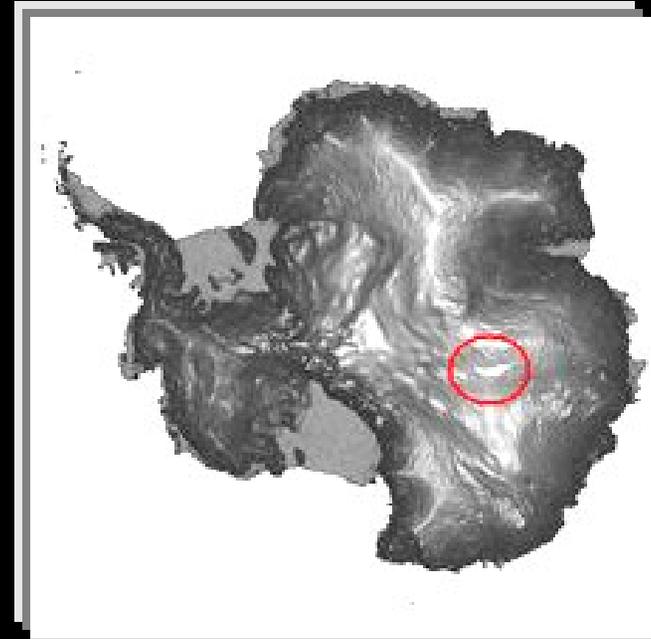
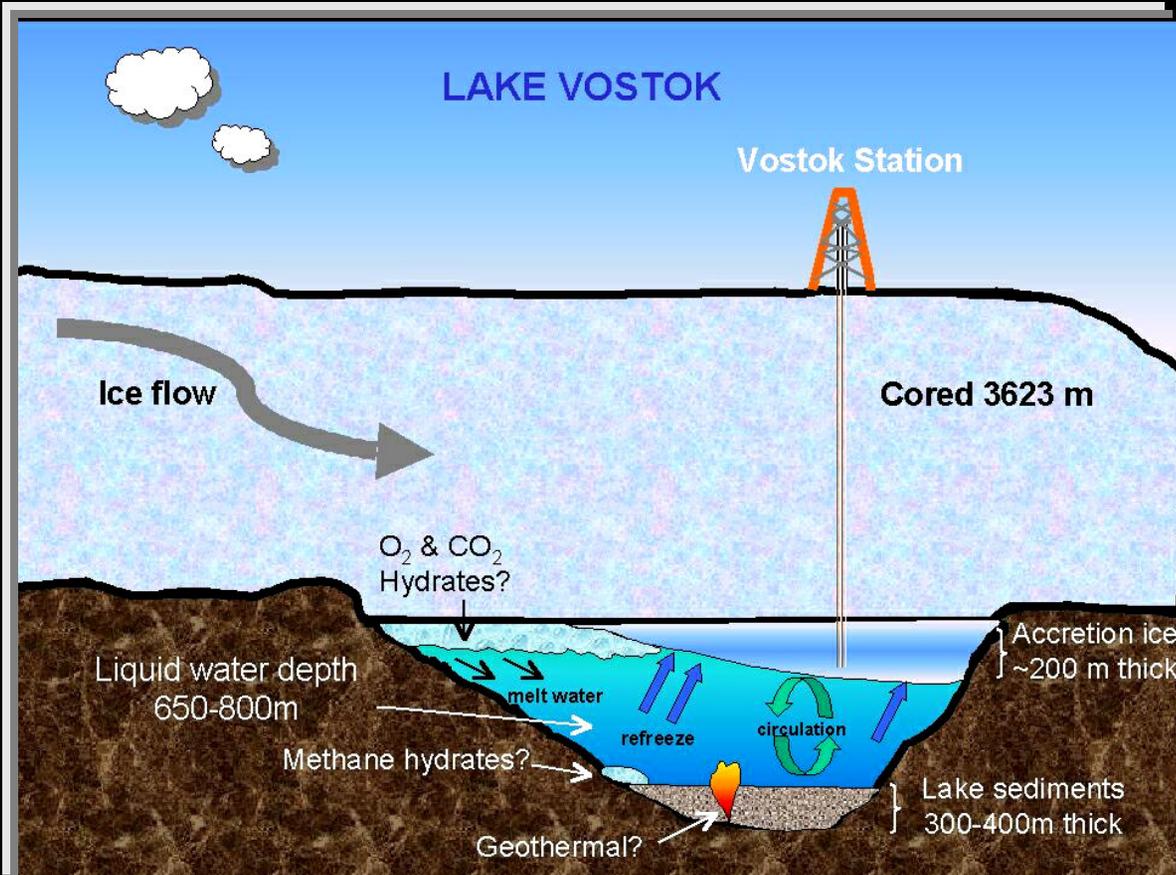


Crateras de colisão



A crosta se 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.

# LAGO VOSTOK (Antártica)

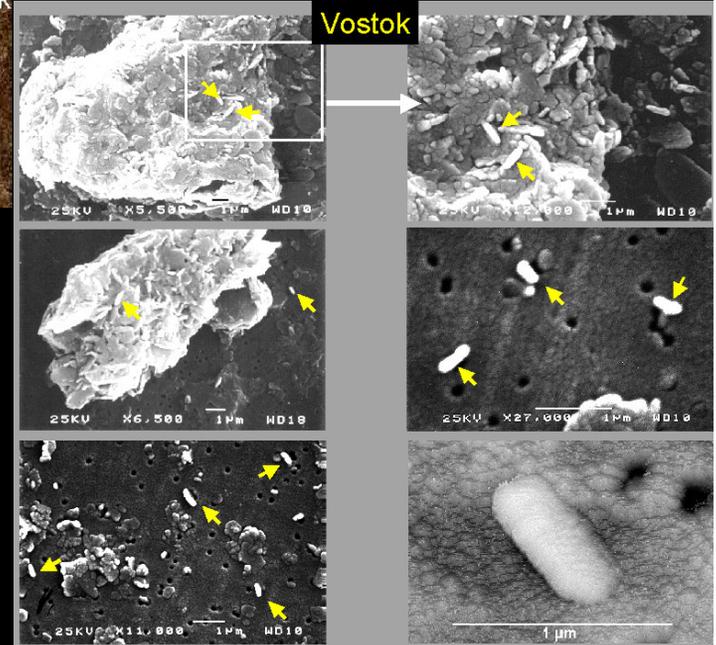


Lago Vostok, localizado na Antártica, a aproximadamente 4 km abaixo da superfície congelada.

Desperta grande interesse à geofísica e à biologia: será que contém vida microscópica?

Como explorar o lago sem contaminá-lo?

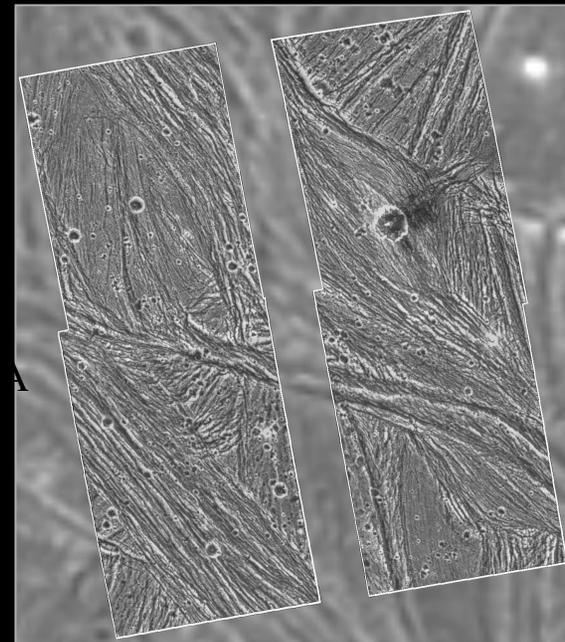
Ele é o principal laboratório para planejarmos uma eventual exploração do presumível oceano de Europa.



# Ganimesdes

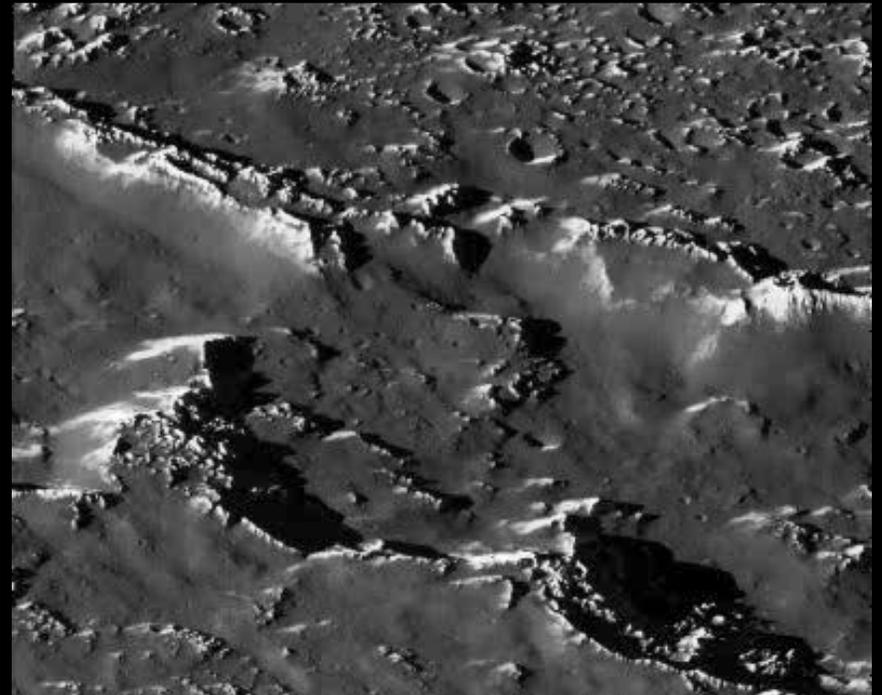


- $R_{Gn} = 2630 \text{ km}$  (maior que Mercúrio e Lua)
- Dens. =  $1,93 \text{ g/cm}^3$
- Raio orbital  $\gg 15 R_J$  ( $R_J = 71.540 \text{ km}$ )
- Baixa densidade
  - Talvez seja composto primordialmente por gelos, e 50% por água.
  - Pode haver um manto rico em silicato, núcleo metálico, e camada externa de água líquida ou gelo aquecido em convecção próximo à superfície.



# Calisto

---



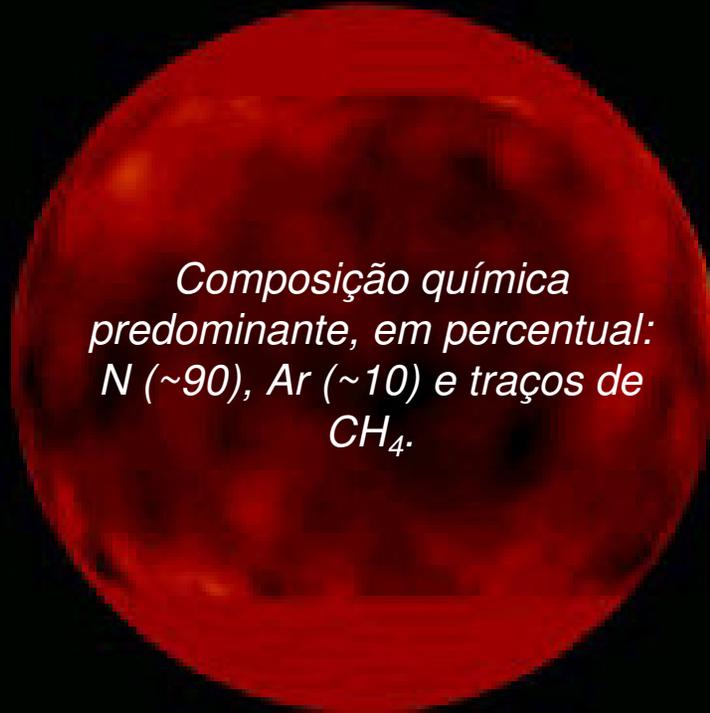
- Raio = 2450 km (muito maior que a Lua, comparável a Mercúrio (2440 km))
- Raio orbital  $\gg 25 R_J$  ( $R_J = 71.540$  km), o mais distante dentre os Galileanos.
- Densidade =  $1,79 \text{ g/cm}^3$ , o menos denso dos satélites Galileanos.
- A baixa densidade implica que deve haver mais que 50% de gelo de água. Provavelmente haja um núcleo de silicato misturado com gelo e metal, crosta de gelo sólido e possivelmente água.

# Satélites de Saturno (principais)

## Meet the Satellites: Saturn

<i>Satellite</i>	<i>Radius (km)</i>	<i>Comments</i>
<b>Saturn</b>		
Atlas	20 × 10	Near A ring
Prometheus	70 × 50 × 50	Inner F ring shepherd satellite
Pandora	55 × 45 × 35	Outer F ring shepherd satellite
Epimetheus	70 × 60 × 50	Twin of Janus
Janus	110 × 100 × 80	Co-orbits with Epimetheus
Mimas	196	Large crater Herschel
Enceladus	250	Very reflective, extensively resurfaced
Tethys	530	Large, long Ithaca Chasma
Calypso	17 × 11 × 11	Co-orbits with Telesto and Tethys
Telesto	17 × 14 × 13	Co-orbits with Calypso and Tethys
Dione	560	Wispy pattern on surface
Helene	18 × 16 × 15	Co-orbits with Dione
Rhea	765	Relatively large, somewhat complex surface
Titan	2575	Large moon with thick nitrogen atmosphere
Hyperion	205 × 130 × 110	Chaotic tumbler
Iapetus	730	Two faces, one icy and one dark
Phoebe	110	Retrograde orbit; captured asteroid?

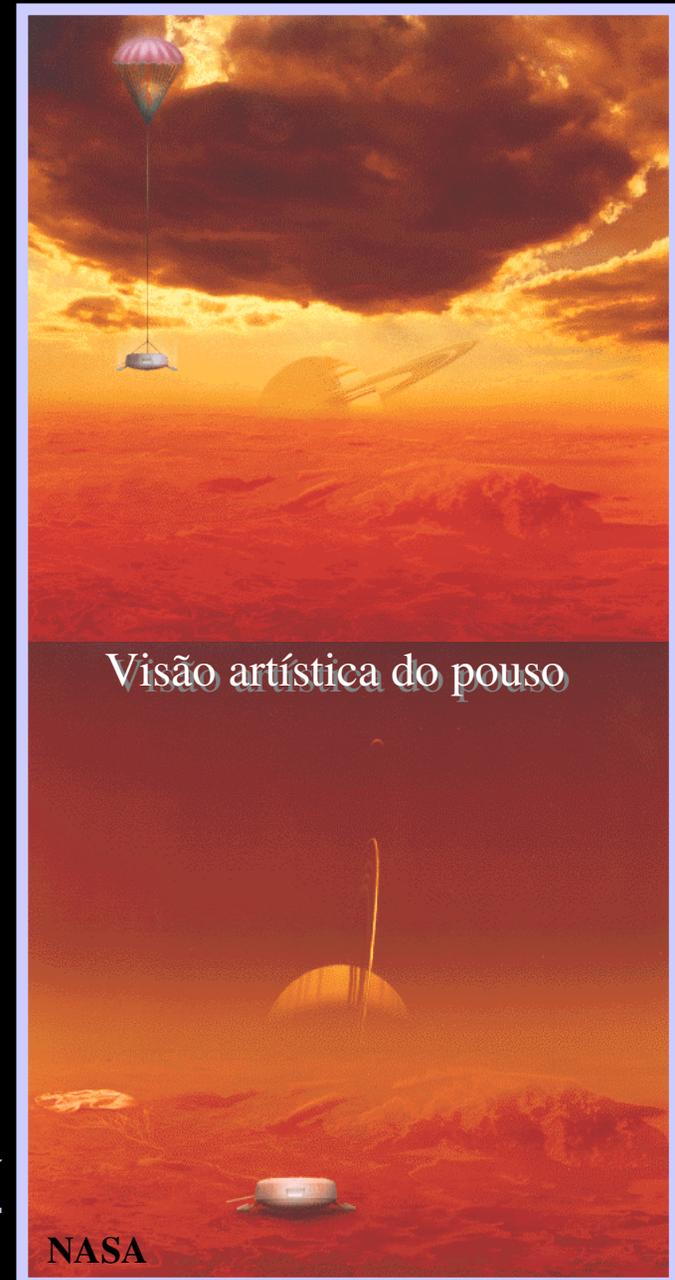
# Titã ou Titan



*Composição química predominante, em percentual:  
N (~90), Ar (~10) e traços de  
CH<sub>4</sub>.*

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

À bordo da sonda Cassini, a sonda de prova Huygens será lançada sobre Titã em 2004



Visão artística do pouso

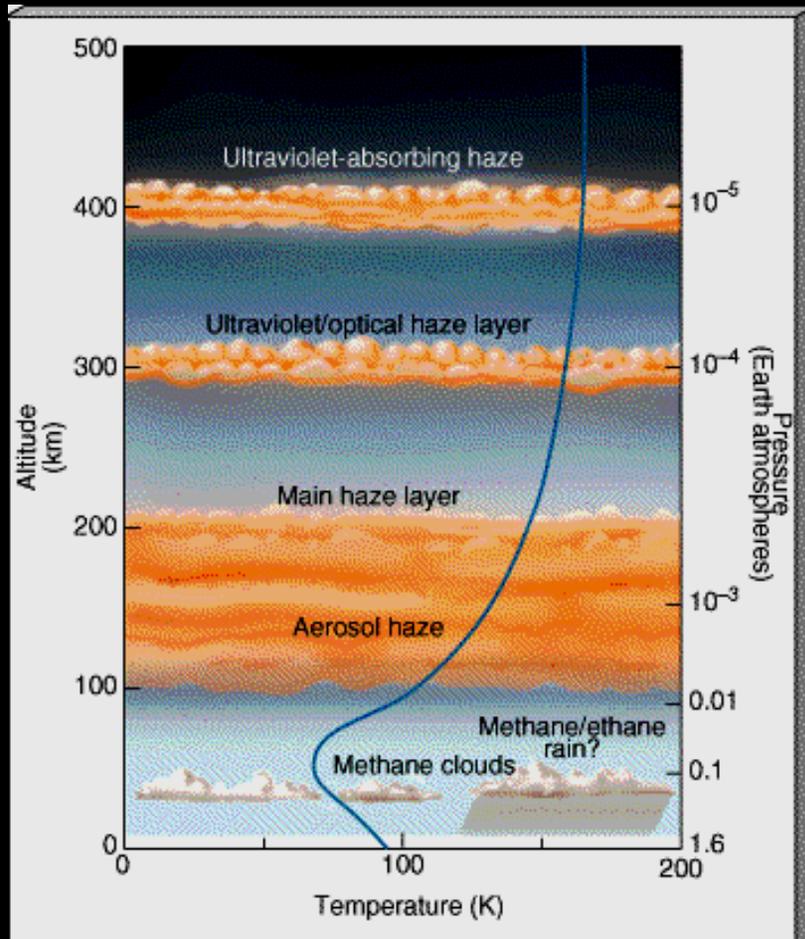
NASA

# Atmosfera planetária

Titã

Composição química predominante, em percentual: N (~90), Ar (~10) e traços de CH<sub>4</sub>.

## Estrutura atmosférica



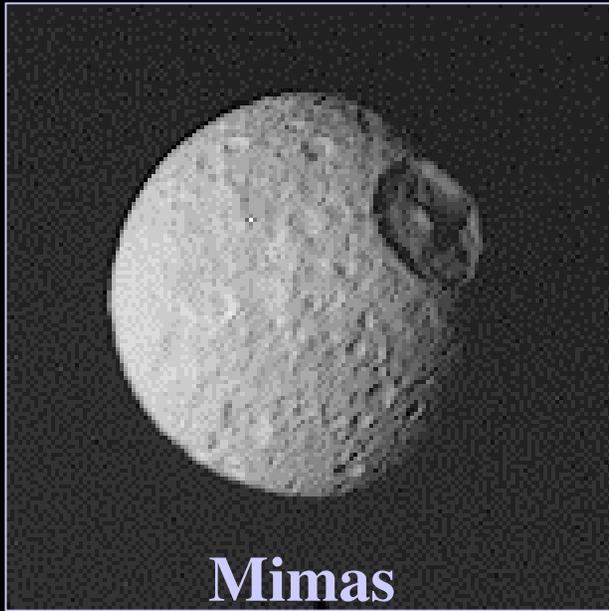
Astronomy Today, Chaisson & McMillan

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

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

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

# Satélites de Saturno



Mimas

NASA



Janus



Hiperion



Encelado

SATURNO

# Satélites de Urano (principais)

NAME	DISTANCE FROM URANUS		ORBIT PERIOD (days)	SIZE (longest diameter, km)	MASS** (Earth/Moon masses)	DENSITY	
	(km)	(planet radii)				(kg/m <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )
Cordelia	49,800	1.95	0.34	26			
Ophelia	53,800	2.10	0.38	32			
Bianca	59,200	2.31	0.43	44			
Cressida	61,800	2.42	0.46	66			
Desdemona	62,700	2.45	0.47	58			
Juliet	64,400	2.52	0.49	84			
Portia	66,100	2.59	0.51	110			
Rosalind	69,900	2.74	0.56	58			
Belinda	75,300	2.94	0.62	68			
Puck	86,000	3.36	0.76	150			
Miranda	130,000	5.08	1.41	480	0.00090	1100	1.1
Ariel	191,000	7.48	2.52	1160	0.018	1600	1.6
Umbriel	266,000	10.4	4.14	1170	0.016	1400	1.4
Titania	436,000	17.1	8.71	1580	0.048	1700	1.7
Oberon	583,000	22.8	13.5	1520	0.041	1600	1.6
Caliban† (S/1997U1)	5,700,000	223	400	80			
Sycorax† (S/1997U2)	5,750,000	225	-415‡	160			

\*Does not include the four recently discovered small moons described in the text.  
 \*\*Mass of Earth's Moon =  $7.4 \times 10^{22}$  kg =  $8.5 \times 10^{-4}$  Uranus masses.  
 †Orbital parameters not well determined.  
 ‡Indicates a retrograde orbit.

# Satélites de Urano



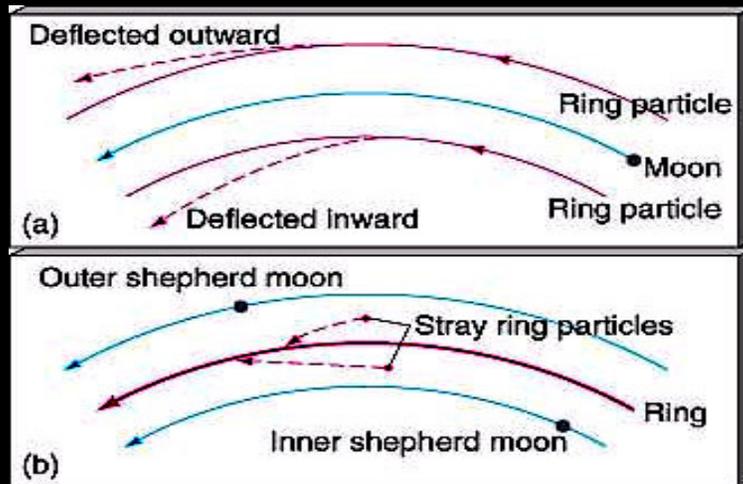
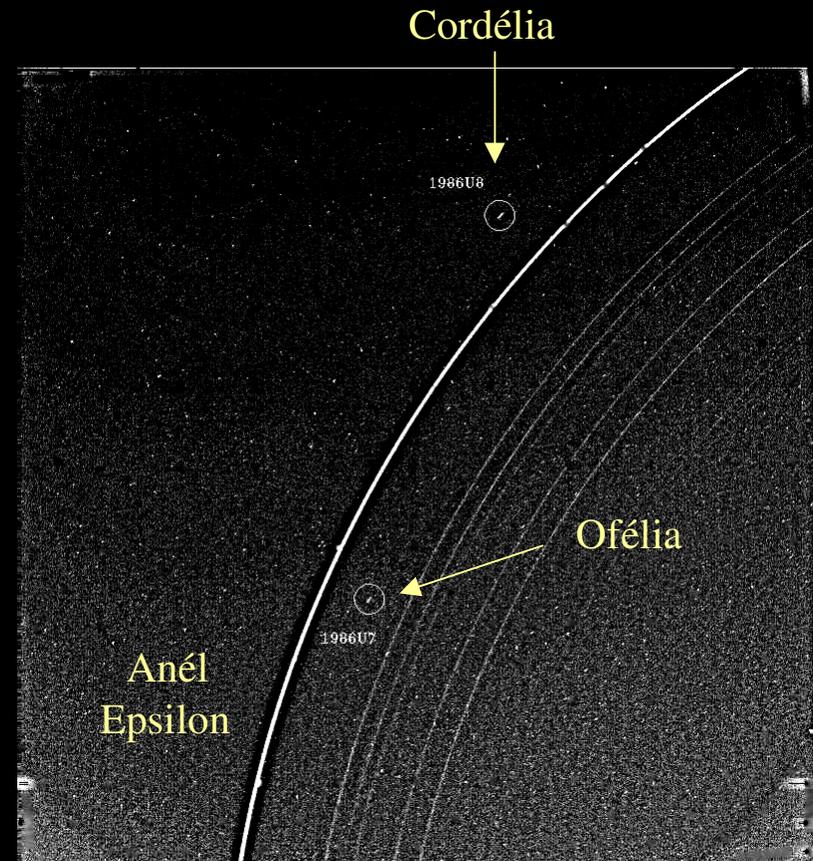
## Propriedades

Satélite	Raio (km)	Período (h)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
Miranda	242	33,9	1,26
Ariel	580	60,5	1,65
Umbriel	595	99,5	1,44
Titania	805	208,9	1,59
Oberão	775	323,1	1,50

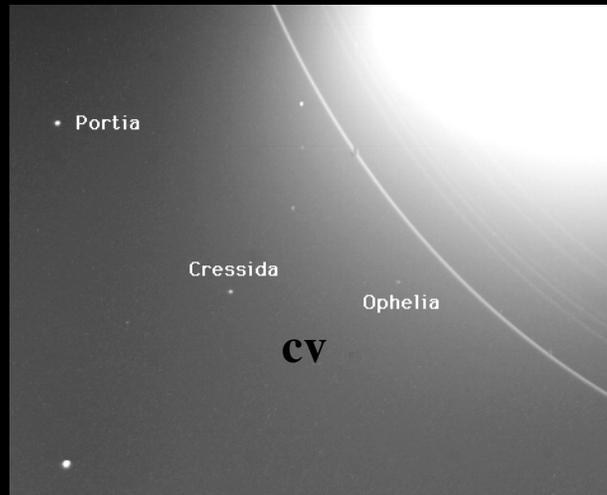
Miranda mostra sinais de atividade tectônica, uma grande surpresa dado seu tamanho pequeno e baixa temperatura ( $86 \pm 1^\circ$ ). Deve haver uma fonte de calor (maré?)

# Satélites de Urano

- Cordélia (diâmetro: 26 km)
- Ofélia (diâmetro: 26 km)
  - Ambos estão possuem movimento orbital sincronizado.
  - Juntos atuam como “satélites pastores” do anél Epsilon, como Prometeu e Pandora em relação ao anél F de Saturno.



# Satélites de Urano



**Créssida** (diâmetro: 66 km)  
**Portia** (diâmetro: 110 km)

**Desdemona**  
5o. satélite  
diâmetro: 58 km



**Bianca**  
3o. Satélite,  
diâmetro: 44 km



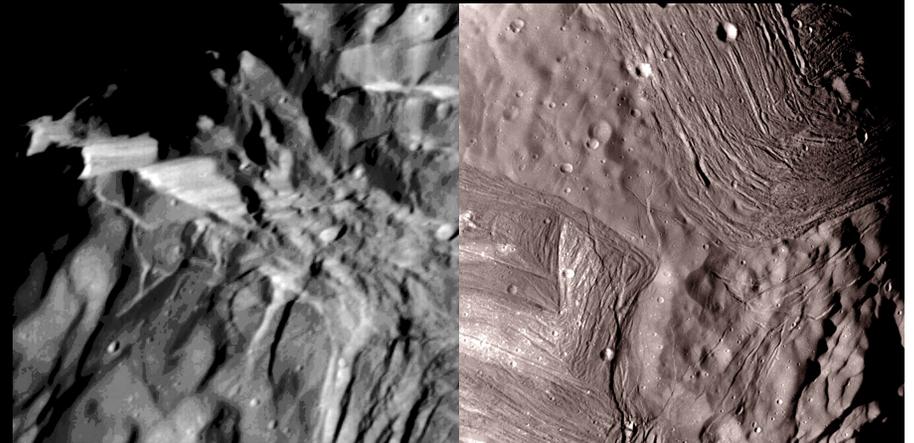
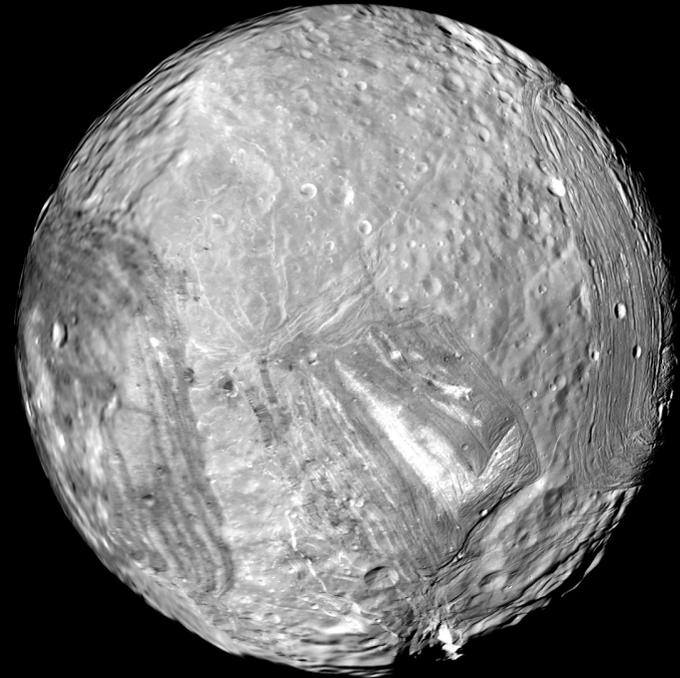
**Julieta**  
6o. satélite  
diâmetro: 84 km



# Satélites de Urano

- Miranda

- diâmetro: 472 km
- composição provável:  
50% de água,  
50 % de material rochoso.
- Superfície: composta de terrenos diferentes, fortemente marcados por crateras de colisão, ranhuras, vales e penhascos (com até 5 km de altura).
- Inicialmente pensou-se que Miranda tivesse sofrido vários processos de fragmentação e reagrupamento durante sua vida, cada vez destruindo parte de sua superfície original e expondo parte de seu interior.
- atualmente, acredita-se que o processo predominante seja o afloramento de gelos parcialmente derretidos.

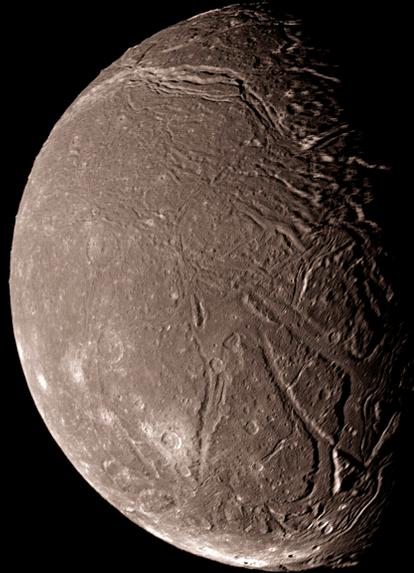


Miranda • 'Chevron' Grooves

© Copyright Calvin J. Hamilton

# Satélites de Urano

---



Ariel

- diâmetro: 1.158 km
- composição provável: 40-50% de gelo de água e o restante de rochas
- superfície é uma mistura de terrenos marcados por crateras e sistemas de vales interconectados com centenas de km de extensão e 10 km de profundidade.
- algumas crateras parecem ser parcialmente submersa.
- o satélite mais brilhante de Urano



Umbriel

- diâmetro: 1.170 km
- Umbriel e Oberão são parecidos, mas Oberão é 35% maior.
- composição: mistura de ~ 40-50% de gelo de água e material rochoso.
- superfície muito antiga, fortemente marcada por crateras.
- é muito escuro (~ 50% mais escuro que Ariel).

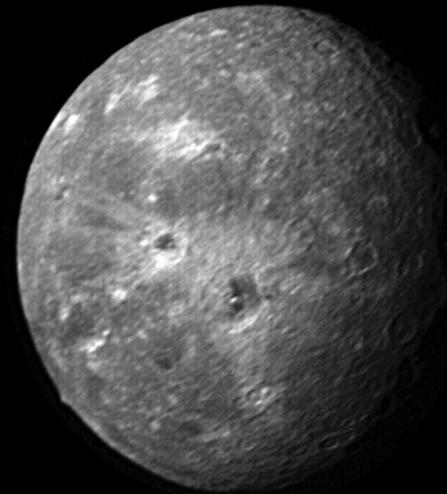
# Satélites de Urano

---



**Titania**

- diâmetro: 1578 km (o maior)
- sua superfície é uma mistura de terrenos marcados por crateras e sistemas de vales interconectados, com centenas de quilômetros de extensão.
- possivelmente, isso seja decorrência de processos sucessivos de reconstrução superficial.



**Oberão**

- diâmetro: 1523 km (o 2o. Maior)
- superfície antiga, fortemente marcada por crateras.
- Parte das crateras têm raios formados de matéria ejetada. Algumas têm fundos escuros (material escuro - água suja? que emergiu do fundo da cratera).
- Grandes falhas através de todo o hemisfério sul (atividade geológica nos primórdios de sua história?).

# Satélites de Netuno (principais)

NAME	DISTANCE FROM NEPTUNE		ORBIT PERIOD	SIZE	MASS†	DENSITY	
	(km)	(planet radii)	(days)	(largest diameter km)	(Earth-Moon masses)	(kg/m <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )
Naiad	48,200	1.95	0.29	58			
Thalassa	50,100	2.02	0.31	80			
Despina	52,500	2.12	0.33	150			
Galatea	62,000	2.50	0.43	160			
Larissa	73,500	2.97	0.55	210			
Proteus	118,000	4.75	1.12	440			
Triton	355,000	14.3	-5.88†	2710	0.292	2100	2.1
Nereid	5,510,000	223	360	340	0.0000034	1200	1.2

\*Mass of Earth's Moon =  $7.4 \times 10^{22}$  kg =  $7.3 \times 10^{-4}$  Neptune masses.

†Indicates a retrograde orbit.

Os dois maiores: Tritão e Nereida.

# Satélites de Netuno

- **Naiade:** o satélite mais interno.  
diâmetro: 58 km

Assim como Talassa, Despina e Galatea, tem forma irregular

- **Talassa:** diâmetro: 80 km

- **Despina:** diâmetro: 148 km

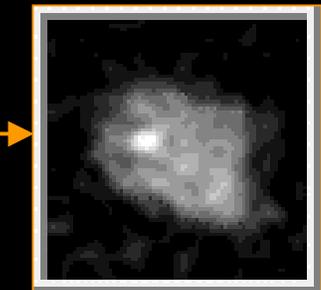
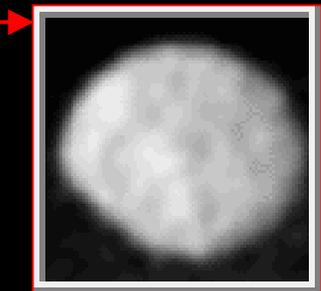
- **Galatea:** diâmetro: 158 km .

- **Larissa:** diâmetro: 193 km (208 x 178) .

- **Proteus:** diâmetro: 418 km (436 x 416 x 402).

- **Nereida:** diâmetro: 340 km

- a órbita mais excêntrica do Sistema Solar:
- sua distância de Netuno varia entre 1.353.600 e 9.623.700 km (capturado do cinturão de Kuiper?)
- essa proximidade provoca efeito de maré, que atua como uma fonte de aquecimento interno.

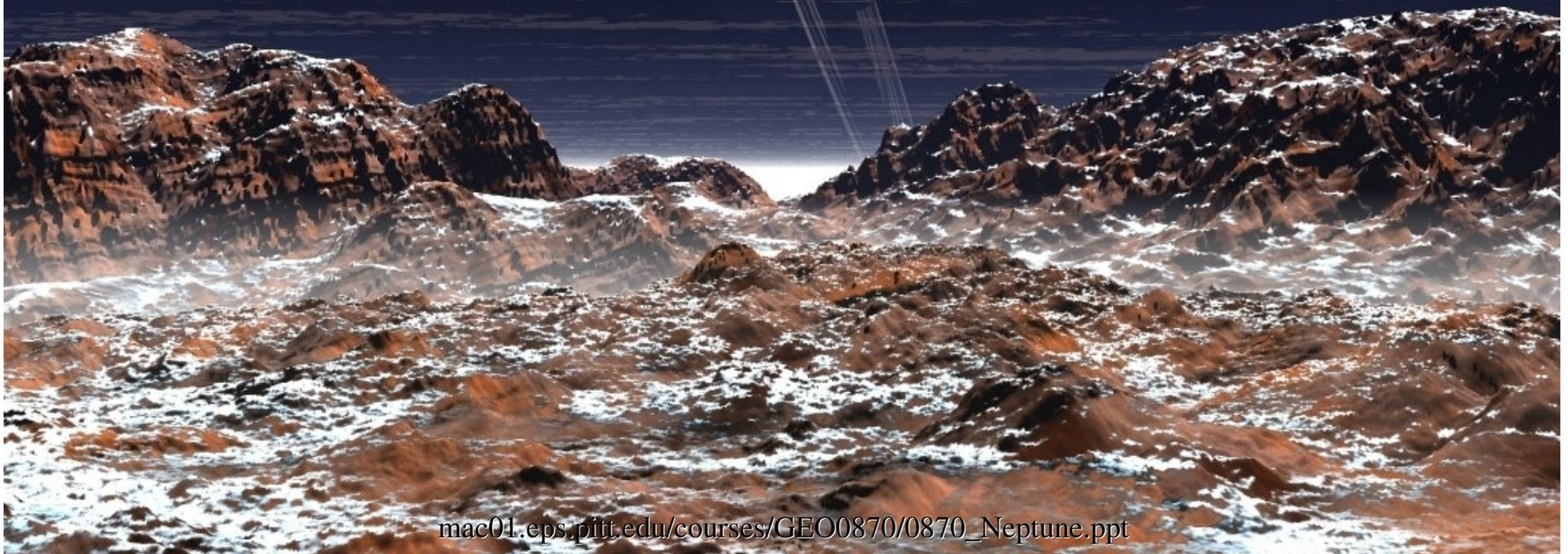


# Satélites de Netuno

---

## Tritão visão artística

Órbita inclinada em  $157^\circ$ ;  
seu movimento é  
basicamente retrógrado.



# Satélites de Netuno

## Tritão



Densidade:  $2 \text{ g/cm}^3$  (provavelmente tenha apenas 25% de gelo de água e o restante é material rochoso).

### Atmosfera:

- pressão: 0.01 millibar
- praticamente nitrogênio com pequena quantidade de metano.
- fina camada de névoa estende-se por 5-10 km acima da superfície.
- temperatura da superfície: 34.5 K (-235 C); . nessa temperatura metano, nitrogênio e dióxido de carbono permanecem congelados.



Lago congelado

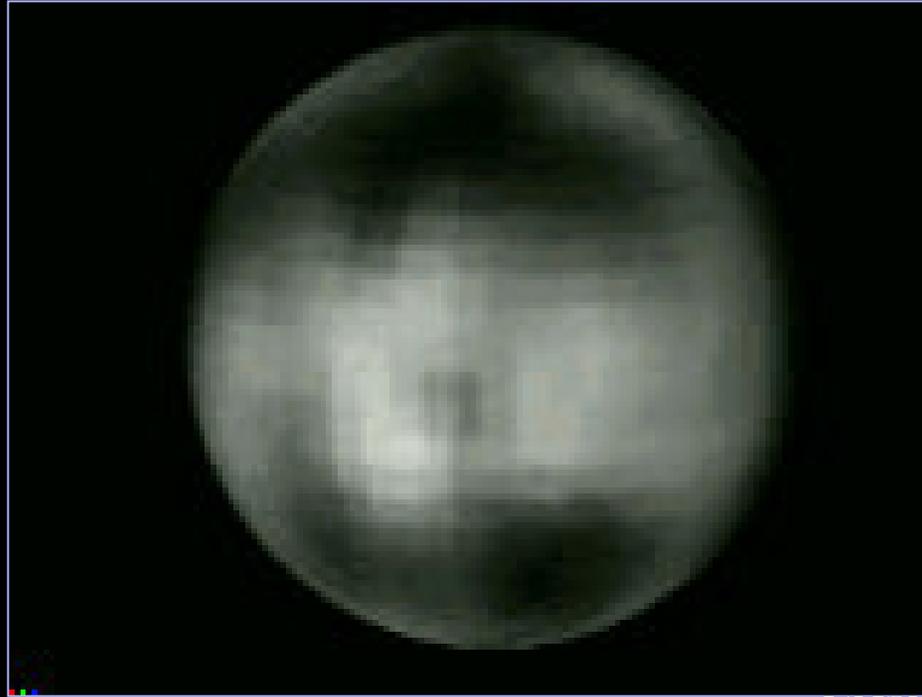


Gêiser de Nitrogênio líquido  
8 km de altura e 140 km de extensão,  
na direção do vento

# Caronte

---

densidade ( $\sim 2 \text{ g/cm}^3$ ):  
mistura de  
70-80% de rocha e  
20-30% de gelos?

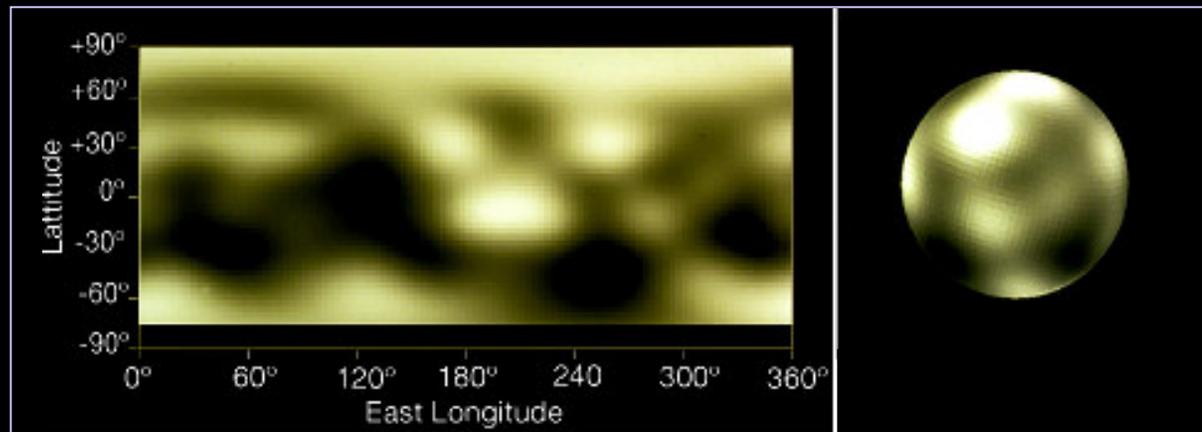


- Caronte é comparável em tamanho com a maioria dos satélites de Urano.
- Plutão é apenas 7 vezes maior (em volume) que Caronte.
  - neste sentido formam um sistema planetário binário (a Terra é 49 vezes maior que a Lua).
  - Essa é a maior relação de tamanhos entre planeta e satélite, é um caso único no Sistema Solar.

**PLUTÃO**

# Composição de ambos

- Composição exata desconhecida
- densidade ( $\sim 2 \text{ g/cm}^3$ )
  - provavelmente uma mistura de 70-80% de rocha e 20-30% de gelos
- Áreas brilhantes: talvez um cobertura de gelos de nitrogênio com quantidades menores de metano, etano e monóxido de carbono.
- Composição das áreas escuras é desconhecida, mas pode ser material orgânico primitivo ou reações fotoquímicas provocadas por raios cósmicos.



# ASTEROÍDES

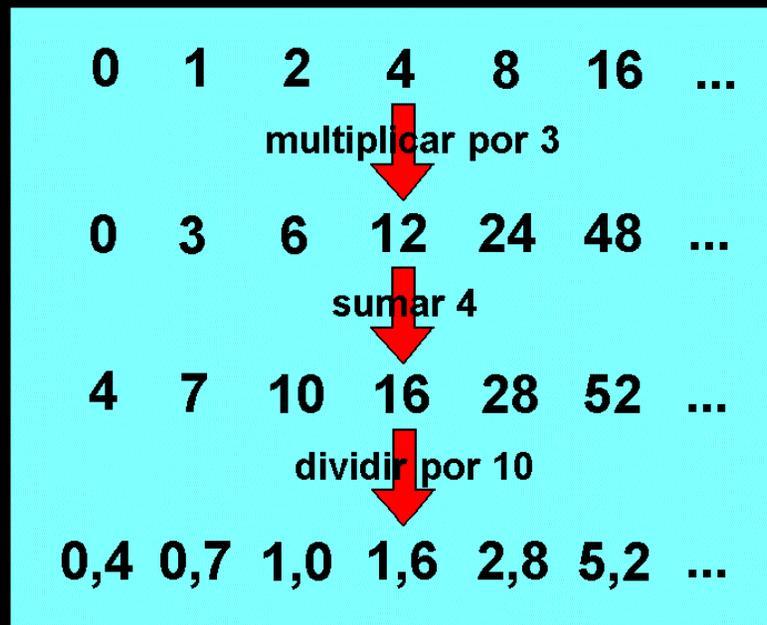
# Asteróides

## Relação empírica de Titius-Bode:

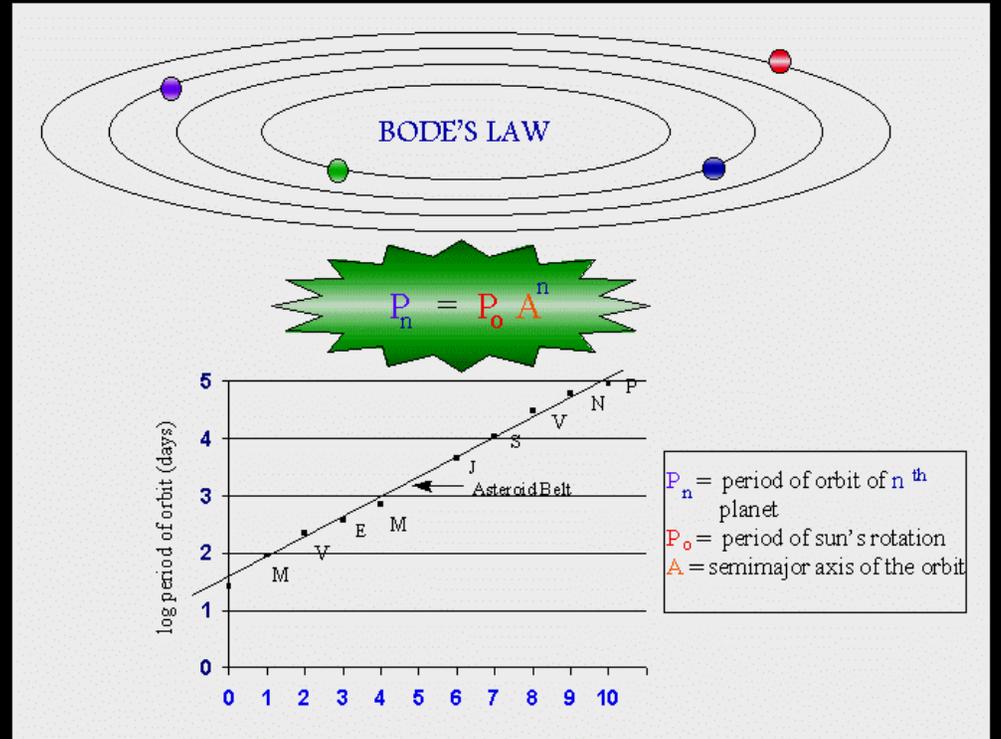
(1766) Johann Titius: descobriu a relação entre as distâncias dos planetas.

(1788) Johann E. Bode: formulou a expressão matemática dessa relação.

Há várias representações dessa relação.



<http://www.uam.es/departamentos/ciencias/fisicateoricamateria/especifica/hojas/kike/PLANETOLOGIA/2.2.html>

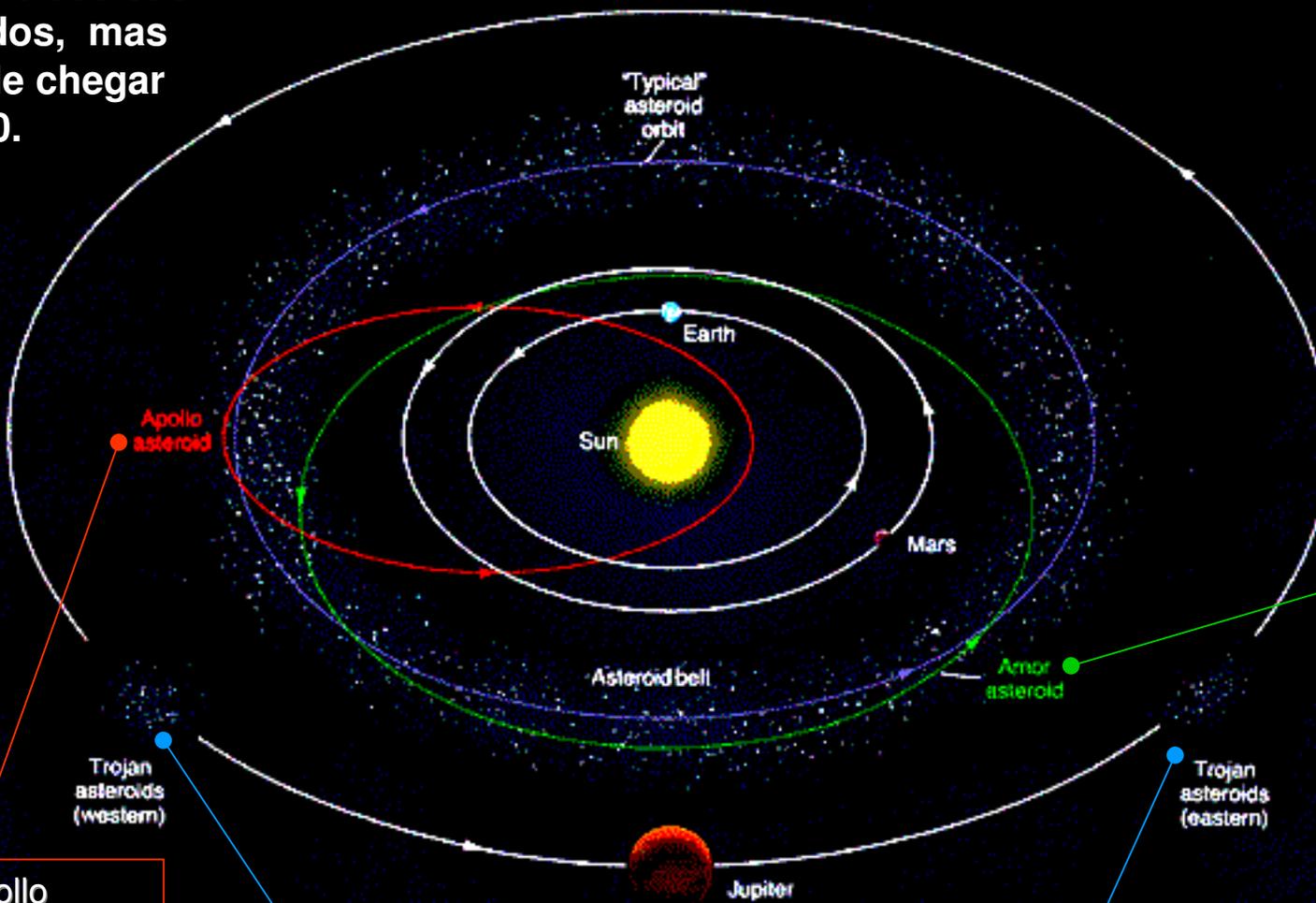


[astrosun.tn.cornell.edu/courses/astro201/bodes\\_law.htm](http://astrosun.tn.cornell.edu/courses/astro201/bodes_law.htm)

# Asteróides

## Cinturão { Distância média do Sol: 2.8 UA Local: no plano da eclíptica, entre Marte e Júpiter.

Cerca de 5.000 são conhecidos, mas total pode chegar a 100.000.



Amor  
Possuem periélio na região interna da órbita de Marte.

Apollo  
Possuem periélio dentro da região interna à órbita da Terra. São de origem recente.

Troianos  
Localizam-se na mesma órbita de Júpiter, nos pontos Lagrangianos, a 60° adiante e atrás do planeta.

**Voyager passou pelo Cinturão sem incidentes**

# Asteróides

Asteróides

Semelhantes?

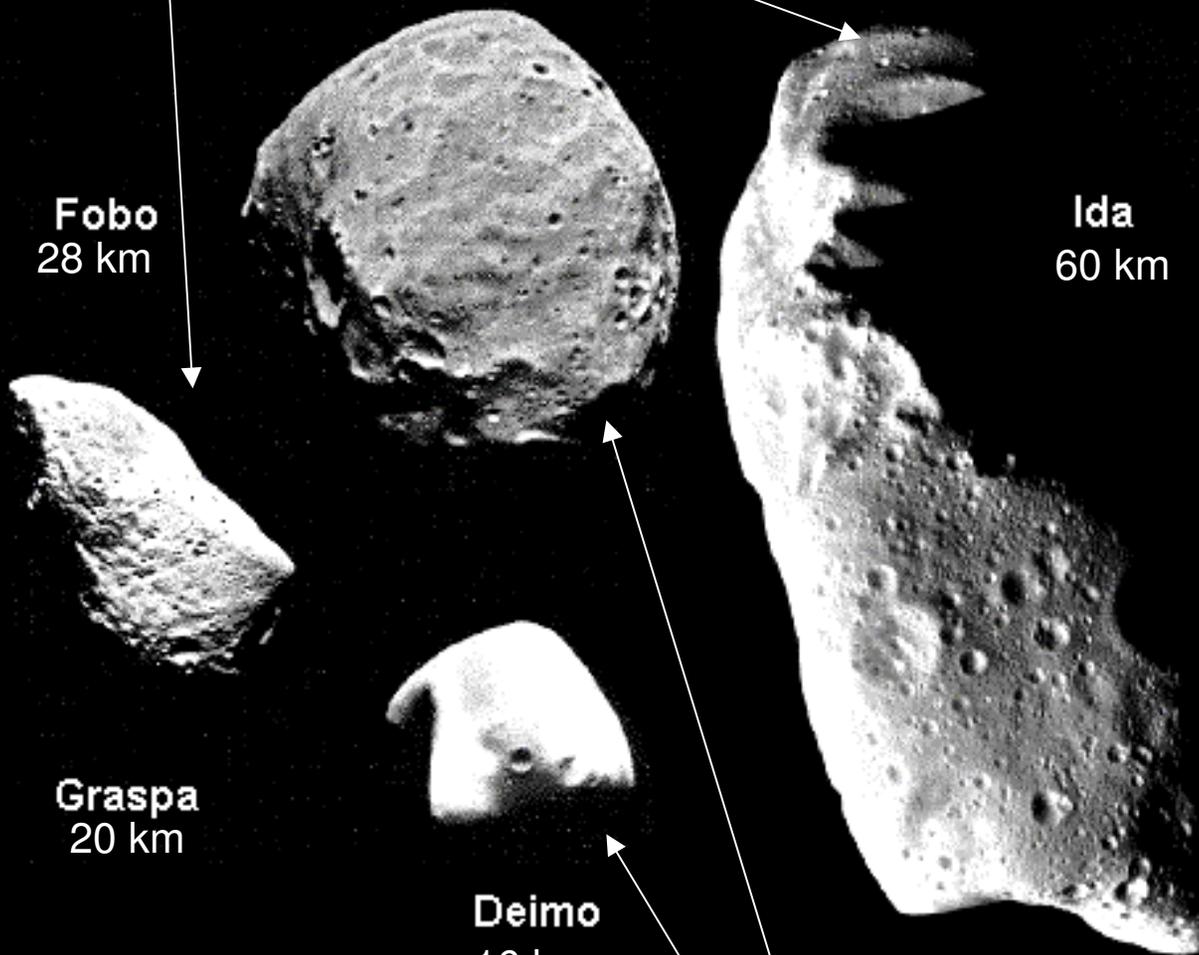
Fobo  
28 km

Ida  
60 km

Graspa  
20 km

Deimo  
16 km

Satélites



# Asteróides

## Gaspra



Tipo: S

Tamanho: 11 x 12 x 19 km,  
Idade: 200 milhões de anos



# Asteróides

## Ida e Dáctilo



Tipo S

Tamanho: 23 x 58 km

Idade: 1 bilhão de anos

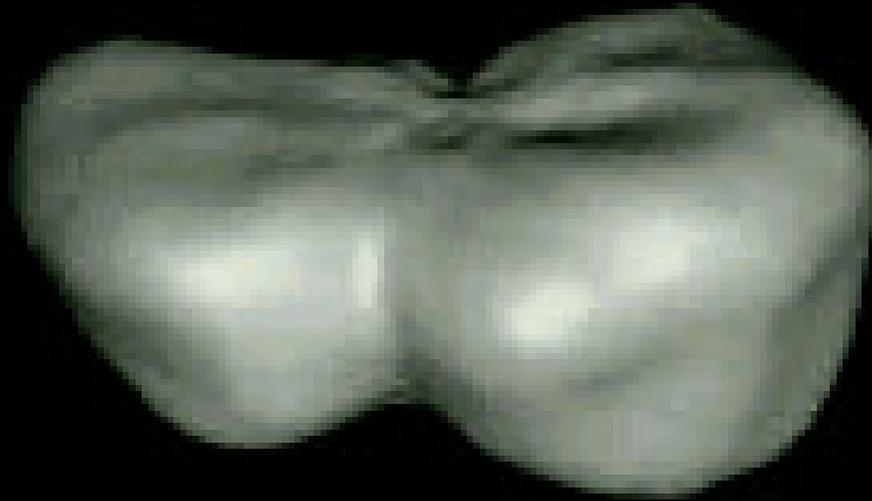
Tamanho: cerca de 1,5-km

Distância: 90-km



*Asteróides*

Castal



# Asteróides

M0151295144F4

December 3 2000 23:08:30 21° 146°

## Eros

tamanho: ~ 3 x 13 x 33 km

rotação: 5,3 h

tipo: S

## Toutatis

tamanho: ~ 1,9 x 2,4 x 4,6 km

rotação: 5,3 dias

tipo: S

# Asteróides

## Vesta

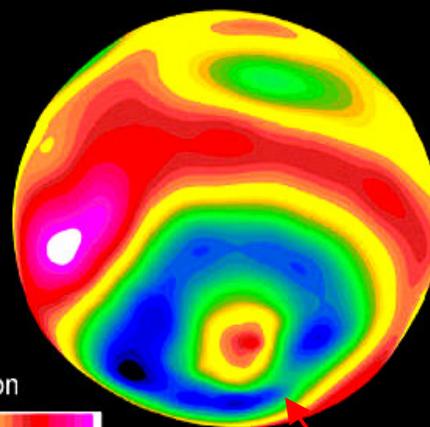


HST



Model

tamanho: 555 km  
rotação: ~ 5,3 h  
tipo: S



Elevation



Cores falsas ressaltam o desnível da superfície

Cratera com formato típico de colisão  
Seria uma prova da fragmentação de um corpo maior?

# Asteróides

## Características

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

Material primitivo que não formou planeta?  
Material originado de desintegração?

# Asteróides

<b>Asteróide (descoberta)</b>	<b>Diâmetro (1) (km)</b>	<b>Rotação (horas)</b>	<b>Excentricidade</b>	<b>Albedo</b>	<b>Tipo (2)</b>
Ceres (1801)	946	9,1	0,08	0,07	M
Pallas (1802)	583	7,9	0,23	0,09	M
Juno (1804)	249	7,2	0,26	0,16	S
Vesta (1807)	555	5,3	0,09	0,26	S
Astraea (1845)	116	16,8	0,19	0,13	S
Hebe (1847)	206	7,3	0,20	0,16	S
Iris (1847)	222	7,1	0,23	0,2	S
Elora (1847)	160	13,6	0,16	0,13	S
Metis (1848)	168	5,1	0,12	0,12	S
Higiea (1849)	443	18	0,12	0,05	C
Eros (1898)	20	5,3	0,22	0,18	S
Aquiles (1906)	70		0,15		
Hektor (1907)	230	6,9	0,03	0,03	C
Hidalgo (1920)	30	10,1	0,66		M
Amor (1932)	5?		0,43		
Icarus (1949)	2	2,3	0,83		
Appolo (1932)	2,5		0,56		
Chiron (1977)	320		0,38		

# Outros Asteróides

## Apollo

Possuem periélio dentro da região interna à órbita da Terra. São de origem recente.

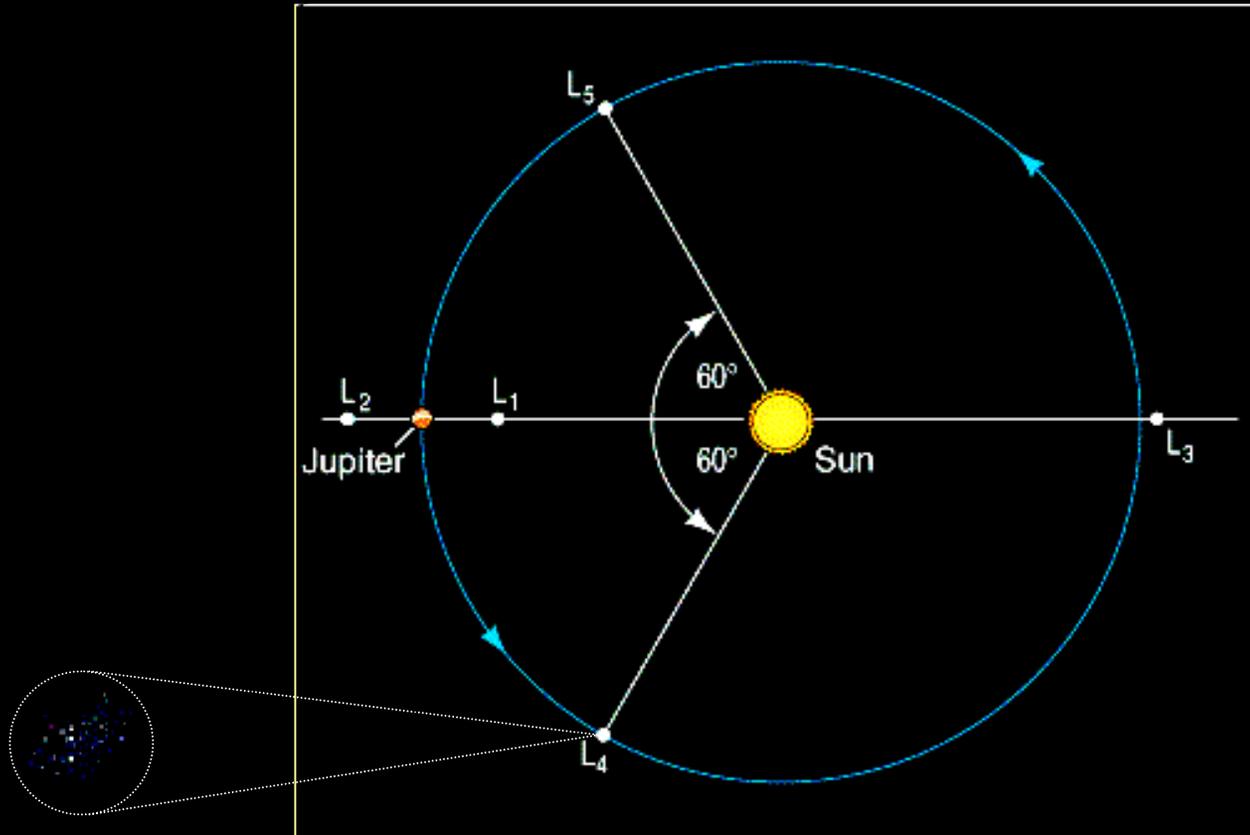
## Troianos

Localizam-se na mesma órbita de Júpiter, nos pontos Lagrangianos, a  $60^{\circ}$  adiante e atrás do planeta.

## Amor

Possuem periélios na região interna da órbita de Marte.

## Troianos

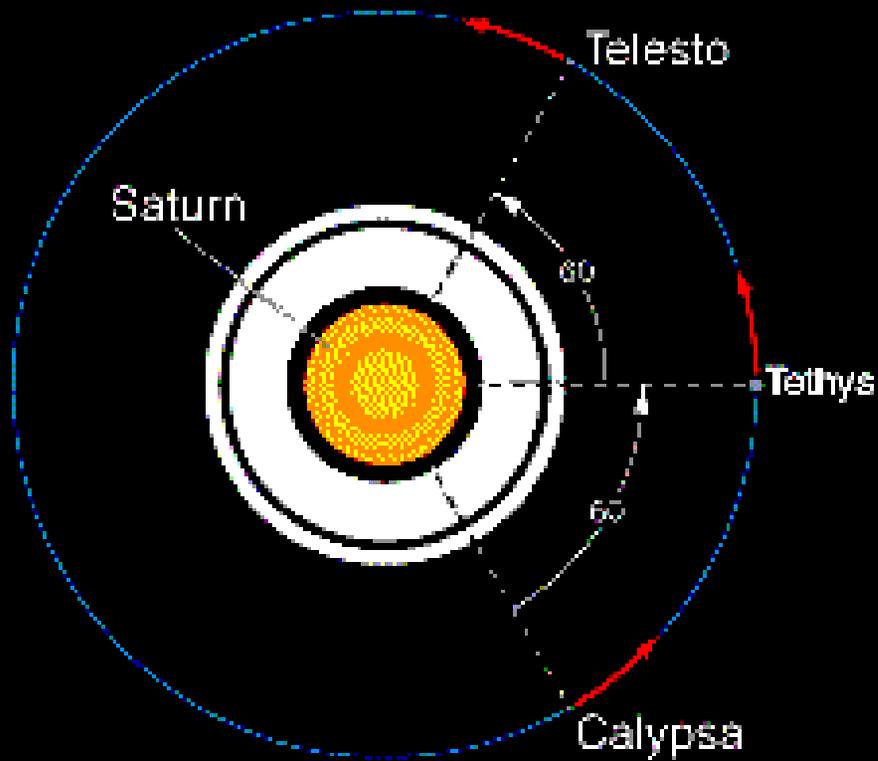


Os Pontos Lagrangianos representam regiões de equilíbrio de forças.

L1, L2 e L3: o equilíbrio é instável

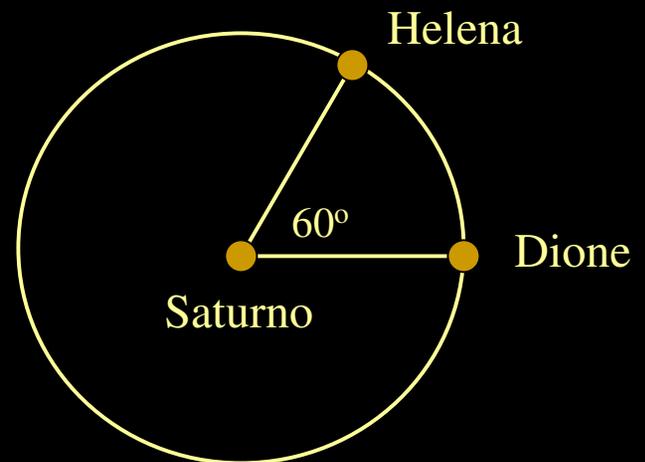
L4 e L5: regiões de estabilidade

# Efeitos combinados



Saturno e Tetis  
sobre  
Telesco a Calipsa

Saturno e Dione  
sobre  
Helena



**COMETAS**

# Edmund Halley e os Cometas



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

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

# Tipos de Cometas

## Cometas de longo período (acima de 200 anos)

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

## Cometas de curto período (até 200 anos) (ou simplesmente Periódicos\*)

- Afélios até o Cinturão de Kuiper (30-50 UA)
- Órbitas próximas ao plano da eclíptica; inclinação menor que  $30^\circ$  (distribuição espacial em forma de disco)
- Parte deles tiveram a órbita alterada pela interação gravitacional com os planetas gigantes.

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

# Composição química

Espécies mais abundantes

$\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{C}_2\text{H}_2$ ,  $\text{CN}$ ,  $\text{C}_2$ ,  $\text{C}_3$ ,  
 $\text{CH}$ ,  $\text{NH}$ ,  $\text{NH}_2$ ,

$\text{CO}^+$ ,  $\text{N}_2^+$ ,  $\text{OH}^+$ ,  $\text{CH}^+$ ,  $\text{H}_2\text{O}$

Poeira

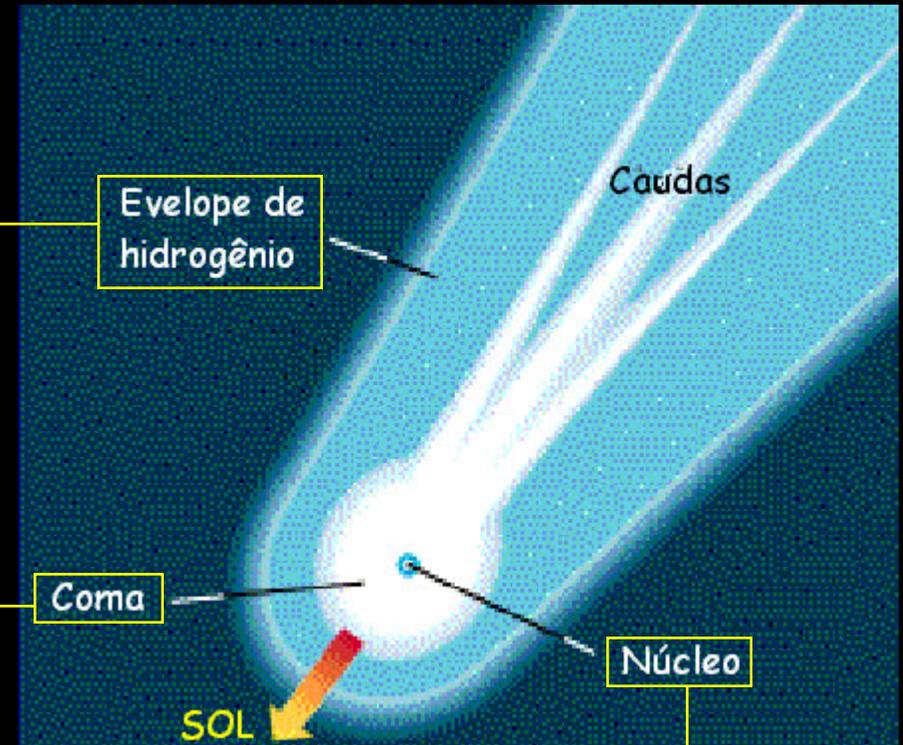
**Composição básica:**

**80% água, 16%  $\text{CO}$ , 4%  $\text{CO}_2$ , e traços de amônia e metano**

# Estrutura dos cometas

- Composição: átomos de hidrogênio oriundos da dissociação das moléculas de gás,
- Tamanho: pode ultrapassar 1 milhão de quilômetros de extensão.
- Emite em ultravioleta.

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



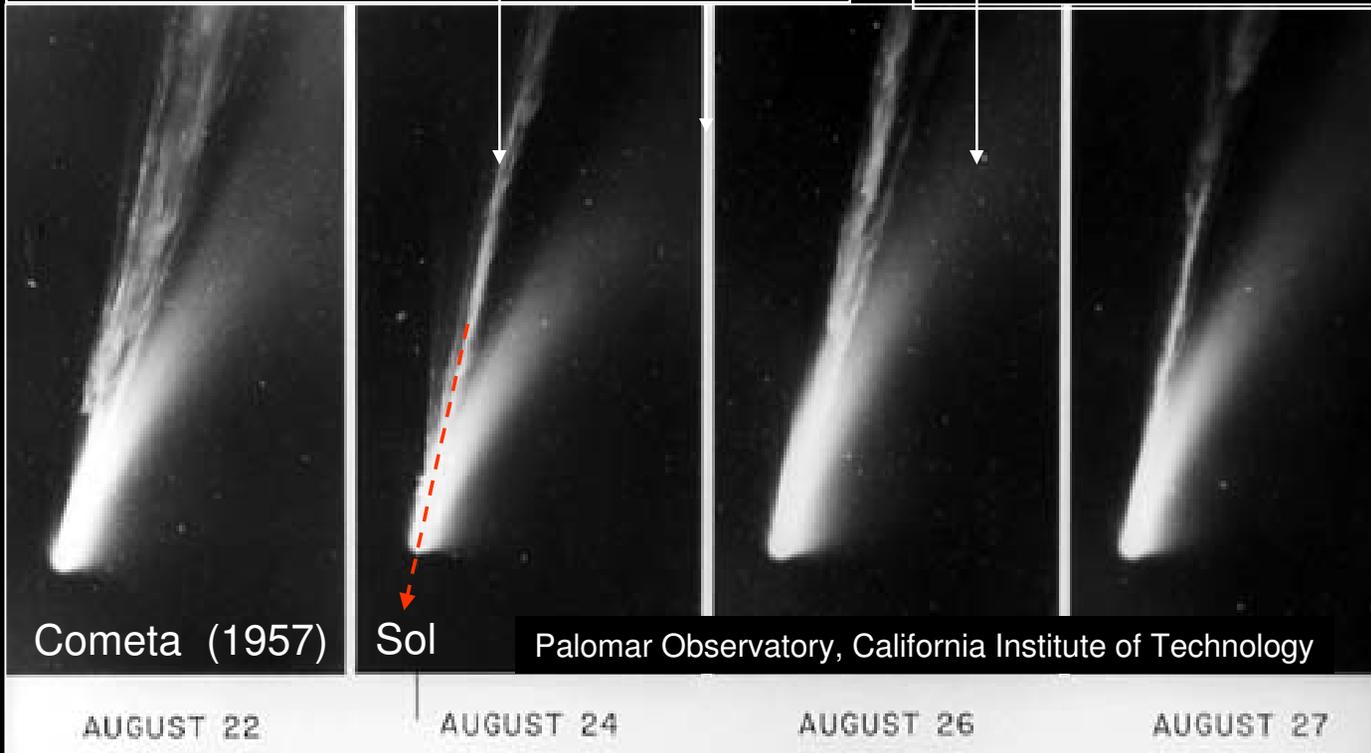
- Material rochoso & gases congelados
- Tamanho típico: 10 km
- Superfície escura
- Aquecimento provocado pela aproximação ao Sol sublimam os gases (o gelo transforma-se diretamente em gás) do núcleo.

# Estrutura dos cometas

## As caudas

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

Cauda de gás neutro e poeira. A *Radiação Solar* “empurra” essa matéria na direção oposta do Sol.



Na aproximação do cometa as caudas estendem-se na direção contrária a do movimento do cometa. No afastamento ocorre o oposto.

# O núcleo do cometa 1/P Halley

Imagem composta de 60 exposições obtidas pela sonda europeia Giotto (1986). Detalhes de superfície são vistos com clareza, assim como jatos brilhantes de gás e poeira, emitidos na direção do Sol.

Esquema do núcleo, baseado nas imagens

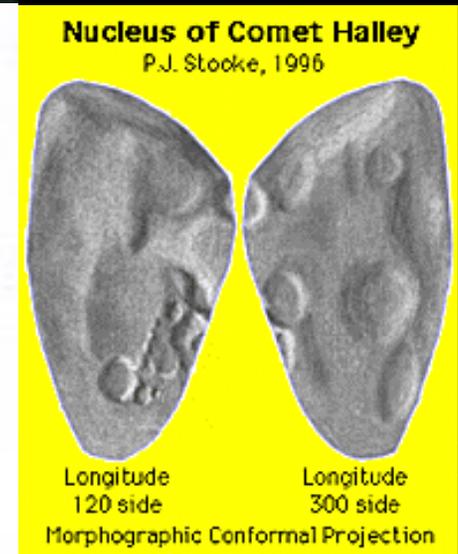
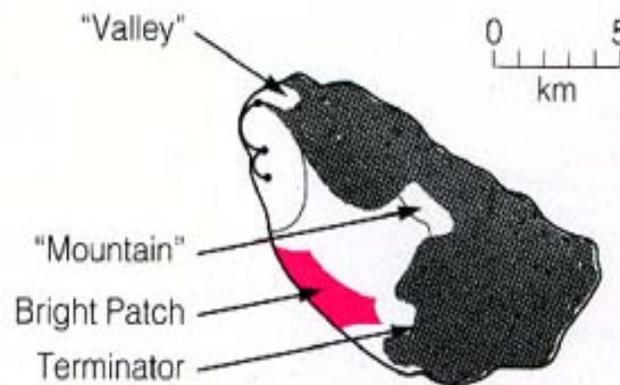
(créditos: European Space Agency; Max Planck Institute for Aeronomie, Bell Aerospace Corporation)



Lagos congelados; sob aquecimento vaporizam gases e poeira



Asteróide Ida



# O núcleo do cometa 19/P Borrelly



Deep Space 1

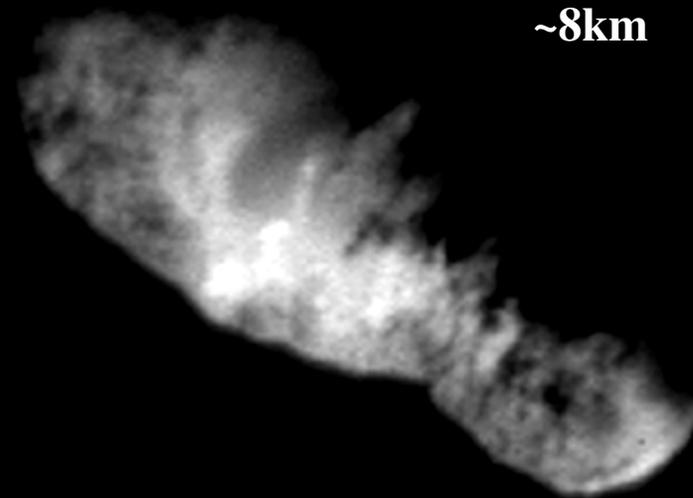
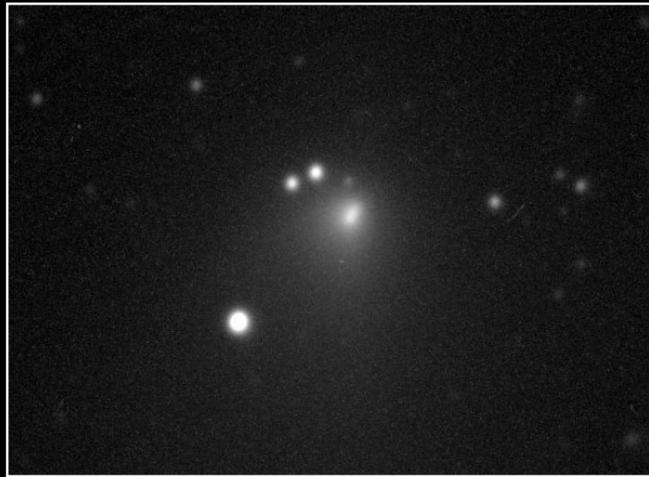


Imagem obtida em 22/09/01

# O núcleo do cometa 81/P Wild 2

A melhor imagem já obtida do núcleo de um cometa



Stardust, NASA

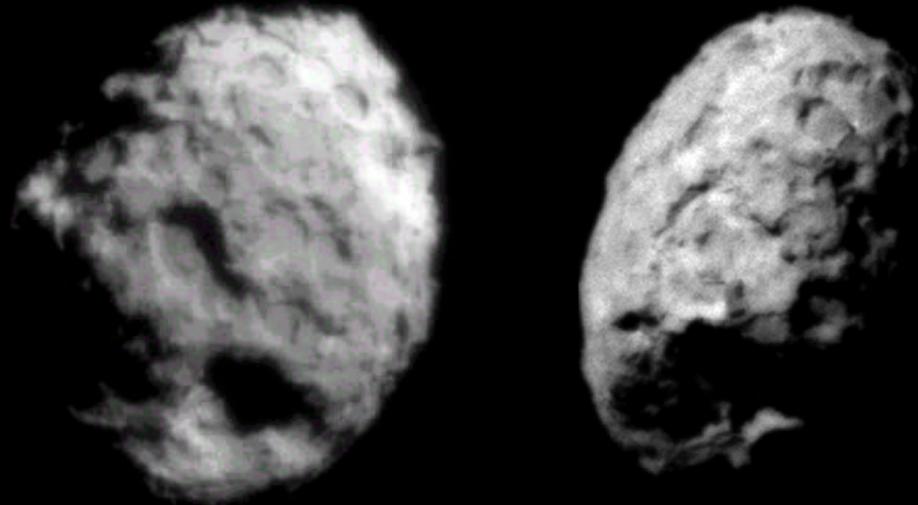


Imagem obtida em 02/01/04,  
durante a aproximação  
máxima (240 km).

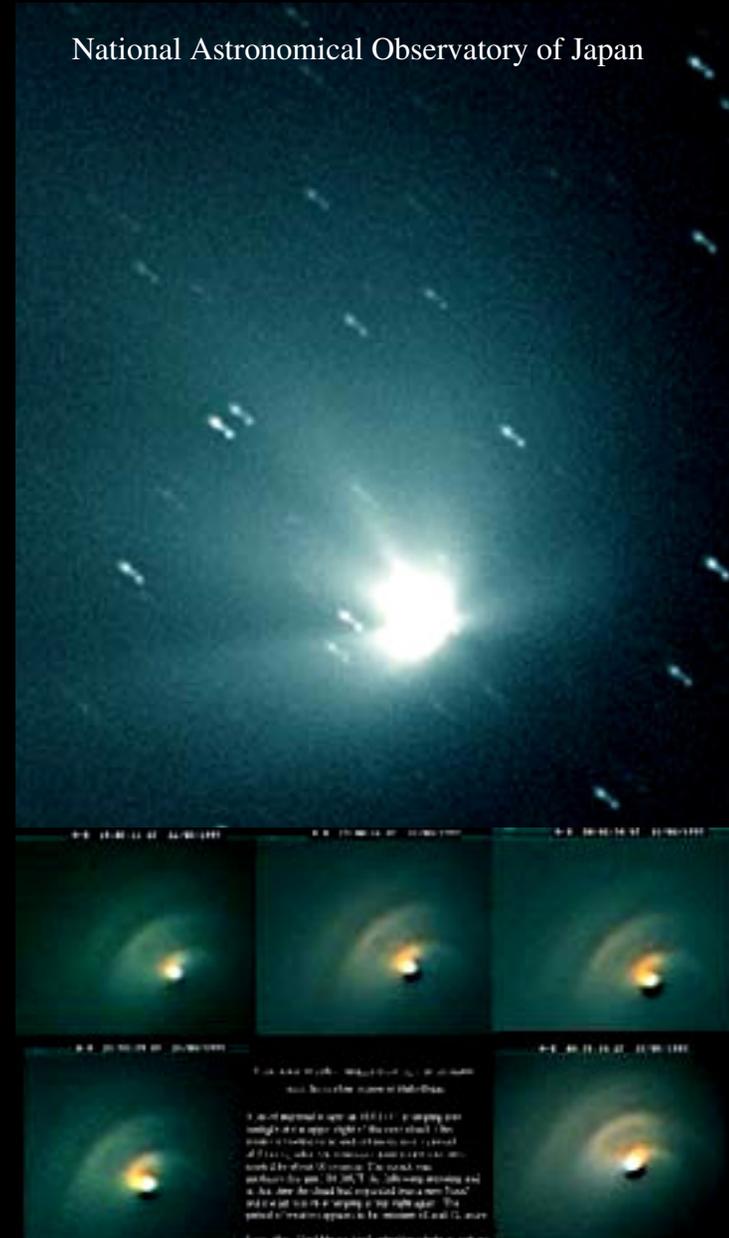


Dáctilo, satélite  
do asteróide **Ida**

# Cometa Hale-Bopp

- Visitou a região interna do Sistema Solar pela primeira vez.
- Foi um dos mais brilhantes das últimas décadas.
- Em parte isto deve-se à configuração geométrica Sol-Cometa-Terra, ele estava próximo da Terra quando atingia seu brilho máximo (outono de 1997).
- Em tamanho, seu núcleo equivale ao do cometa Halley.
- A imagem revela jatos radiais distintos de gás e poeira, formando caudas.

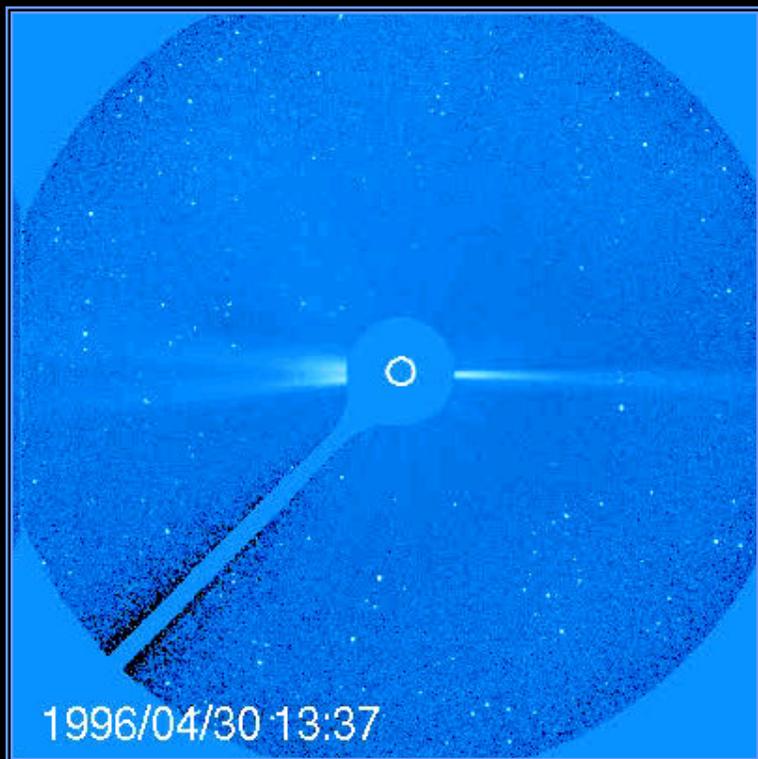
National Astronomical Observatory of Japan





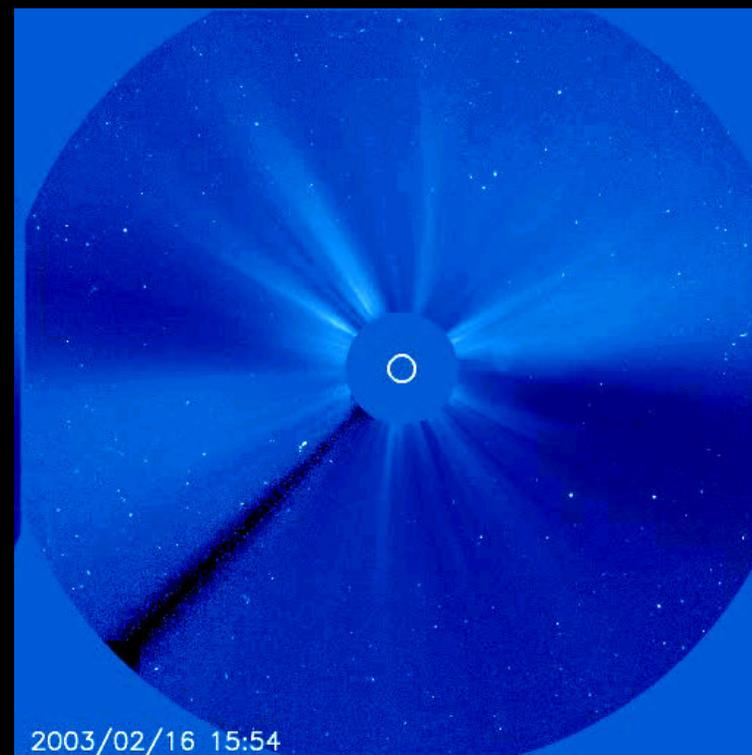
Comet Hyakutake C/1996 B2 • HST WFPC2  
H. Weaver (ARC), NASA

## C/1996 B2 (Hyakutake)



1996/04/30 13:37

## Cometa C/2002 V1 (NEAT)

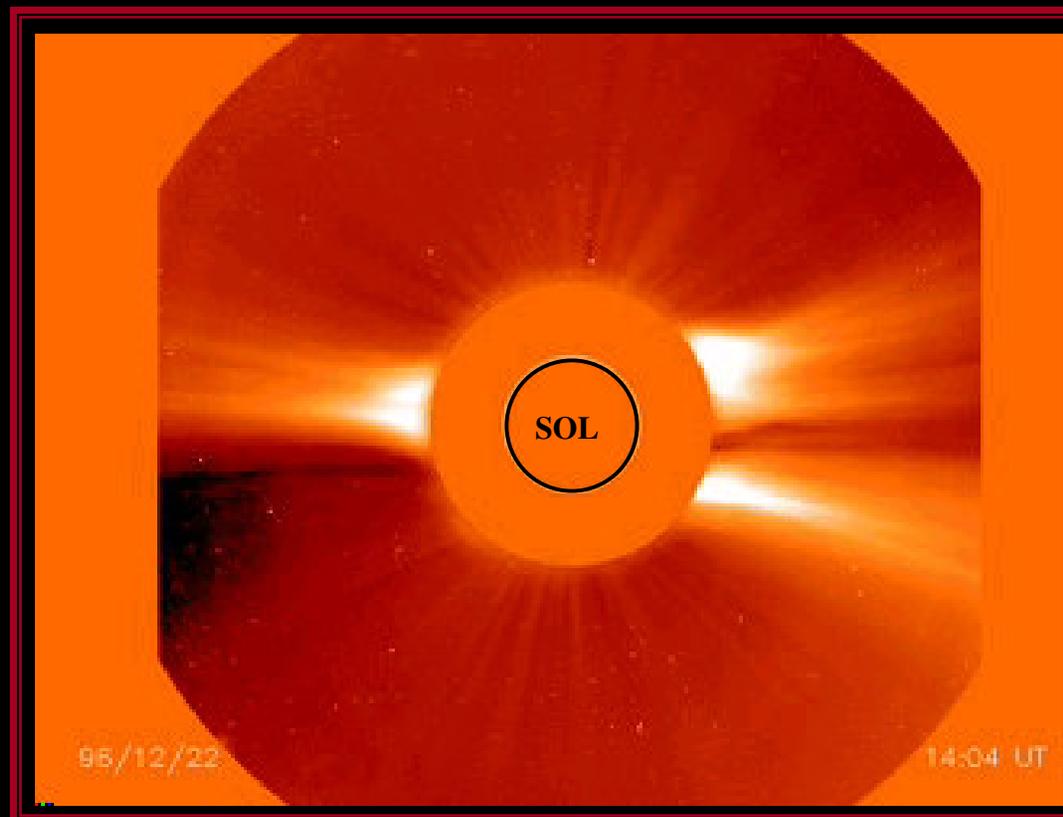


2003/02/16 15:54

# Cometas Rasantes

Possuem distâncias periélicas muito curtas; como passam muito perto do Sol são difíceis de serem vistos. Muitos caem no Sol ou são desintegrados.

Caso típico é este cometa que surge repentinamente no campo de visão em 22/12/96 e desaparece no Sol em 23/12.



SOHO - NASA/ESA

# Impacto do cometa P/Shoemaker-Levy 9 com Júpiter (16-22/7/1994)



Fragmentos do Cometa SL-9 aproximando-se de Júpiter. A fragmentação revela a fragilidade do núcleo cometário. (Telescópio espacial Hubble, NASA/STScI)

W. M. KECK TELESCOPE CAPTURES THE IMPACT OF  
COMET SHOEMAKER-LEVY 9 FRAGMENT-R ON JUPITER

5:30 UT, July 21, 1994  
MAUNA KEA, HAWAII

Astronomers:

Imke de Pater, James R. Graham, Garrett Jernigan  
University of California, Berkeley

with support from

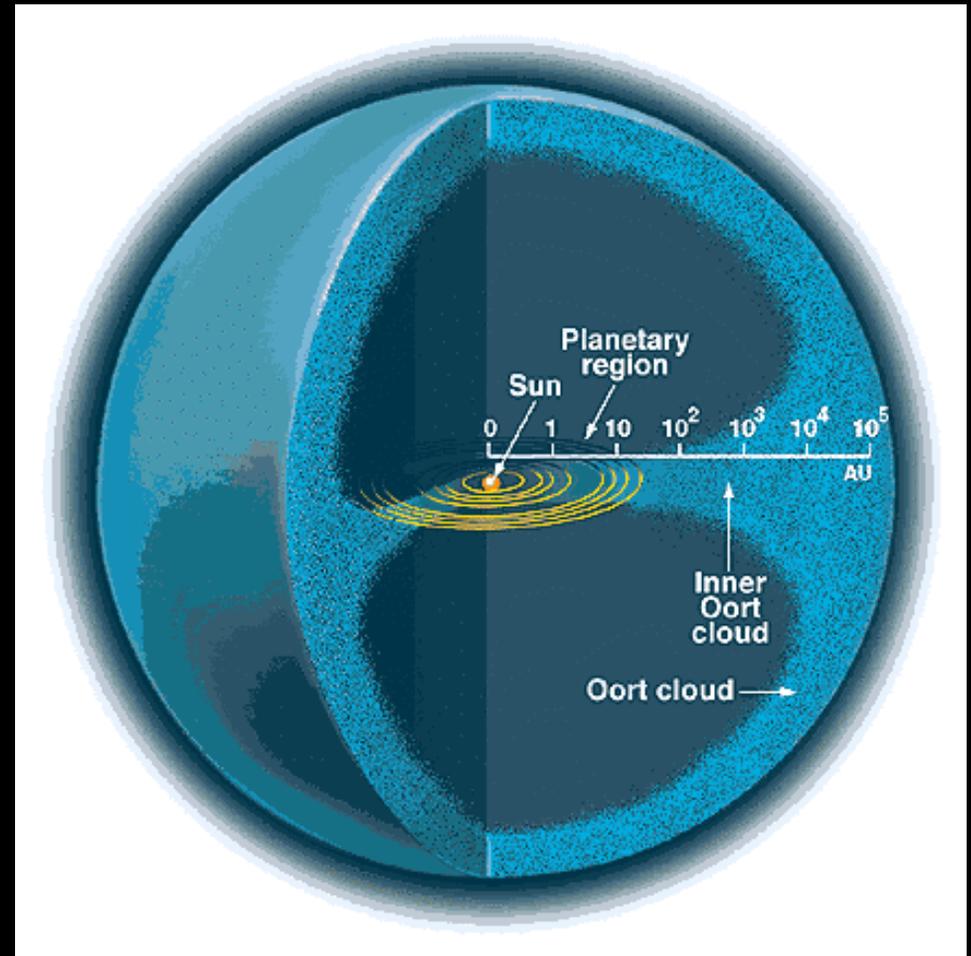
Wendy Harrison, Joel Aycocock, David Vezie  
and the staff of the Keck Observatory

Mancha decorrente desintegração do SL9 ao  
penetrar a espessa atmosfera de Júpiter.  
Nenhum evento terrestre se equipara em  
violência a este ocorrido em Júpiter.



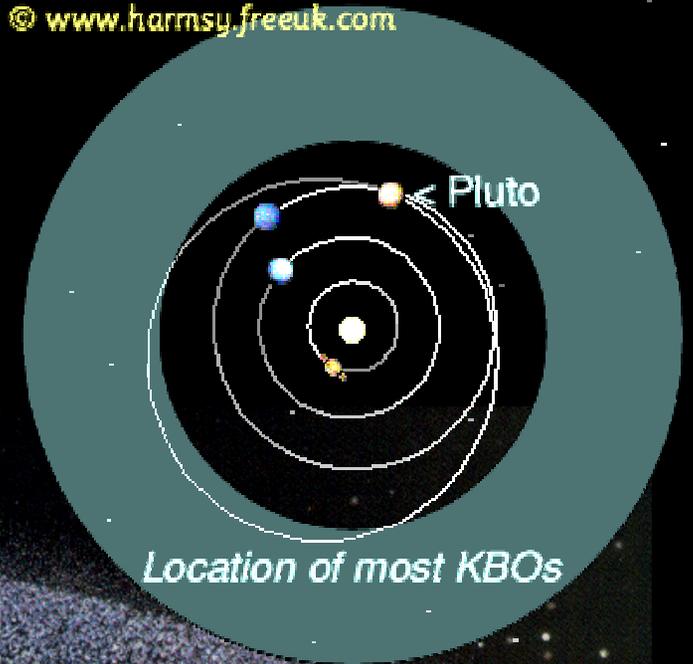
# Origem

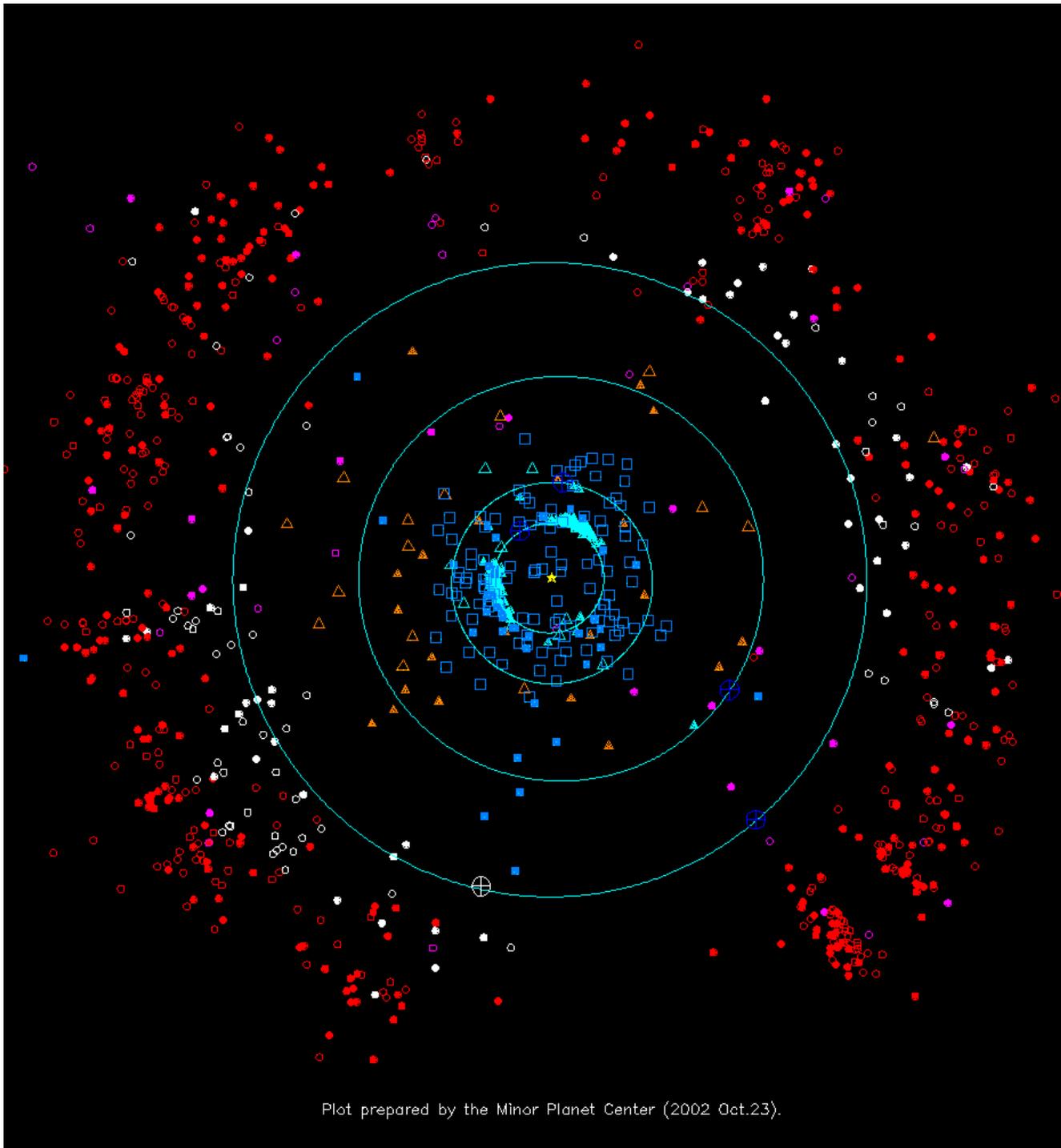
- Jan Oort (astrônomo Holandês) propõem que os cometas residem numa grande nuvem esférica que circunda o Sol, com raio de 50.000 UA (distância afélica típica de cometas).
- Essa nuvem ficou conhecida por **Nuvem de Oort**.
- Corpos cometários são
  - planetesimais
  - formados a cerca de 20-30 UA do Sol,
  - nas vizinhanças de Urano e Netuno,
  - as temperaturas na época da formação eram tipicamente 100 K.



# Cometas e Objetos do Cinturão de Edgeworth-Kuiper

© [www.harmsy.freeuk.com](http://www.harmsy.freeuk.com)





Plot prepared by the Minor Planet Center (2002 Oct.23).

Planetas: órbitas vistas em azul

Localização corrente: símbolos grandes nesta cor

Objetos raros com órbitas de elevada

excentricidades, marcados com triângulos desta cor,

Objetos Centauros: triângulos desta cor,

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

Objetos espalhados do disco: círculos desta cor

Objetos clássicos: círculos vermelhos.

Cometas periódicos: quadrados cheios desta cor

Outros cometas: quadrados vazios desta cor

# Cometas e Objetos do Cinturão de Edgeworth-Kuiper

## QUAOAR

Maior objeto depois dos planetas



**Plutão**

2300



**Quaoar**

1250



**Lua**

3480

**Terra**

12760 km



**Caronte**

1200 km

# METEORÓIDES

## **Meteoróide**

fragmento rochoso que vagueia pelo espaço interplanetário

## **Meteoro**

fenômeno luminoso efêmero, resultante da passagem de um meteoróide pela atmosfera terrestre; velocidade típica: 10 - 70 km/h

**Bola de Fogo:** meteoro muito brilhante, produzido por corpo bem maior

## **Meteorito**

fragmento rochoso que atingiu o solo. **Queda:** qdo presenciada a queda; **Achado:** apenas encontrado no solo.

## **Poeira Zodiacal**

diminutos fragmentos rochosos concentrados no plano da eclíptica

# Meteoro

**Velocidade de penetração:  
de 11 a 72 km/s**



# Chuva (ou Chuveiro) de Meteoros



Leonídeos, retratado em  
13 de novembro de 1833

Usualmente os meteoros são vistos esporadicamente, vindos de qualquer direção. A quantidade aumenta na madrugada, pouco antes do Sol nascer.

Mas também ocorrem épocas determinadas, em quantidade bem mais elevada: são as chuvas ou chuveiros de meteoros.

Eles parecem vir de uma mesma região do céu, denominada Radiante. O chuveiro é identificado pelo nome da constelação onde localiza-se o radiante: Leônidas (chuva) ou Leonídeos (chuveiro) possui o radiante na constelação do Leão.

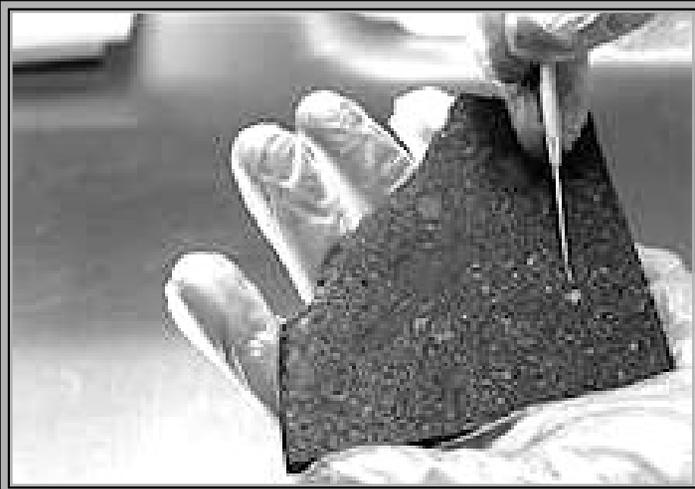
<u>Nome</u>	<u>Radiante</u>	<u>Cometa</u>	<u>Época</u>
Aquáridas	Aquário	Halley	02-6/05
			25-31/06
Perseidas	Perseu	Swift-Tuttle	10-14/08
Dracônidas	Dragão	Giacobini_Zinner	09-19/10
Leônidas	Leão	Temple-Tuttle	14-19/10

# Meteoritos

## Composição química

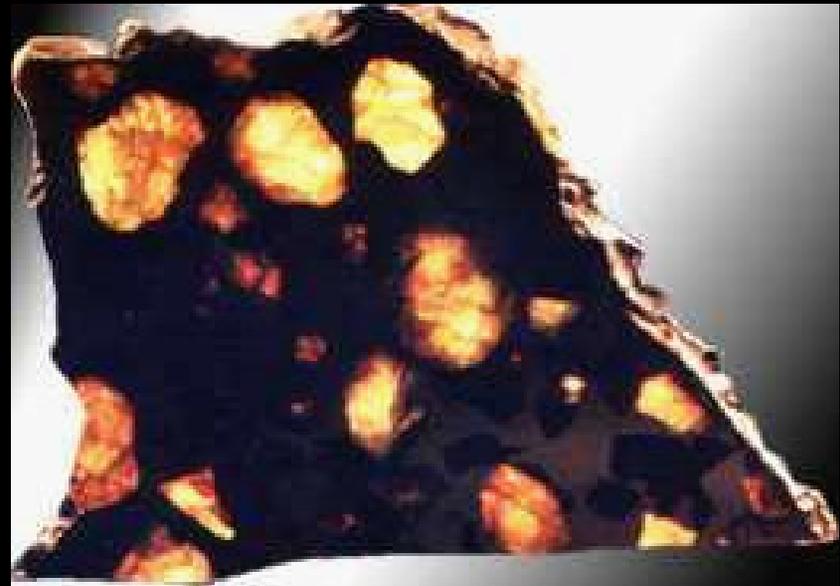
Grupos e subgrupos básicos	Abundância	Origem provável	
metálicos (90 a 95% de Fe + 5 a 10% de Ni) ..... (ou sideritos)	(4 %)	Interior de asteróides do Cinturão	
ferropétreos (rocha + metal) ..... (ou siderolitos)	(1 %)		
rochosos {	acondritos ..... (9 %)	Cinturão, Lua e Marte	
	condritos {		carbonáceos ..... (5 %)
		ordinários ..... (81 %)	

# Meteoritos Metálicos



(Griffith Observatory, Ronald A. Orti Collection)

A estrutura cristalina característica mostra estruturas (de Widmanstätten) originadas de um processo de resfriamento lentíssimo de material fundido. Isto ocorre no interior de corpos diferenciados.

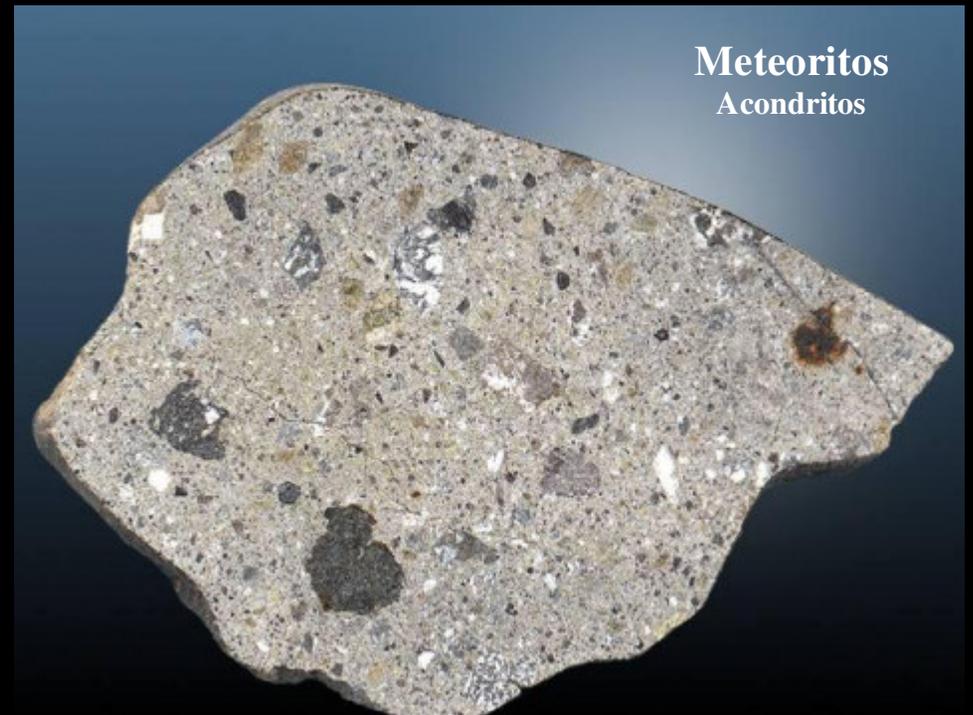


**Ferropétreo**

# Meteorito rochoso



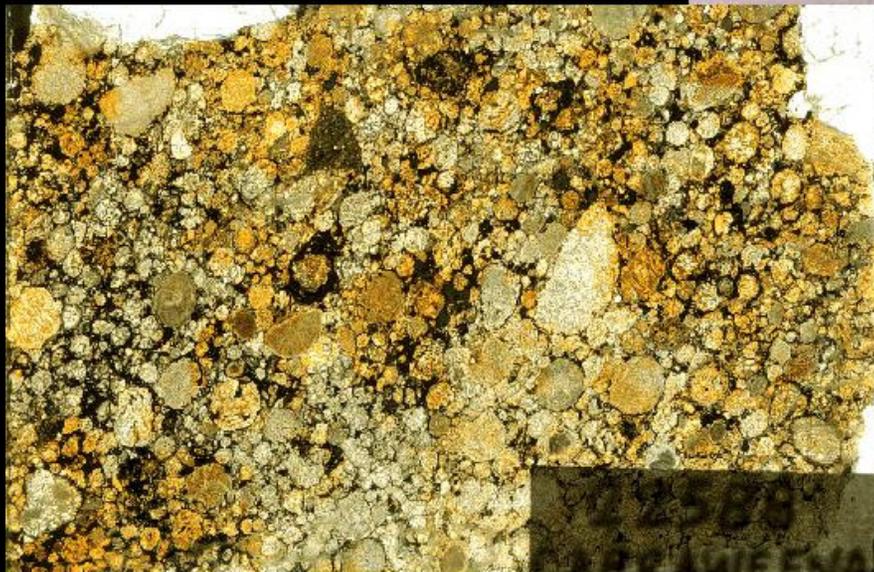
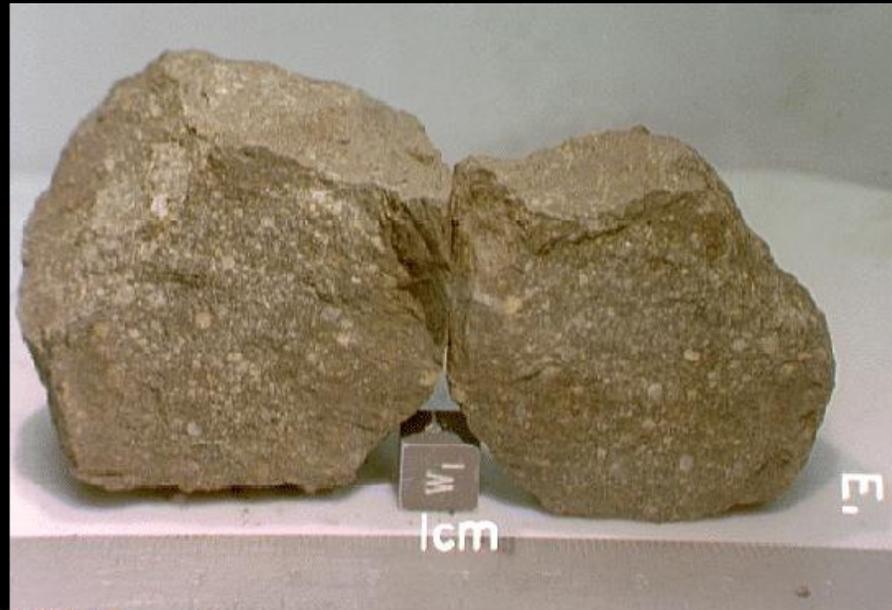
A cor escura provém do aquecimento devido ao atrito com a atmosfera terrestre durante a queda. Abaixo da crosta escura está o material claro do meteorito. (NASA)



Formados por resfriamento rápido

## Meteoritos Condritos Ordinários

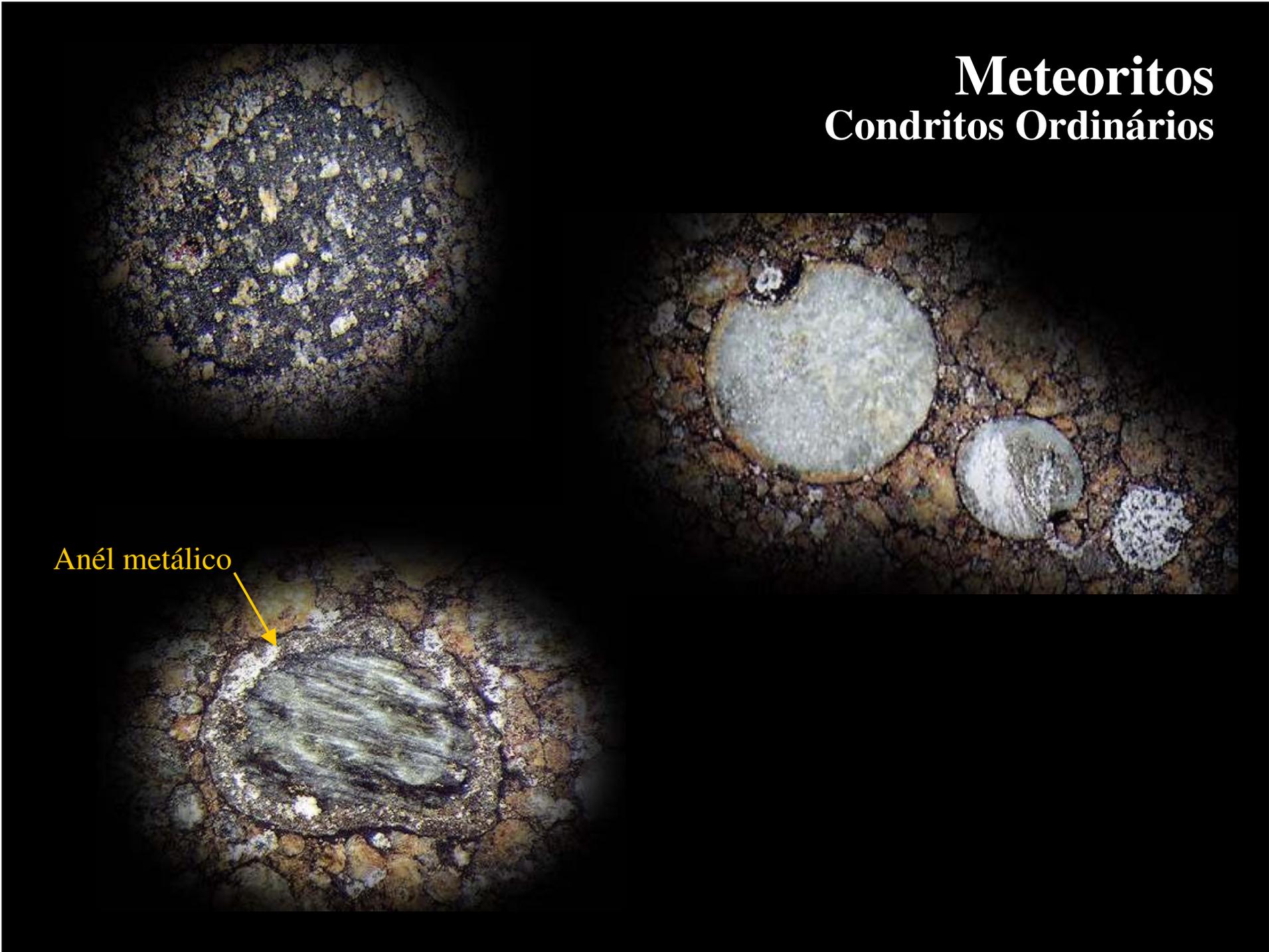
Aqueles que apresentam  
côndrulas – esferas  
milimétricas de  
olivina  $[(Mg,Fe)SiO_4]$ , e  
piroxeno  $[(Mg,Fe)SiO_3]$



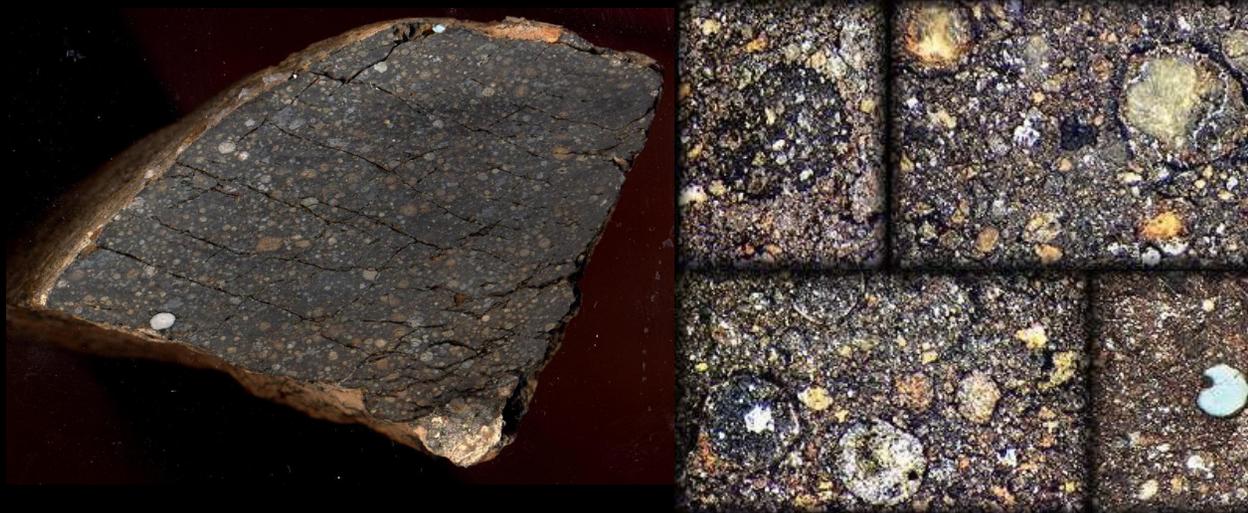
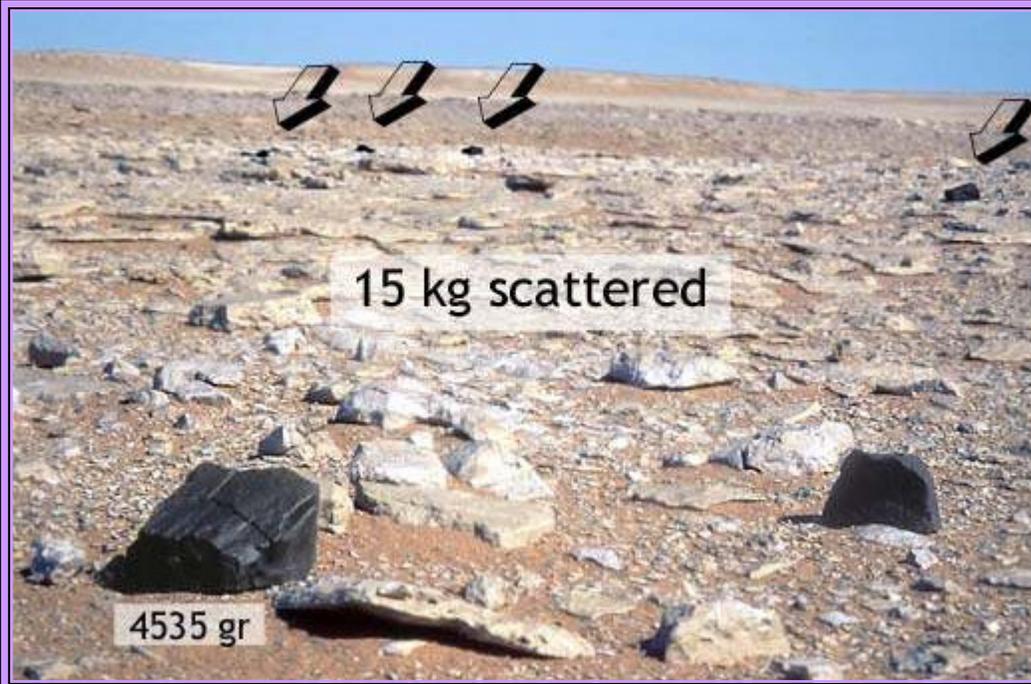
Meteoritos condritos :  
material característico de  
planetas.  
As rochas dos planetas  
terrestres têm a mesma  
proporção de elementos que  
esses meteoritos

# Meteoritos Condritos Ordinários

Anél metálico



# Meteoritos Condritos Carbonáceos



Esses meteoritos  
são ricos em  
carbono e  
inclusões de  
cálcio (CaO) e  
alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

Alguns apresentam compostos orgânicos e aminoácidos.  
Isto indica que eles jamais foram expostos à temperaturas elevadas.

# Meteoritos

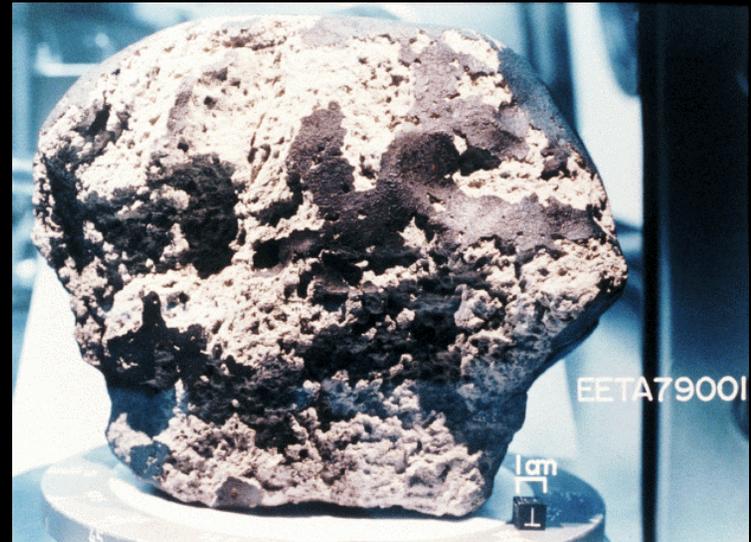
## da Lua

Composição química tipicamente lunar

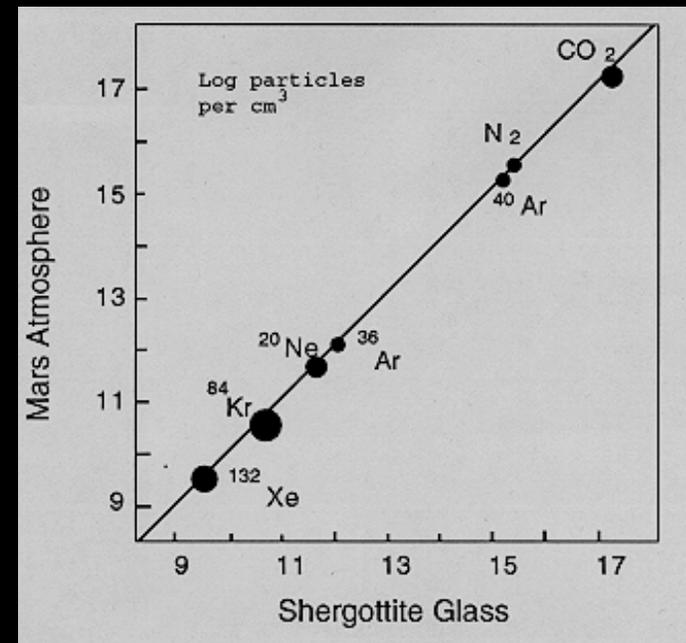


# Meteoritos SNC

- Tipo muito raro de acondrito: há apenas algumas dezenas de amostras
- Nome provém das cidades onde foram encontrados:  
**S**hergotty (Índia, 1865),  
**N**akhla (Egito, 1911),  
**C**hassigny (França, 1815).
- Posteriormente, muitos foram encontrados na Antártica e outros lugares.



EETA 79001 contém bolhas microscópicas de gases. Esses gases aprisionados ajustam-se muito bem às condições atmosféricas de Marte (medidas das sonda Viking)!



# ALH 84001

## VIDA

A evidência mais contundente de possível vida fóssil marciana (100 x mais fino que fio de cabelo)



Grãos de *magnetita* (óxido de ferro cúbico) incrustados nos glóbulos de carbonatos. Podem ser formados por processo orgânico ou inorgânico, mas as propriedades são diferentes para cada caso.

*Magnetita orgânica*: (a) cristais têm tamanhos bem definidos, (b) são quimicamente puros; (c) têm estrutura e morfologia típicas; (d) agrupam-se em longas cadeias.

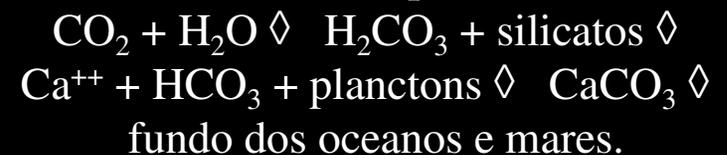
1/4 da magnetita encontrada no ALH84001 tem essas propriedades, e são semelhantes às produzidas por cadeia de bactérias conhecida por MV-1.

Cristais de Magnetita em uma Bactéria Magnetotática  
Nature 343, page 213 (1990)



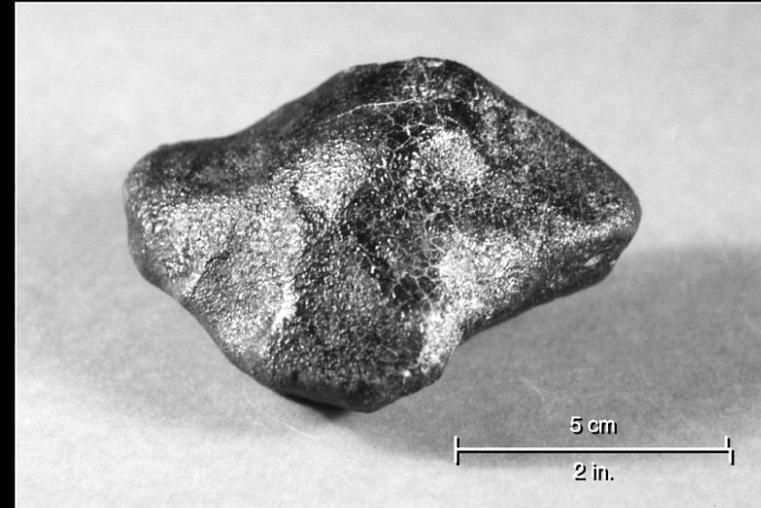
**Carbonatos**: rochas e minerais que contém "CO<sub>3</sub>" (Ca CO<sub>3</sub>, Mg CO<sub>3</sub>...). Na Terra são formados por processos puramente químicos, ou através de organismos vivos. Ambos os casos exigem a presença da água líquida. Organismos multicelulares produzem conchas com os carbonatos.

Uma cadeia possível:



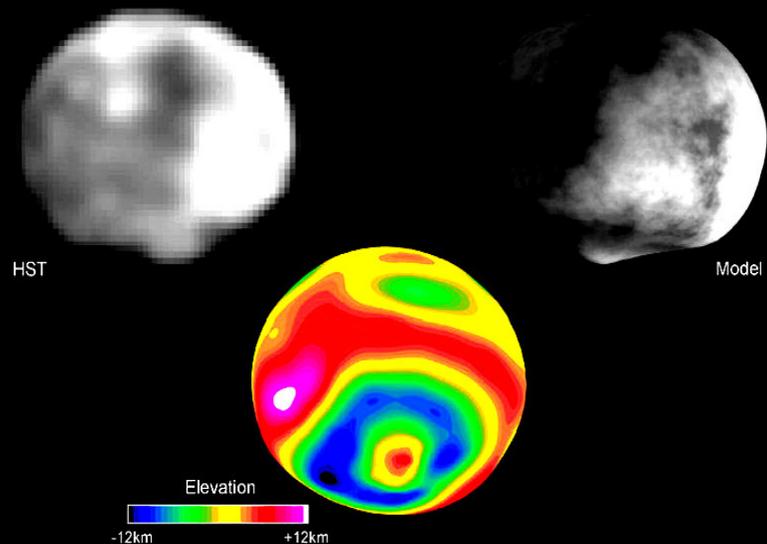
# Meteoritos de Vesta?

- Pertencem a um grupo de meteoritos descobertos na Austrália
- Composição parece ser semelhante ao do asteróide 4 Vesta
- Queda de frgamentos de Vesta na Terra é dinamicamente possível, devido à ressonância com Júpiter
- Telescópio Espacial Hubble mostra enorme impacto na superfície de Vesta



Meteorite · Fragment of Vesta

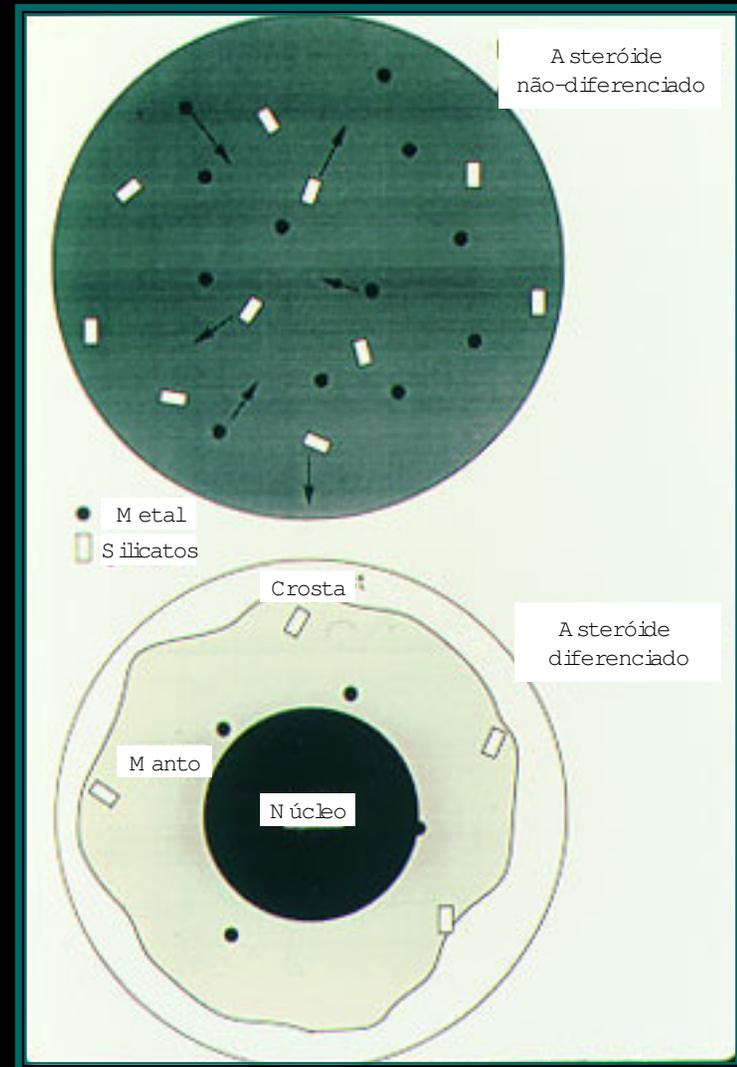
Lab Photograph · Russel Kempton, New England Meteoritical Services  
PRC95-20B · ST Sci OPO · April 19, 1995 · B. Zellner (GA Southern Univ.), NASA



# Diferenciação

A diferenciação produz corpos com separação de materiais.

A fragmentação de um corpo diferenciado produz restos com composição química diferenciada, proveniente de diferentes partes do corpo.



## Luz Zodiacal

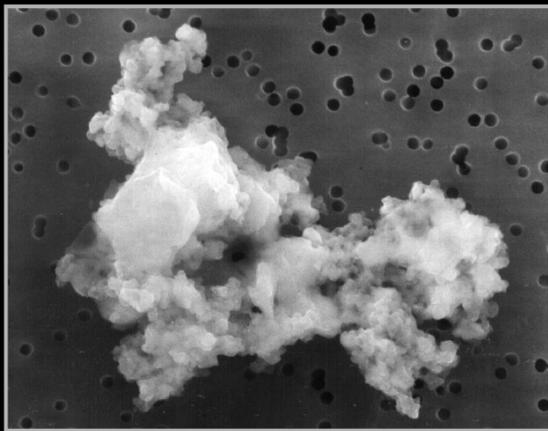
Luz solar refletida pela poeira localizada próxima ao plano da eclíptica

É vista nas proximidades do Sol poente.



Observatório de Cerro Tololo (Chile)

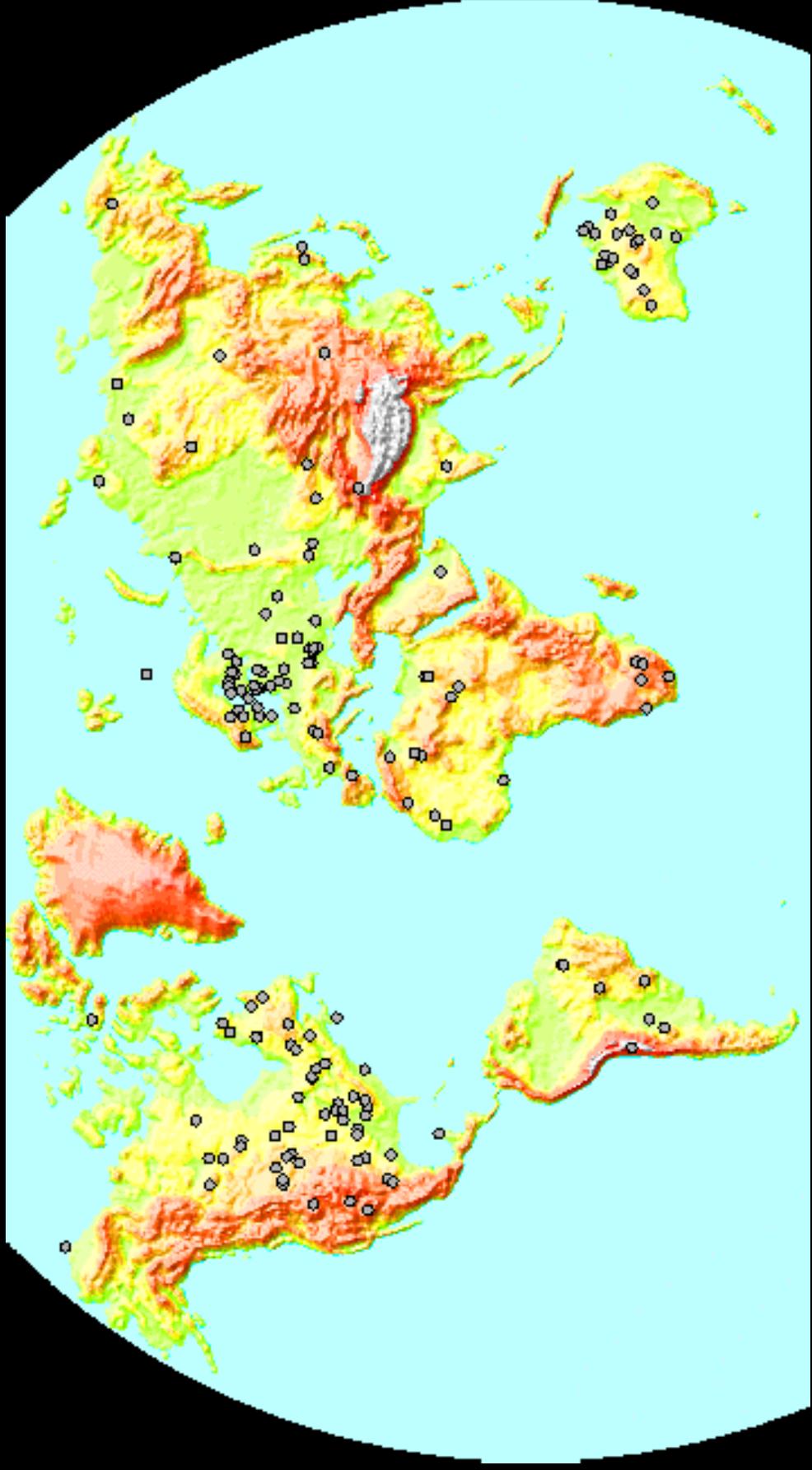
Asteróides e cometas são as fontes de produção de poeira.



Tamanho típico: 1 micra ( $10^{-6}$  m)



# Crateras de impacto na Terra



# Crateras de impacto na Terra

**Estados Unidos  
da  
América do Norte**

**Cratera do Meteoro  
Arizona**

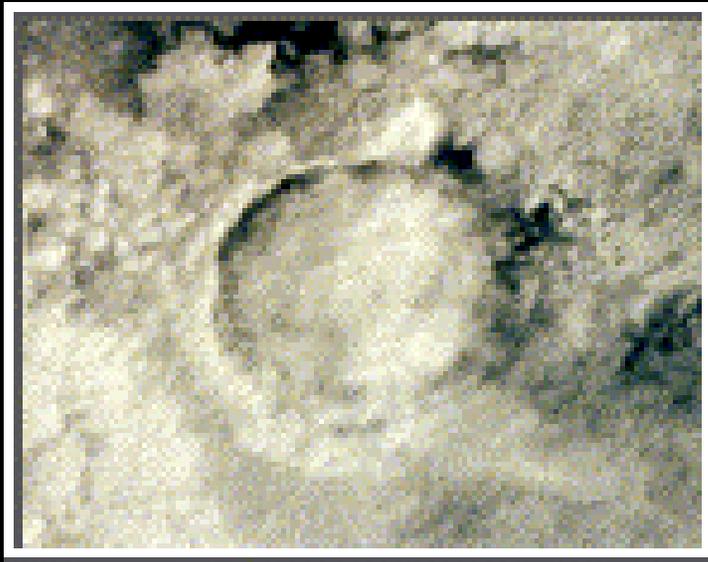
Posição: 35°02' N (lat)  
111°01' O (long)  
Tamanho: 1,186 km  
Idade: 50.000 anos



# Crateras de impacto na Terra

## África

### Bosumtwi Ghana (África)



Posição: 06°32' N (lat)  
01°25' O (long)  
Tamanho: 10,5 km  
Idade: 1,3 milhão de anos

### Aorounga, Chad



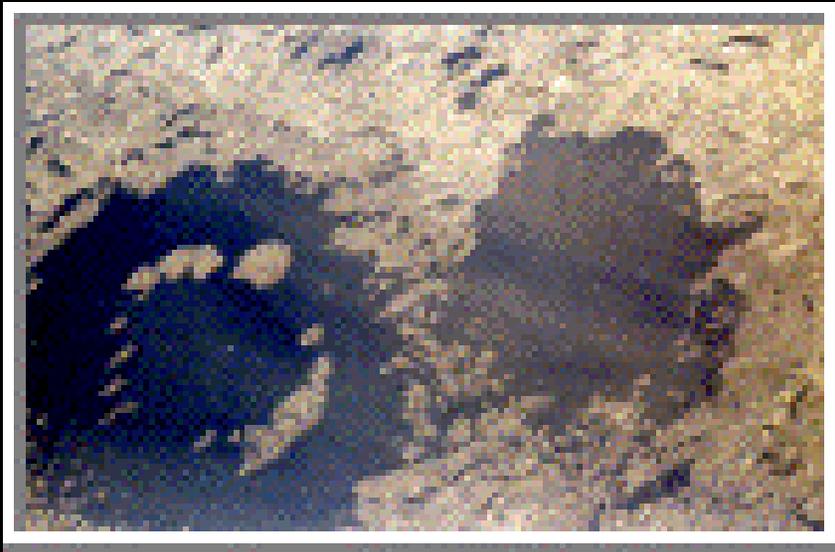
Posição: 19°06' N (lat)  
19°15' L (long)  
Tamanho: 17 km  
Idade: 200.000 anos

# Crateras de impacto na Terra

Canadá

Quebec

Clearwater



Posição: 56°13' N

74°30' W

Tamanho: 32 km

Idade: 290.000 anos

56°05' N (lat)

74°07' W (long)

22 km

Manicouagan



Posição: 51° 23' N (lat)

68°42' O (long)

Tamanho: 100 km

Idade: 212 milhões de anos

# Crateras de impacto na Terra

## Tunguska (Sibéria)



- A poeira permaneceu semanas na atmosfera.
- A luz solar refletida clareava as noites numa extensão que ia das montanhas do Cáucaso às Ilhas Britânicas.
- Nenhum fragmento foi encontrado no solo.

Ocorrência:  
7h17m  
30/06/1908

# Crateras de impacto na Terra

**Sibéria**

**Sikhote-Alin**

**Natureza:**

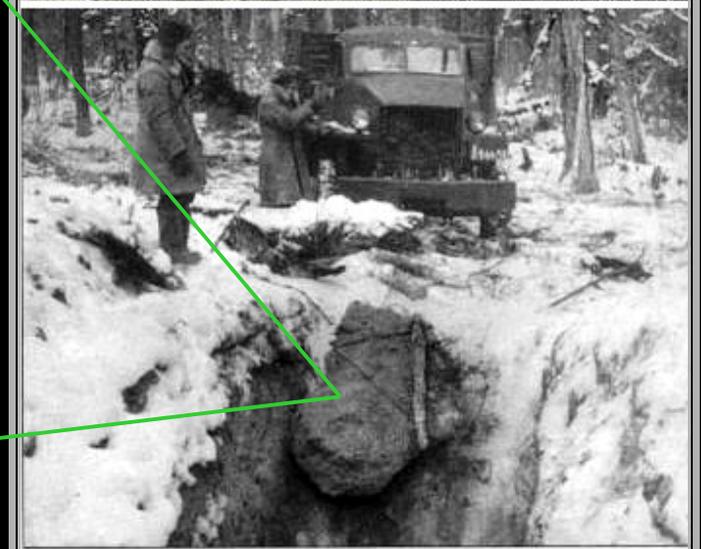
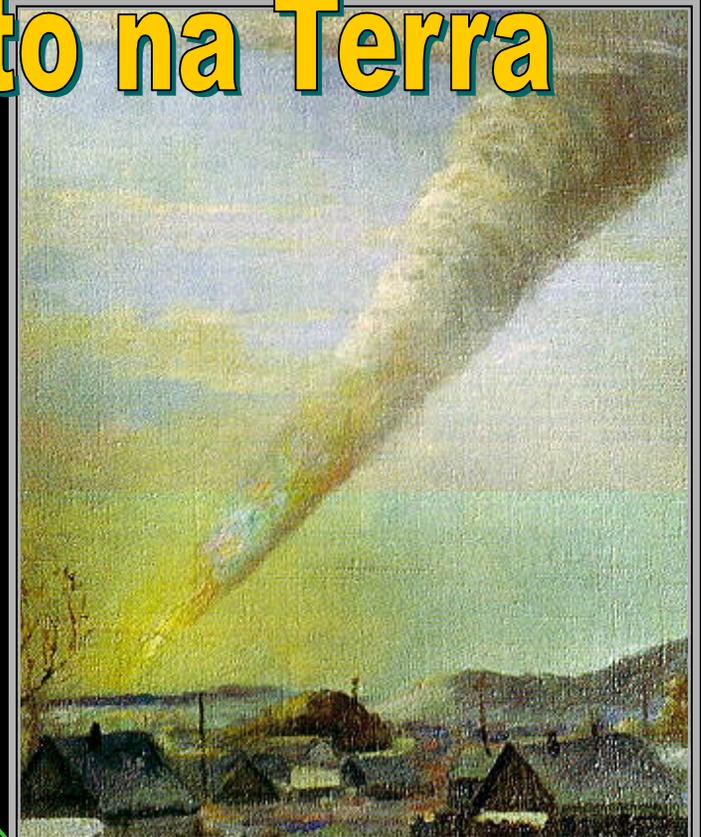
meteorito ferroso

**Ocorrência:**

manhã de 12 de fevereiro de 1947.



Parte do meteorito (180 g)

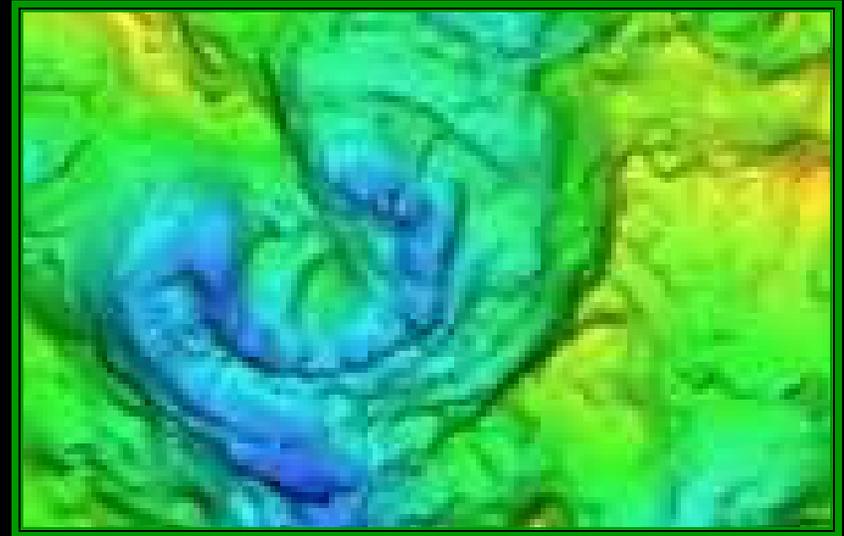


# Crateras de impacto na Terra

Chicxulub

Península  
de Yucatán

65 milhões  
de anos



**México**



Posição: 21° 20' N (lat)

89° 30' O (long)

Tamanho: 170 km

Idade: 64,98 milhões de anos

# Crateras de Impacto Brasileiras

No Brasil, as crateras do  
Domo de Araguainha (MT/GO), 40 km de diâmetro,  
Serra da Cangalha (TO), 12 km,  
Riachão (MA), 4 km,  
são astroblemas confirmados.

Cinco outras suspeitas no país ainda precisam ser analisadas  
pelos pesquisadores.

No mundo, foram detectados cerca de 160 astroblemas,  
muitos ainda não investigados.

As crateras de impacto da Terra:  
[www.solarviews.com/enq/crater.htm](http://www.solarviews.com/enq/crater.htm)

# Crateras de Impacto Brasileiras

## Cratera da Colônia, Parelheiros, São Paulo

Localização:

Lat: 23° 52'; Long: 46° 42' 20"

Idade

36 milhões de anos

Cratera

3,6 km de diâmetro



# Crateras de Impacto Brasileiras

## Riachão Ring, Maranhão

Localização

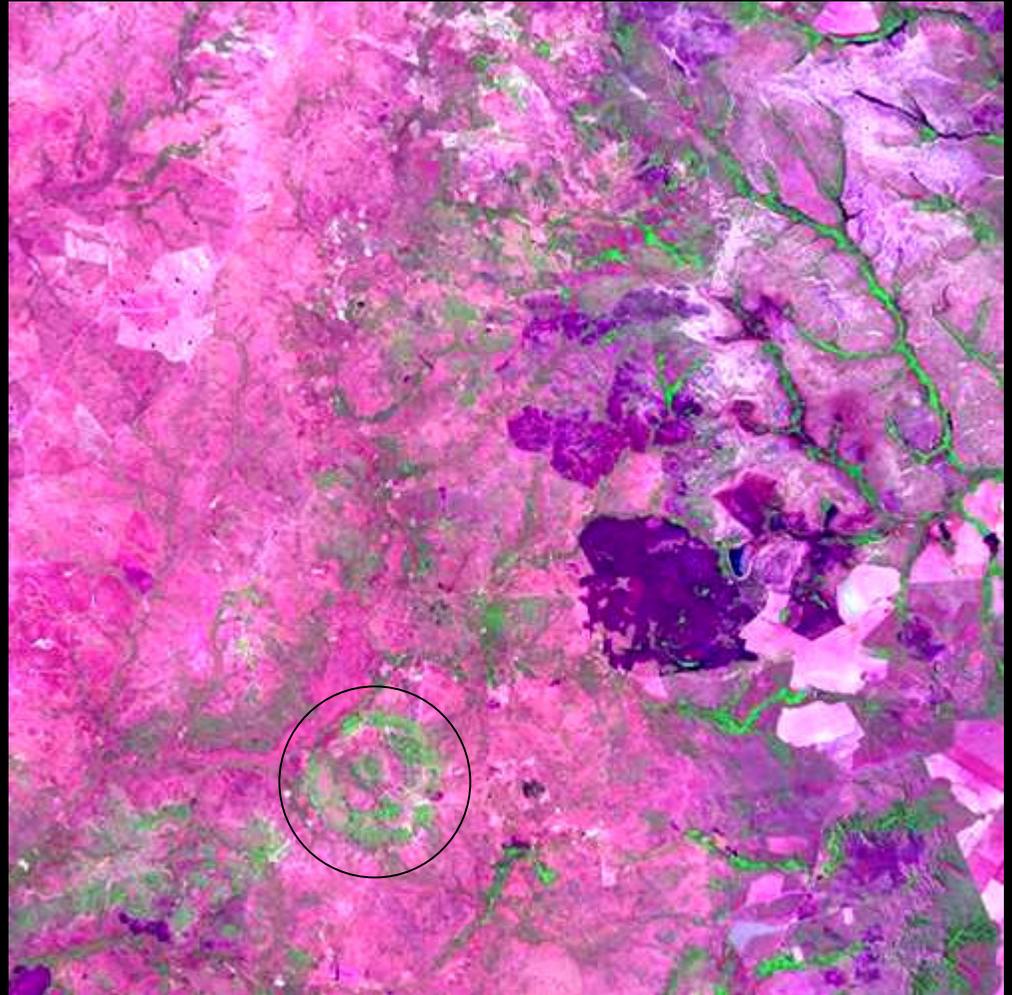
Idade

200 milhões de anos

Cratera

4,5 km de diâmetro e, em baixo um pouco à esquerda do centro.

© EMBRAPA



# Crateras de Impacto Brasileiras

## Cerro do Jarau - RS

Localização

Lat.: 30°12' S; Long.: 56° 33' W

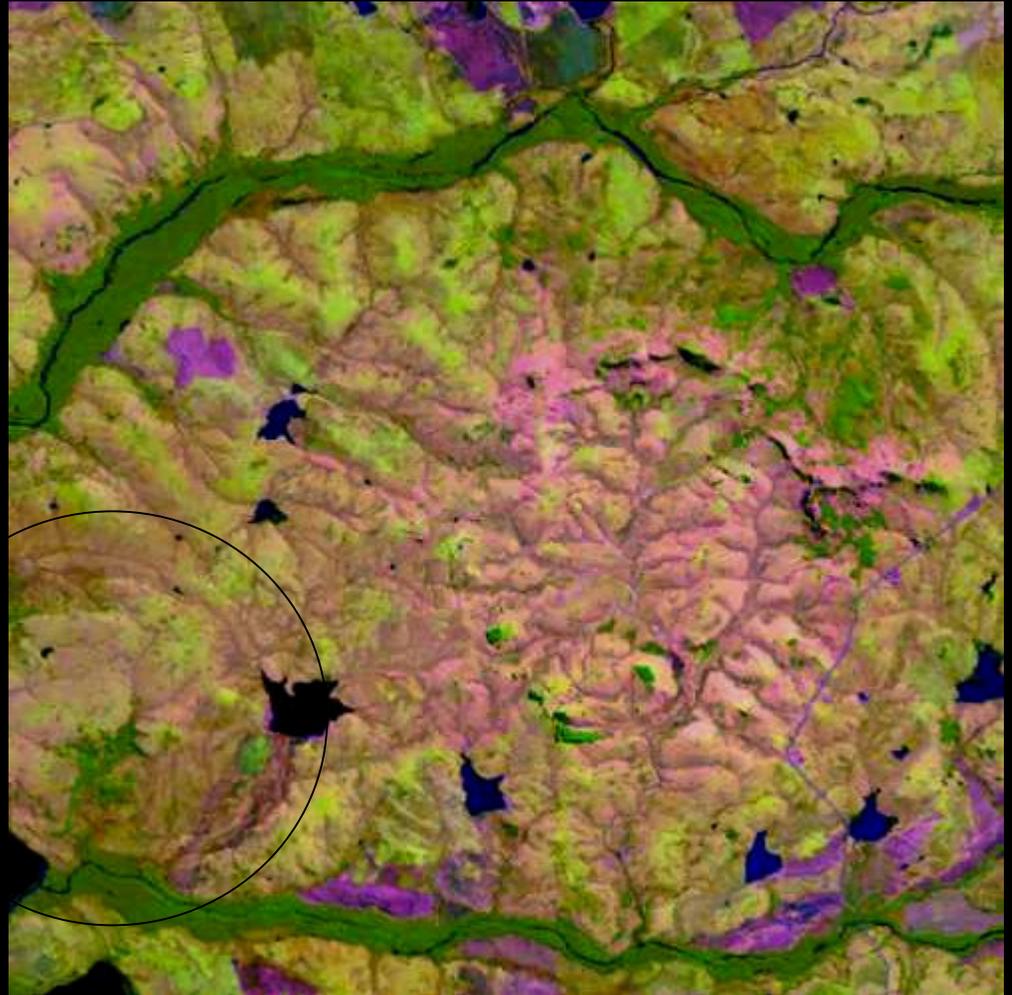
Idade

117 ± 17 milhões de anos

Cratera

5,5 km de diâmetro.

A estrutura central está um pouco à direita do centro na área rosada onde se vê alguns picos num alinhamento semicircular. A borda da cratera apresenta lagos(escuros) que se vê ao oeste e sudeste.



# Crateras de Impacto Brasileiras

**Serra da Cangalha  
Tocantins**

Localização:

Idade  
300 milhões de anos

Cratera  
tem 12 km de diâmetro

© EMBRAPA



# Crateras de Impacto Brasileiras

## Cratera do Vargeão - SC

Localização:

Lat.: 26° 48.5'S ; Long.: 52° 09.9'W

Idade:

entre 70 e 110 milhões de anos

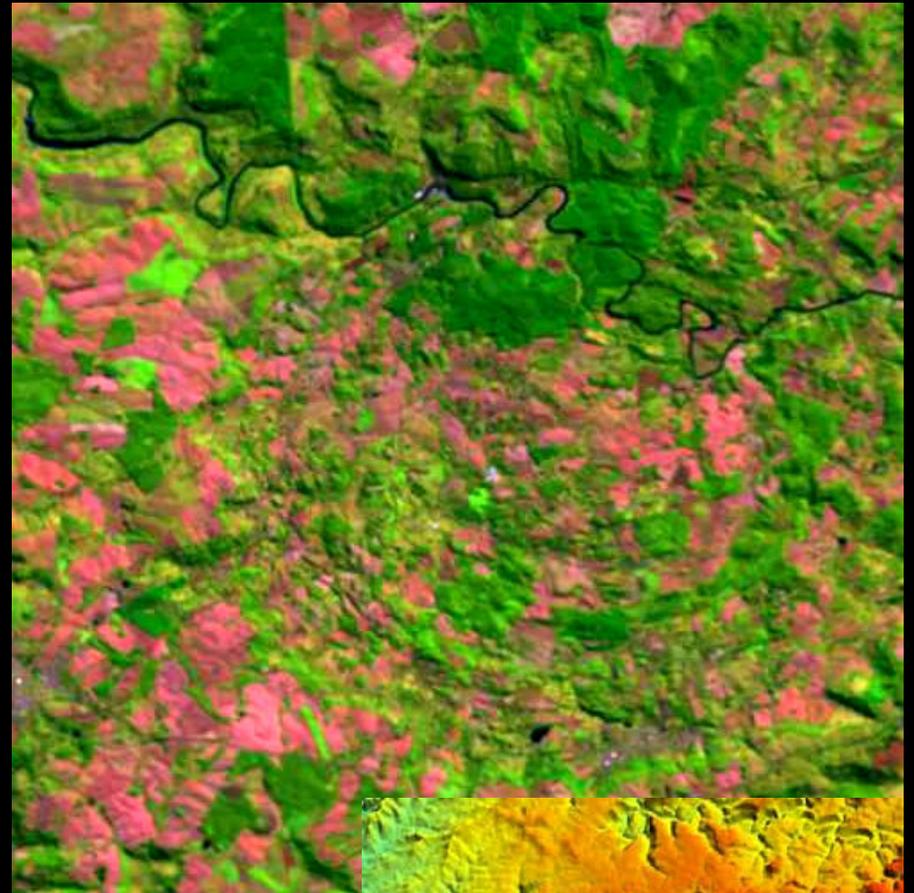
Objeto impactante:

asteróide entre 700 e 1000 metros de diâmetro

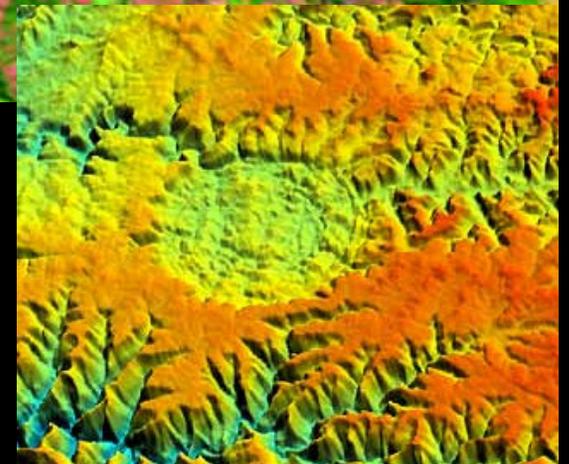
Cratera:

cerca de 12 km de diâmetro.

© EMBRAPA



As estrias encontradas em amostras de arenito (esq.) e basalto (dir.) foram provocadas pelo choque de um asteróide no período Cretáceo



# Crateras de Impacto Brasileiras

## Estrutura de São Miguel do Tapuio - PI

Localização

Lat.: 5°38' S; Long.: 41°24' W

Idade

pré-abertura do Oceano Atlântico

Cratera

~ 20 km de diâmetro.

© EMBRAPA



# Crateras de Impacto Brasileiras

**Araguainha Dome**  
**Mato Grosso**

Localização

Idade

$249 \pm 19$  milhões de anos.

Cratera

40 km de diâmetro e

Foto mostrando toda cratera, ela abrange os estados de Mato Grosso (centro do impacto) e Goiás (embaixo e à direita).



© <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>

**Da**

**Nebulosa Solar Primitiva**

**ao**

**Sistema Solar**

**COSMOGONIA**

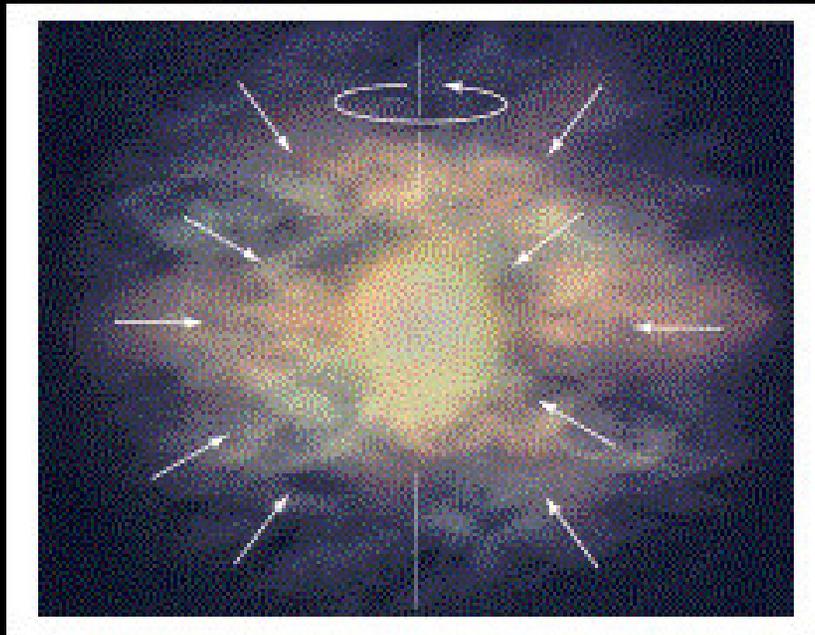
# Propriedades dinâmicas e físicas

**Nota-se uma certa regularidade entre elas:**

1. os sentidos de revolução e de rotação dos planetas (exceto Vênus e Plutão) coincidem com o sentido de rotação do Sol; “rotação direta”
2. as órbitas dos planetas (exceto Mercúrio e Plutão) 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 =  $mvr$  ;  $m$  massa,  $v$  velocidade orbital,  $r$  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;

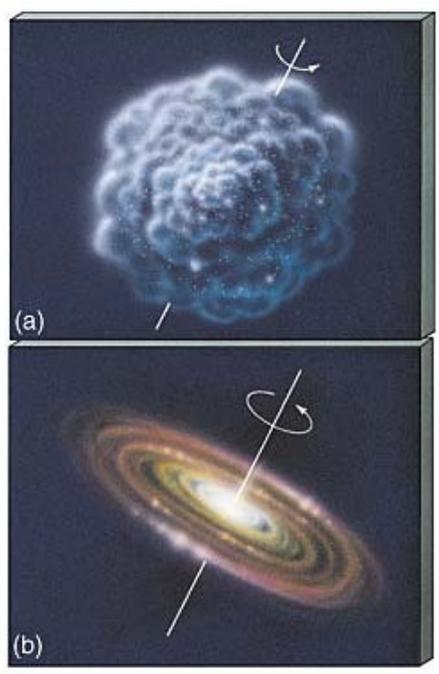
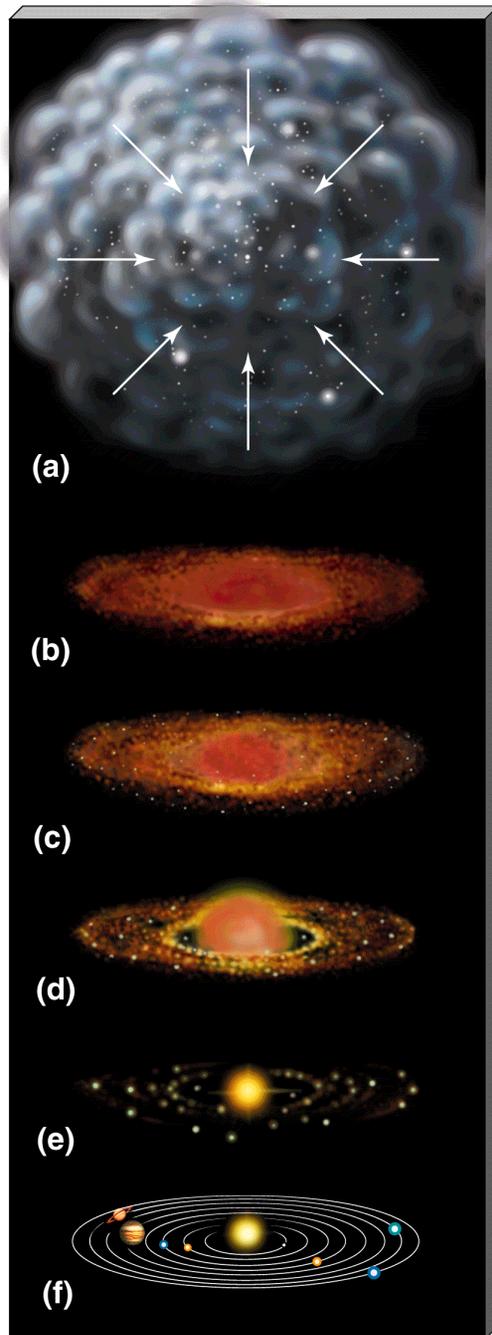
# Contração nebular

O modelo que explica melhor estes fatos é o da contração nebular, teoria evolucionária apresentada pioneiramente por René Descartes em 1644; aperfeiçoada por Immanuel Kant em 1775, e Pierre-Simon de Laplace em 1796;



<http://epswww.unm.edu/facstaff/zsharp/103/lecture%203%20origin%20of%20universe.htm>

Os melhoramentos mais significativos surgiram apenas neste século.



Sequência de formação do Sistema Solar, a partir do colapso da Nebulosa Solar Primordial.

O colapso induz a rotação, que provoca o achatamento.

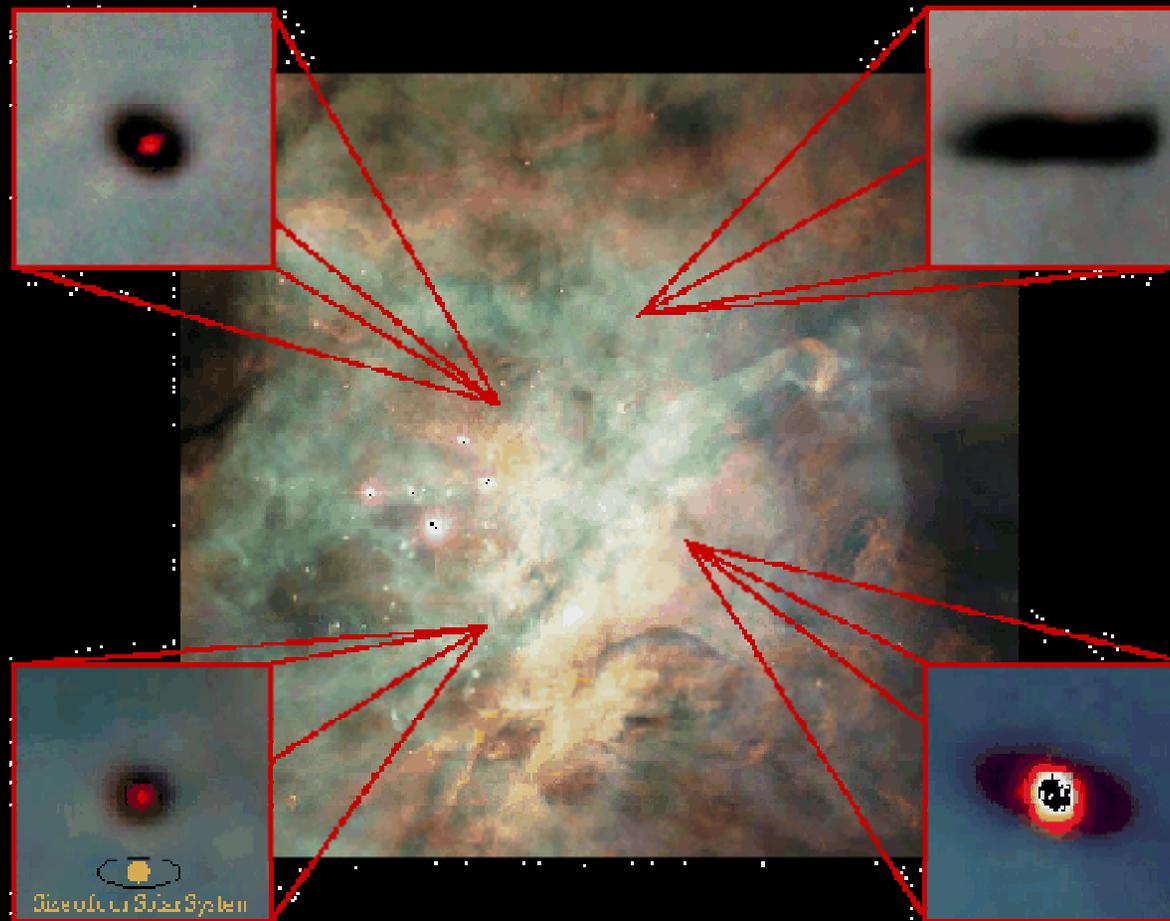
No centro vai sendo formado o *Proto Sol* (ainda não é uma estrela).

No seu plano equatorial forma-se um disco de matéria, dele surgirão planetas e demais corpos.

É nesse plano básico que se localiza a eclíptica. A quase totalidade dos corpos do Sistema Solar têm órbitas próximas a esse plano.

*A rotação da nuvem primitiva é condição para formação de disco*

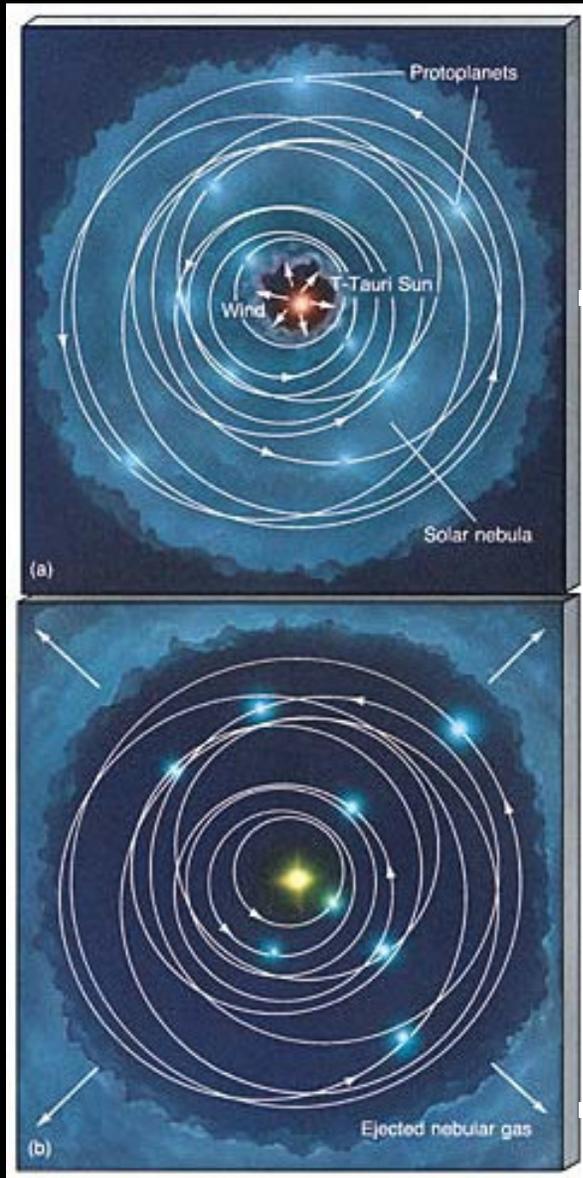
# Discos planetários: um fenômeno comum



[http://csep10.phys.utk.edu/astr161/lect/solarsys/orionsys\\_hst.gif](http://csep10.phys.utk.edu/astr161/lect/solarsys/orionsys_hst.gif)

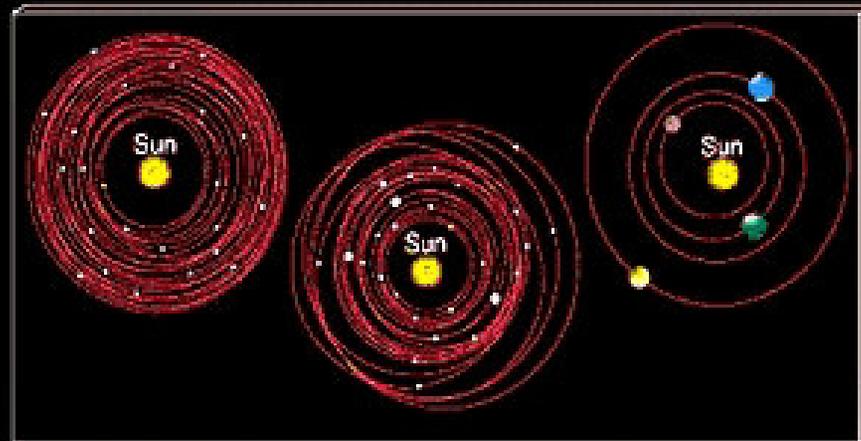
A Nebulosa de Órion é um cenário típico de nascimento de estrelas e sistemas planetários.

# Formação dos planetas

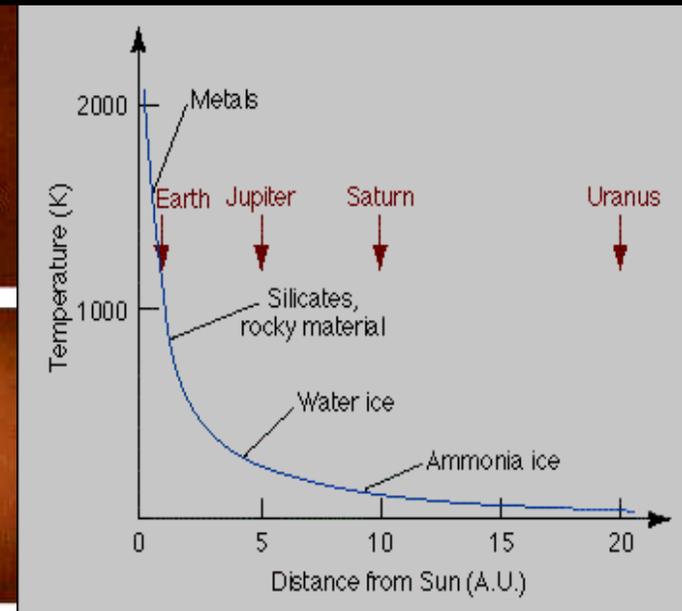
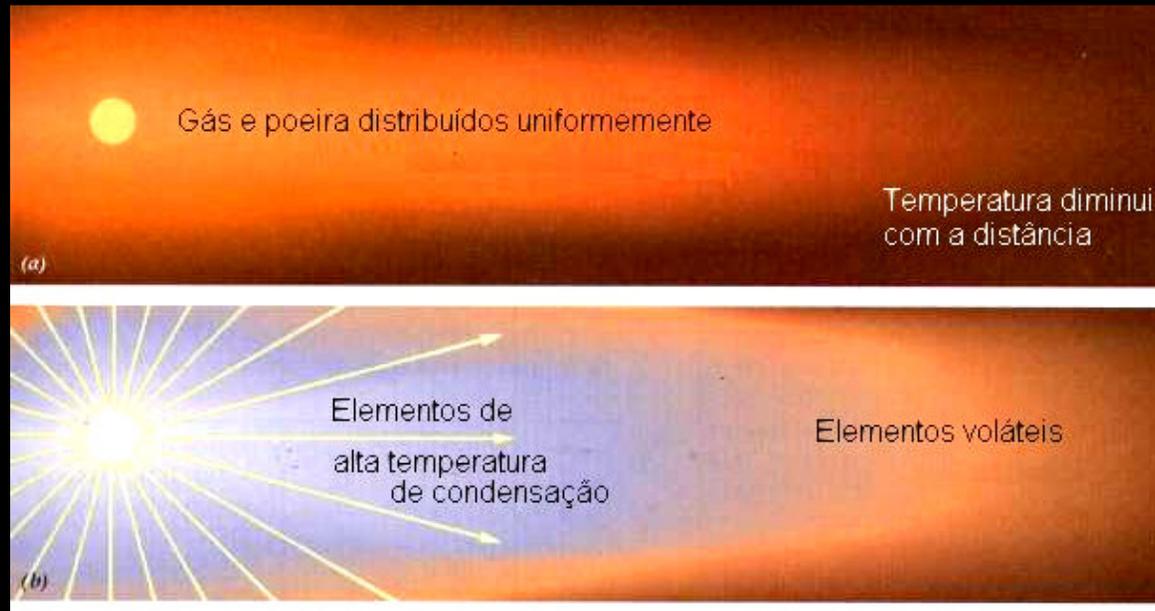


A colisão é fundamental para o processo de acreção (aglutinação de matéria por atração gravitacional).

## Collision of Planetesimals In A Protoplanetary Disk



# Sequência de condensação



Um cenário possível para a formação do Sistema Solar. No início o material nebular estava distribuído uniformemente na nuvem. No centro da nuvem a matéria era gradativamente comprimida e aquecida: nascia o proto-Sol. Os elementos mais voláteis foram “soprados” da região central, concentrando-se nas regiões mais frias. Aqui formaram-se os planetas jovianos e os cometas. (Adaptado de R.R.Robbins *et al.* 1995, pág.113)



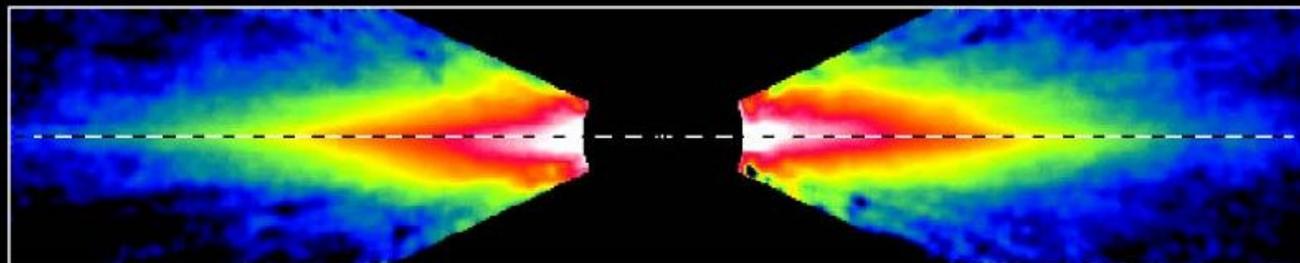
# Exoplanetas



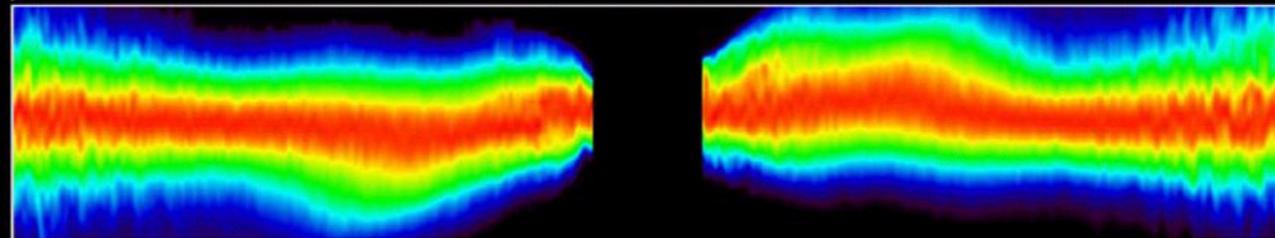
Imagem da estrela beta da constelação do Pintor, obtida com coronógrafo estelar. O disco de matéria circunstelar estende-se até 1,1 UA da estrela. A estrela central foi ocultada por um disco instalado no instrumento. (Smith & Terrile, 1987)



Size of Pluto's Orbit



WFPC2



STIS

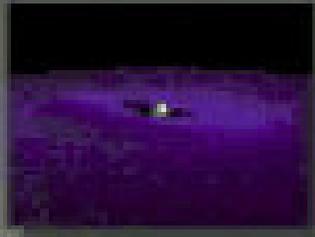


Solar System to Scale

# Exoplanetas

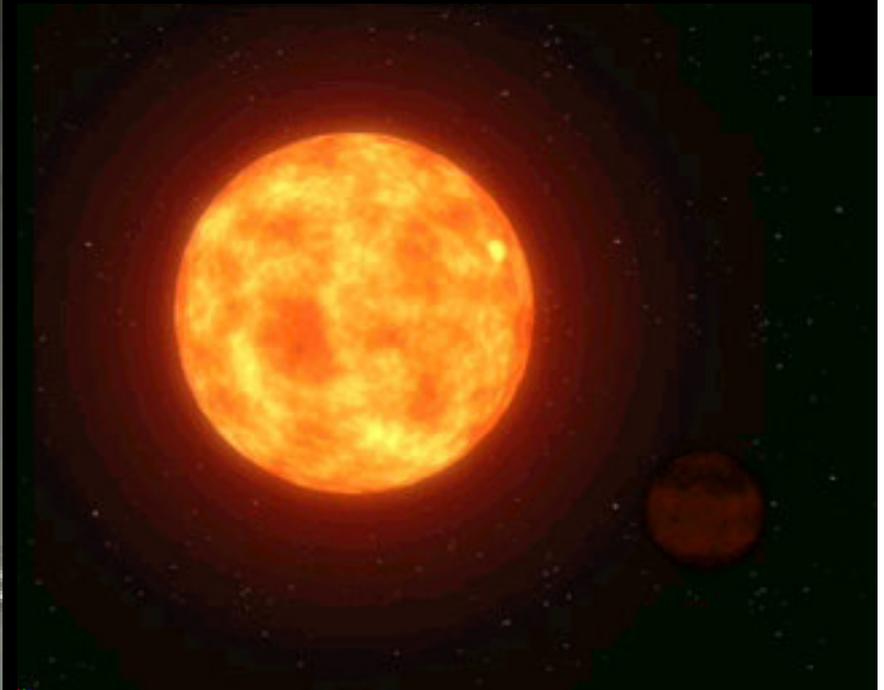
## Beta Pictoris Warp animation

20 secs



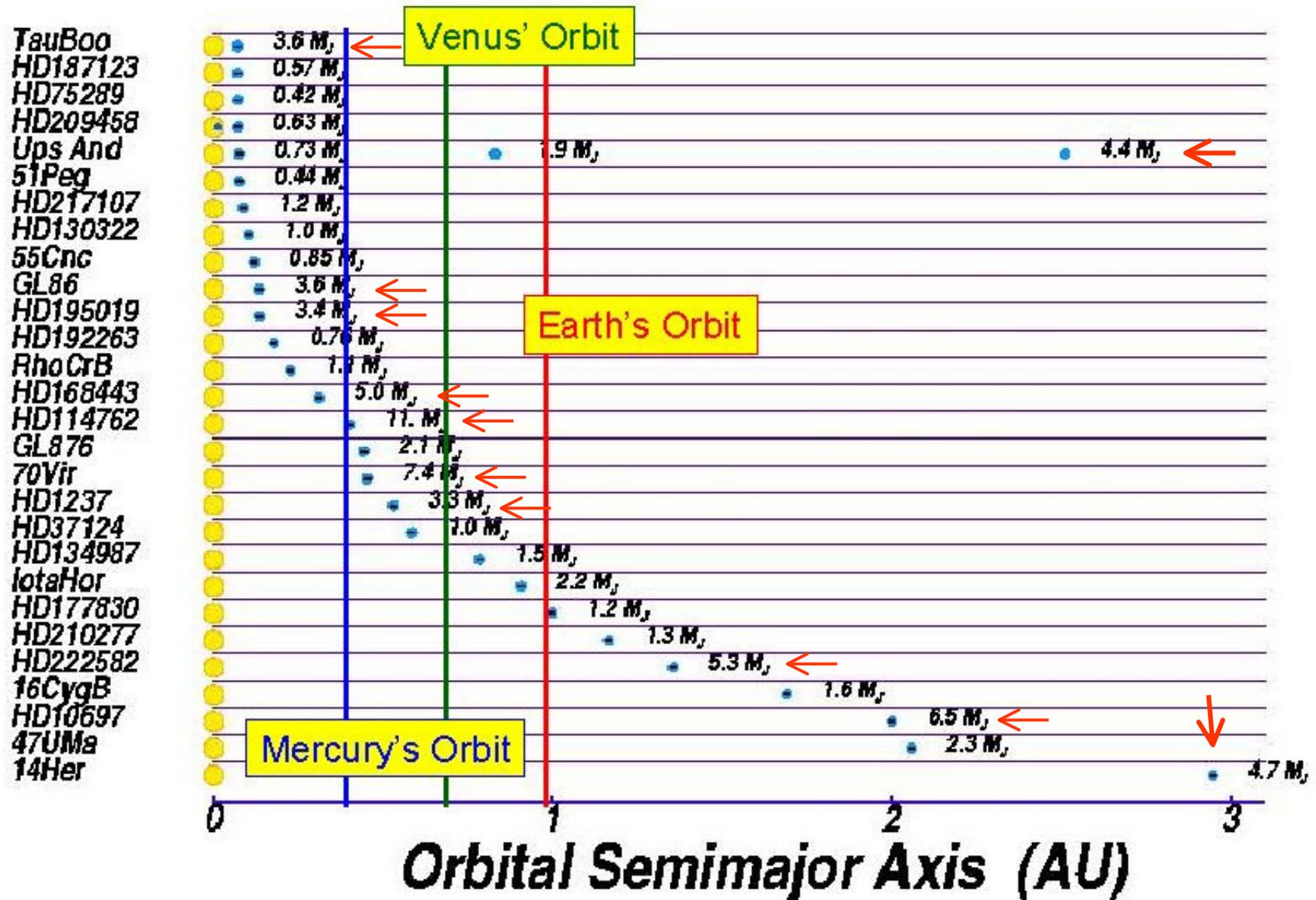
30 fps

Wall Feimer, Astronomy Visualization Lab  
Space Telescope Science Institute



# Uma amostra dos sistemas conhecidos

Current list of Planets, found using the Doppler technique.



# HD 70642, um caso especial ?

Estrela: a) G5 V, estrela anã, amarelo-alaranjado (?)  
b) Subgigante mais evoluída (?)

Massa:  $(1.00 \pm 0.05) M_{\odot}$

Diâmetro:  $\sim D_{\odot}$  ?

Luminosidade:  $\sim 0,93 L_{\odot}$

Metalicidade  $[F_{\epsilon} / H]$ :  $\sim 1.4$   
maior que a do Sol

Fotometricamente estável

Idade:  $\sim 4$  bilhões de anos

Mag. Aparente: 7,7

Distância:  $\sim 90$  AL

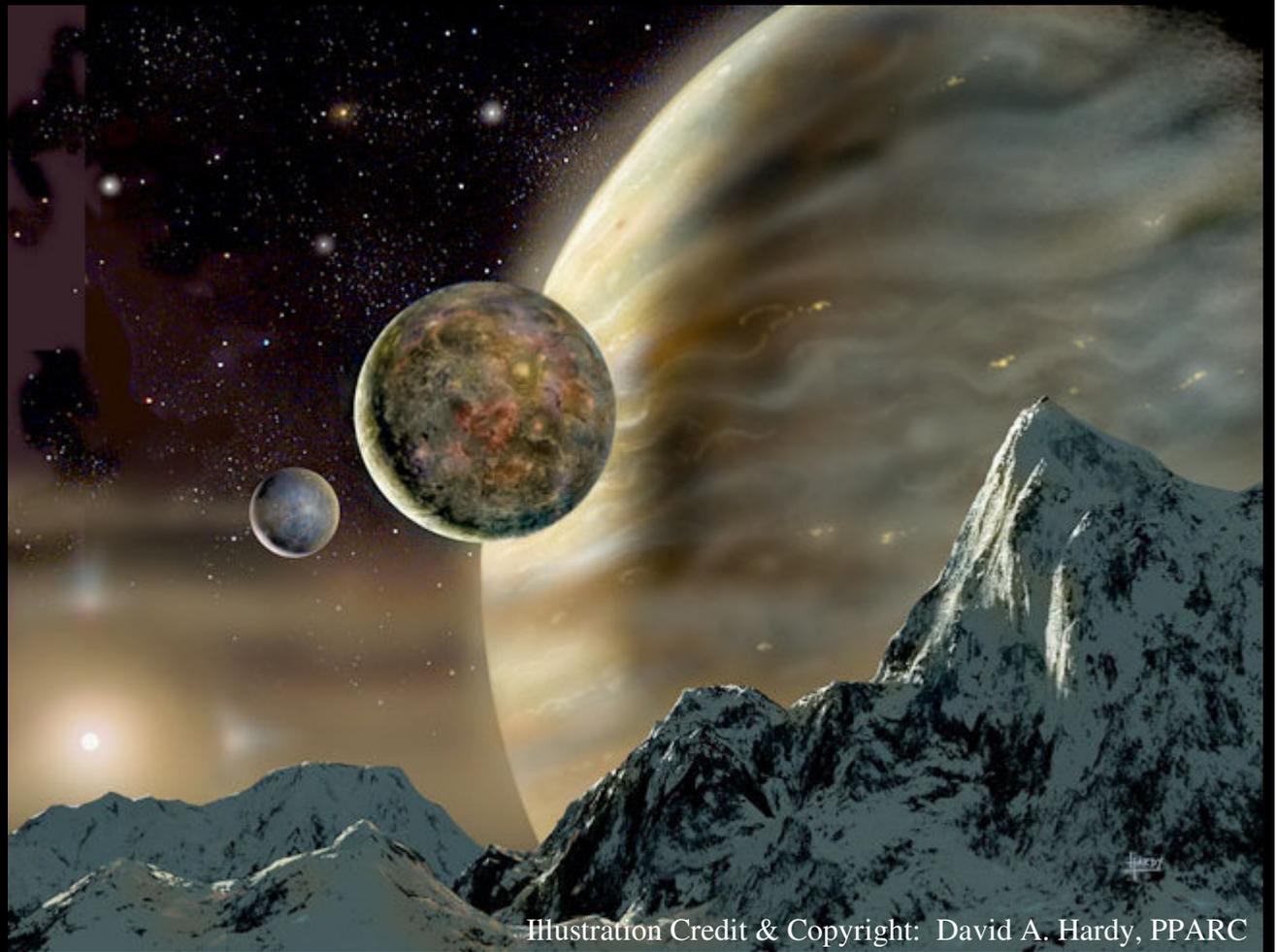


Illustration Credit & Copyright: David A. Hardy, PPARC

# HD 70642, um caso especial ?

## HD70642: A COMPARISON WITH OUR SOLAR SYSTEM

The newly identified system is more like ours than any other so far discovered. Its large planet orbits far away from the star in a near-circular orbit. Do Earth-like planets orbit closer in? Current technology cannot answer this question.

1 AU = 150 million km or 94 million miles

Jupiter orbits  
at 5.2 AU

Earth orbits  
at 1 AU

Mars orbits  
at 1.5 AU

New planet  
orbits at 3.3 AU

Orbital period:  
 $2231 \pm 400$  d  
Eccentricity:  
0.05

AU = Astronomical Unit (Earth-Sun Distance)

[www.solstation.com/star2/hd70642](http://www.solstation.com/star2/hd70642)

Source: PParc

♪ ♪ Acabouuuuu...

C'est finiiii... It's overrrrrr....

Tutto finitoooo... ♪ ♪

