

# Sistema Solar



Sandra dos Anjos

IAGUSP- 2023

<http://www.astroweb..iag.usp.br/~aga210/>

# Visão Contemporânea do Sistema Solar

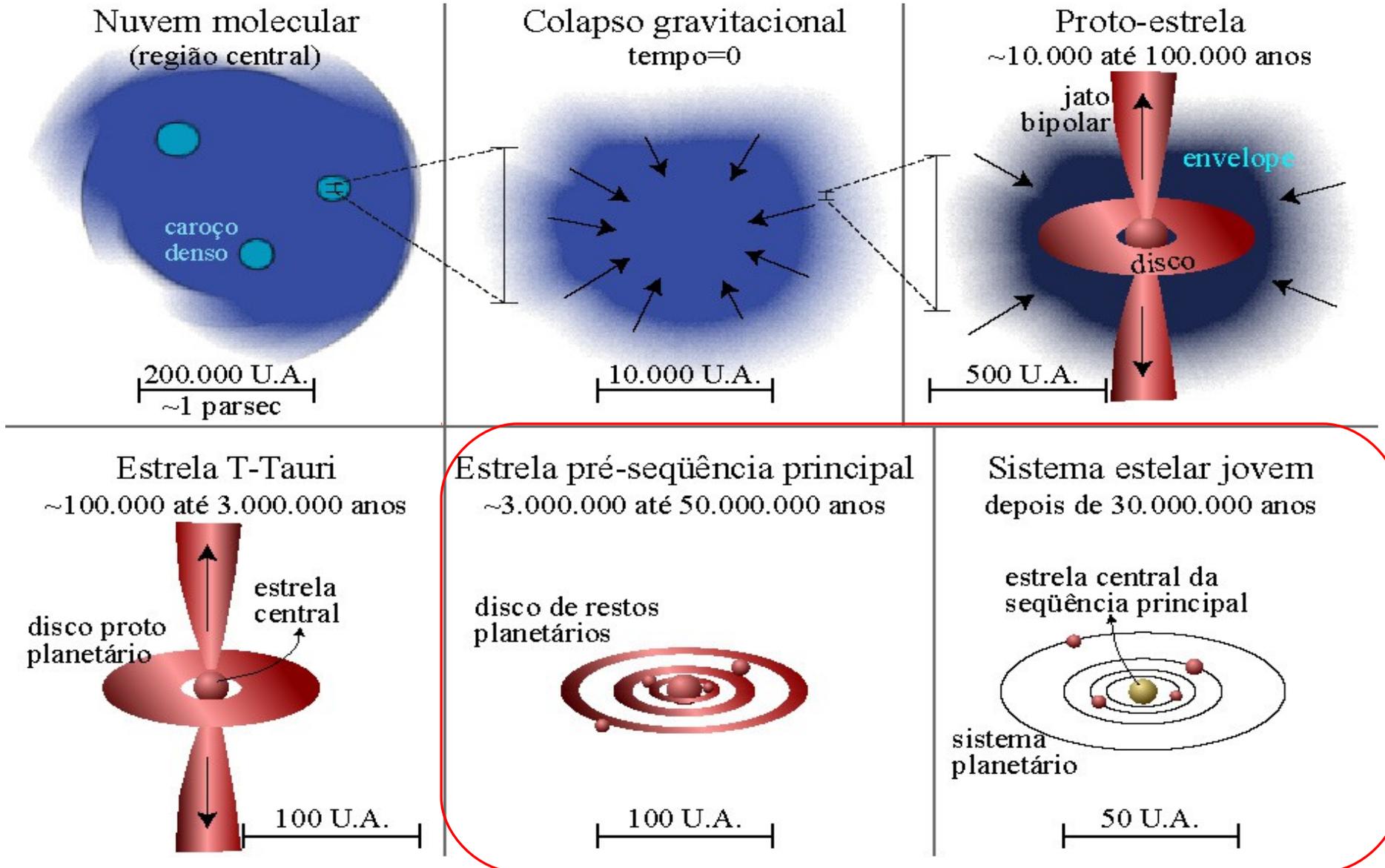
## Estrutura, Dinâmica e Formação

Conteúdo, Localização e Dimensões

Propriedades Estruturais Gerais do Sistema Solar

Estrutura e Características do Sistema Solar Interno e Externo

# Etapas de Formação de Proto-Estrelas até Estrelas e Sistema Planetário



• Baseado em Greene, site do telescópio Spitzer

Já na fase de pré-sequência principal ocorre formação de disco

Estrela pré-sequência principal  
~3.000.000 até 50.000.000 anos

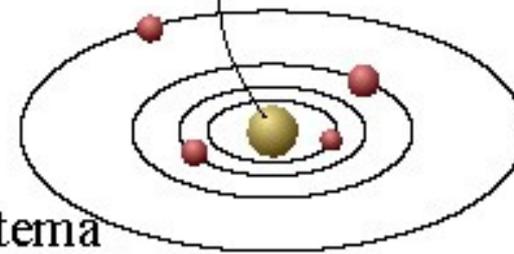
disco de restos planetários



100 U.A.

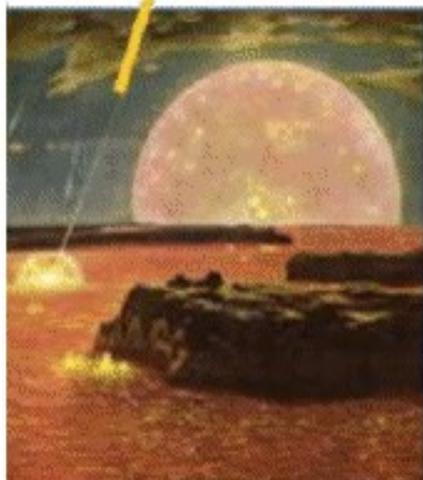
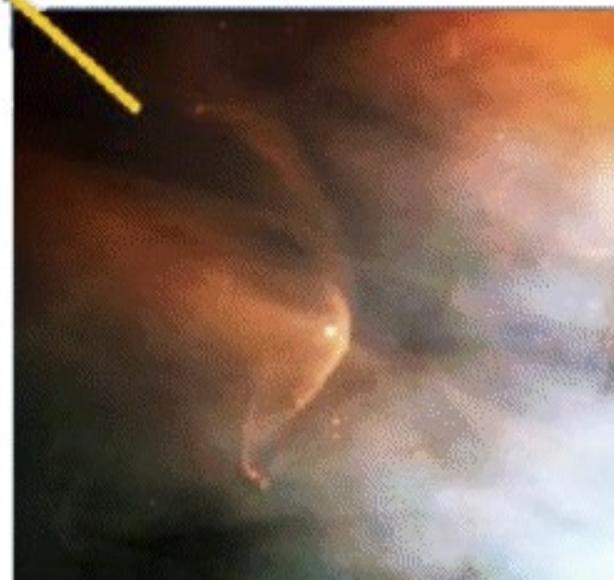
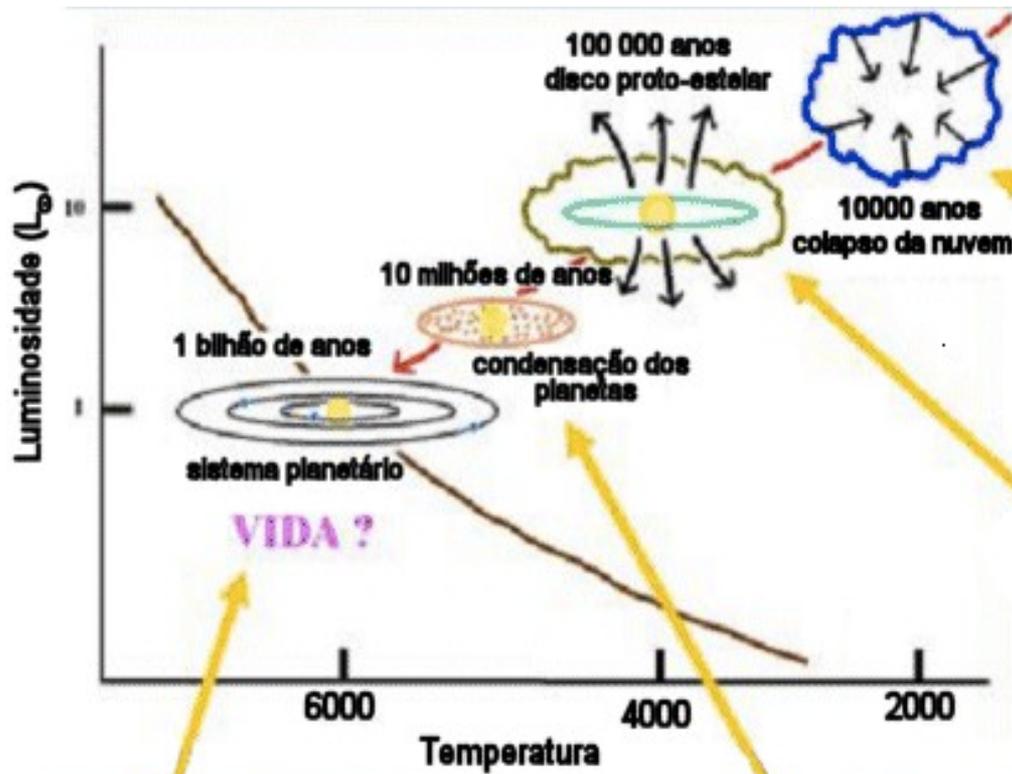
Sistema estelar jovem  
depois de 30.000.000 anos

estrela central da  
sequência principal



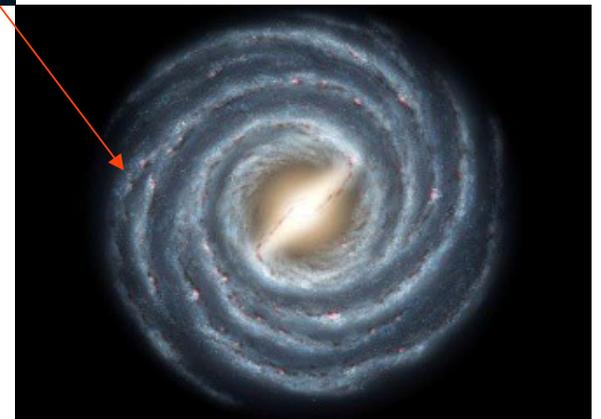
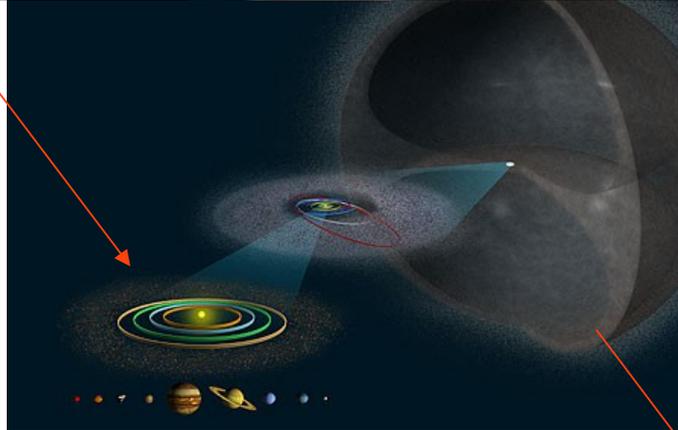
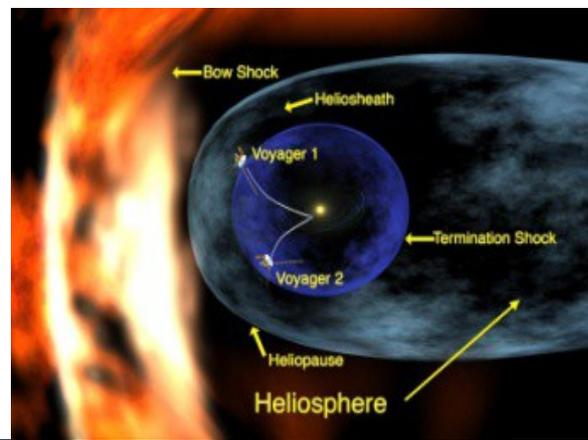
sistema planetário

50 U.A.



# Contração da Nuvem Molecular formação de estrelas e condensação de planetas

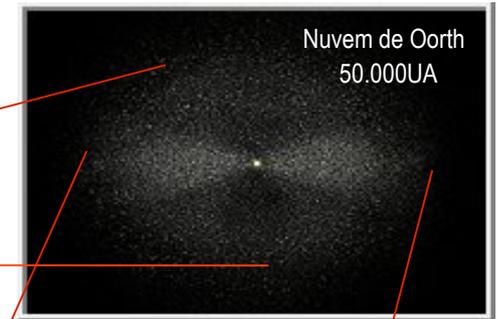
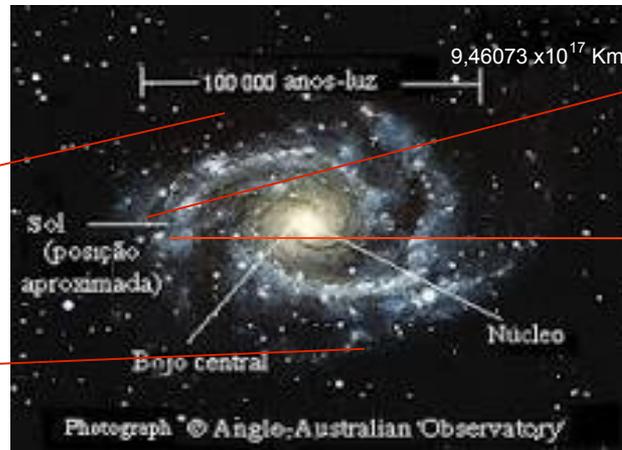
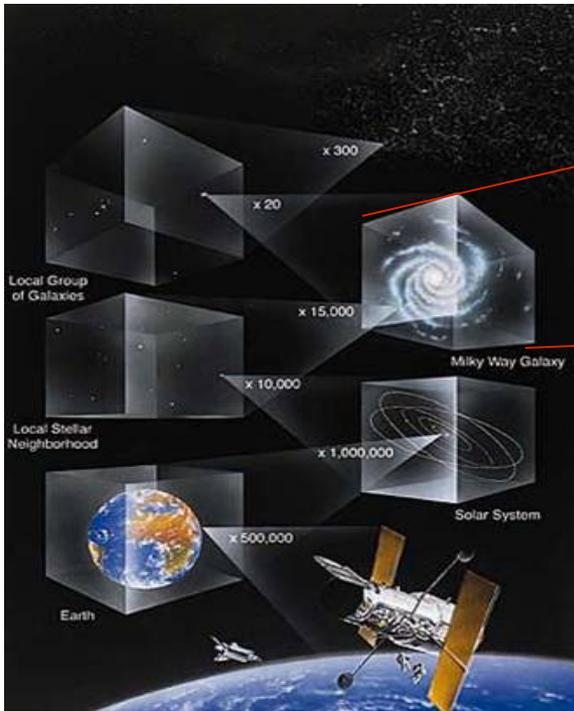




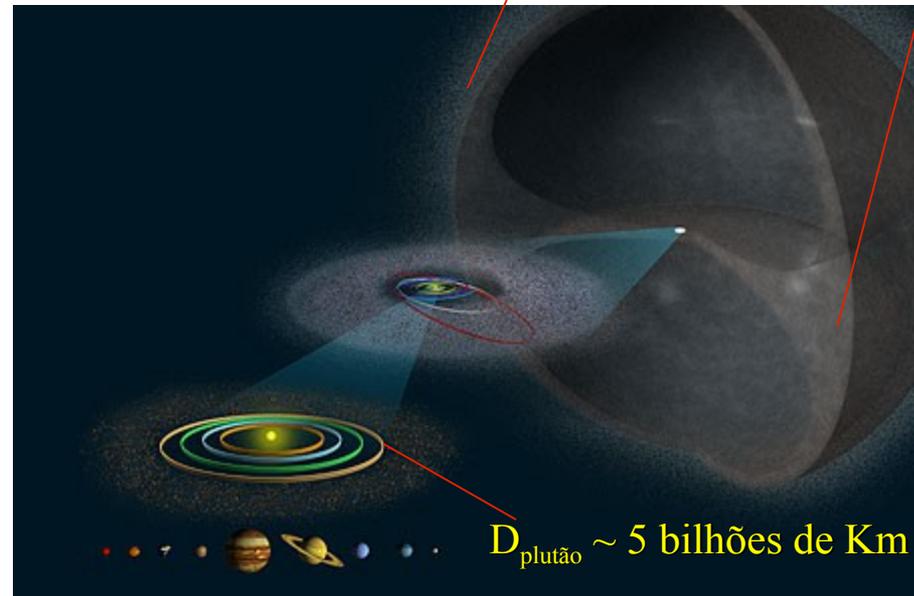
Localização do Sistema Solar na Galáxia

# Visão Contemporânea do Sistema Solar

LOCALIZAÇÃO: entre os braços espirais da Via-Láctea, que pertence ao Grupo Local, que por sua vez faz parte do Superaglomerado Local....

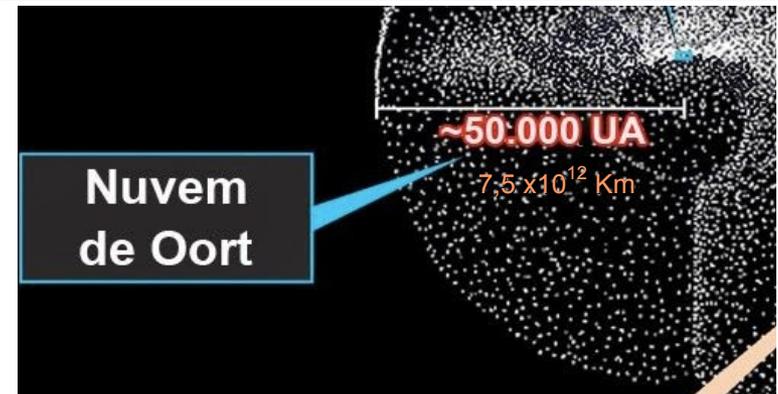
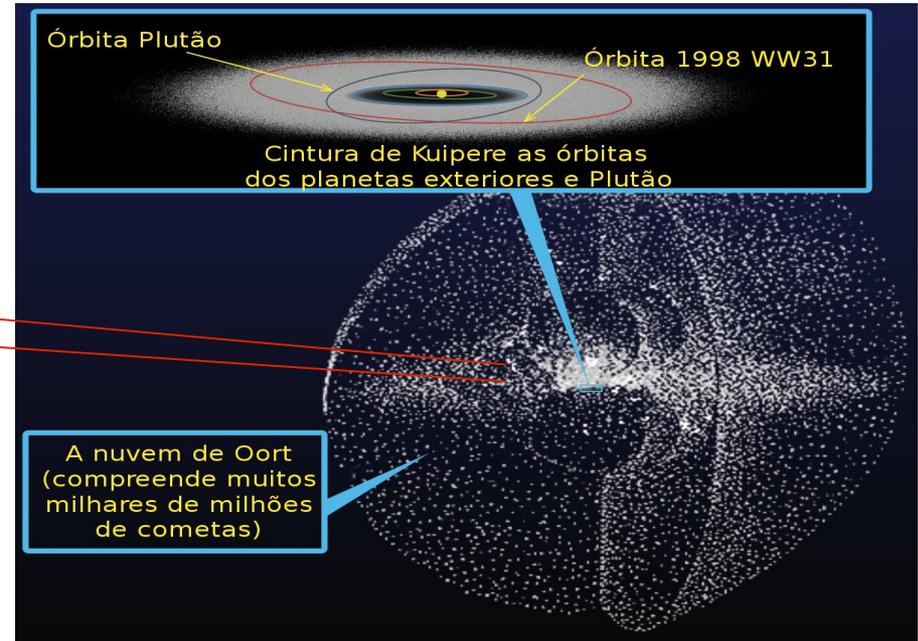
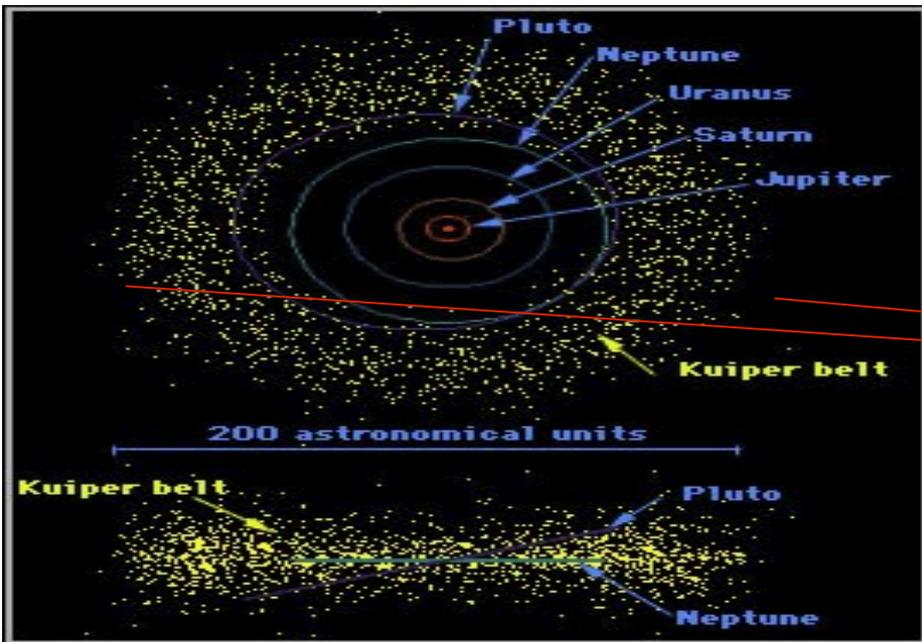


1 UA = 150 milhões Km = D<sub>terra-Sol</sub>  
1 al =  $9,5 \times 10^{12}$  Km  
1 al = 63.200 UA  
1 pc = 3,26 a.l



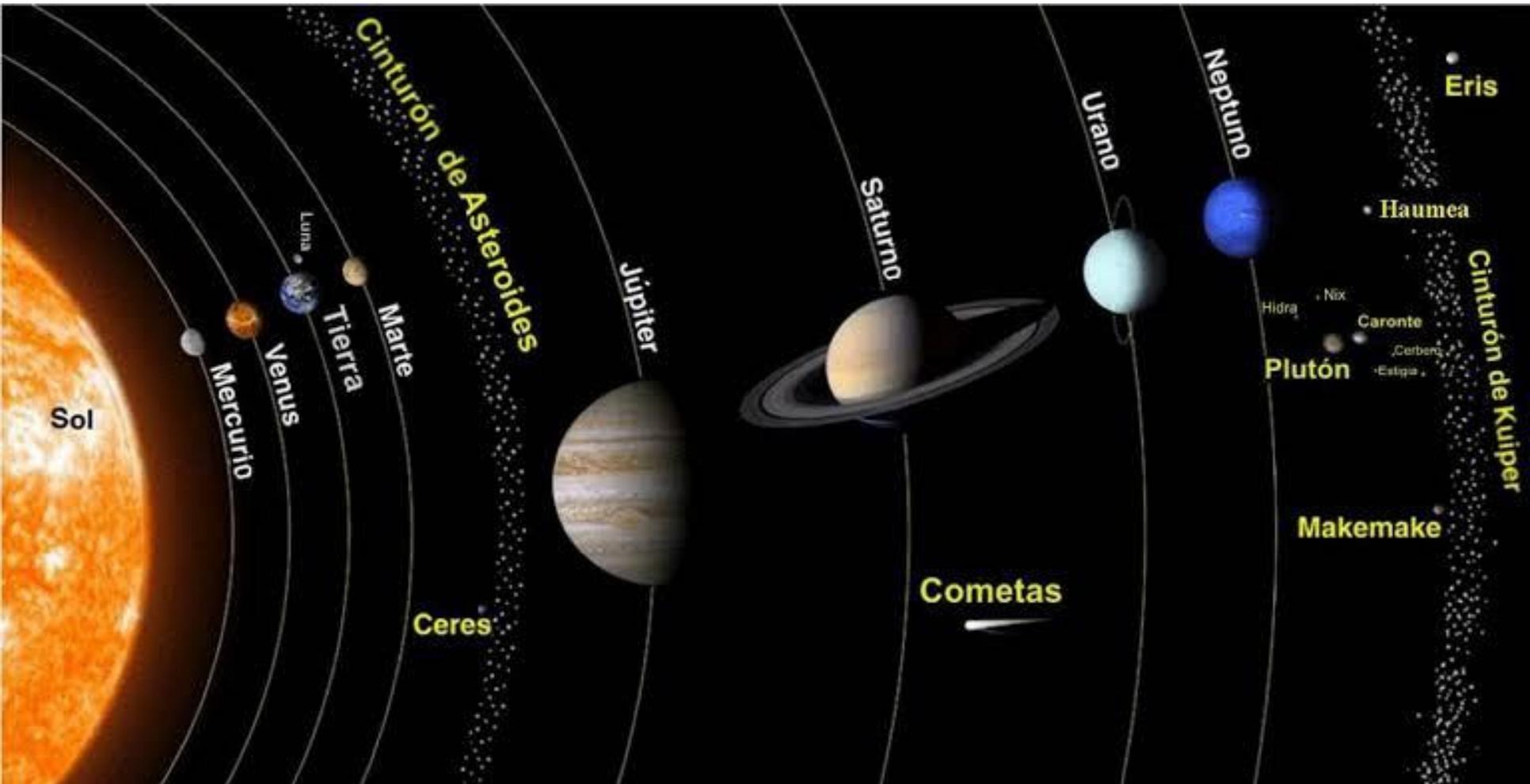
# Visão do plano do Sistema Solar

## Cinturão de Kuiper e Nuvem de Orth

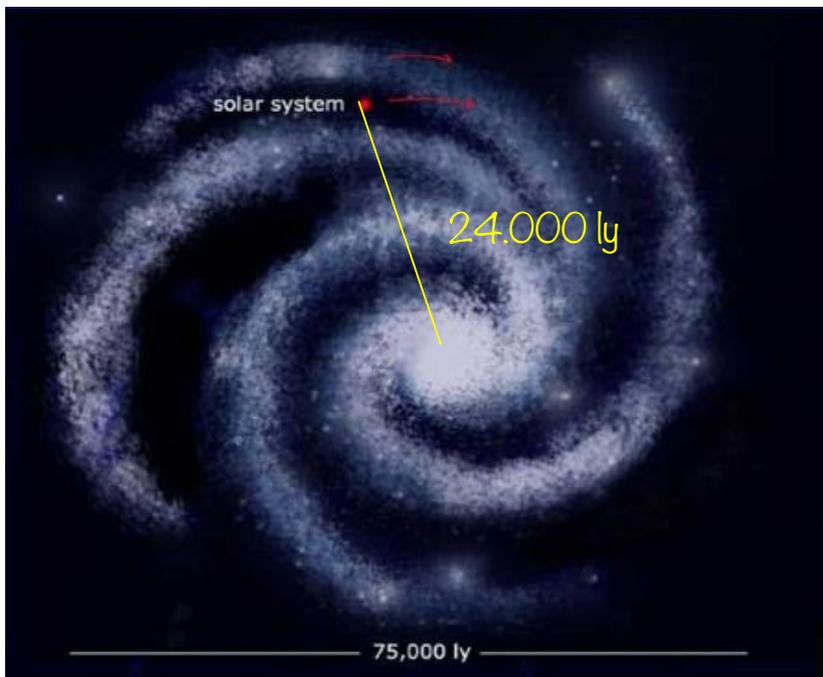


# Estrutura Geral

Sol, 8 planetas (internos e externos), cinturões de Asteróides e de Kuiper...



Estrutura Interna inclui **4 planetas** rochosos e o Cinturão de Asteróides  
Estrutura externa inclui os **4 planetas gasosos** o cinturão de Kuiper e a Nuvem de Orth...

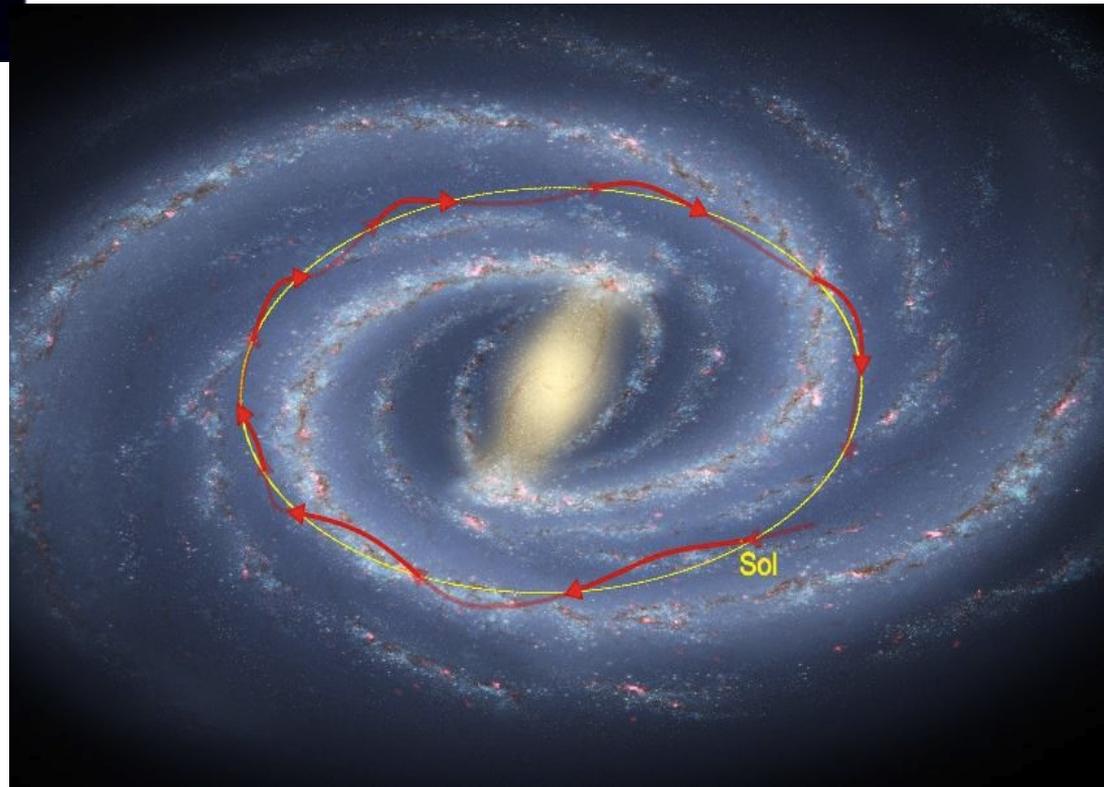


A Via-Láctea se movimenta dentro do Grupo Local, e este por sua vez também se movimenta...

O Sol se encontra a uma distância de 8,5 Kpc do centro da Via-Láctea.

Se movimenta na direção vertical e horizontal do disco -->

Realiza movimento de translação em torno do centro galáctico, a uma velocidade de 220 km/s e completa esta volta em um período de 225 milhões de anos. Até o momento realizou da ordem de 20 voltas...



# Visão Contemporânea do Sistema Solar

A visão atual que temos sobre a Estrutura, Formação e Dinâmica do Sistema Solar está fundamentada em informações obtidas por 4 vias:

## **1a- Matemática (álgebra, geometria, etc...)**

Exemplo: paralaxe p/ determinação de distâncias entre objetos no Sistema Solar  
Distância Terra-Sol = 150.000.000 Km ou 1 Unidade Astronômica (1UA)  
(ver L3 – exercícios de aplicação)

## **2a- Observações Diretas**

Sondas espaciais, meteoros, cometas, asteróides...

## **3a- Gravitação (Leis da Física) → dinâmica do Sistema Solar**

Galileu, Leis de Kepler e Leis de Newton

## **4a- Radiação Eletromagnética**

**Imagens** – permitem teorizar sobre processos que ocorrem na superfície de planetas, por ex.....

**Espectros** – permitem avaliar composição química da atmosfera dos planetas, etc...

# 1a via - Estimativas de Distância

Na atualidade utiliza-se radares/lasers para estimativas de distância no Sistema Solar

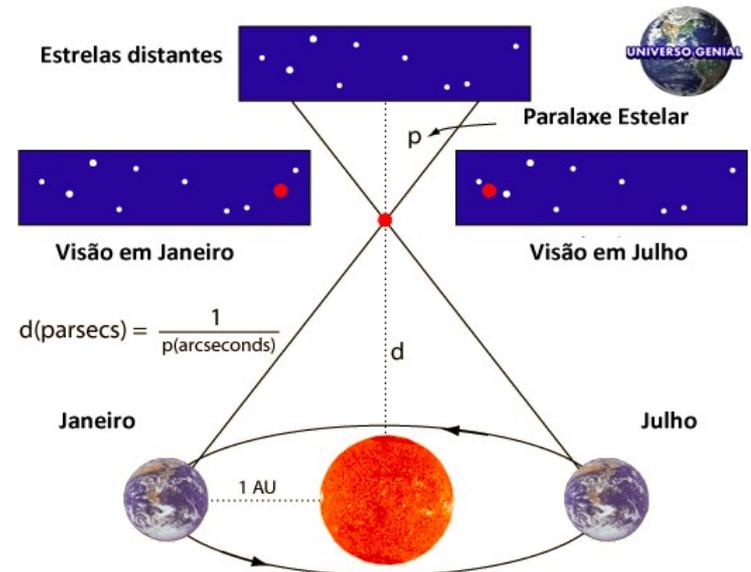
Na antiguidade utilizava-se método trigonométrico para estimativas de distância inacessíveis

Métodos de triangulação para medir distâncias envolvem o conceito de paralaxe

**Paralaxe:** alteração da posição aparente de um objeto devido ao movimento do observador, permite obter **via triangulação a distância do objeto,...**



Mesmo conceito aplicado na Astronomia...

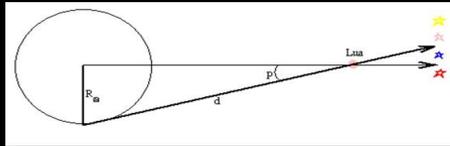


## 2 caminhos para se obter distâncias:

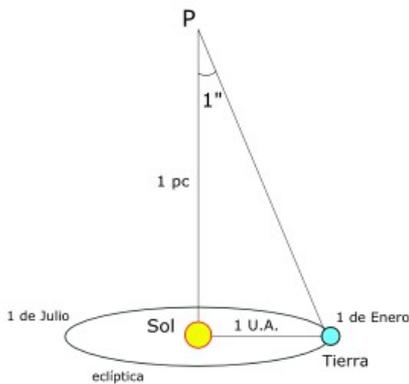
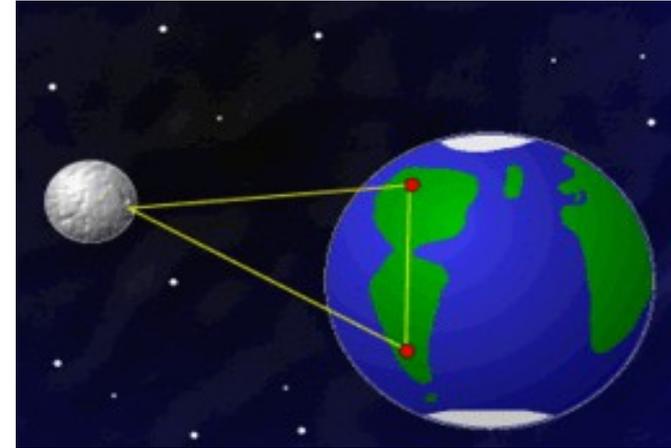
PARALAXE GEOCÊNTRICA E HELIOCÊNTRICA,  
e que dependem da linha de base...

### Paralaxe Geocêntrica:

leva em consideração os efeitos de visão dentro da própria Terra.



--> linha de base  
é a Terra



--> linha de base é a distância Terra-Sol

## Paralaxe Heliocêntrica

## 2a via: Observações Diretas – Missões Espaciais

**Sondas:** naves não tripuladas utilizadas para observações remotas de planetas, satélites, asteróides ou cometas.

Equipadas com recursos como telemetria para estudos físico-químicos, fotométricos, entre outros como veremos. Existem vários tipos a depender dos objetivos científicos.

**Sobrevoo (flyby):** sonda que passa próxima a um astro e o analisa com seus instrumentos

**Orbitador (orbiter):** sonda que entra em órbita de um astro, passando a funcionar como um satélite artificial do mesmo

**Impacto:** sonda que é colidida com um astro, fazendo análises durante a aproximação ou colisão a ele

**Aterrissadora (lander):** sonda que pousa num astro analisando-o “in loco” muitas vezes levando consigo uma sonda veicular

**Veicular (rover):** sonda com capacidade de locomoção para analisar uma área maior de um astro

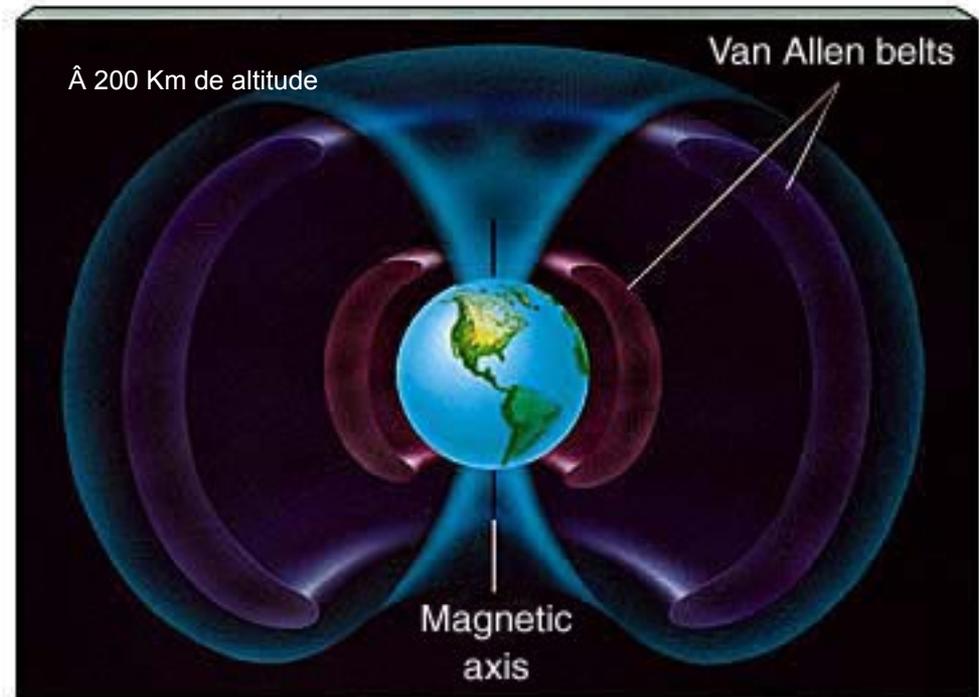
**Observatório:** sonda com capacidade telescópica, que pode atuar em **uma ou mais faixas do espectro eletromagnético**, para efetuar observações astronômicas, geofísicas e espectrais, sem as distorções provocadas pela atmosfera terrestre.

# Alguns experimentos realizados via sonda e algumas descobertas...

## Explorer 1 à 5: 1958

1º- Detecção de raios cósmicos

2º- Descoberta do Cinturão de Van Allen região em torno da Terra onde o movimento de partículas carregadas é governado fundamentalmente pelo campo da Terra



## Missões Pioneers (1958-1960; 1965-1978)

...1a fase: alcançar a velocidade de escape para ir ao espaço

...2a fase: estudar “Sistema Solar Interior”

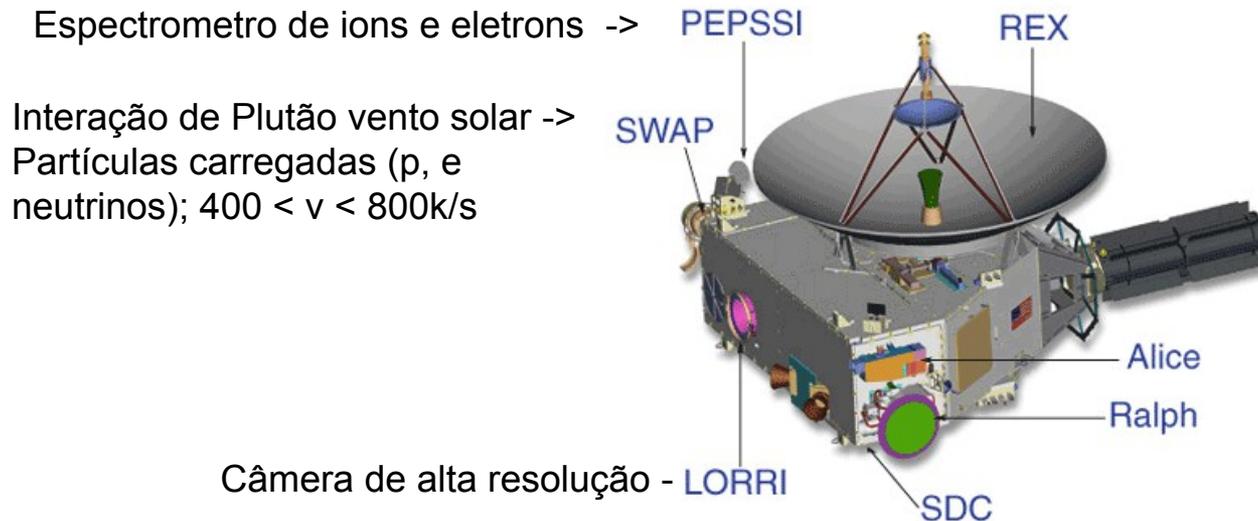


- Missões Pioneers: de 0 a 3: fracassadas no lançamento
- Pioneer 4 – tipo “flyby”, primeira a alcançar a velocidade de escape
- Pionners 10 e 11 → desenhadas para explorações planetárias dos planetas externos e depois para deixar o Sistema Solar

# Sonda New Horizon (2006) - missão Plutão-Caronte e Cinturão de Kuiper

...tipo "flyby" - a mais complexa viajando no SS e atualmente em curso...

Custo U\$ 700 milhões



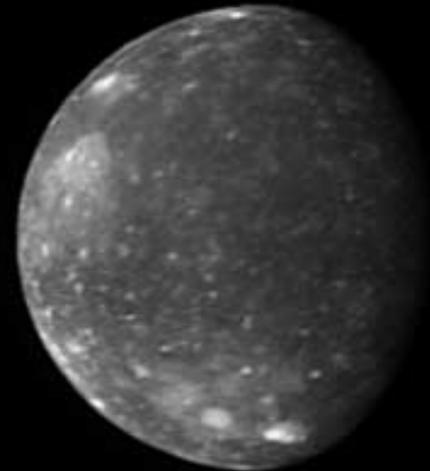
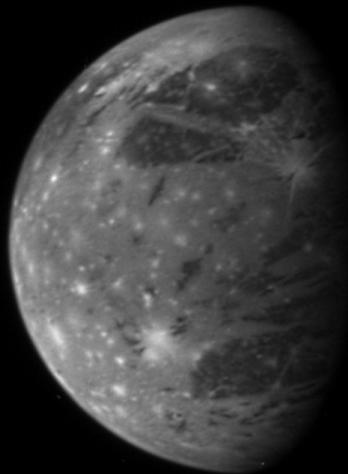
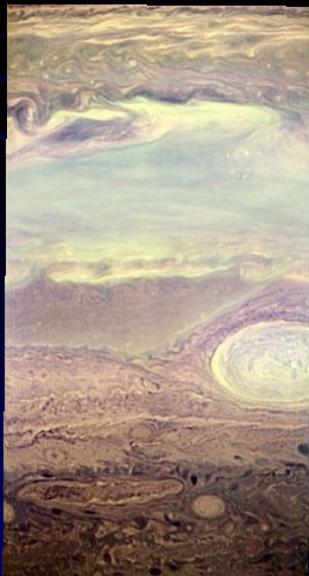
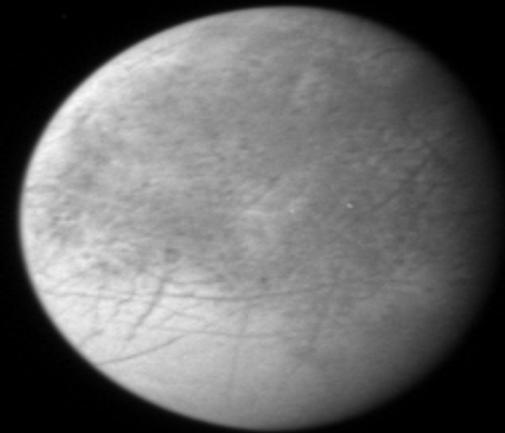
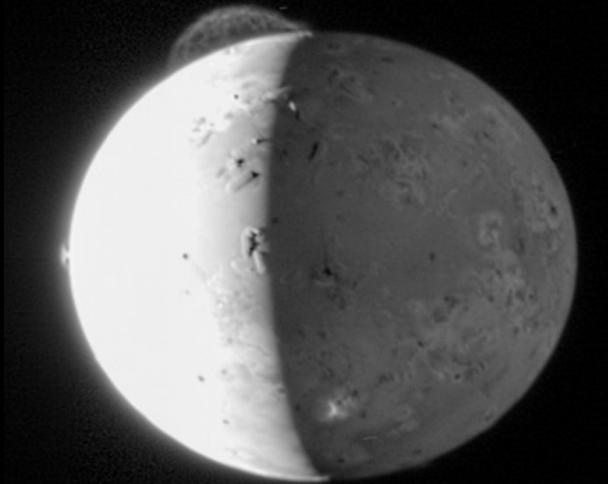
Equipada com foguete monopropulsor; gerador termoelétrico de radioisótopos; antena parabólica de 2,5 metros de diâmetro; propelente hidrazina.

Comunicações com a sonda deverão ser efetuadas na banda X da faixa de micro-ondas; transferência de dados deverá ser de 1 a 2 KByte/s para se comunicar com as antenas de espaço profundo de 70 metros de diâmetro da NASA.

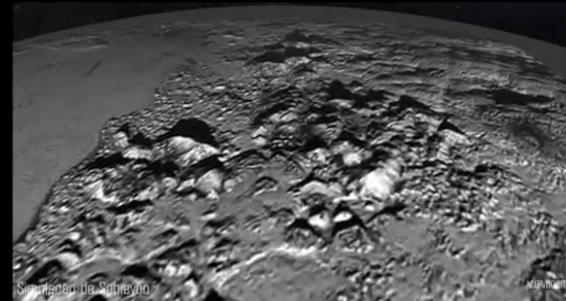
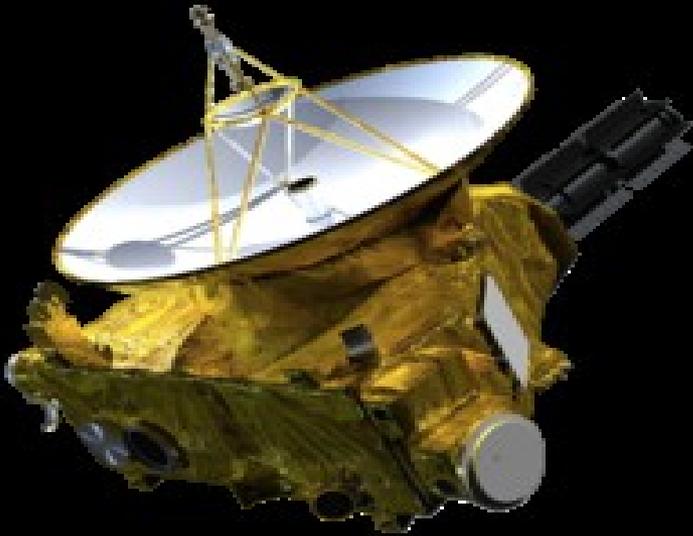
Navegação realizada com câmeras voltadas para as estrelas-guia estão montadas nas laterais da sonda

# Passagens por Marte, Júpiter e Arrokot (asteróide)

Júpiter e Io, Io, Europa, Ganímedes, Calisto  
Júpiter e as luas galileanas fotografadas pela New Horizons durante o sobrevoo.



A sonda sobrevoou Plutão em 14 de julho de 2015 (fotos abaixo), após nove anos e meio de viagem interplanetária, alcançando o seu ponto mais próximo da superfície do planeta, cerca de 12 500 km de distância, às 12h49min UTC, a uma velocidade de 45 000 km/h.



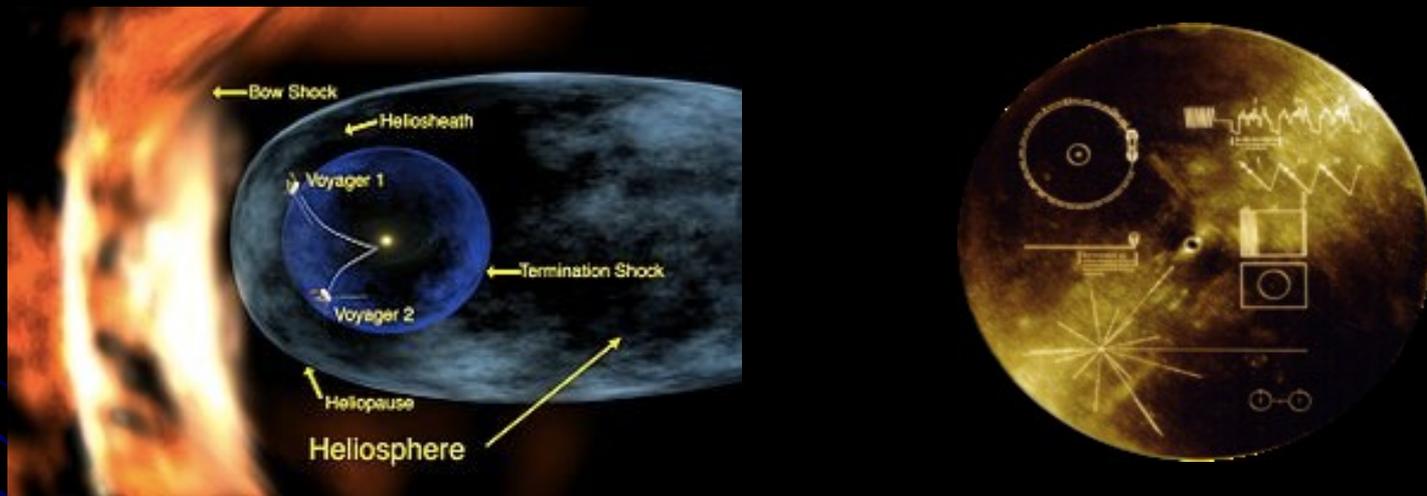
## Objetivos Científicos:

Caracterizar globalmente a **geologia, morfologia, composição atmosférica e de superfície, bem como a interação com o vento solar**. Os mesmos objetivos em relação a sua lua Caronte, e depois dirigiu-se ao Cinturão de Kuiper e confins do Sistema Solar, se encaminhando para fora dos limites da Heliosfera.

Os primeiros dados enviados da atmosfera mostraram que ela é composta principalmente de **nitrogênio** e, mais próximo à superfície, de **metano**

As Voyagers 1 e 2 são sondas altamente sofisticadas e são os objetos feitos pelo homem que se encontram mais distante da Terra. Lançadas em 1977, a Voy-1 ultrapassou os limites do Sistema Solar em 09/2013 atingindo uma **distância da ordem de 20 bilhões de km**, a uma velocidade de 61920 km/h - a mais rápida até hoje, mergulhando posteriormente no Meio Interestelar.

Viajando a 43 anos e ainda recebendo comandos de rotina da Terra continua transmitindo dados, mas a previsão é de que a comunicação com a sonda se perca por volta da década de 2020.



As duas sondas carregam um disco revestido de ouro, com informações sobre nossa civilização contendo 115 imagens, entre elas a do Cristo Redentor no Brasil, a Grande Muralha da China, pescadores portugueses, entre outras. Possui também arquivos de 35 sons naturais (vento, pássaros, água, etc.) e saudações em 55 línguas, incluindo em língua portuguesa, feita por Portugal e pelo Brasil. Foram também incluídos excertos de música étnica, de obras de Beethoven e Mozart, e "Johnny B. Goode" de Chuck Berry.

Vejam neste link as sondas que estão no momento  
enviando dados...

<https://eyes.nasa.gov/dsn/dsn.html>

# Cometa Tempel 1

Pouco conhecido mas significativo do ponto de vista dos objetivos da missão... "Impacto Profundo – Missão NASA"



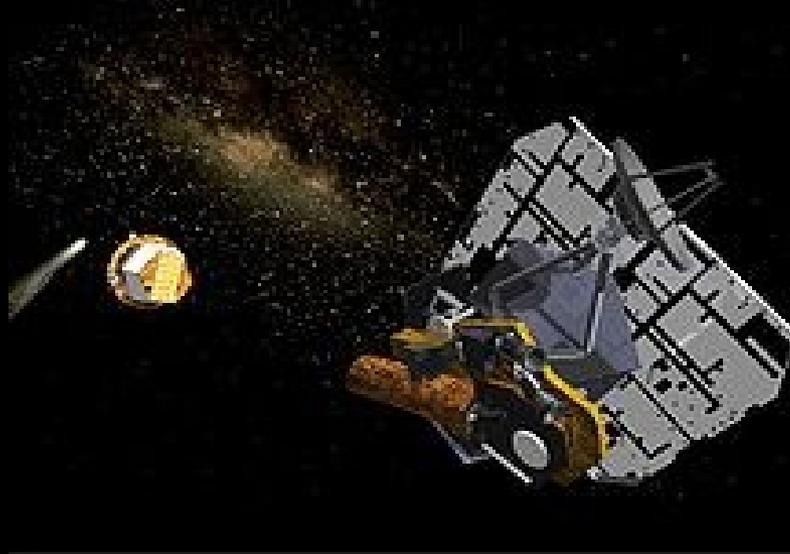
**Objetivos Científicos:** dados sobre a formação primitiva do S.Solar, a composição química do núcleo cometário bem como o interior e superfície, estimativa de massa, entre outros.

**Objetivos Técnicos:** atingir o cometa com um projétil; observar as estruturas da cratera; observar a composição do interior e dos jatos subsequentes ao impacto; observar o comportamento do gás após impacto...

# Impacto Profundo (2005)

## Missão Nasa

Nave com sondas gêmeas - "Impactor" e a sonda "Flyby" que observou o impacto." Projétil" lançado a uma distância de 864.000 km a uma velocidade de 40.000km/h para atingir uma área de 6 Km<sup>2</sup>



Circula entre Marte e Júpiter

Escolhido por ter uma janela de 2 anos, tamanho suficiente para sustentar o impacto, e lento para facilitar o impacto

Nave = sondas Impactor + orbitadora  
Massa da Sonda = 601 Kg  
Custo U\$ 330 milhões

Antena

Painel Solar

Telescópio  
de 30 cm  
de diâm.



Impactador



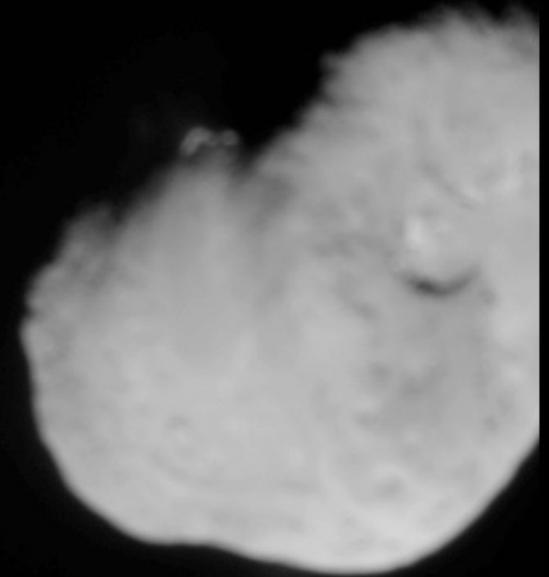
Massa de cobre pertencente ao impactador = 320 Kg

Principal instrumento científico da Missão. Fornece luz visível para a câmera fotográfica multiespectral e envia ao espectrometro a luz infravermelha captada .

# O Registro do Impacto

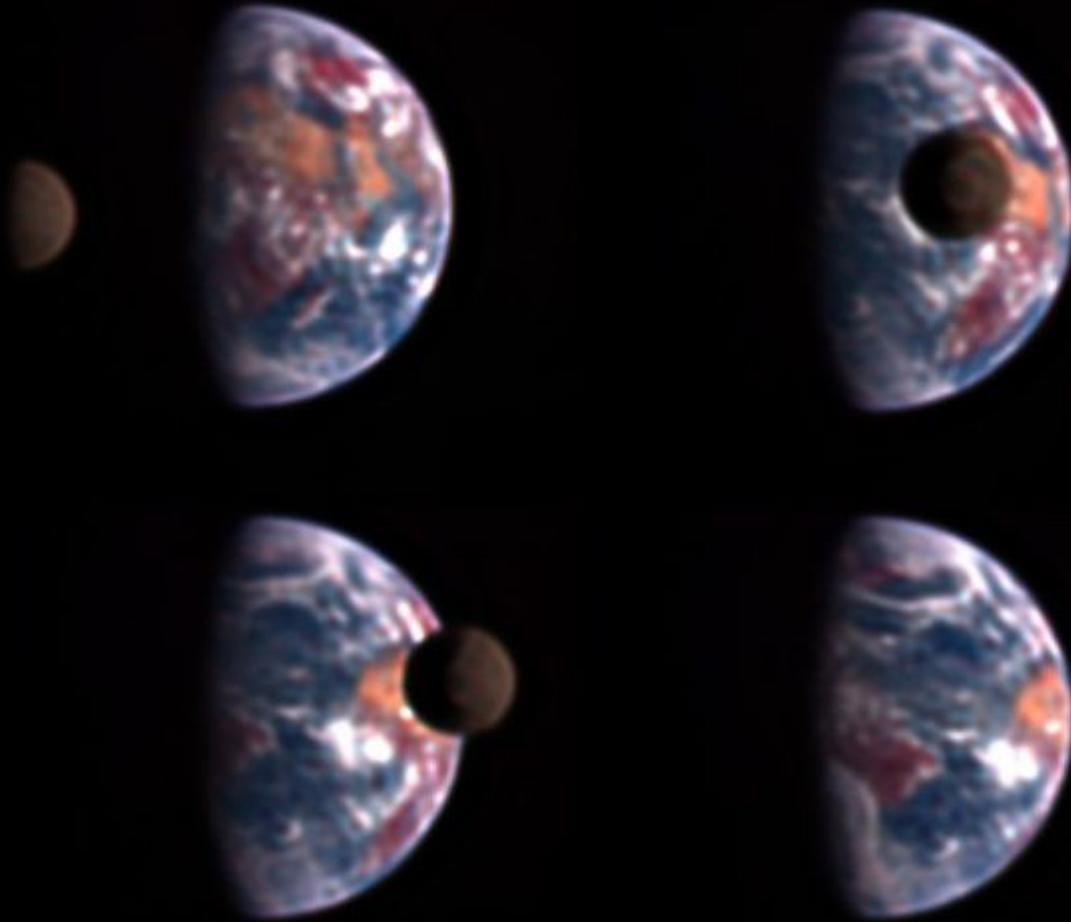
04/07/2005 as 02hs52m (horário Brasília)

Maior desafio foi o de acertar um alvo de 6 km<sup>2</sup> de área, a uma distância de 864.000 km a uma velocidade de 40.000 km/h



Entre os objetivos científicos encontram-se a estimativa da massa, composição química da superfície e interna

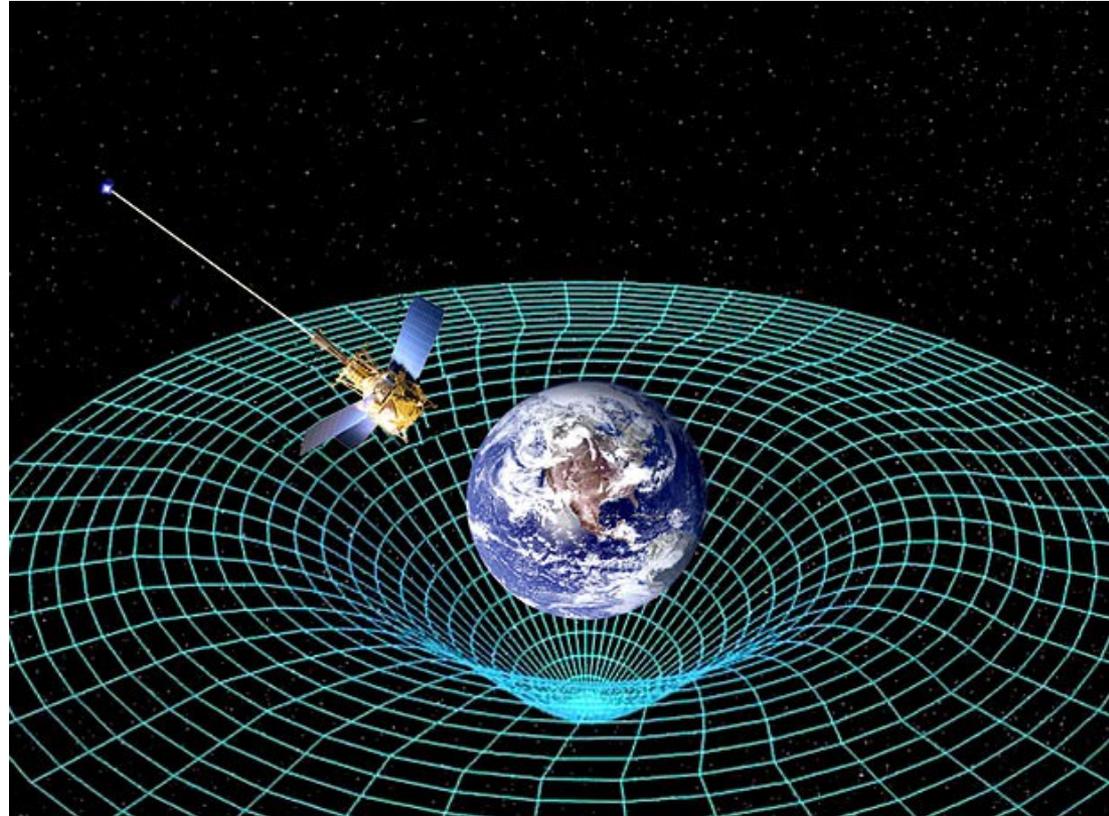
# Terra e Lua vistos da Sonda-"flyby"



## Outros exemplos - Sonda Gravity Probe B (GP-B)

- - 40 anos de preparação
- - Lançada em 2004
- 4 Giroscópios de alta tecnologia

"os giroscópios experimentaram mudanças mensuráveis na direção de seu giro à medida que eram atraídos pela gravidade da Terra"



As tecnologias criadas para desenvolver a sonda gravitacional foram utilizadas posteriormente para elaborar os [Sistemas de Posicionamento Global \(GPS\)](#) e o cálculo da [radiação de fundo do Universo](#).

Considerando as vias de informação que acabamos de ver e lembrando das contribuições da gravitação (Leis de Movimento de Newton, Leis de Kepler do Movimento Planetário), das informações trazidas pelas sondas, algumas ainda em operação e da análise da luz via imagens e/ou espectros, chega-se a “ Visão Contemporânea do Sistema Solar”, como veremos a seguir....

# Estrutura, Movimento e Dinâmica do Sistema Solar

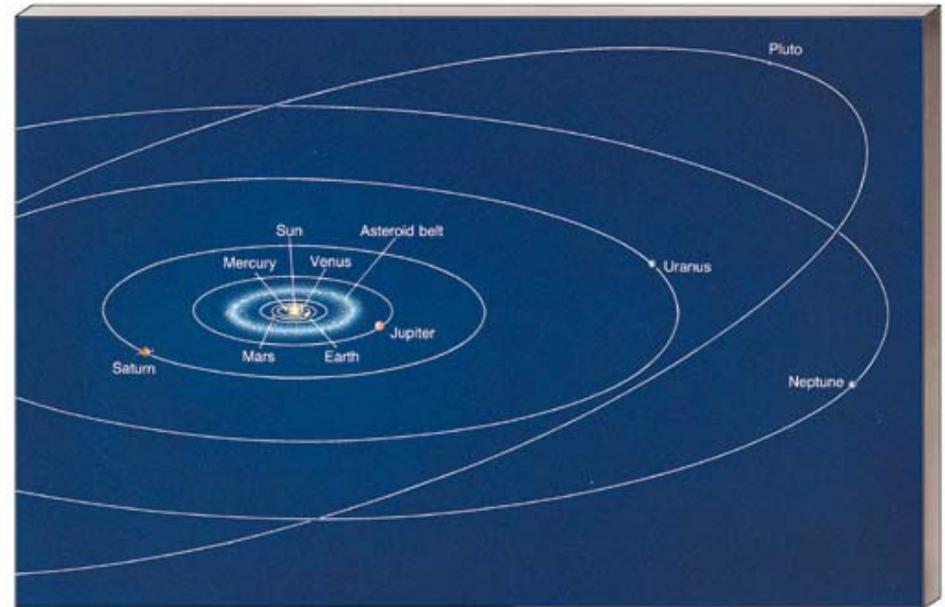
**Estrutura geral** em forma de disco, planetas em órbitas elípticas e aproximadamente alinhadas.

Devido a enormes diferenças entre as propriedades gerais dos planetas, distingue-se para fins de estudo:

**Estrutura Interna** do Sistema Solar, que abriga planetas terrestres, ou telúricos ou rochosos.

**Estrutura Externa** c/ os planetas gasosos ou jovianos.

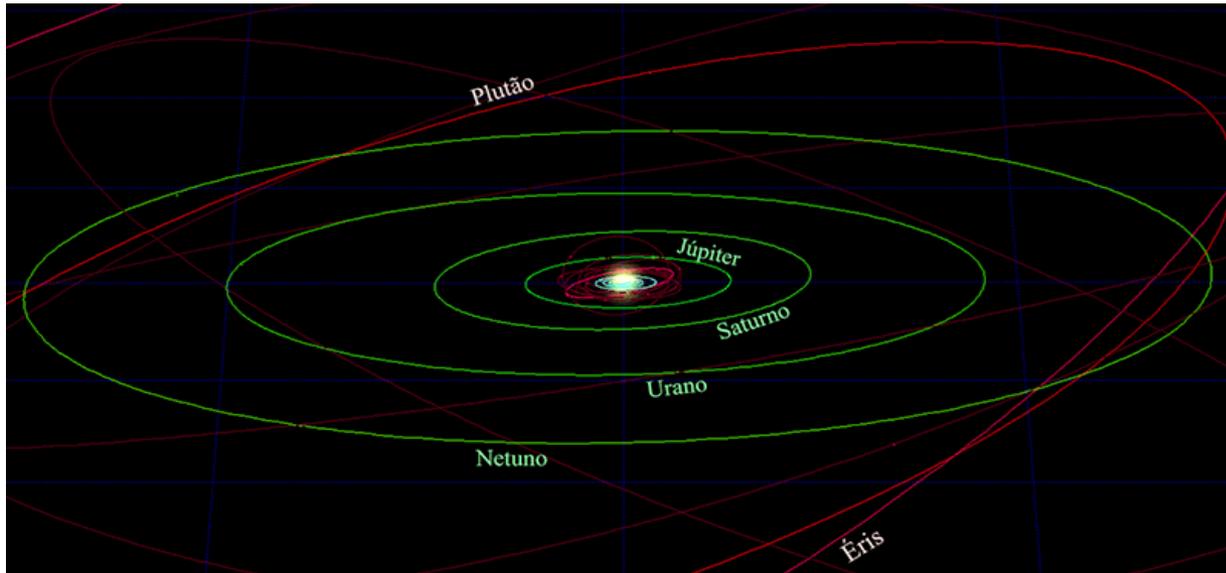
Tds planetas orbitam, e a maioria dos satélites  $t^{bem}$ , na **mesma direção anti-horária**, na mesma direção de rotação do Sol.



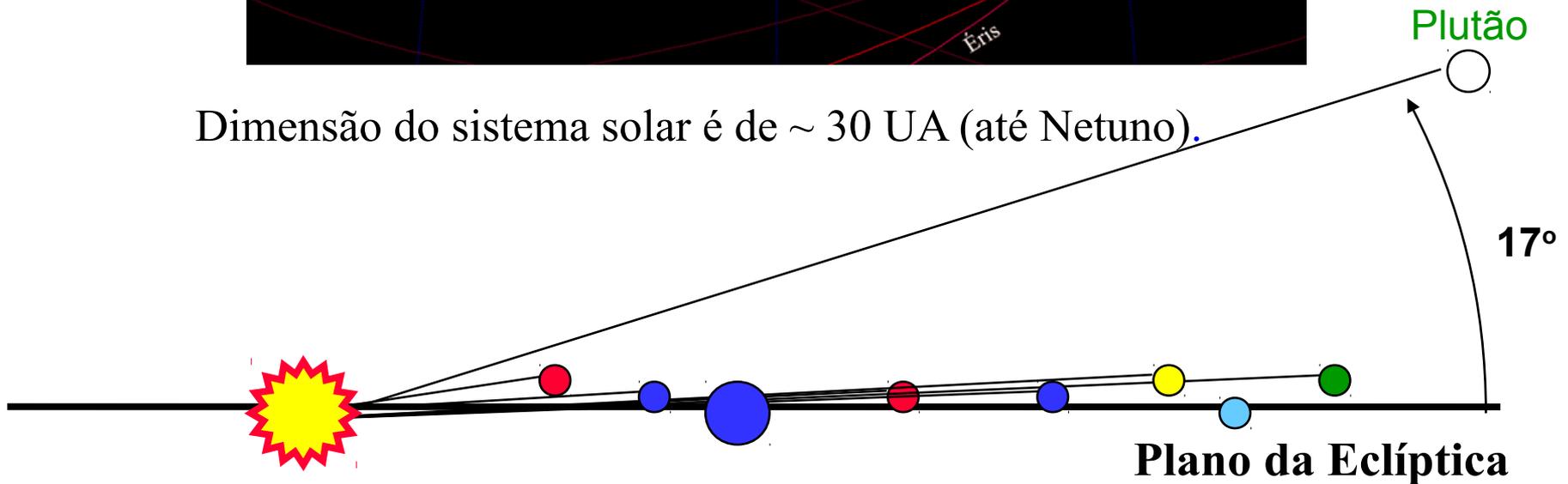
Estrutura interna do Sistema Solar

# Órbitas (quase) coplanares dos planetas

As órbitas dos planetas estão praticamente no mesmo plano.



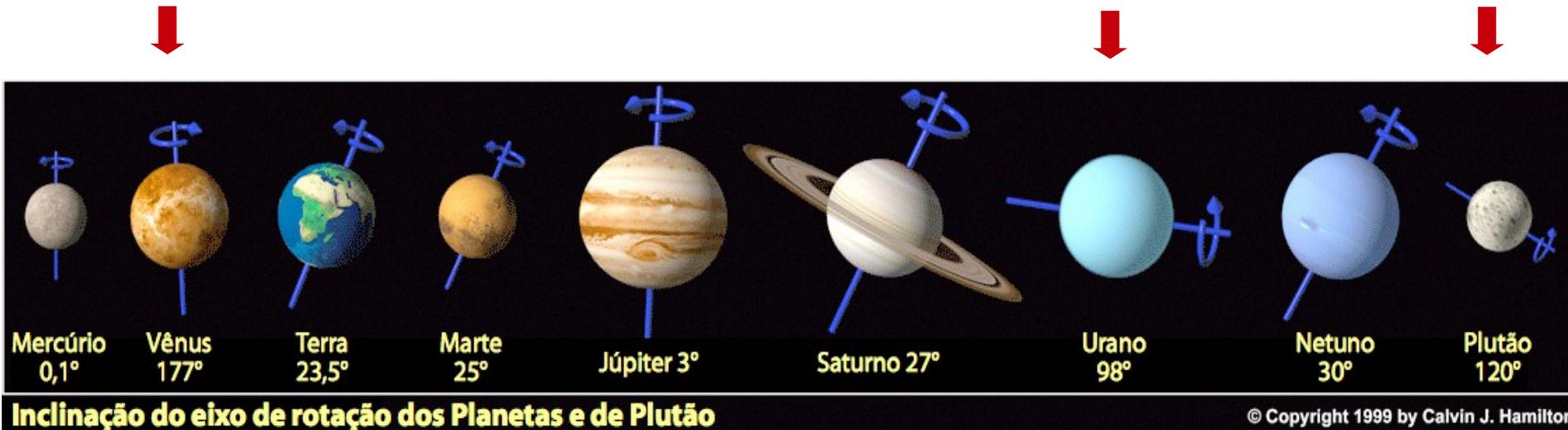
Dimensão do sistema solar é de  $\sim 30$  UA (até Netuno).



## Estrutura, Movimento e Dinâmica do Sistema Solar

A direção de rotação no sentido anti-horário de quase tds os planetas e satélites é na mesma direção do movimento orbital geral (...ou de translação em torno do Sol).

Eixo rotação da maioria dos planetas é **aproximadamente** perpendicular ao plano da órbita, c/ exceção de Vênus, Urano e Plutão, cuja inclinação do eixo de rotação é maior do que  $90^{\circ}$



# Conteúdo

**Sol:** Estrela 5ª grandeza, tipo espectral G2, astro mais importante do ponto de vista da luminosidade e massa (L, M).

**Planetas clássicos:** 8 (M, V, T, M, J, S, U, N)  
(Plutão obj trans-netuniano ou plutoniano)

**Planetas anões:** pelo menos 4 (Plutão, Ceres, Vesta, Sedna, outros...)

**Satélites:** mais de 250

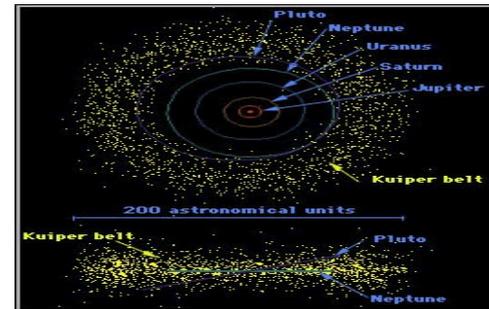
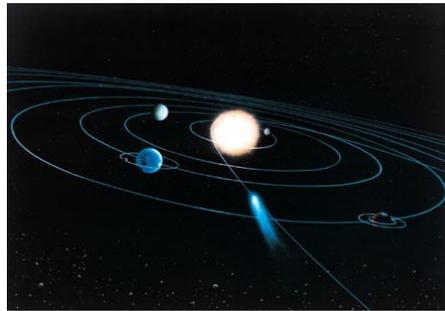
**Pequenos corpos ou corpos interplanetários**  
(asteróides, cometas, meteoróides, gás tênue e pequenas partículas de poeira)



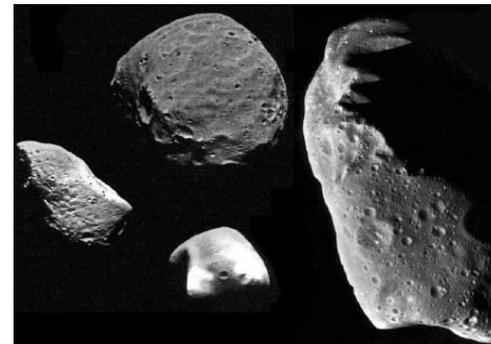
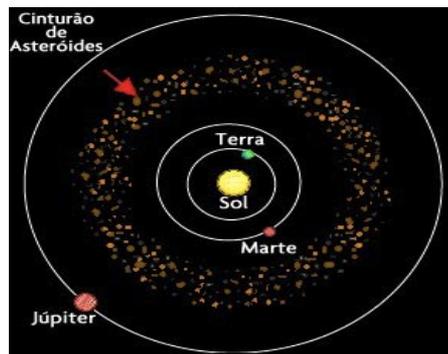
# Definindo e Caracterizando o Conteúdo do Sistema Solar

## Corpos Interplanetário

**1. Cometas** -> pequenos corpos com composição de gelo e poeira, originários do **cinturão de Kuiper** e da nuvem de Oort e que, devido a instabilidades, são lançados para a região interna do sistema. Com órbitas elípticas ao redor do Sol, quando se aproximam do Sol vaporizam gerando **cauda+cabeleira**, que se alonga na direção oposta ao movimento que realiza.

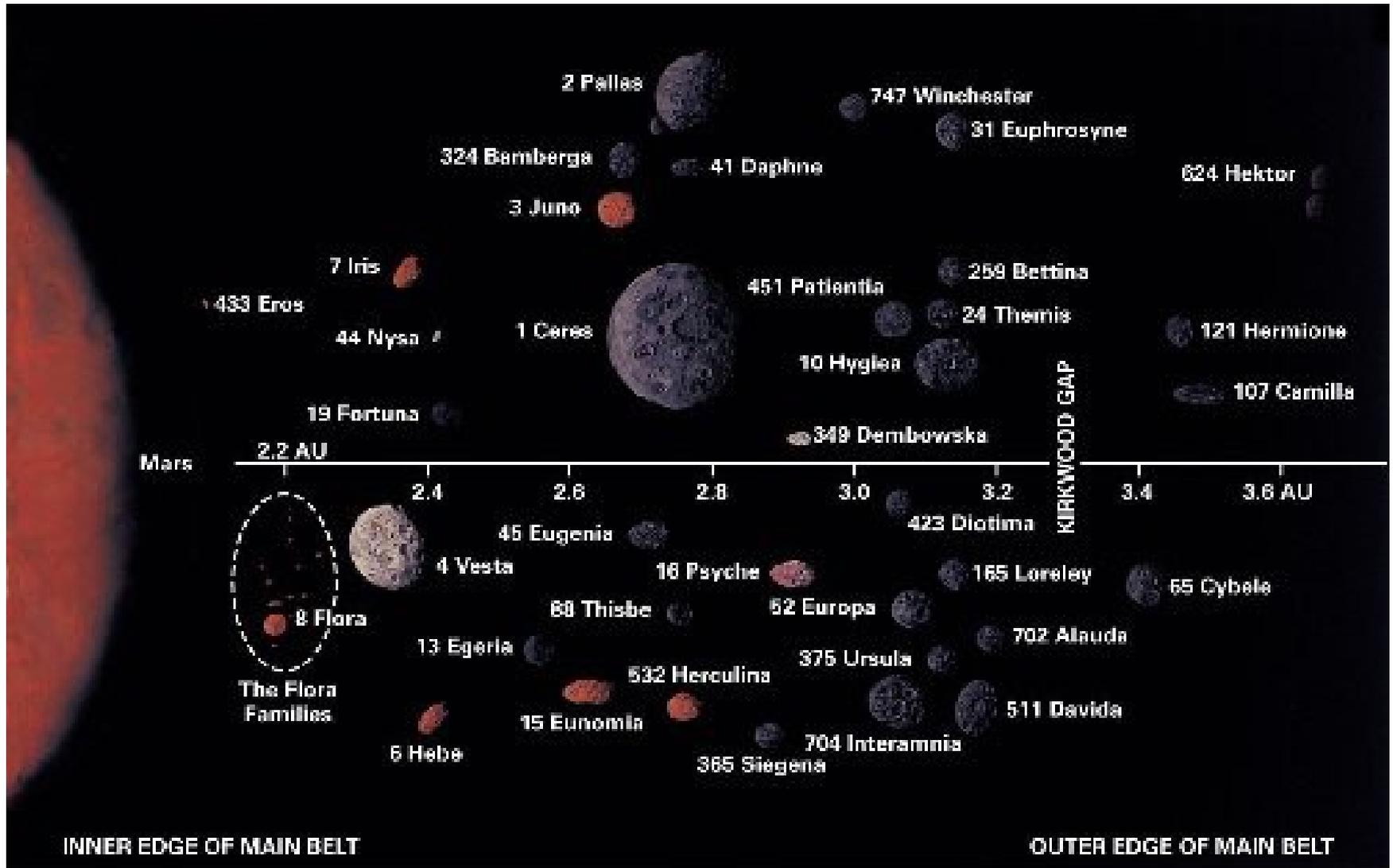


**2. Asteróides** -> “planetas” menores, **planetóides**, muito pequenos, orbitando o Sol, sempre acompanhados de grupos, localizados entre **Marte e Júpiter**.



# Asteróides

...objetos que se encontram entre Marte e Júpiter



### 3. Meteoróides, Meteoros e Meteoritos

**Meteoróides**: fragmentos de rocha ou metal que viajam no espaço com dimensões relativamente pequenas comparadas a de asteróides.

**Meteoros**: também conhecidos como “estrelas cadentes”.

Pedaços de rochas ou metal que quando batem na atmosfera da Terra, na colisão, geram luz. Este “flash” de luz causado pelo choque na atmosfera é o que define-se como meteoro.



**Meteoritos**: pedaços do meteoro que conseguem passar pela atmosfera e atingem o solo terrestre.



### 4. Poeira, Grãos

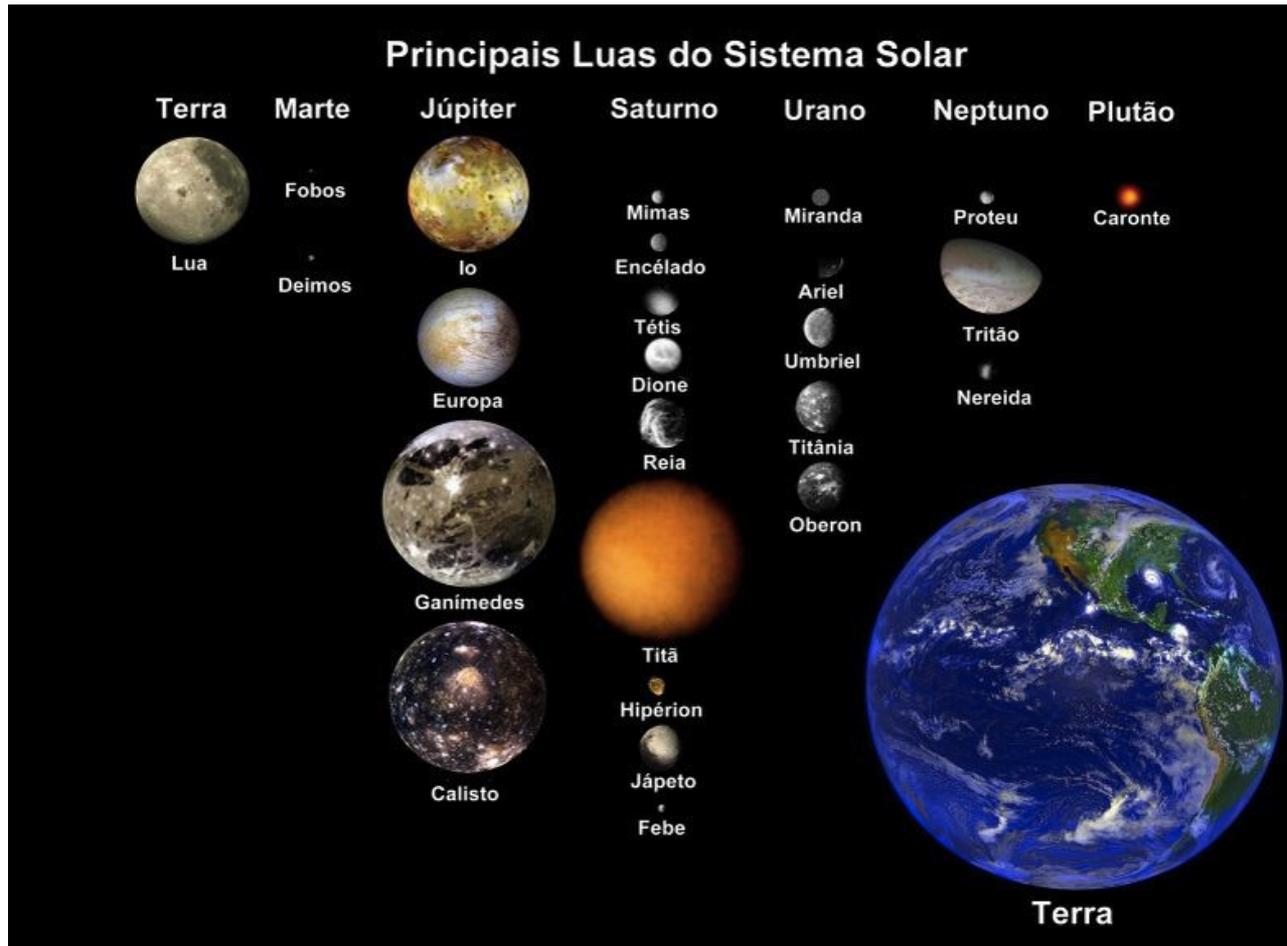
Partículas interplanetárias c/ dimensões da ordem de  $10^{-7}$  m, em média, fazem parte do Meio Interestelar (MIS)



CLASSIFICAÇÃO DOS METEORITOS		
Sideritos ou férreos (1) - Essencialmente formados por uma liga metálica de ferro e níquel e apresentam inclusões de um mineral pouco frequente na Terra – a troilite.		
Siderólitos ou petroférreos (2) - Constituídos por proporções idênticas de minerais silicatados, tal como feldspatos, e de uma liga metálica de ferro e níquel.		
Aerólitos ou pétreos (3) - Possuem uma elevada percentagem de minerais silicatados e uma reduzida percentagem da liga ferro e níquel.	Condritos – Possuem cóndrulos (Pequenos agregados esféricos de minerais como a olivina e a piroxena).	Ordinários Carbonosos – Contêm compostos orgânicos e água.
	Acondritos – Semelhantes às rochas	em textura e composição.

## 5- Satélites

Corpos celestes que orbitam planetas clássicos ou anões. A figura abaixo mostra as luas mais relevantes respectivas de cada planeta.



## 6- Planetas

Segundo a União Astronômica Internacional (IAU-2005) a identificação de planetas deve obedecer **3 condições** :

**1a.** Objetos que **orbitam o Sol**

**2a.** Forma é determinada pelo **equilíbrio hidrostático** (arredondada), resultante da autogravidade (consequência da massa) do planeta e a rigidez do material, gerando a forma esférica. A forma arredondada só ocorre quando a dimensão é maior do que 800 km.

**3a.** A dimensão deve ser predominante entre os objetos que se encontram na vizinhança.

# 3 categorias de Planetas

## ...terrestres, gasosos, anões

### **I- Clássicos:** terrestres (1) e gasosos (2).

#### **(1) – Terrestres (rochosos ou telúricos)**

Planetas internos, relativamente pequenos e densos, com superfícies rochosas, composição química relativa<sup>te</sup> baixa de elementos leves e gases voláteis (H e He), e alta de refratores c/o silício e ferro. Densidade alta, da ordem de 3500-5500 kg/m<sup>3</sup>. São eles: Mercúrio, Vênus, Terra, Marte

#### **(2) - Gigantes gasosos.**

Planetas externos, muito maiores e massivos, sem superfície sólida, domínio de H e He (semelhantes ao Sol), muitos satélites e com anéis. Densidade baixa, da ordem de 700-1700 Kg/m<sup>3</sup>. São eles: Júpiter, Saturno, Urano e Netuno

**II- Não clássicos, Anões:** estão em órbita ao redor do Sol, são pequenos porém com massa suficiente para sua gravidade superar as forças de corpo rígido, não são satélites e não tenha as vizinhanças de sua órbita desimpedidas (IAU 2005).

Vamos então agora focalizar as características gerais observadas nos planetas internos em relação a superfície, atmosfera, interior, bem como seus satélites

Reparem nos slides a seguir que uma via de informação importante pode ser facilmente obtida simplesmente pela **análise das imagens**, como mostrarei a seguir

Todas estas informações vão ser consideradas quando na próxima aula, buscarmos um modelo que explique a “Formação do Sistema Solar”

Iniciaremos com Mercúrio.....

# Mercúrio

## Características Gerais

Mais próximo do Sol -> 57.910.000 Km (0.39 UA)



**Temperatura:  $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$  (pólo)  $< T < 430\text{ }^{\circ}\text{C}$  (de maior amplitude do Sistema Solar)**

Difícil ser observado: 28 graus de afastamento do Sol; visível 2hs antes do nascer do Sol

Órbita + excêntrica (alongada) do que os outros planetas

Pequeno diâmetro = 4880 Km; raio 1/3 da Terra

Não possui satélite e quase não tem atmosfera!

Maioria informações obtidas pela Sonda Mariner 10 (década 1970)

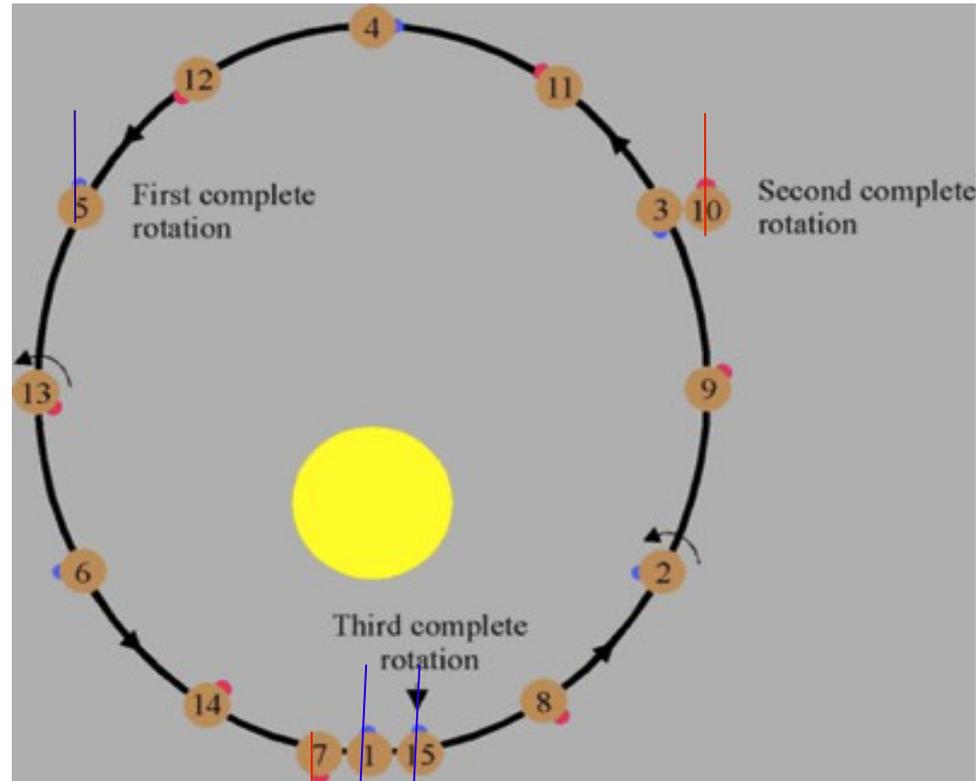
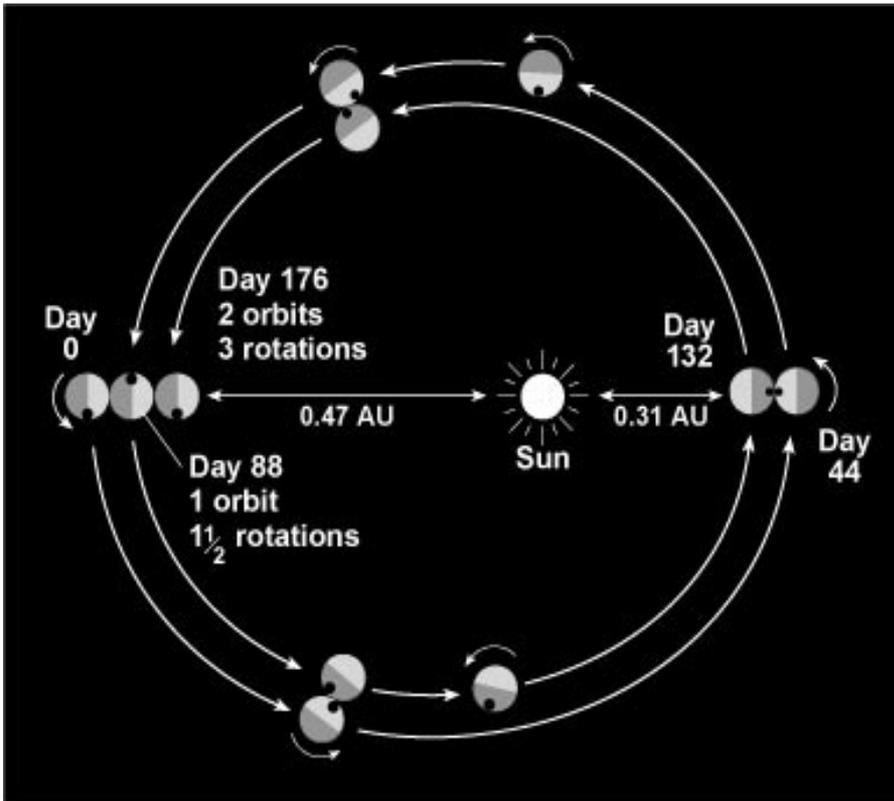
**Ressonância entre os movimentos de rotação e translação: a cada 3 rotações em torno de si (58 dias terrestres), ocorrem 2 translações (88 dias terrestres) ->**

Força de maré do Sol diminui a rotação original -> consequência: rotação diminuindo

**Campo magnético fraco**

# Ressonância ou Acoplamento “spin-órbita” 3:2

...a cd 3 x em torno de sí (58 dias terrestres), 2 translações (2x 88 dias terrestres)



Rotação =  $\frac{2}{3}$  período orbital (translação).

1 dia solar em Mercúrio tem a duração de 2anos...!

...pois o observador retornará à mesma posição (ver bolinha preta na figura esquerda acima) após 2 períodos de translação (= 2 anos)

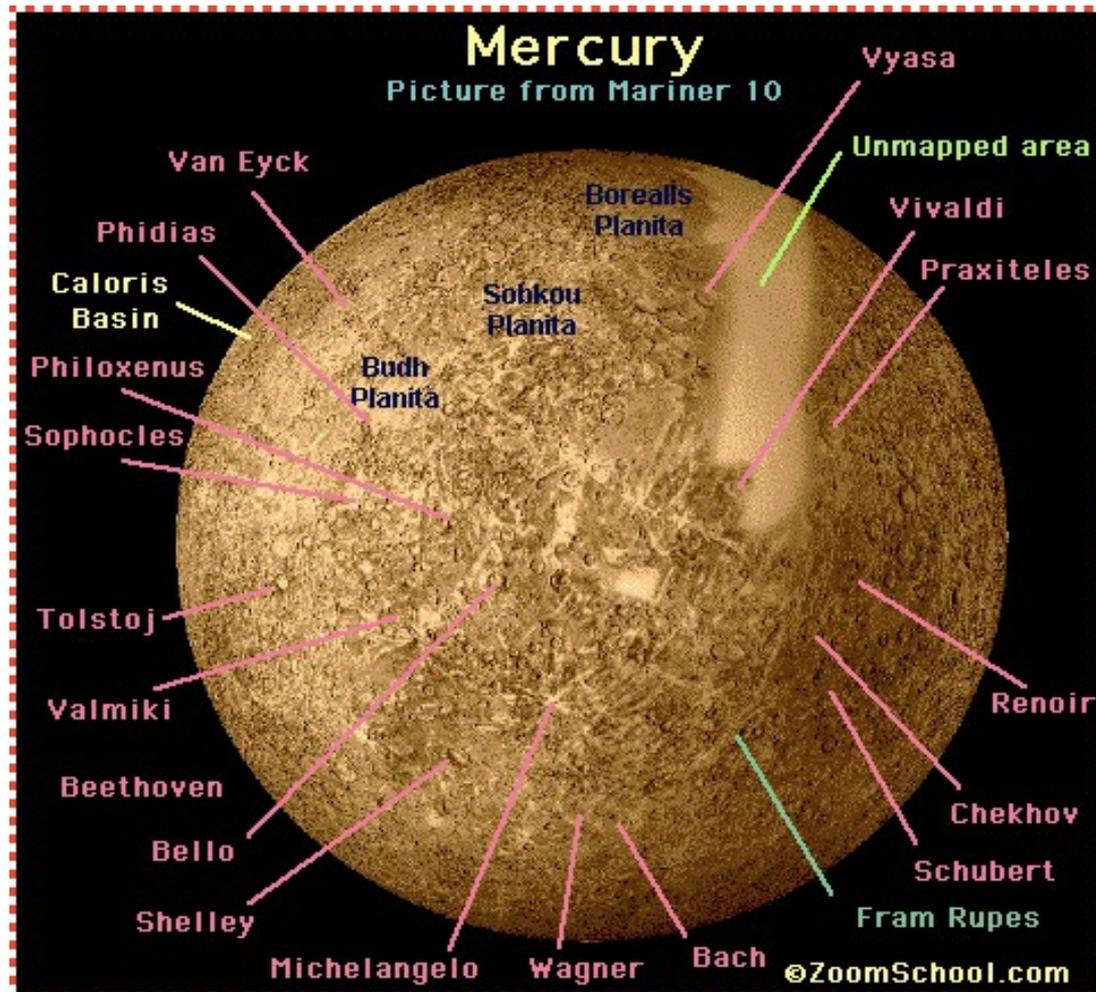
= 1 rotação e meia

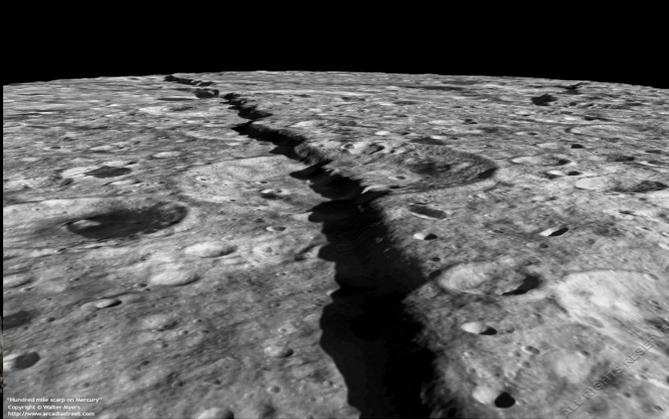
= 1 órbita = 1 ano = 88 dias terrestres

# Aspectos da Superfície

Primeiros dados obtidos via sondas Mariner 10 (1975, 1976)

Semelhante a Lua → dimensão, estéril, coberta com escoamento de **lava** (reg. escuras), regiões **montanhosas** e muitas **crateras**.





## Diferente da Lua em outros aspectos:

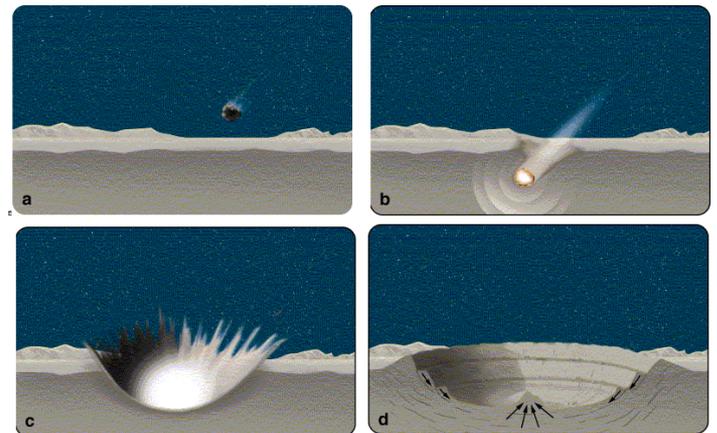
Possui extensivos sistemas de penhascos e planícies e efeito “craquelado”, que supõe-se ser devido ao rápido resfriamento.

Crateras com bordas de paredes mais baixas e material não muito longe das crateras devido a gravidade superficial ser maior ( $3,7 \text{ m/s}^2$ ) do que na Lua ( $1,7 \text{ m/s}^2$ ).

Crateras com dimensões da ordem de 40Km

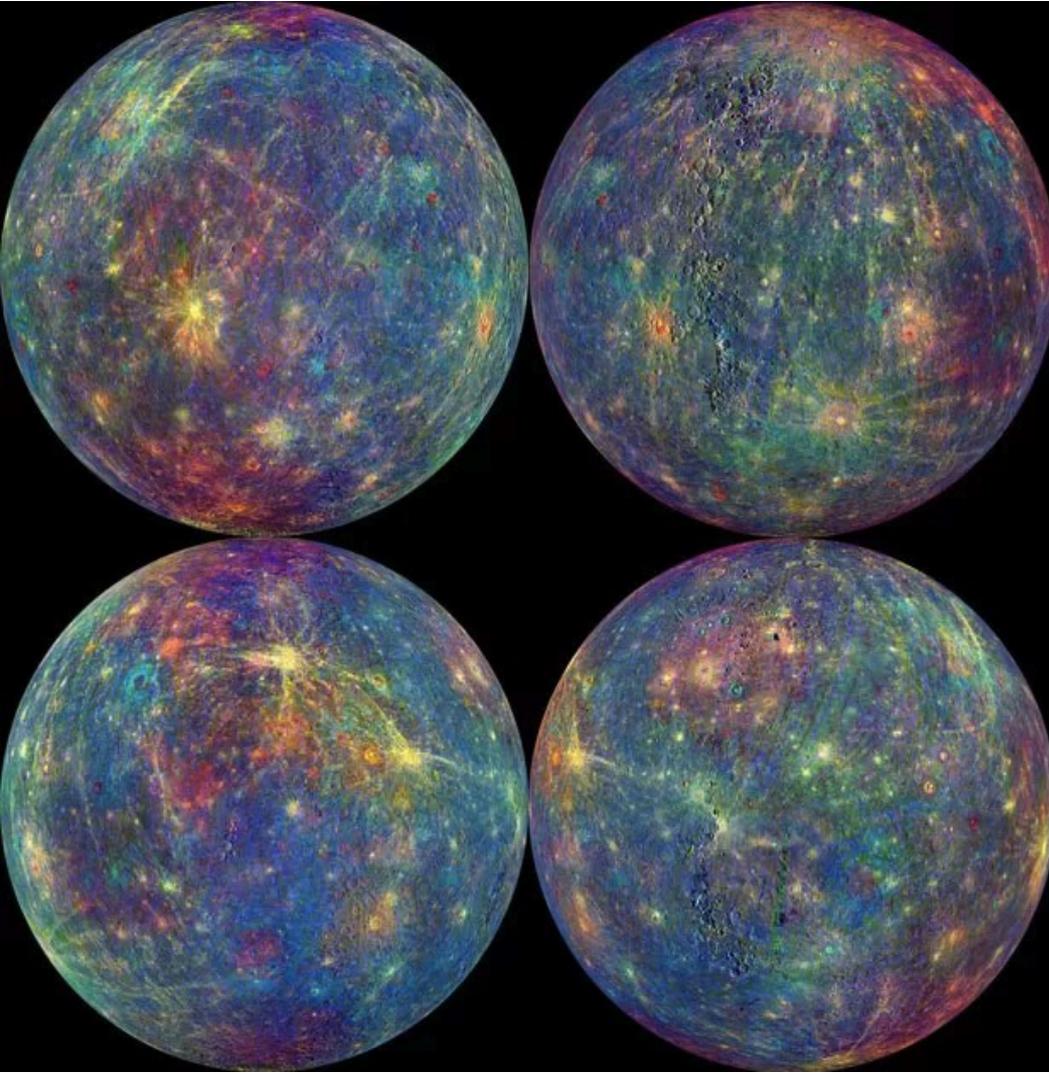
Bacias e Sulcos da ordem de 450km

Predomínio de crateras, representa solo velho....



## Sonda Messenger chega a Mercúrio...

- Viagem iniciada em março de 2004, atinge seu destino em 2008. Entra em órbita após 7,9 bilhões de km em 17/03/2011 a uma velocidade de 14 mil km/h. Orbitou o planeta 4 anos...



A principal descoberta da Messenger ocorreu em 2012: **uma espessa camada de gelo nas regiões polares** de Mercúrio, fornecendo "apoio convincente para a hipótese de que o planeta abriga **abundante água congelada** e outros materiais voláteis em suas crateras polares permanentemente sombreadas" (Nasa)

Amplitude de Temperaturas:  
 $<100$  (noite)  $< T$  (C)  $< 427$  (dia)

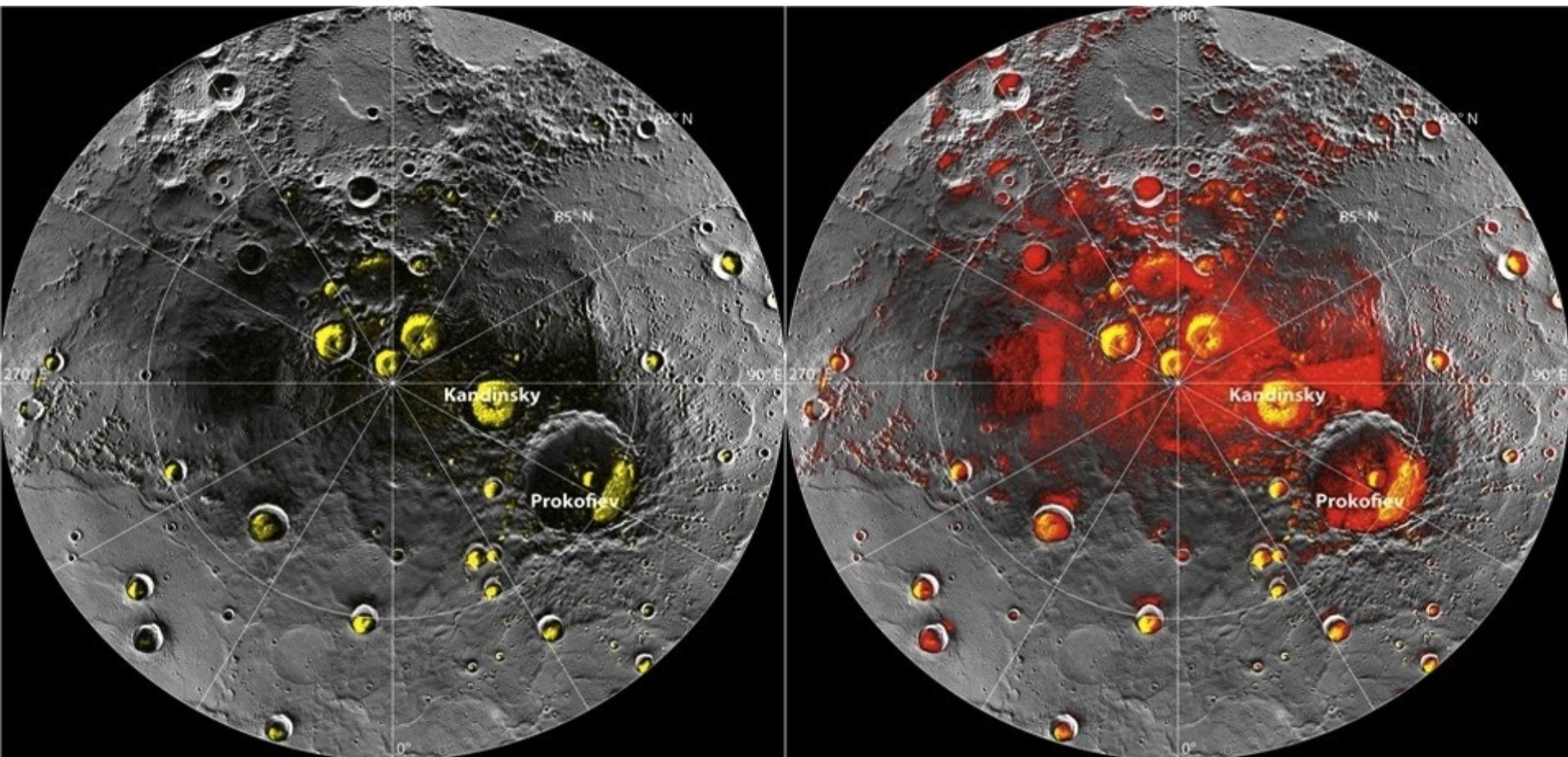
**Tem atmosfera finíssima e instável** devido ao vento solar que arranca os átomos da atmosfera, já que o planeta é muito quente.

Combinação de imagens mostra as leituras da atmosfera de Mercúrio feitas por instrumento à bordo da sonda Messenger (Foto: NASA, Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory, Carnegie Institution of Washington via AP)

## Gêlo de Água no Pólo Norte...

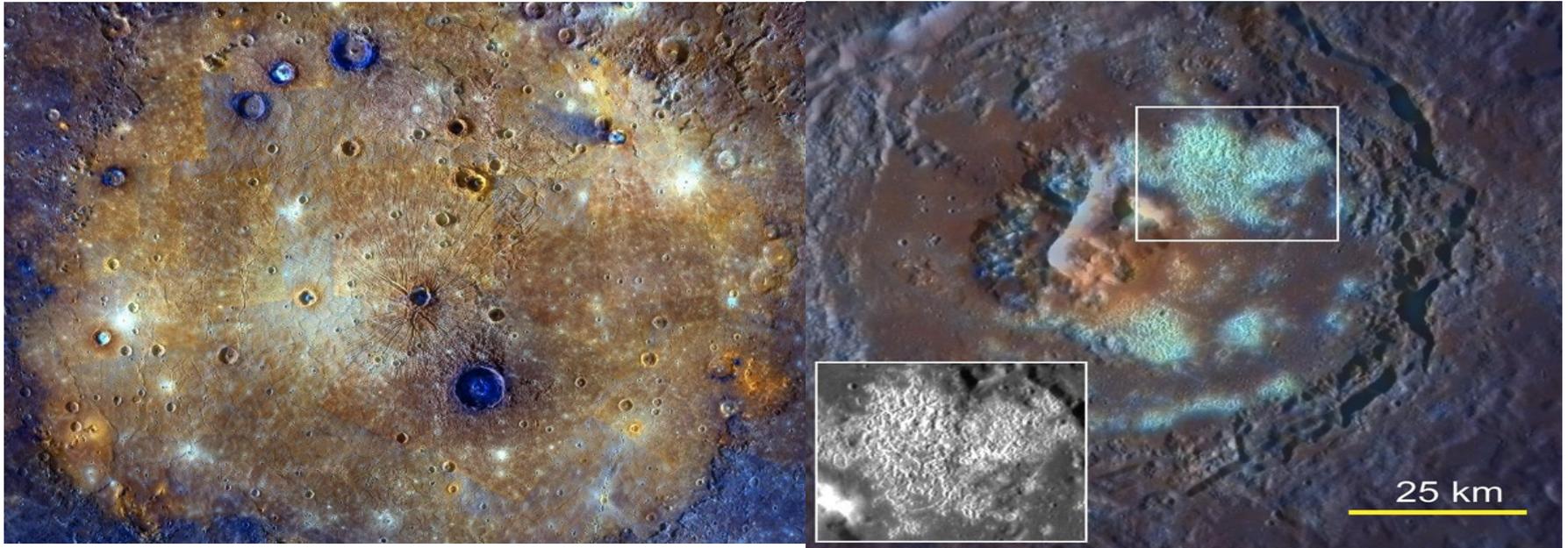
Evidências de **depósitos de água congelada** em Mercúrio foram encontradas tanto nas crateras (pontos amarelos da imagem á esquerda) do PN - região que nunca recebe as radiações do Sol, quanto em regiões extensas que circundam o PN – região em vermelho na figura a direita....

Os cientistas acreditam que o planeta provavelmente obteve sua água quando cometas e asteroides voláteis impactaram o planeta a bilhões de anos atrás



# Superfície, via Messenger

...crateras, poços congelados, buracos e escarpas

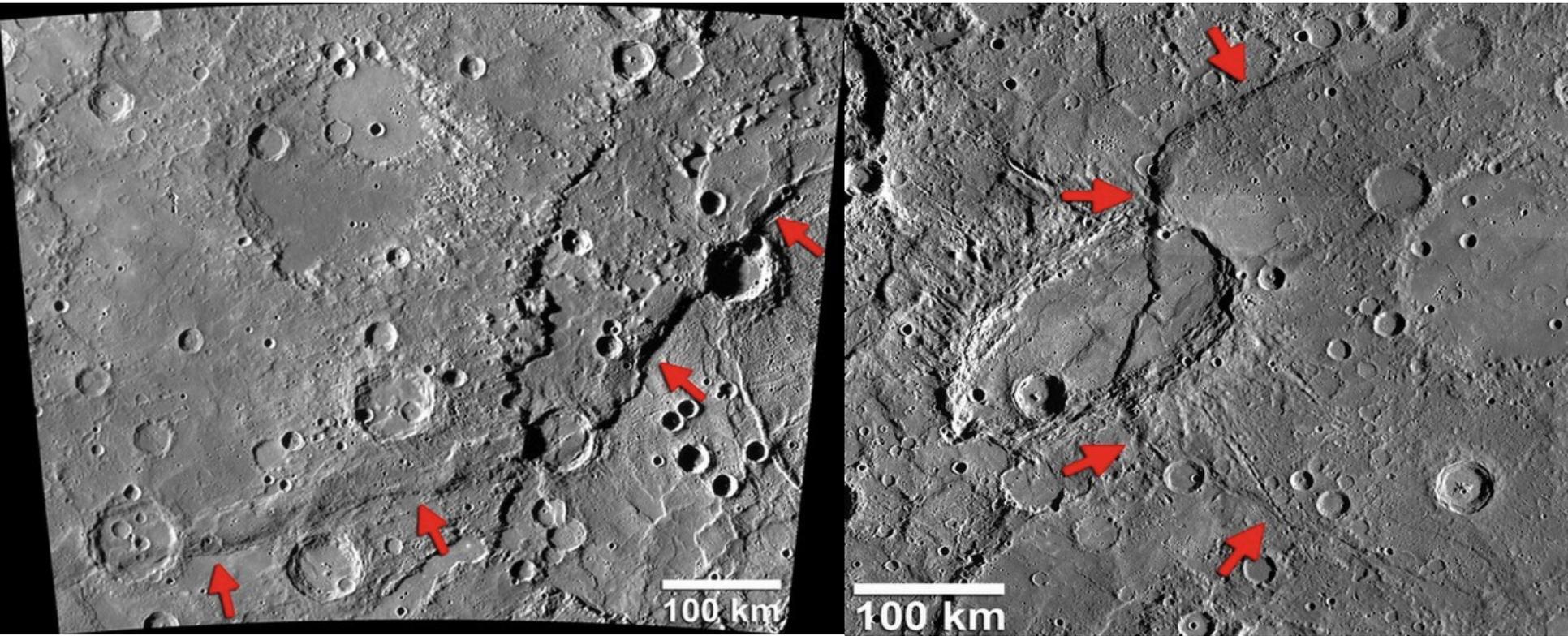


Os níveis de **enxofre e potássio** na superfície, por exemplo, são **bastante acima** do esperado já que são elementos que vaporizam em **temperaturas relativamente baixas**. Como o calor em Mercurio passa dos 400 °C durante o dia a explicação para o “achado” está ainda está sendo investigada.

As imagens da Messenger também mostraram **rachaduras na superfície** de até 25 km de profundidade, por onde acredita-se ter saído ao menos parte da enorme **quantidade de lava encontrada perto do pólo norte**. Esta área é relativamente mais jovem que as regiões com crateras (que indicam solo velho)

Pelo menos 6% de todo o planeta é coberto por uma expessa camada de lava seca.

Grandes escarpas, que se alongam durante quilômetros, seriam provavelmente fissuras formadas quando o planeta esfriou e diminuiu ao longo do tempo



# Interior

Sabe-se pouco, devido ao fato de não se poder usar ondas sísmicas para sondá-lo.

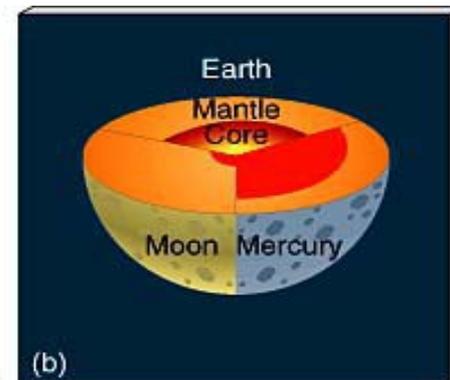
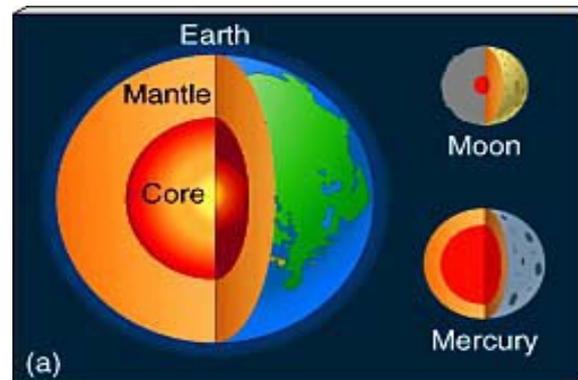
A alta densidade média do planeta indica que o caroço deve ser muito grande (85% de extensão) (ver fig.)

Falta de um manto extensivo pode ser devido a colisões com planetesimais logo após sua formação, que removeu a camada externa do planeta

**Questões em aberto, entre outras:**

**Como pôde surgir um núcleo tão denso para um planeta deste tamanho?**

**Campo Magnético 100x mais fraco que o da Terra. Sem fluido no centro, como pode existir?**



## Inside Planet MERCURY

The planet nearest the sun has a diameter of 3,032 miles (4,879 kilometers), about two-fifths of Earth's diameter. Mercury has a spin-orbit resonance, rotating three times for every two revolutions around the Sun. A day on Mercury lasts about 59 Earth days.

**THIN ATMOSPHERE**  
Extremely small amount of helium, hydrogen, oxygen and sodium.

**GRAVITY 0.38 OF EARTH**  
EARTH 10 ft. dunk  
MERCURY 26 ft. dunk

**SURFACE CONDITIONS**  
AIR PRESSURE: None  
TEMPERATURE: 840°F (450°C)  
WINDS: None

**METAL CORE** The planet's liquid iron core makes up about three-fourths of its radius.

Note: Planet surface has been color enhanced

The surface of Mercury photographed by the MESSENGER probe in 2008.

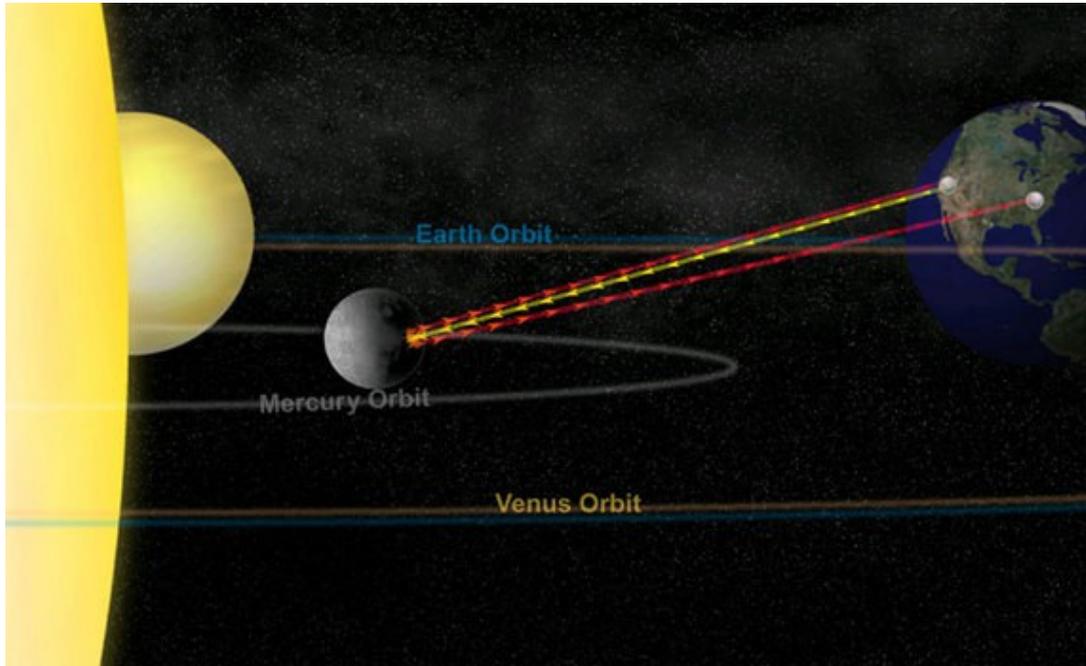
Mercury, 3,032 miles (4,879 km) in diameter, is slightly larger than the moon.

SOURCE: NASA

ROSS TORO, SPACE.com

## Surpresa...! Núcleo de Mercúrio é líquido

- Um sinal de radar (linha amarela) é transmitido a partir da antena Goldstone na Califórnia.
- Ecos de radar (vermelho) são recebidos na antena Goldstone e no telescópio Robert C. Byrd em Green Bank, West Virginia - 2007



Credit: Bill Saxton, NRAO/AUI/NSF Artistic rendering of the observational geometry

"As variações na taxa de rotação medidas em Mercúrio são melhor explicadas por um núcleo que é pelo menos parcialmente derretido" (Jean-Luc Margot da Cornell University)

<http://www.space.com/3756-surprise-slosh-mercury-core-liquid.html>

# Mercúrio

Habitável? Não



**Mercúrio**

**Terra**

Temperatura



Gravidade

0,38

1.0

Dia

58 dias

1 dia

Ano

88 dias

365 dias

## MERCÚRIO

CARACTERÍSTICAS EXTERNAS  
E  
ESTRUTURA INTERNA

Componentes principais:  
hélio e hidrogênio  
Componentes secundários:  
sódio e oxigênio  
Traços de neon, argônio e potássio

Manto de cerca de  
600 km de espessura



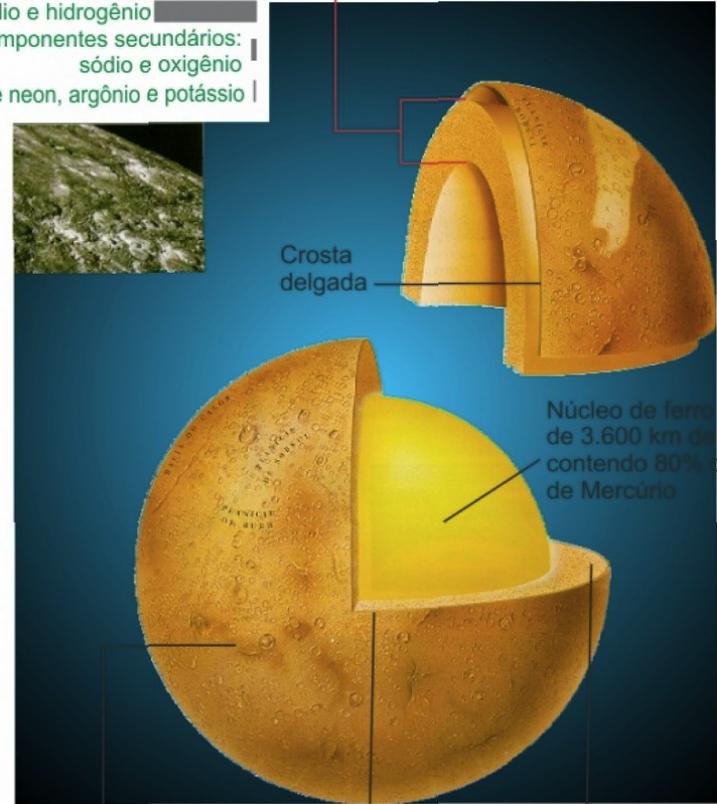
Crosta  
delgada

Núcleo de ferro de cerca  
de 3.600 km de diâmetro  
contendo 80% da massa  
de Mercúrio

Temperatura superficial  
máxima do lado iluminado  
de cerca de 430°C

Crosta de rocha  
de silicato

Manto de rocha  
de silicato



# Vênus

## Características Gerais

2º planeta S.S : 108.200.000 Km (0,72 UA)

**Temperatura: 464 °C (maior do Sistema Solar)**  
**...quente o suficiente para derreter chumbo**

Diâmetro: 12.103,6 Km

**A rotação de Vênus é muito lenta (1 volta em 243 dias terrestres)**

Observado somente ao anoitecer ou ao amanhecer (47 graus afastado do Sol)

**Inteiramente coberto por nuvens e difícil de se observar a superfície devido ao Efeito Estufa.**  
...Na superfície do planeta não se observa o Sol (nem qualquer outro obj)

As vezes identificado como “planeta irmão da Terra, pois:

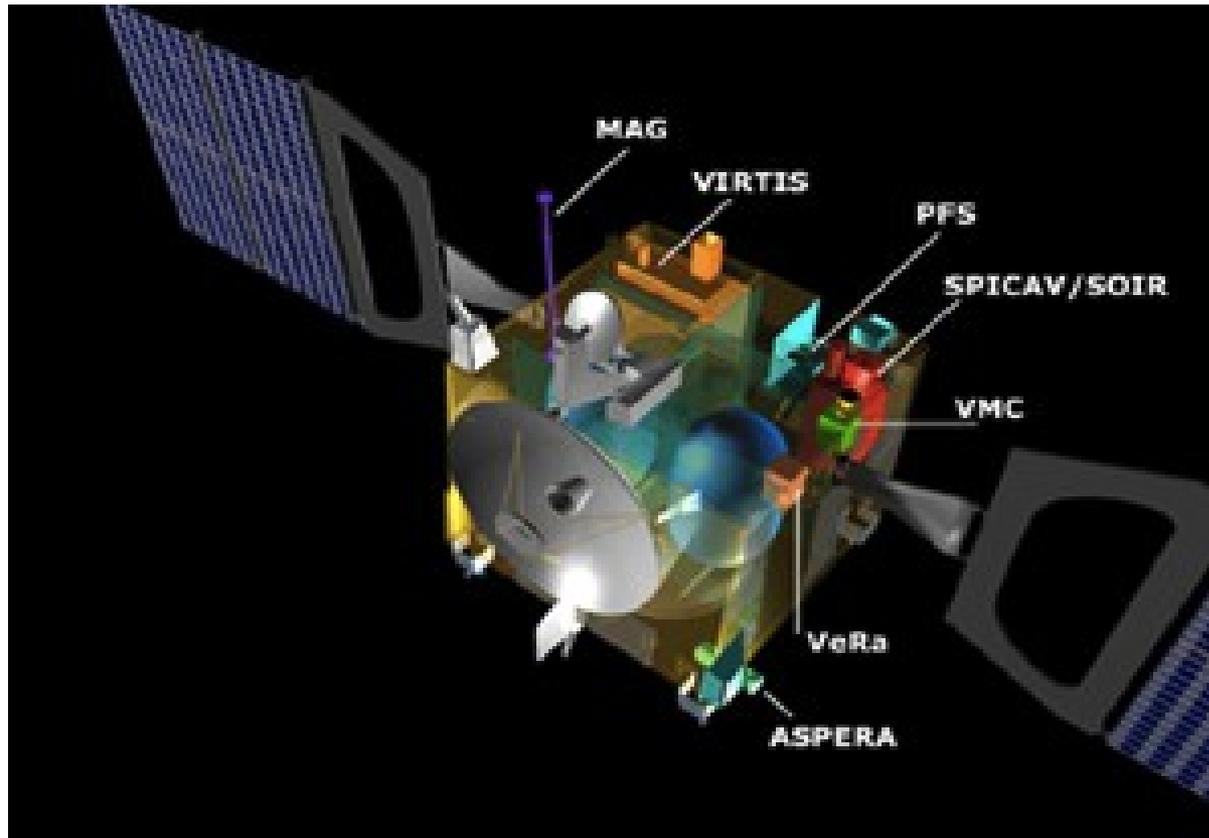
- 1- Similares na **densidade, composição química e massa** (95% do diâmetro da Terra, 80%  $M_{\text{terra}}$ )
- 2- Ambos têm poucas crateras, o que indica superfícies relativamente jovens.

Muito diferente na temperatura e pressão atmosférica (90 vezes a da Terra ao nível do mar)

Conhecimento sobre planeta obtido por várias missões espaciais. Recentemente... →



Sonda Vênus Express (ESA)-"observatório": finalizada em 26/12/2014  
...lançada em 2005 com equipamento de bordo (espectrômetro-VIRTIS, câmera-VMC, etc...)



**Outras Missões:** Mariner2, Pioner Venus, Venera7 e 9, Magellan,...

Vênus Express - equipada com variedade grande de instrumentos - detalhes em:  
[http://www.esa.int/Our\\_Activities/Space\\_Science/Venus\\_Express/Venus\\_Express\\_factsheet](http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Venus_Express/Venus_Express_factsheet)

# Atmosfera

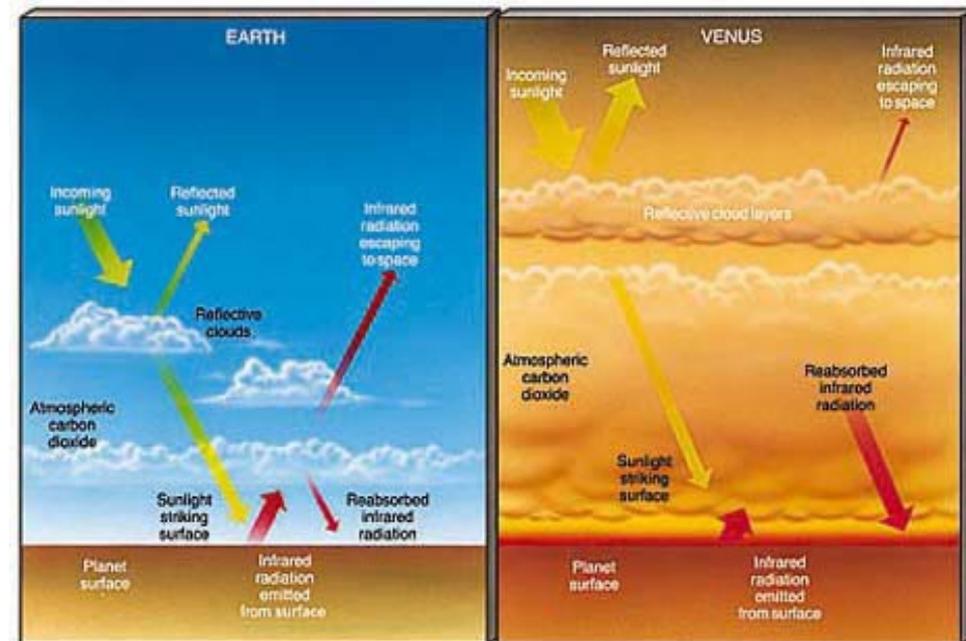
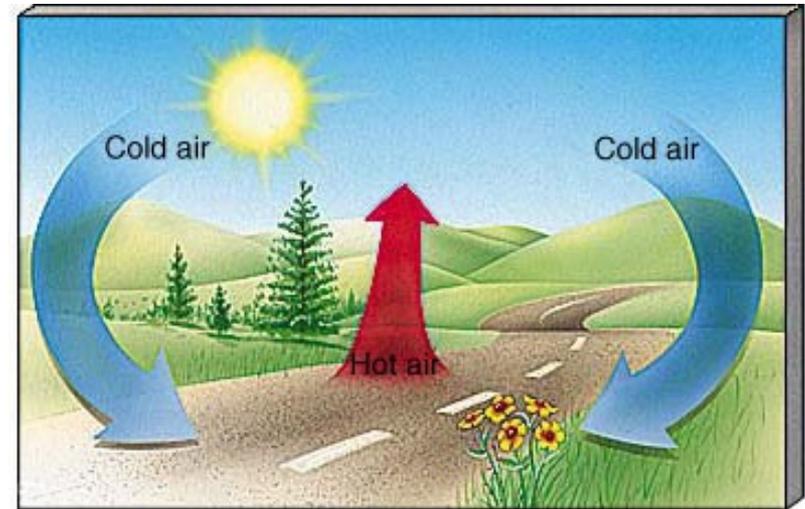
**Atmosfera densa**, com  $\text{CO}_2$  (95%), pequenas quantidades de **N**, **Ar** e traços de gases (ácido sulfúrico, p/ ex.)

Muitas nuvens que formam **3 distintas camadas** a 48, 53, 60 Km que permite condensação de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) em chuva ácida

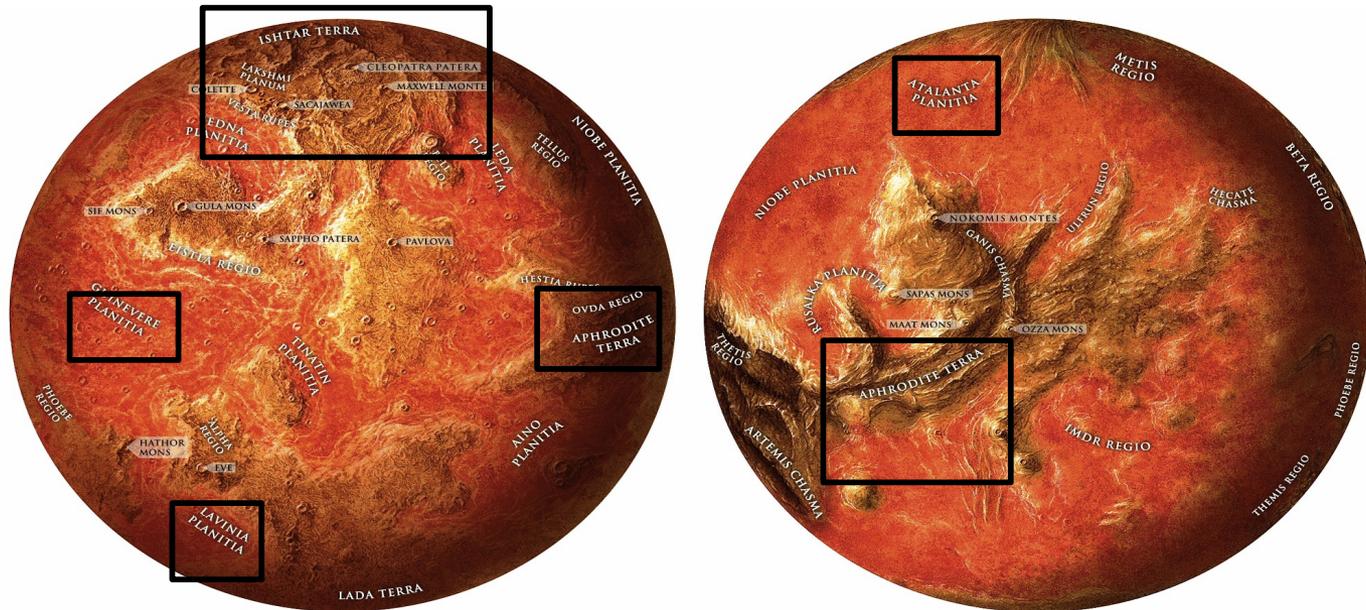
Cria temperaturas superficiais altas devido ao **Efeito Estufa**

**Ventos a altas velocidades** (300-400 Km/h) na atmosfera superior, que circulam o planeta em 4 dias

Presença de **dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ )**  
->  **sinaliza erupções vulcânicas**



## SUPERFÍCIE Global



Sem dados sísmicos, detalhes da superfície são escassos. Entretanto, pelas imagens obtidas, a maioria da superfície **possui pouco relevo**, como mostra a figura acima.

Existem algumas **extensas depressões**: "Atalante", "Guinevere" e "Lavinia Planitias".

**Dois grandes áreas de terras altas**: "Ishtar Terra" no HN (do tamanho da Austrália) e "Aphrodite Terra" ao longo do equador (do tamanho da América do Sul).

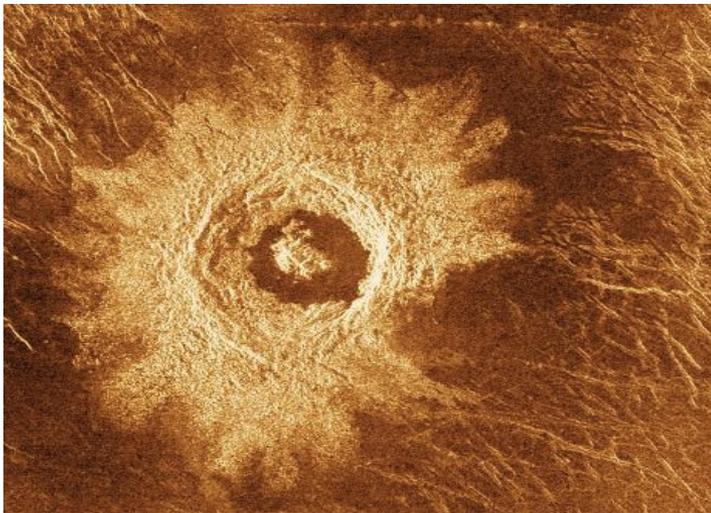
O interior de **Ishtar** consiste sobretudo de um **elevado planalto**, "**Lakshmi Planum**", rodeado pelas maiores montanhas de Vênus, incluindo o enorme "Maxwell Montes".

# SUPERFÍCIE

...alguns detalhes

Apesar da densa atmosfera que dificulta as observações diretas da superfície, foi possível registrar que a maioria da superfície possui **ondulações que cobrem 70%** do solo, da ordem de **20% de planícies** (solo jovem), uns **10% de montanhas** e alguns detalhes que podem ser observados nas figuras abaixo

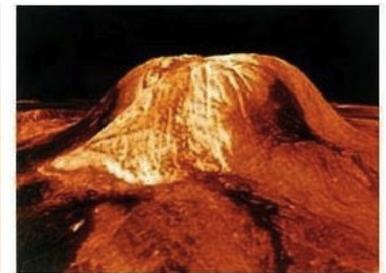
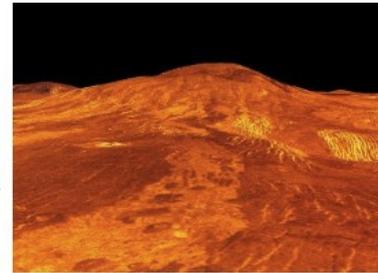
"Vulcão Escudo" visto de cima



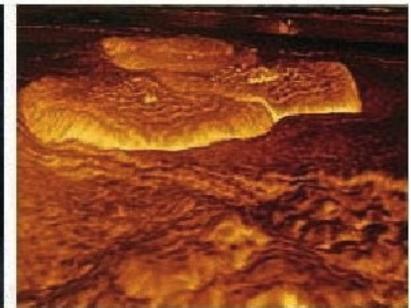
Caldera: 40 km de diâmetro

Venus

Sif Mons: vulcão escudo  
diâmetro ~ 500km  
altura ~ 3 km  
caldera ~ 40km

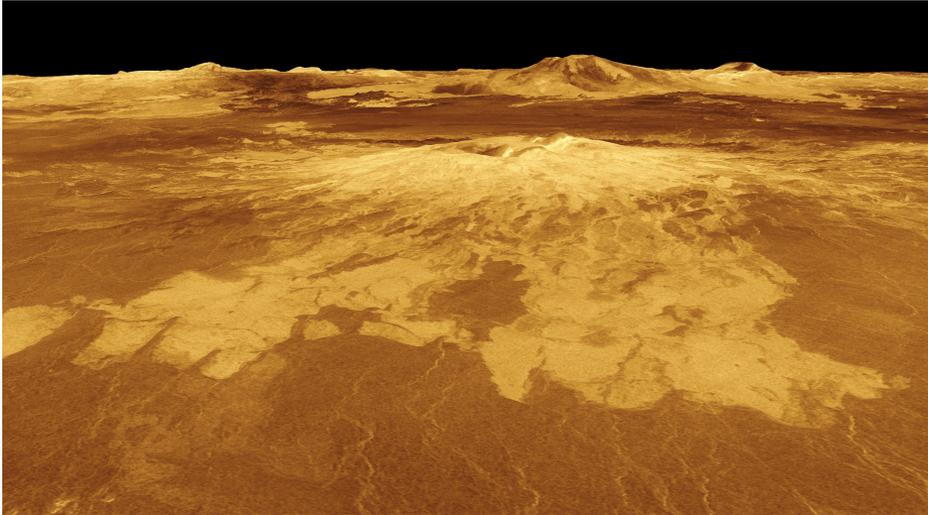


Gula Mons: ~4km  
caldera ~ 100km

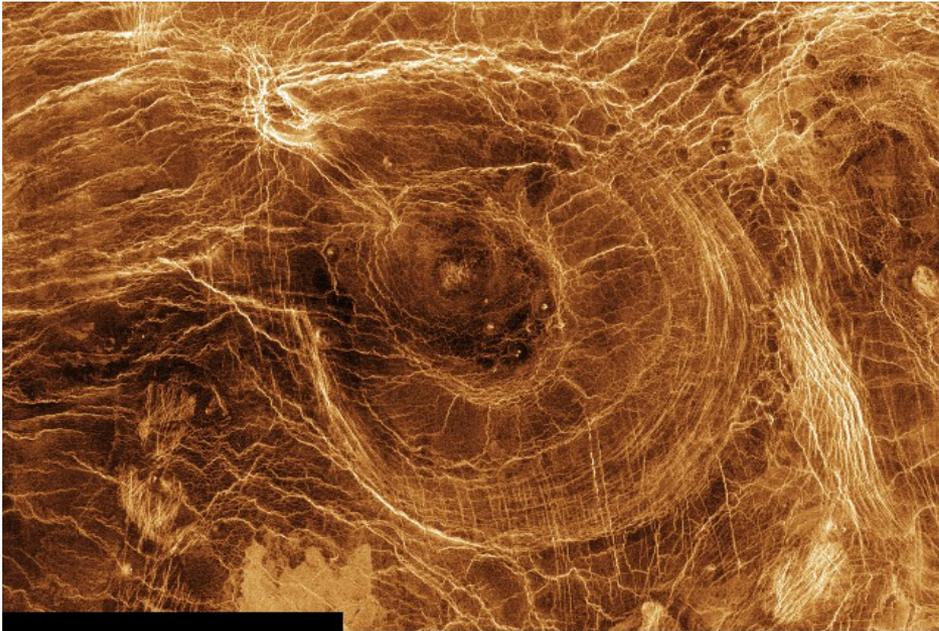


Domes: lava viscosa homogênea, ~ circulares, ~25km x ~2km

Estruturas associadas a atividades vulcânicas na forma de montanhas com crateras no topo, jatos e escoamento de lavas, estruturas circulares (coroas – únicas em Vênus) etc.



Dados enviados pela sonda Magalhães mostram que muito da superfície de Vênus está coberta por correntes de lava, indicando que se está observando um solo jovem.



Estruturas semelhantes a aracnóides e teias de aranha também são observadas.

São grandes estruturas que se estendem por mais de 200 Km, e até o momento 30 estruturas deste tipo foram identificadas.

Encontradas somente na superfície de Vênus, cuja origem e natureza é ainda desconhecida.

Crateras de impacto são raramente observadas, indicando que a superfície é jovem (300-500 milhões de anos), e são comuns no hemisfério sul.

As crateras são muito grandes, pois devido a densa atmosfera, somente os grandes meteoros conseguem atravessá-la.

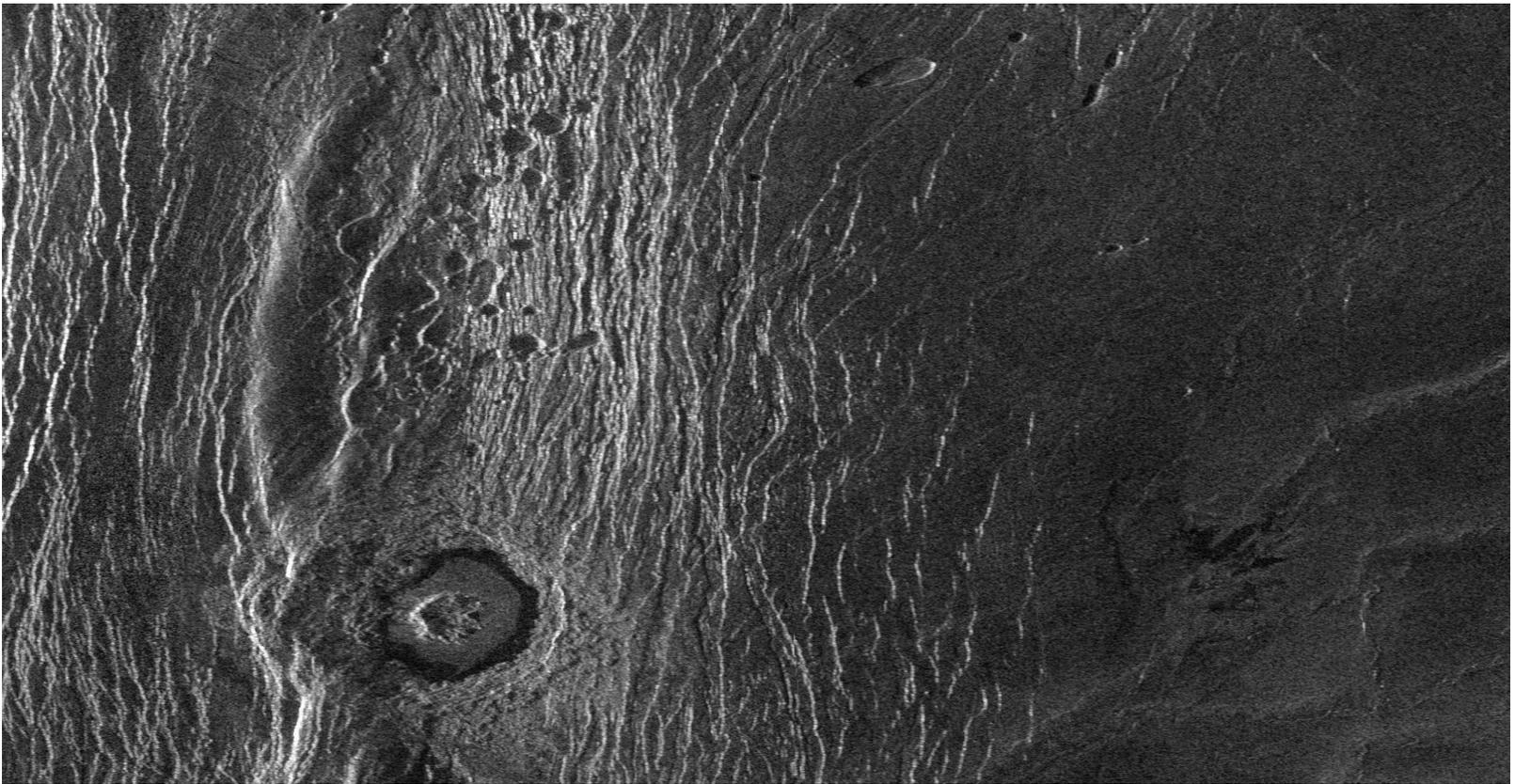
Os terrenos mais velhos têm idade da ordem de 800 milhões de anos.



Cratera tem 69 km de diâmetro. Material brilhante que circunda a cratera pode ter sido ejetado no impacto, ou resultado do fluxo vulcânico liberado no impacto.

Pequenas crateras observadas em Vênus parecem surgir em grupos indicando que os grandes meteoritos que atingem a superfície usualmente se partem na atmosfera.





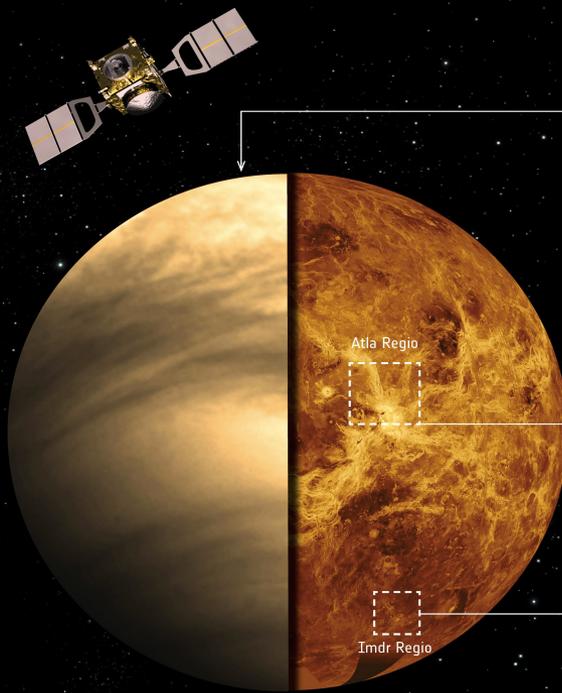
Muitas características observadas na superfície parecem ter sido resultado de atividades tectônicas. Sugerem poucos movimentos e são mais duras que as da Terra.

Alguns exs são: montanhas elevadas, sistemas lineares de cordilheiras, valas e ranhuras horizontais formadas por pressão ou compressão.

# SUPERFÍCIE e INTERIOR

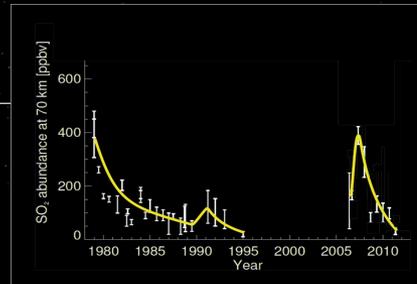
Dados recentes de junho de 2015 confirmam presença “atual” de atividades vulcânicas, mas apenas em alguns pontos quentes (fig.); nas últimas centenas de milhares de anos tem estado geologicamente relativamente calmo.

## → EVIDENCE FOR ACTIVE VOLCANOES ON VENUS



Left: False-colour image of Venus cloud tops (credits: ESA/MPS/DLR/IDA); right: Magellan radar map of Venus (credits: NASA/JPL). The cloud tops image is a local view over high southern latitudes whereas the radar image is a global view centred on the equator.

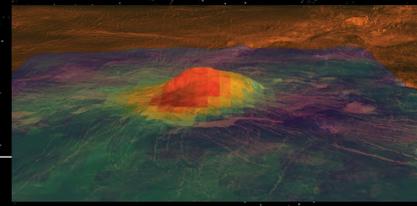
### ATMOSPHERIC CHANGES



The rise and fall of sulphur dioxide (SO<sub>2</sub>) in the upper atmosphere of Venus over the last 40 years, seen by NASA's Pioneer Venus and other spacecraft between 1978 and 1995, and ESA's Venus Express between 2006 and 2012. A possible explanation is the injection of SO<sub>2</sub> into the atmosphere by volcanic eruptions.

Credits: E. Marq et al (2012)

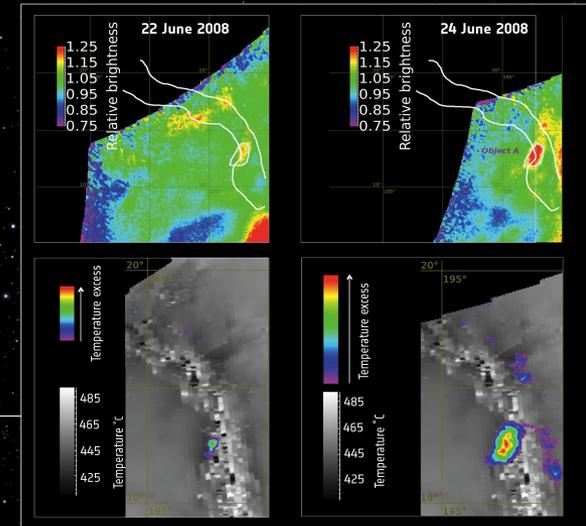
### YOUNG LAVA



Venus Express found that the area around Idunn Mons in Imdr Regio was unusually dark compared with its surrounds, suggesting a different, younger, composition, pointing to lava flows within the last 2.5 million years. The map shows near-infrared emissivity; red-orange is high emissivity (darkest), purple is the lowest emissivity.

Credits: ESA/NASA/JPL/S. Smrekar et al (2010)

### TRANSIENT HOT SPOTS



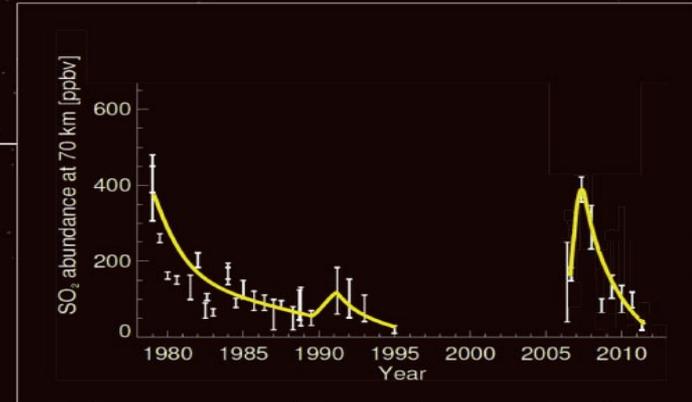
Four transient hotspots were detected by Venus Express in the Ganiki Chasma rift zone in Atla Regio (labelled Objects A–D in the radar map, right). Changes in relative brightness (top row) and temperature (bottom row) are shown for Object A. Some changes due to clouds are also visible in the top row. The bottom row shows the temperature excess compared with the average surface background temperature. Taking into account atmospheric effects, hotspot A is likely only 1 square km with a temperature of 830°C.

Credits: E. Sholynin et al (2015)



# Atmosfera e Região Imdr

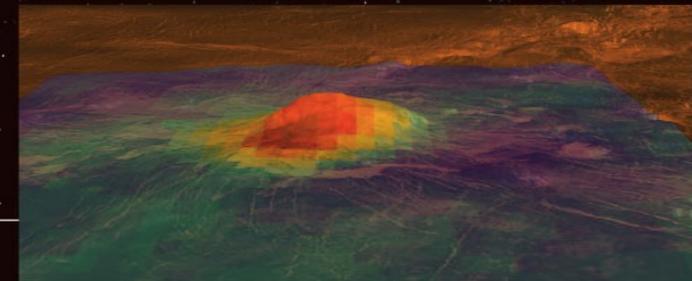
## ATMOSPHERIC CHANGES



The rise and fall of sulphur dioxide (SO<sub>2</sub>) in the upper atmosphere of Venus over the last 40 years, seen by NASA's Pioneer Venus and other spacecraft between 1978 and 1995, and ESA's Venus Express between 2006 and 2012. A possible explanation is the injection of SO<sub>2</sub> into the atmosphere by volcanic eruptions.

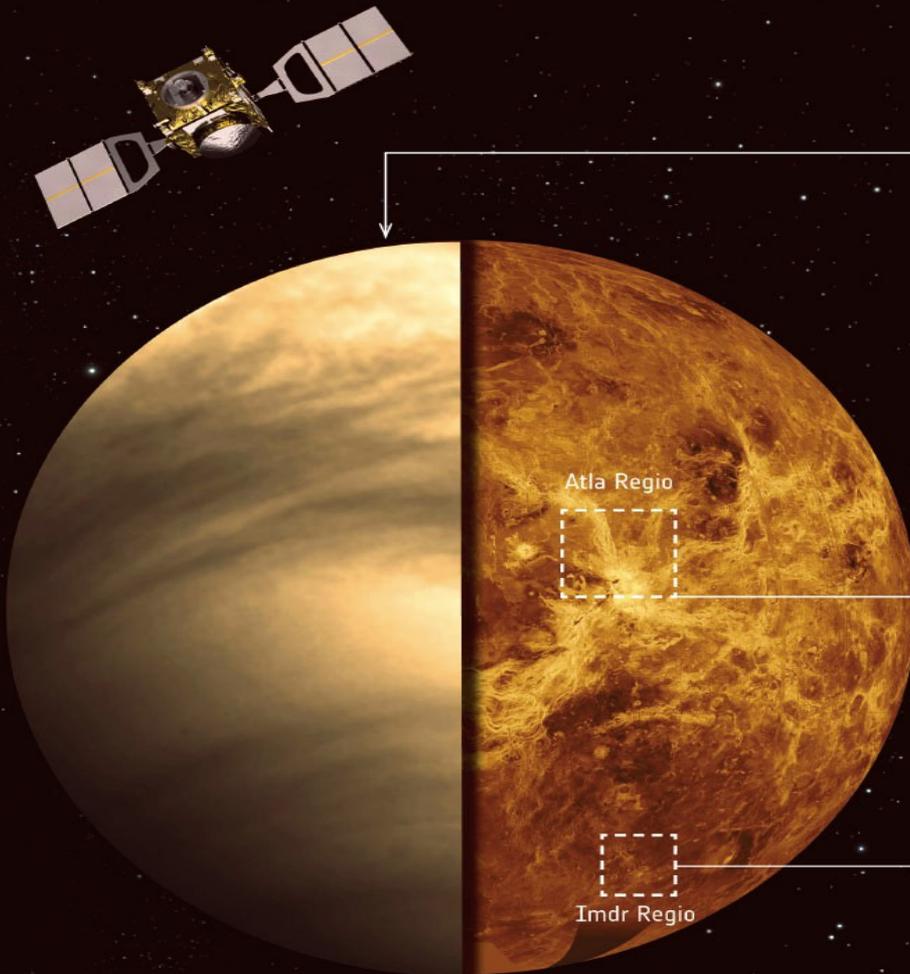
*Credits: E. Marcq et al (2012)*

## YOUNG LAVA



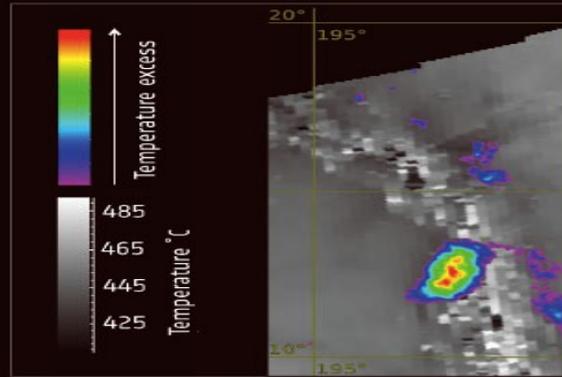
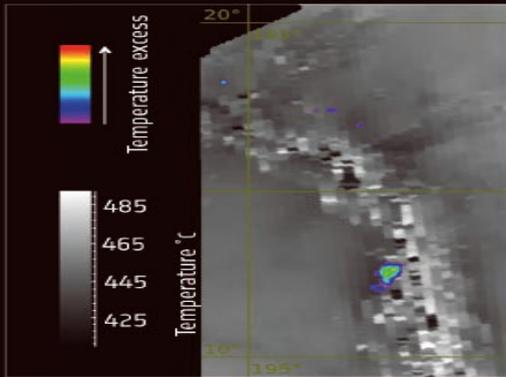
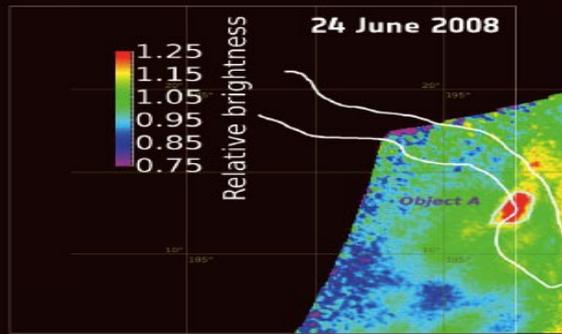
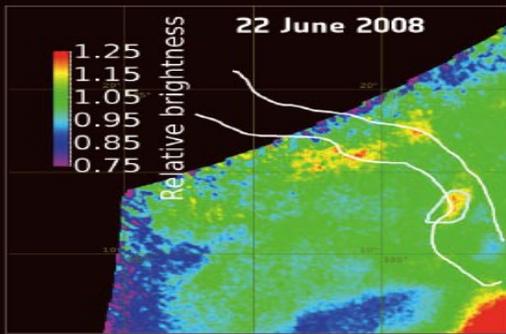
Venus Express found that the area around Idunn Mons in Imdr Regio was unusually dark compared with its surrounds, suggesting a different, younger, composition, pointing to lava flows within the last 2.5 million years. The map shows near-infrared emissivity; red-orange is high emissivity [darkest], purple is the lowest emissivity.

*Credits: ESA/NASA/JPL/S. Smrekar et al (2010)*



Left: False-colour image of Venus cloud tops (credits: ESA/MPS/DLR/IDA);  
right: Magellan radar map of Venus (credits: NASA/JPL)  
The cloud tops image is a local view over high southern latitudes  
whereas the radar image is a global view centred on the equator.

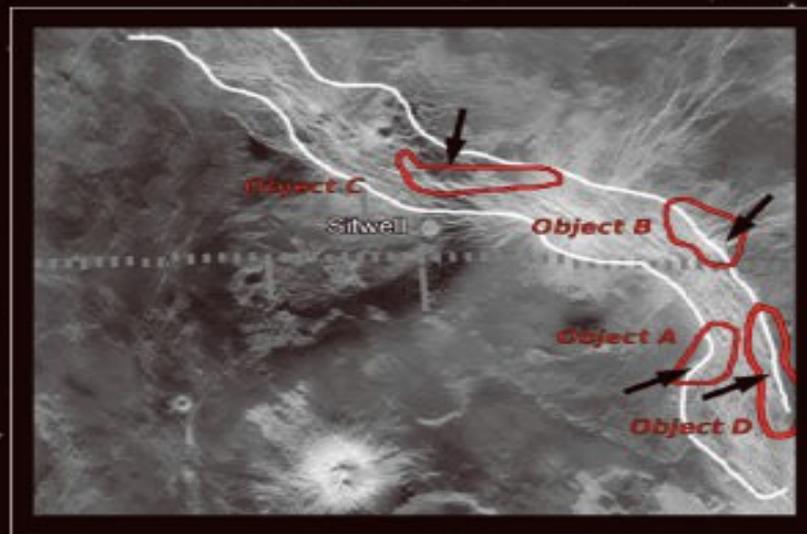
# TRANSIENT HOT SPOTS



Dados da Região Atla

Four transient hotspots were detected by Venus Express in the Ganiki Chasma rift zone in Atla Regio (labelled Objects A–D in the radar map, right). Changes in relative brightness (top row) and temperature (bottom row) are shown for Object A. Some changes due to clouds are also visible in the top row. The bottom row shows the temperature excess compared with the average surface background temperature. Taking into account atmospheric effects, hotspot A is likely only 1 square km with a temperature of 830°C.

Credits: E. Shalygin et al (2015)



## Campo Magnético não detetado

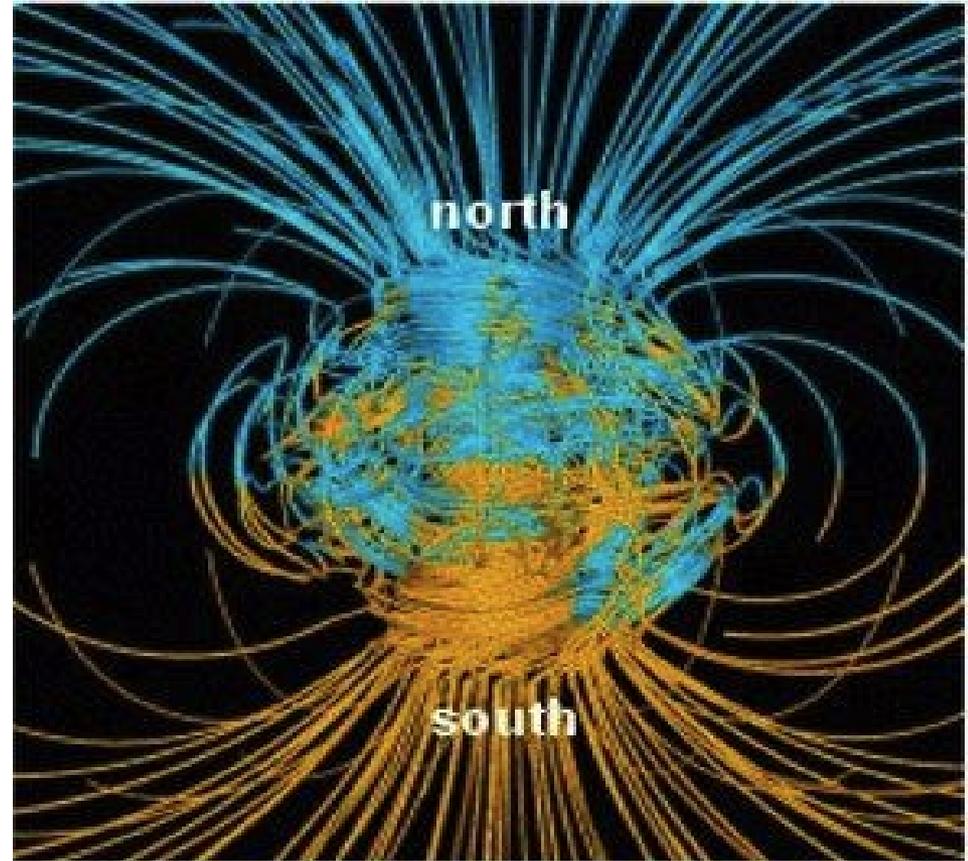
A origem de Campo Magnético em planetas está associada a um mecanismo que ocorre devido ao **atrito gerado entre o caroço externo, líquido, e o interno, sólido.**

Questiona-se então:

Não existe porque há ausência de caroço parcialmente derretido ?

Ou.....

é devido a baixa rotação ?



**Entre a inversão dos pólos**

# EVOLUÇÃO

Alguns cientistas acreditam que na fase inicial de formação de Vênus tenha sido criado um **oceano líquido**, criado via acreção de cometas.

Devido a **insolação**, ocorreu evaporação e liberação de vapor d'água na atmosfera criando o **efeito estufa** .

Como consequência, a **temperatura aumentou muito**, dissociou vapor, resultando em **átomos livres de H** que escapam da atmosfera, deixando-a densa em dióxido de carbono

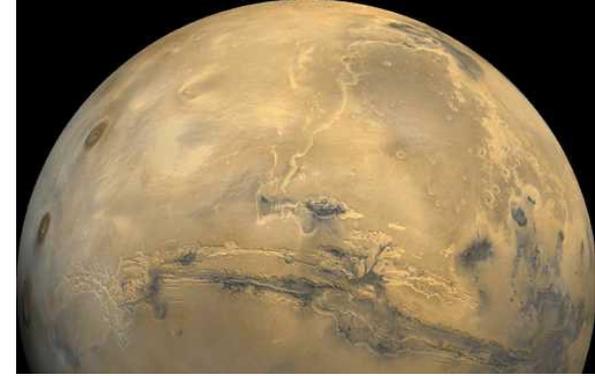
**Similar a Terra** em características gerais, mas **completamente diferente** nas condições de superfície e atmosfera, diferença esta atribuída a distância ao Sol.

# Vênus

Habitável? Não



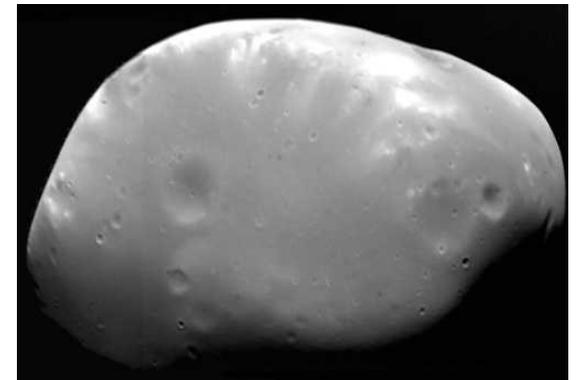
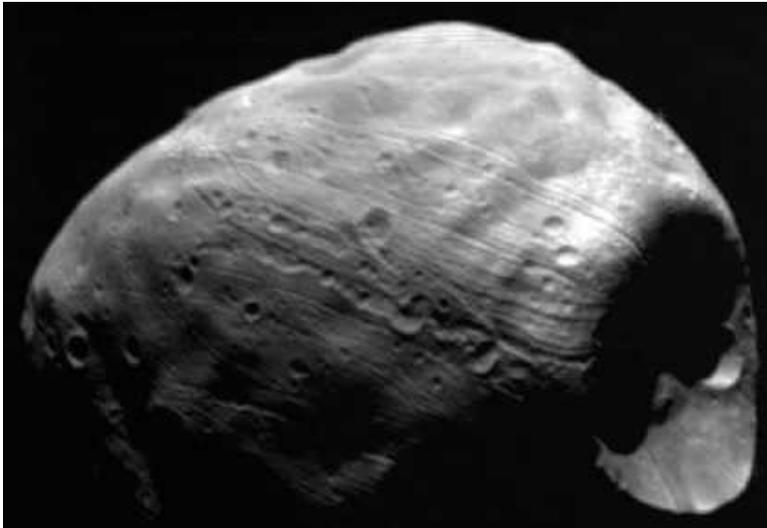
# Marte



4º Sistema Solar: 227.940.000 km (1,52 UA)

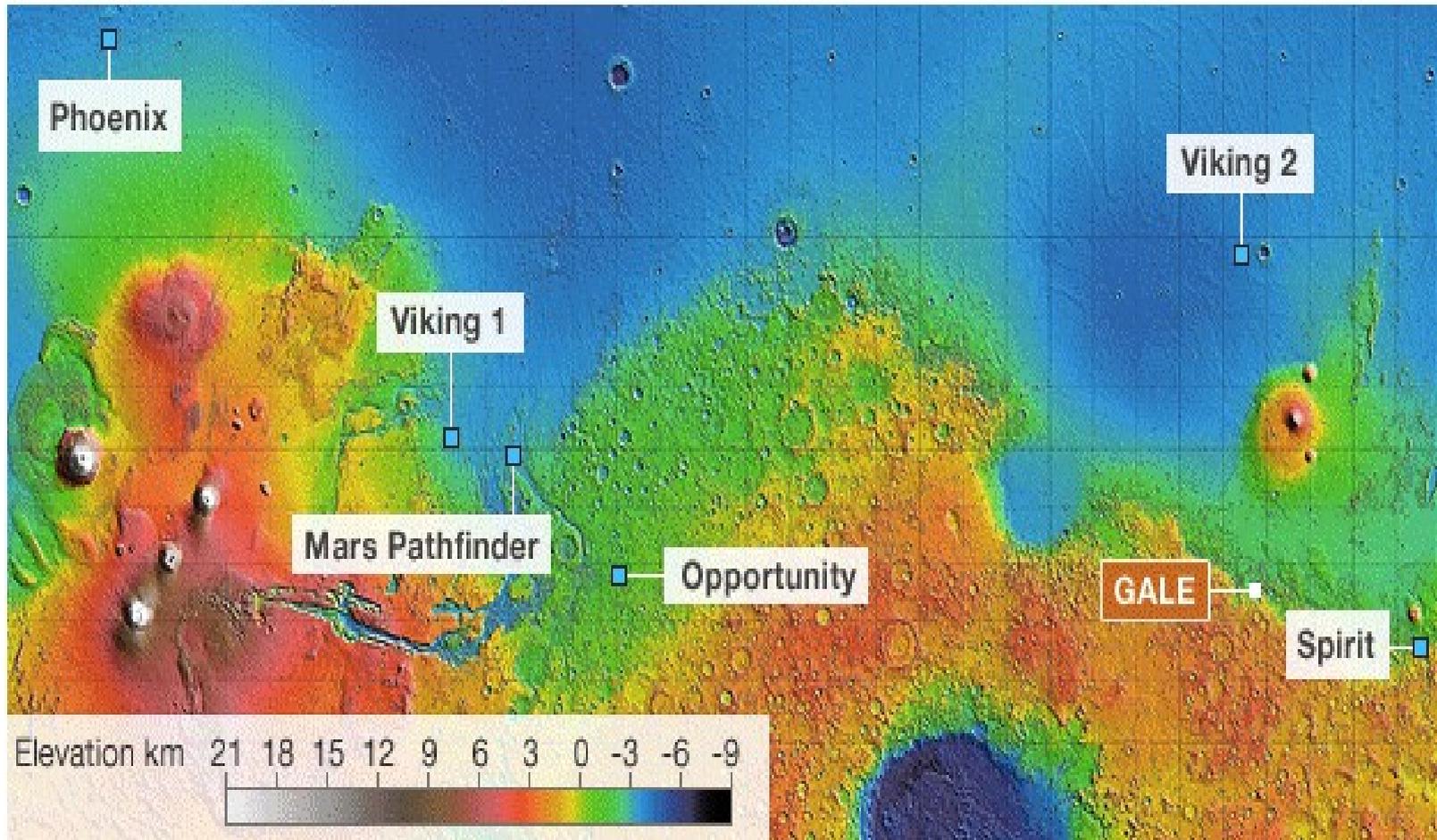
Diâmetro: 6794 km

- 2 satélites (Fobos – 23 Km, Deimos – 13 km diâmetro) – descobertos em 1877;  
...provavelmente asteróides capturados do Cinturão de Asteróides entre Marte e Júpiter.
- Várias missões da NASA para estudar a atmosfera e superfície. 8 bem sucedidas...
- Sondas em busca de água.



# Sondas que visitaram Marte...

## Previous landings



# SUPERFÍCIE DE MARTE

Constituída por um solo basicamente de **planícies, crateras, montanhas, vales e vulcões**.

A maioria das **planícies estão ao norte** do planeta, "alisadas" por camadas de lavas provenientes de vulcões.

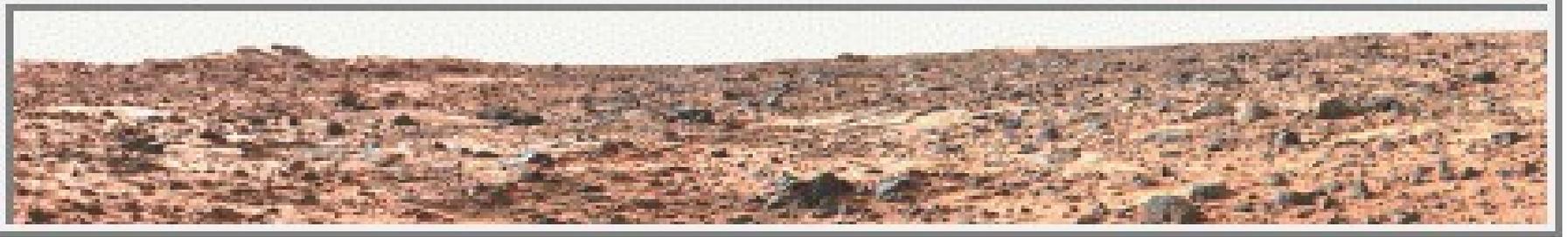
No **hemisfério sul** do planeta existem **planaltos e crateras** semelhantes às da Lua, mas a existência de atmosfera em Marte põe limite nesta semelhança, devido à ocorrência de **erosão** ao longo dos anos.

Marte tem grande quantidade vulcões: grandes (com 8 à 25 km de altura) e pequenos (com menos de 8 km de altura), apesar dos grandes prevalecerem. Em Marte está o **maior vulcão do sistema solar, o chamado "Monte Olimpo"**, de 25 km de altura e 600 de largura, ou seja, três vezes maior que o monte Everest, da Terra

Marcada por sistemas de canais e crateras, com solo estéril e rochoso com evidências de erosão (sistemas de rios, lagos, etc). Atividades tectônicas mínimas

A cor avermelhada de Marte é devido à oxidação do ferro nas rochas, regolito ("solo" marciano) e também da poeira, que lançada na atmosfera e devido a distância faz com que o planeta pareça quase todo vermelho

# SUPERFÍCIE DE MARTE



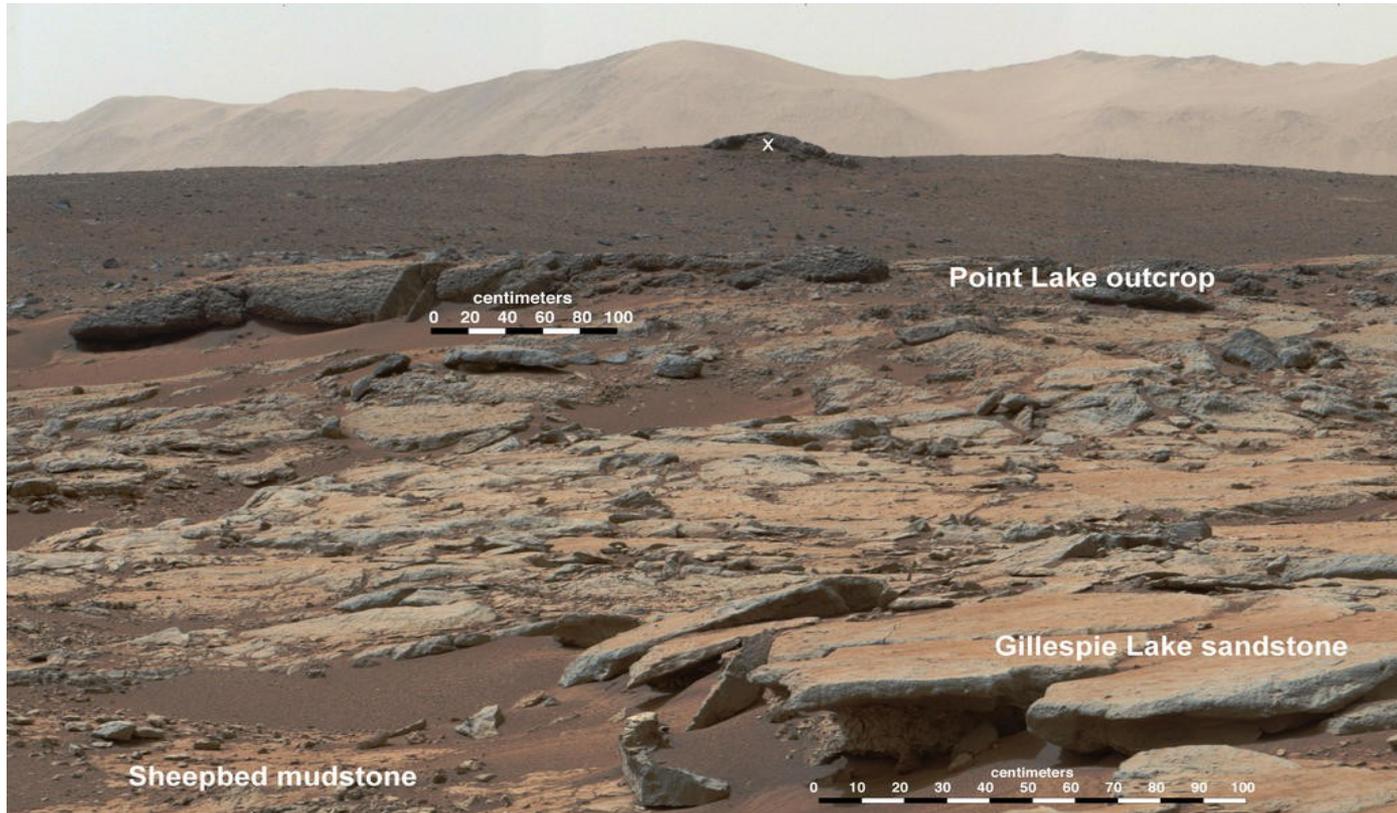
**Hemisfério Norte:** maioria coberto por planície → portanto + jovem

**Hemisfério Sul:** 25% por platôs, montanhas e crateras (~Lua) → mais velhas



# Superfície

...áreas de erosão



Marcada por sistemas de canais e crateras com solo estéril e rochoso e com evidências de erosão (sistemas de rios, lagos, etc).

"A circulação da água ocorreu a vários quilômetros de profundidade, há 3.7 bilhões de anos, antes que a maior parte das crateras na região tivesse sido formada," diz o coautor do estudo, Nicolas Mangold.

# SUPERFÍCIE

Presença de enormes **vulcões inativos** (maiores do Sistema Solar)

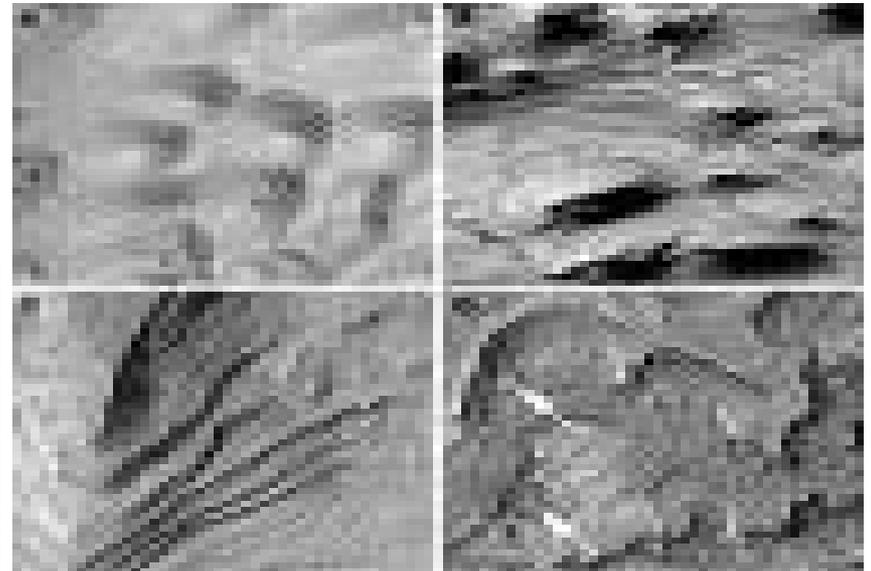
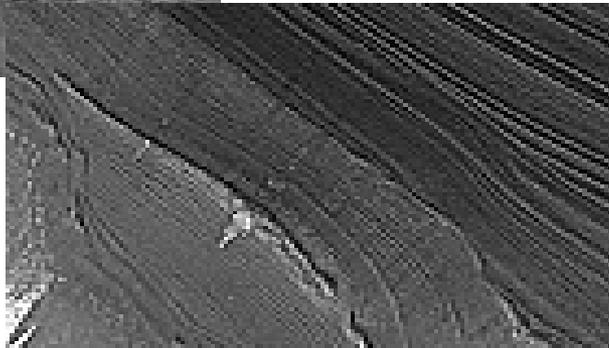
ex. “Olympus Mons”

- altura = 27 Km (3x everest)

- base = 700 Km



**Dunas (reg. escura) e rochas; escarpas; fissuras**



# Superfície

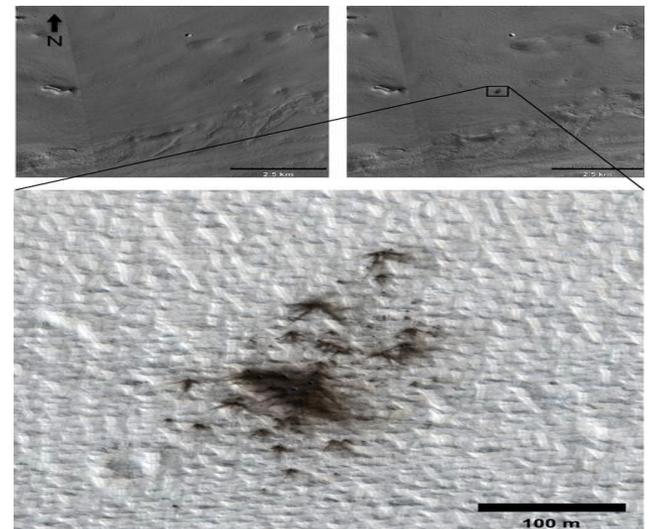
## ...crateras de impacto

As crateras de impacto são objeto de estudo para a história de evolução das superfícies planetárias: quanto mais profunda a cratera gerada pelo choque de um corpo celeste que entra na atmosfera, mais se consegue **recuar no tempo**.

As rochas expostas pelo impacto permitem estudar o material que esteve escondido debaixo da superfície.

Focando na composição química das rochas incrustadas nas paredes das crateras, na orla e nas elevações centrais, bem como nos materiais que as rodeiam, os cientistas identificaram 175 locais com **minerais formados na presença de água**.

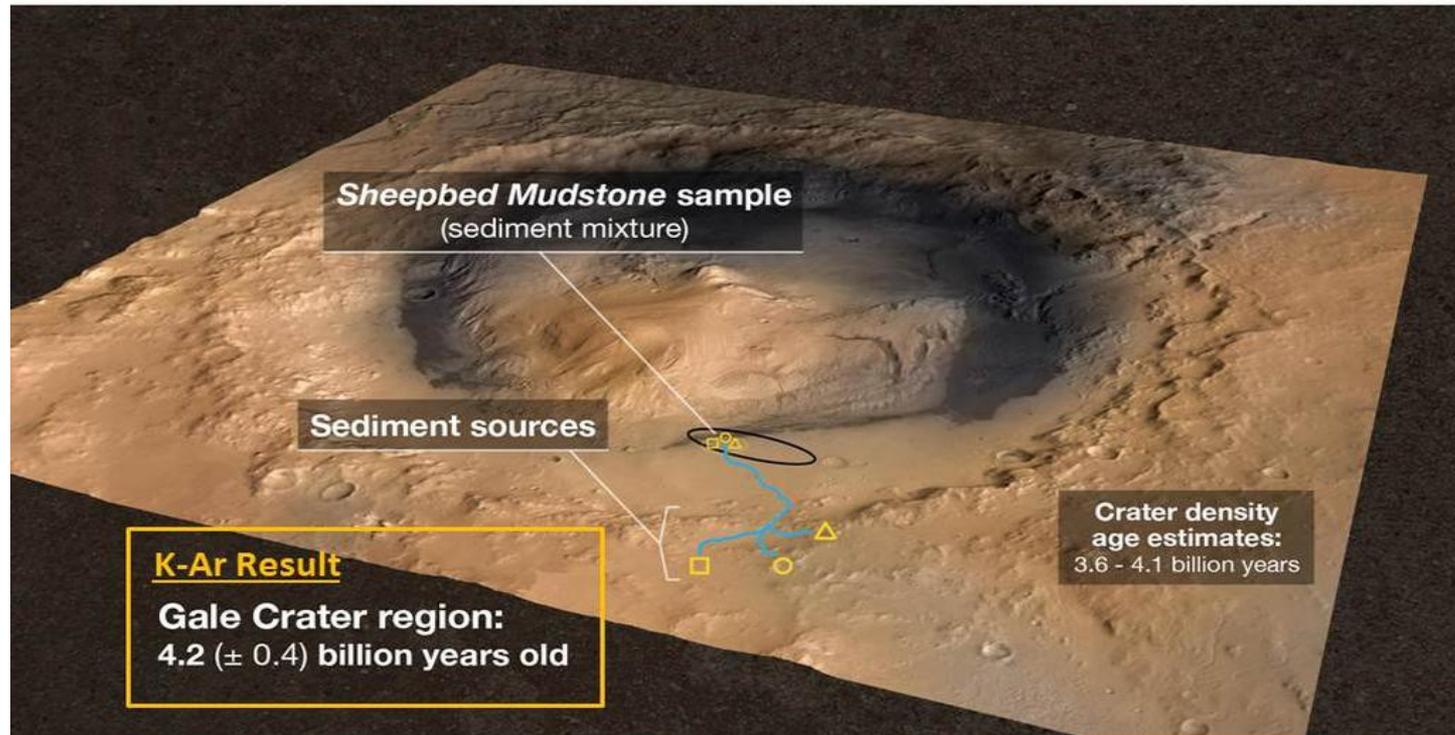
Análises das imagens estimam que o planeta é **bombardeado por mais de 200 pequenos pedaços de asteróides ou cometas, por ano**, formando crateras com pelo menos 3,9 metros de diâmetro.

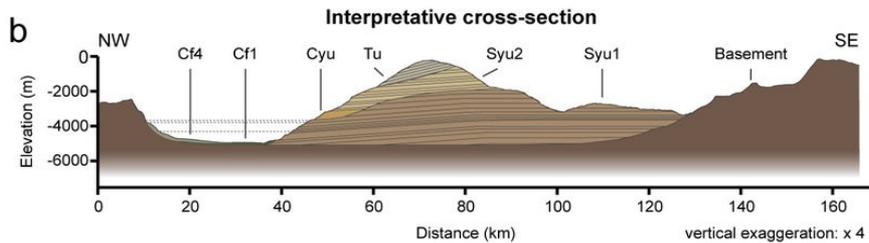
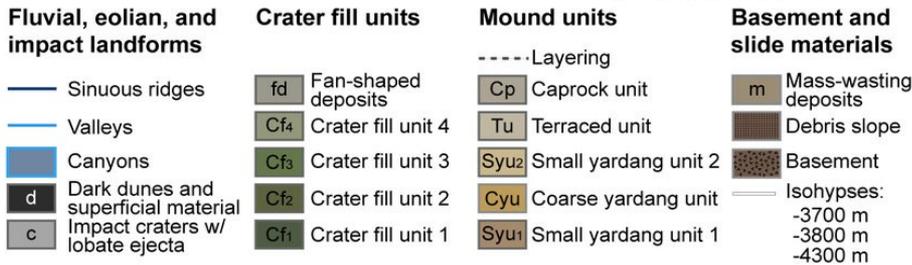
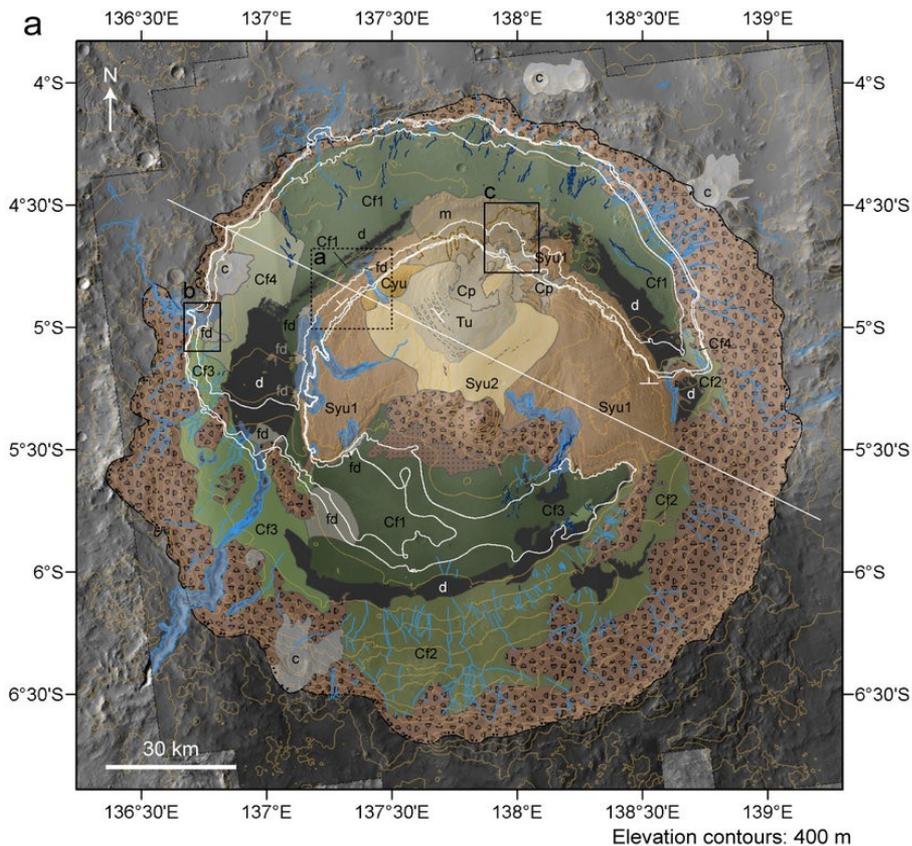


# Uma das áreas analisadas

...datação, elementos químicos presentes

## K-Ar Age Determination of Sheepbed Mudstone





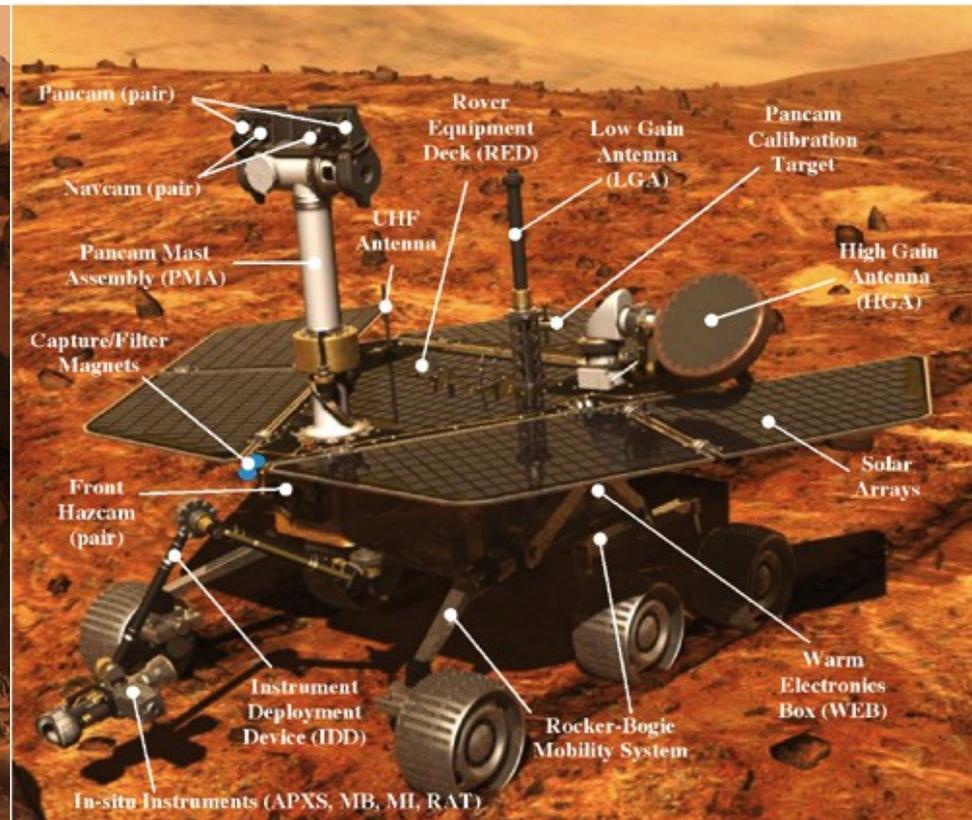
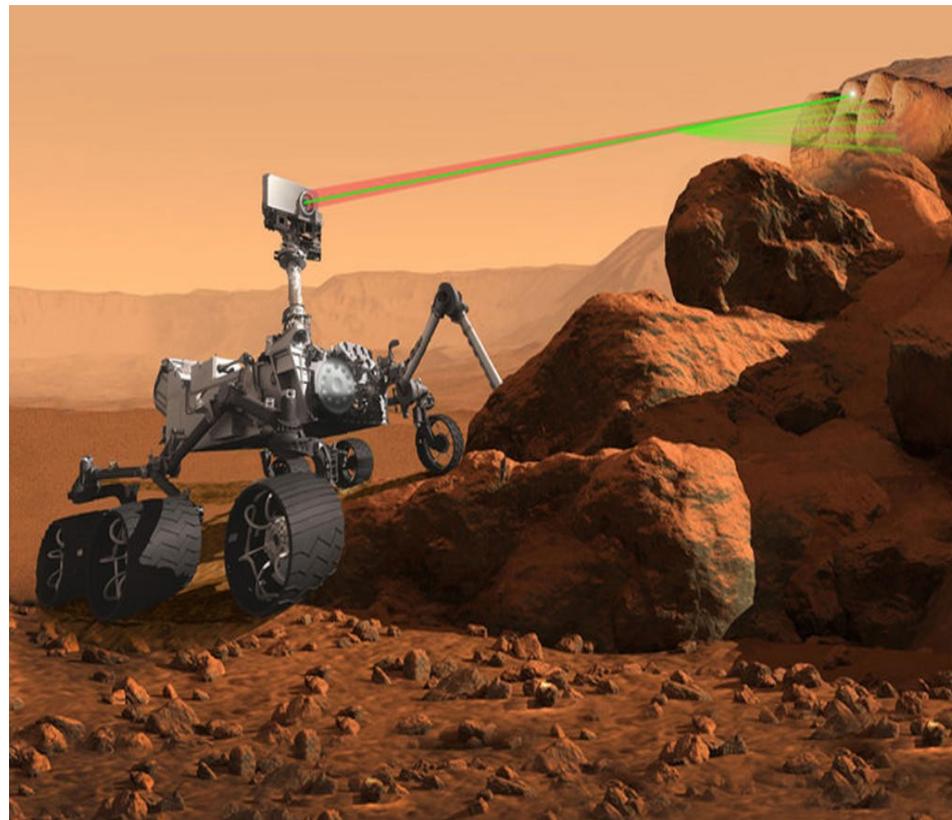
Junho de 2018

[news.nationalgeographic.com/2018/06/mars-organic-compounds-methane-curiosity-space-science/](https://news.nationalgeographic.com/2018/06/mars-organic-compounds-methane-curiosity-space-science/)

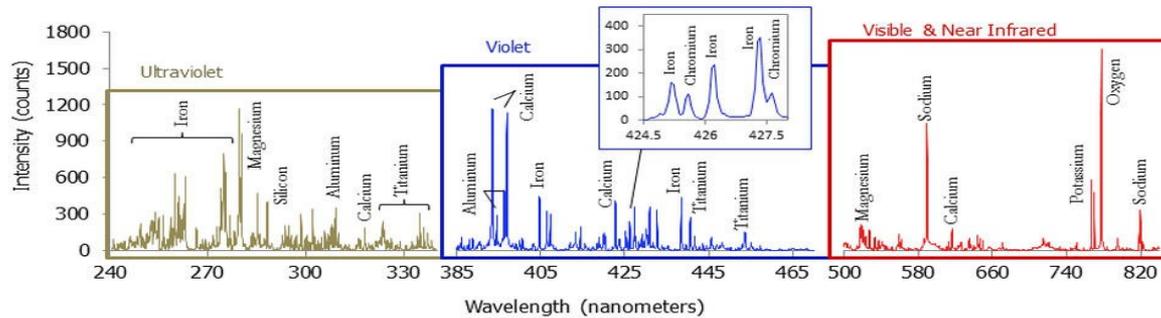
**Building Blocks of Life Found on Mars - Carbono, cloro, enxofre, metano na atmosfera.** O rover Curiosity da NASA perfurou esse buraco de 2,5 cm de profundidade em uma rocha marciana.

# Concepção dos robôs que operam na superfície

...e os instrumentos que carregam para análise científica do solo



[http://mars.nasa.gov/mer/mission/spacecraft\\_surface\\_rover.html](http://mars.nasa.gov/mer/mission/spacecraft_surface_rover.html)



## Análise química da rocha Ithaca:

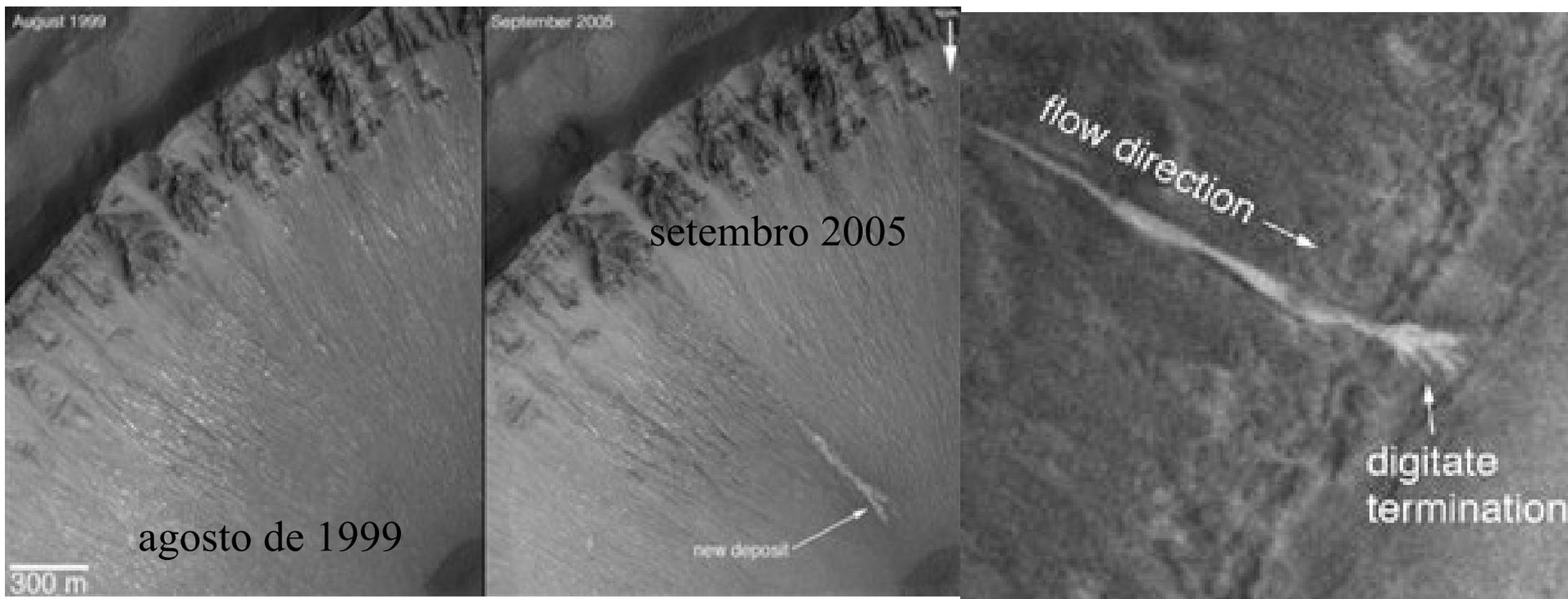
Obtido pela “Chemistry and Camera Instrument (ChemCam)” do Curiosity rover, o gráfico acima representa o espectro típico de (basalto) de material marciano vulcânico.

**Técnica:** o instrumento mede a intensidade da luz no ultravioleta, visível e infravermelho emitida por um laser sobre a rocha.

Embora **Ithaca** seja **sedimentar** (compostas por sedimentos transportados pela água, gelo ou vento) ela apresenta material originado de **material vulcânico**. Os elementos identificados na rocha a partir do espectro incluem um grande conjunto de elementos de padrão de **silício, magnésio, alumínio, cálcio, sódio, potássio, titânio e oxigênio. Cromo e manganês**, também estavam presentes.

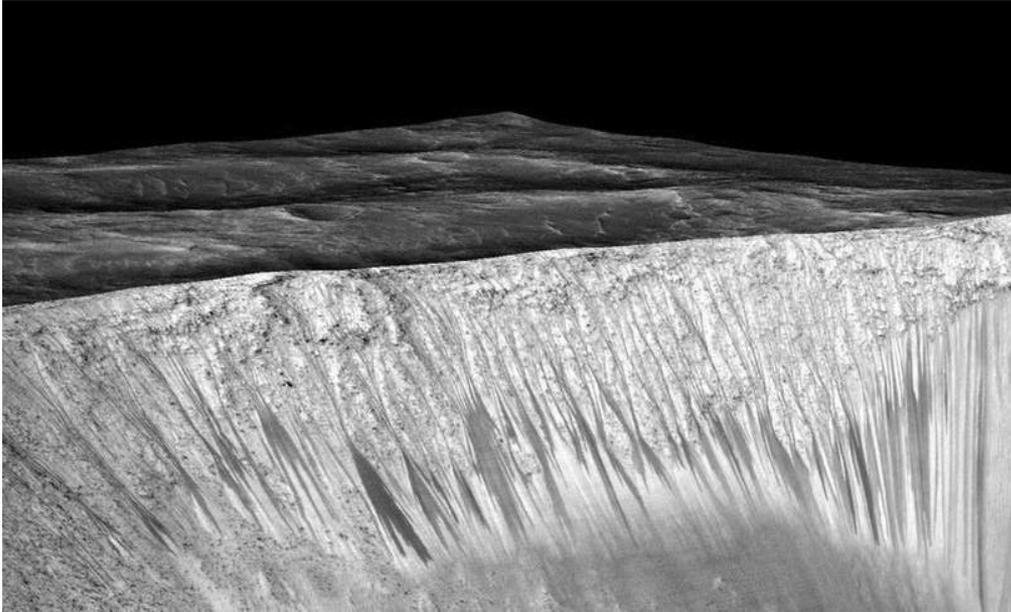
Imagens obtidas pela sonda “Mars Global Surveyor” da parede de uma cratera.

A última figura mostra a aparência de um novo depósito, de cor clara, possivelmente devido à **água corrente**.



Eles encontraram marcas reveladoras de sais que só se formam na presença de água em canais estreitos nas encostas de rochedos por toda a região equatorial do planeta.

# Água em Marte



Esses declives, são relatados pela primeira vez em 2011, surgem durante os meses quentes do verão marciano e desaparecem quando as temperaturas caem .....

Qual a interpretação desta constatação?

Em 28 de Setembro de 2015 a NASA divulga uma das maiores informações sobre o planeta: ...o fato de a água aparecer em determinadas estações e relacionadas a variações nas temperaturas e desaparecer quando as temperaturas caem é interpretado como sendo devido a **CICLOS HIDROLÓGICOS** (ainda em fase de pesquisas ... ver artigo abaixo)

07/10/2021 → <https://mars.nasa.gov/news/9054/nasas-perseverance-sheds-more-light-on-jezero-craters-watery-past/>

Este fato abre perspectivas para busca de pesquisa de vida microbiana, além da possibilidade de, na manipulação da água, obter-se combustível, oxigênio e também preparar missões tripuladas, já que o elemento vital se encontra presente no planeta.

# Atmosfera



Fina e deve ter sido mais espessa, mas efeito estufa aqueceu atmosfera...

Composição: 95.3% CO<sub>2</sub>; 2.7% N; 1.6 Ar; 0.15% O, 0.03 H<sub>2</sub>O, pmas qdes outros gases

Vapor d'água é mínimo

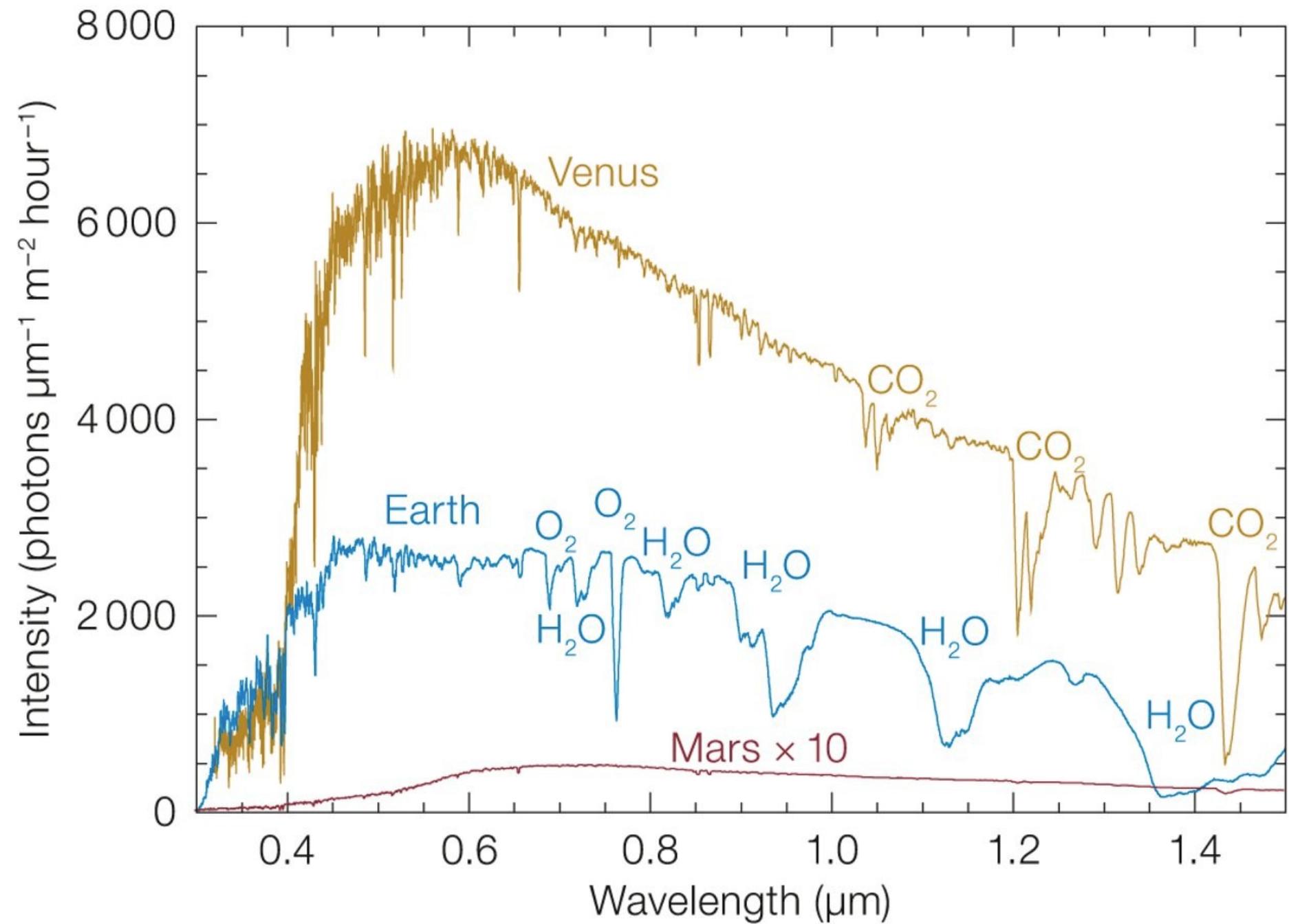
Devido inclinação 24 graus

# Possui estações (qdo é inverno no HN é verão HS)

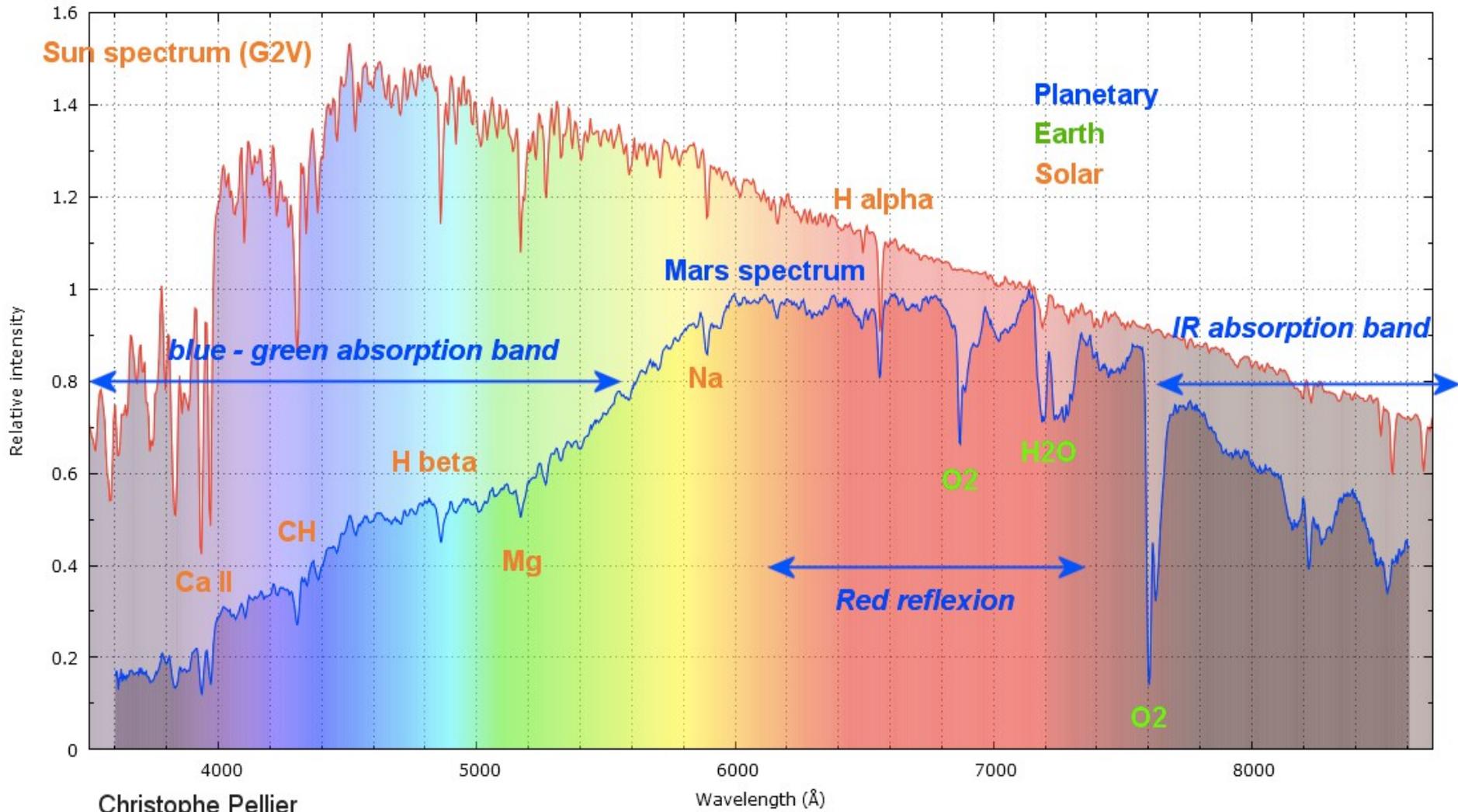
# Suaves no HN, violentas no HS no verão: devido a maior insolação são disparadas tempestades de poeira fina, globais, que cobrem o planeta inteiro c/ variação de cor obs...

# Variação temperatura (inverno -133 C < T < 27 C verão)

Complexo e variável regime de ventos, porém com pouco impacto devido a fina espessura atms.



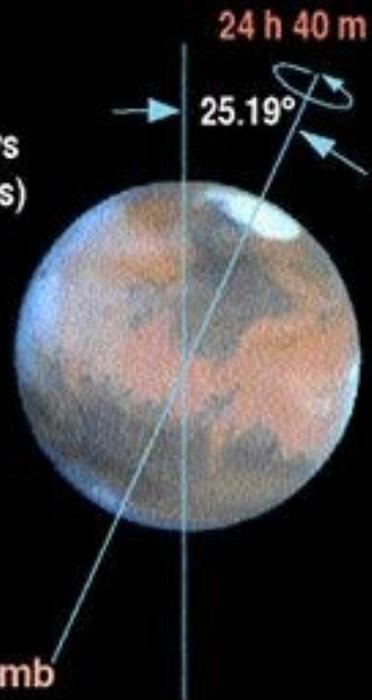
# Mars color spectrum - comparison with Sun spectrum 2020/11/05



# EARTH

# COMPARISON

# MARS



## YEAR

365 Days    686 Days  
(667 Sols)

## GRAVITY

38% of earth

## SUNLIGHT

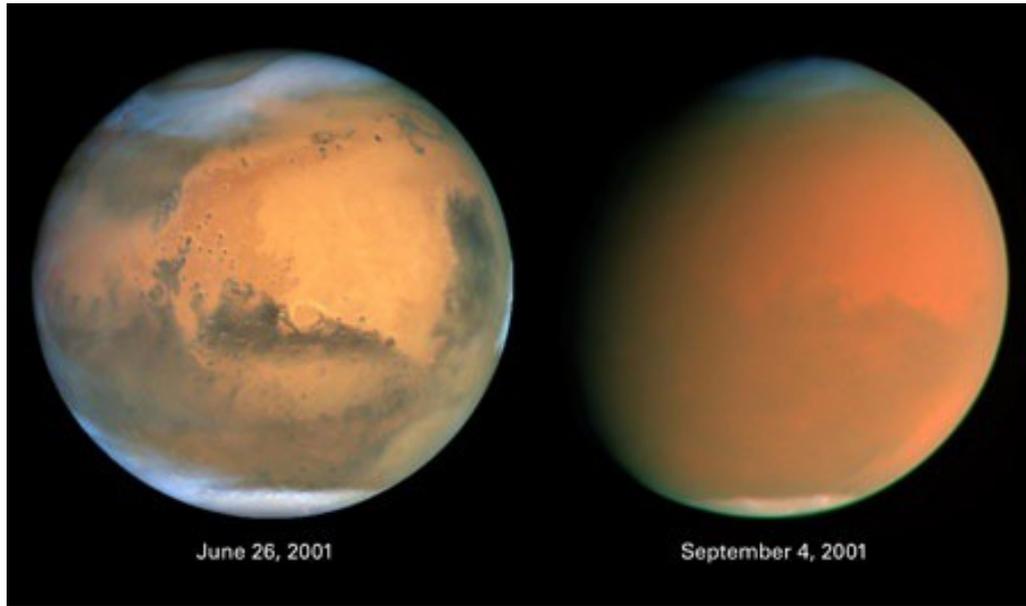
44% of earth

## ATMOSPHERE

	Total	
1013mb		7.6 mb
0.00035	CO <sub>2</sub>	0.95
0.781	N <sub>2</sub>	0.027
0.210	O <sub>2</sub>	0.0013
0 to 0.04	H <sub>2</sub> O	0 to 0.00021
0.0093	Ar	0.016

Mars, courtesy  
P. James and NASA

# Tempestades de Poeira Fina

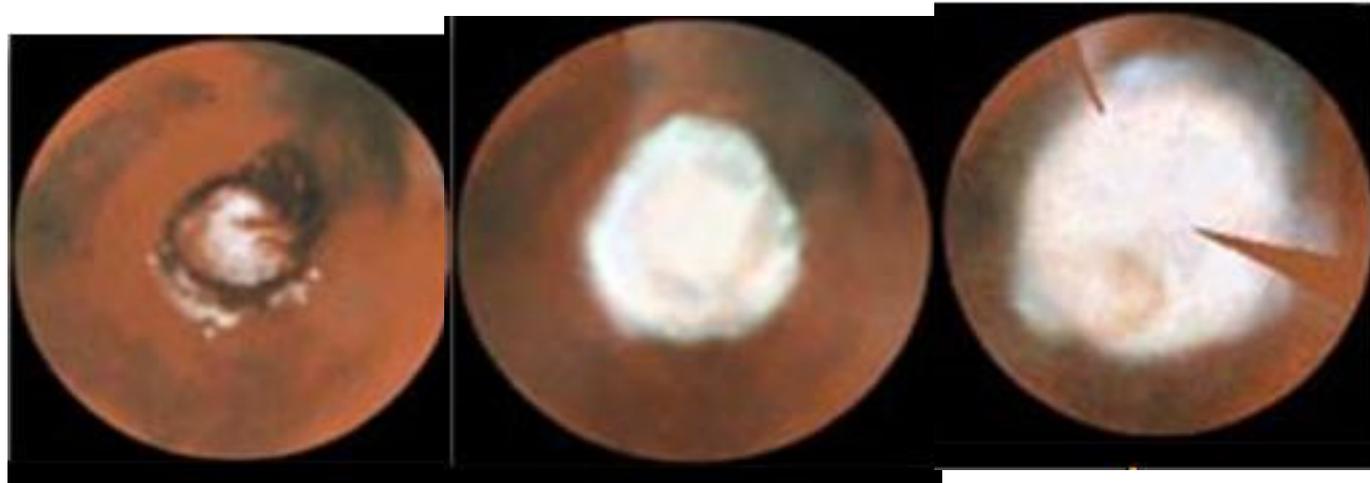


**PN**  
**Água congelada**

**PS**  
**gelo seco**  
**(SO<sub>2</sub>)**

Calotas polares nas  
diferentes estações

Inclinação eixo rot. (24°)  
estações do ano



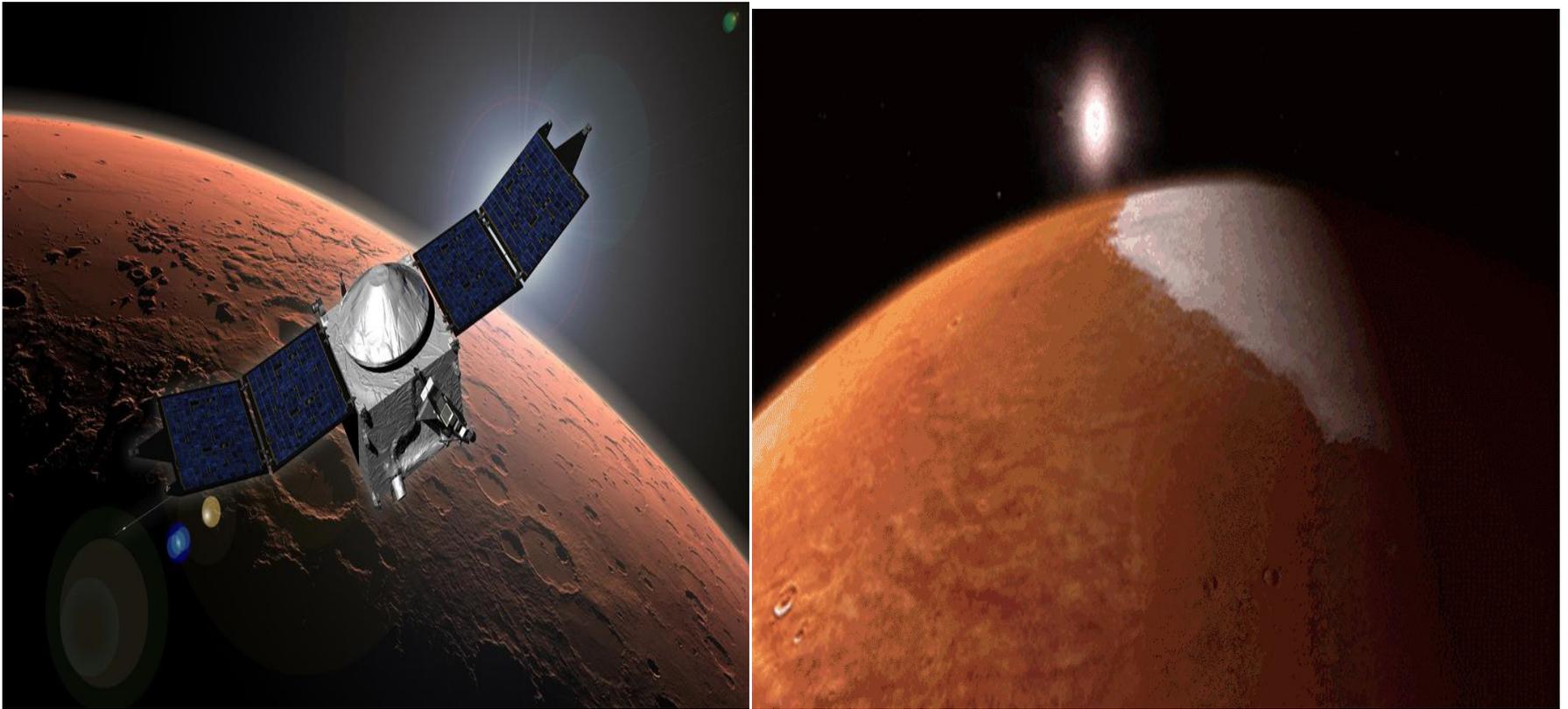
Verão

Primavera

Inverno

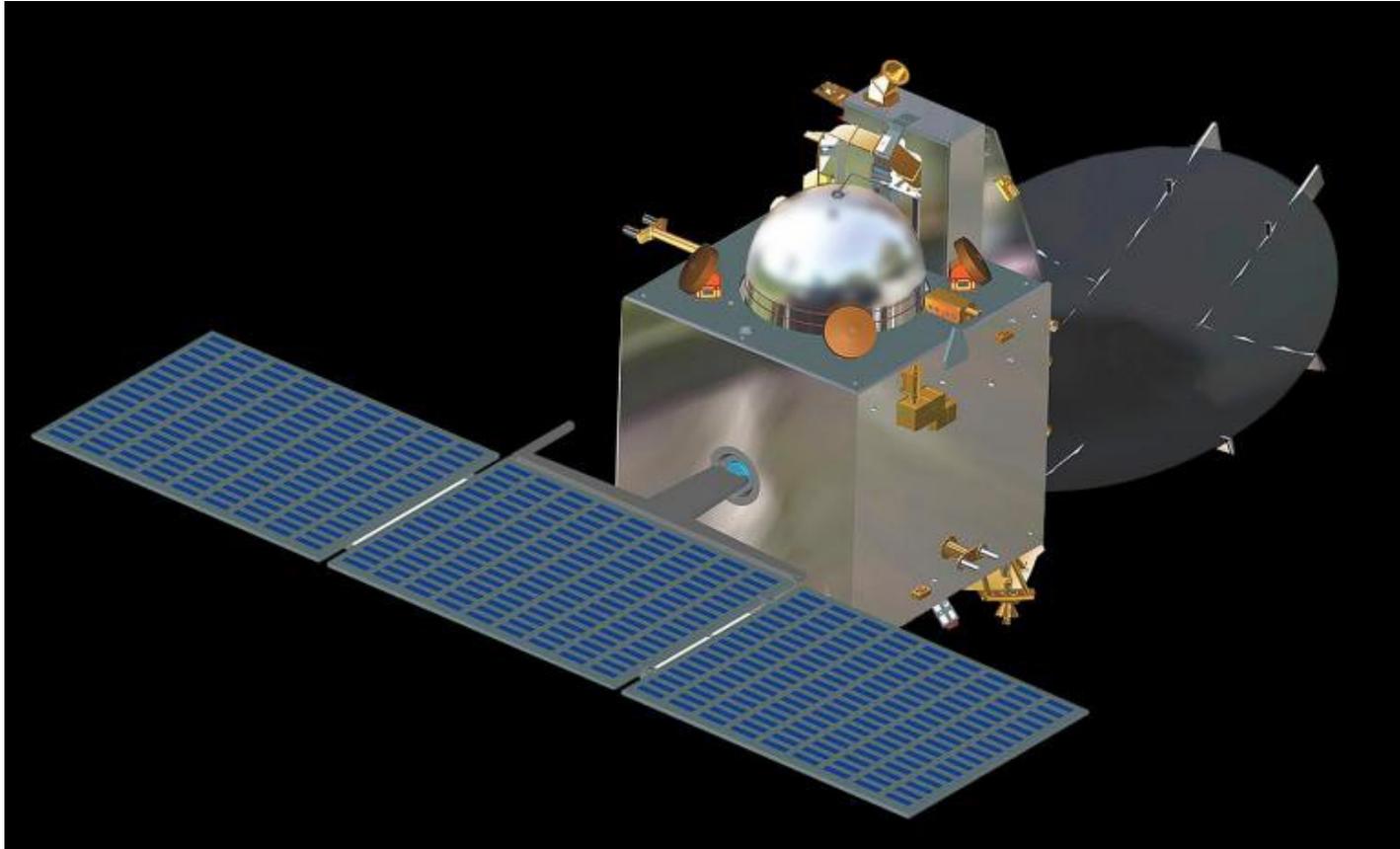
## Missão Maven (Mars Atmosphere and Volatile Evolution) - NASA

...atingiu o planeta em 21/09/2014, destinada a entender a modificação na atmosfera superior e no clima do planeta vermelho ao longo do tempo (6 meses a 1 ano).



Alguns indícios mostram que o planeta possuía no passado água líquida em abundância. Deveria, portanto, ter uma atmosfera mais densa, que geraria gases ( $\text{CO}_2$ ) do efeito estufa, aquecendo o planeta. A questão a ser investigada é para onde foram a água e o  $\text{CO}_2$ ?

**Mangalyaan** – satélite indiano entrou na órbita de Marte em 23/09/2014  
...para medir a presença de metano na atmosfera do planeta



<http://www.space.com/topics/india-mars-orbiter-mission/>

Planetas com alto **desequilíbrio químico atmosférico** devem ser os principais alvos de missões espaciais, apontaram integrantes do Instituto de Astrobiologia da agência espacial.

“Estudar esse estado de **desequilíbrio químico atmosférico** é importante em razão do potencial papel que ele pode desempenhar na detecção de vida em outros planetas”

**Ver**

[http://agencia.fapesp.br/grupo\\_da\\_nasa\\_busca\\_evidencias\\_quimicas\\_de\\_vida\\_extraterrestre/19902/](http://agencia.fapesp.br/grupo_da_nasa_busca_evidencias_quimicas_de_vida_extraterrestre/19902/)

# Interior

Caroço denso de raio de aprox. 1500-2100 km constituído de **Fe**, **Ni** e enxofre (**K**).

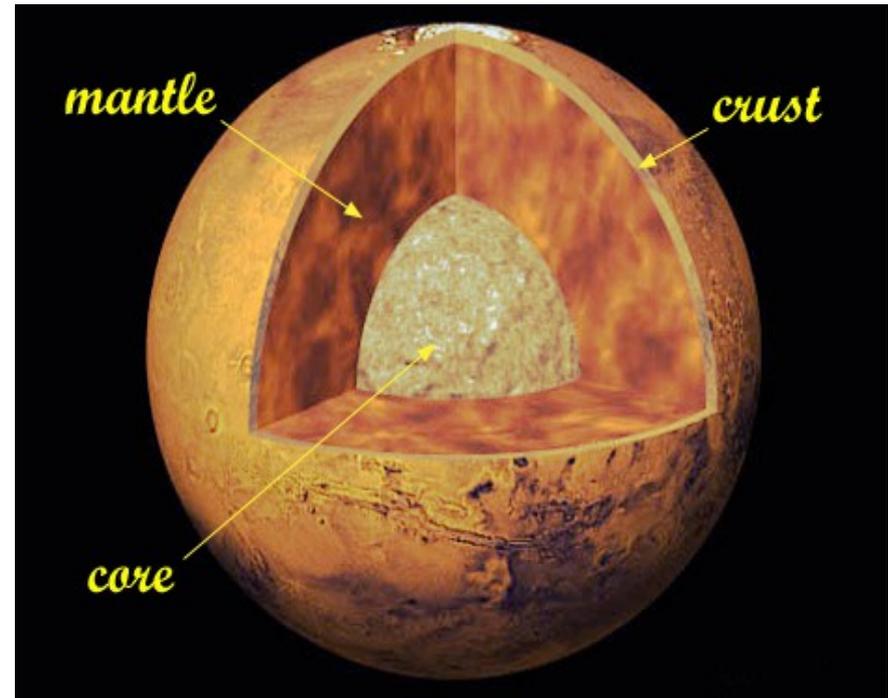
Manto de rocha derretida com espessura entre 1.240 - 1.880 Km)

Crosta fina e espessura diferente no HN (35 Km) e HS (80Km) feita de ferro, magnésio, alumínio, cálcio e potássio....Pq?

**Caroço de Fe líquido** derretido encontrado em 2003

--> ausência de CM

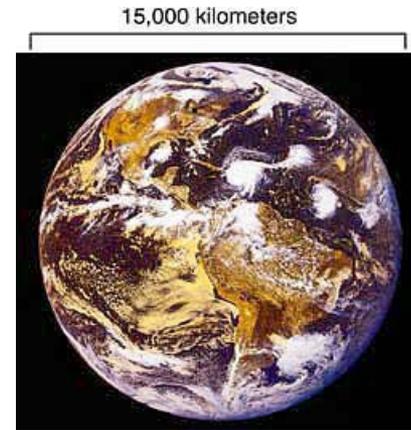
--> Áreas magnetizadas na superfície



Informações adicionais ver:  
<https://solarsystem.nasa.gov/planets/mars/overview/>

# “Sistema” Terra-Lua

## Características Gerais



3º Planeta do Sistema Solar;  $D_{\text{Terra-Sol}} = 1 \text{ UA} = 150.000.000 \text{ Km}$

Maior e **geologicamente mais ativo** dos planetas terrestres

Presença de oceano e a atmosfera composta de 77%N e 21%O - **único no Sistema Solar**

Único terrestre com **satélite substancialmente grande**

Sistema peculiar devido a várias características, entre elas, a força de maré da Lua

# Atmosfera

## ...evolução da atmosfera original

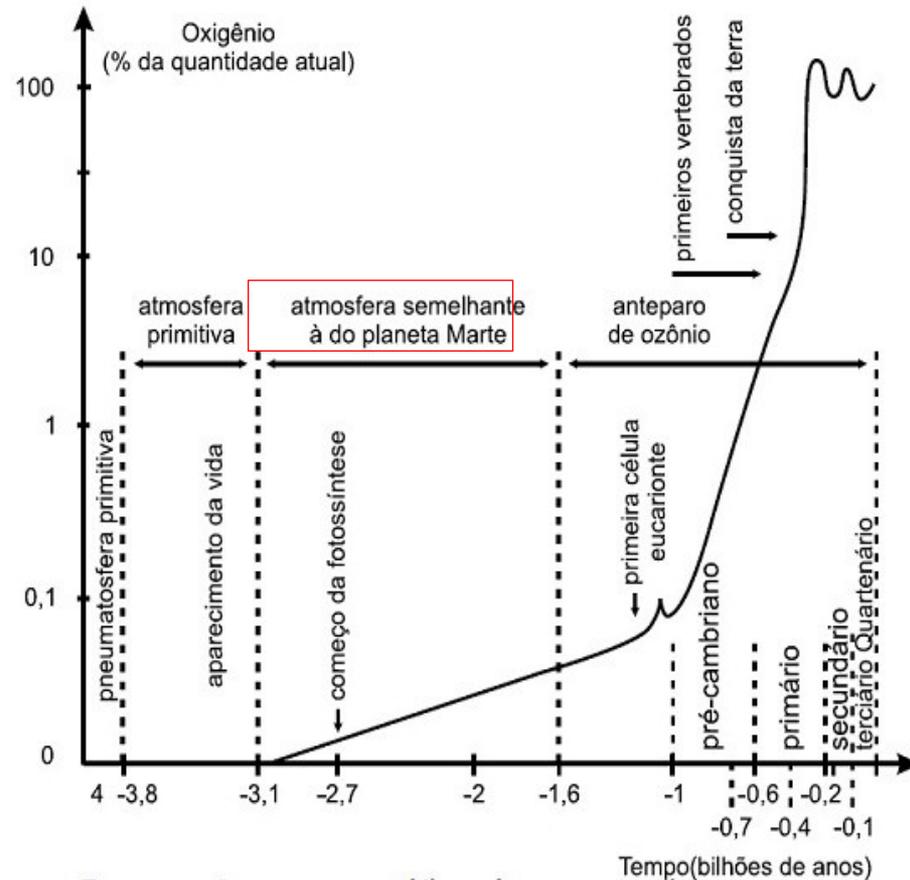
Atmosfera original ou primitiva com compostos químicos contendo **H**, e **ausência de O**

Atmosfera secundária (AS) – HOJE com **77% N**, **21% O** e vestígios de vapor d'água, argônio e outros gases.

Formas de vida são responsáveis pela atmosfera secundária. Pq?



- Plantas consomem CO<sub>2</sub> e liberam O
- Deterioração da matéria orgânica + vazão vulcânica criam N



# Atmosfera

**Estratificada** devido ao ganho e perda de calor.

Sofre **movimentos de correntes** complexos criando clima e padrões de tempo (troposfera)

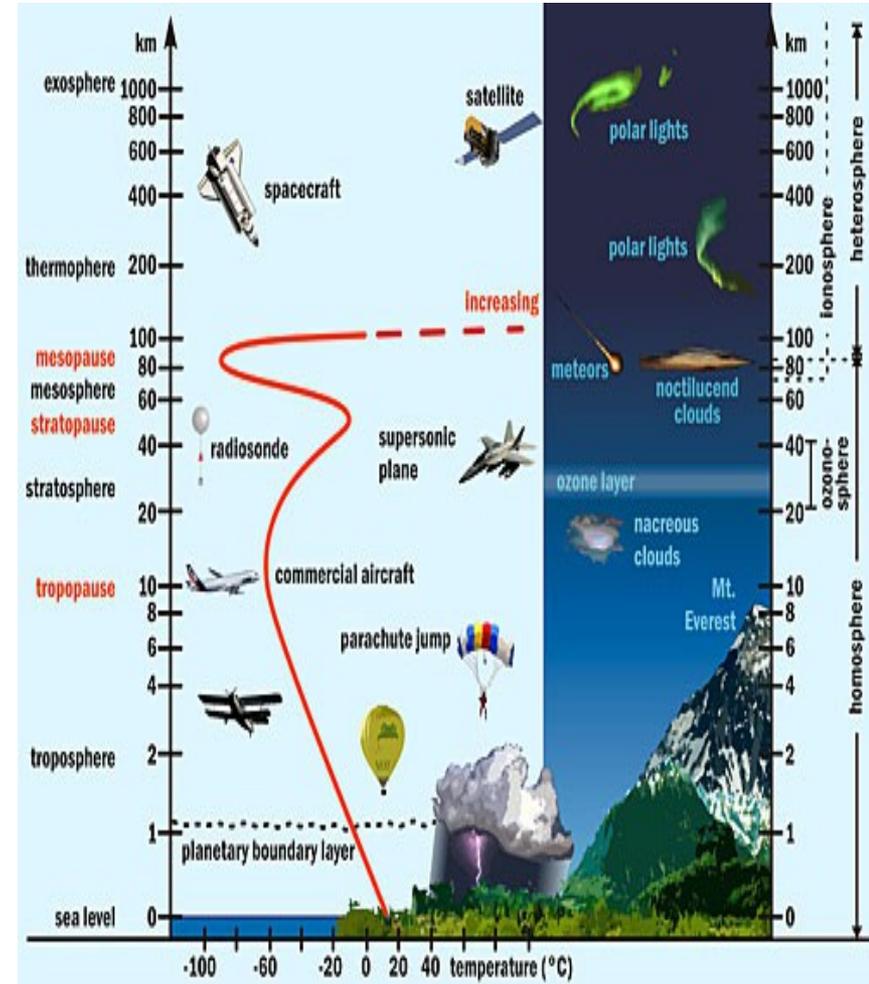
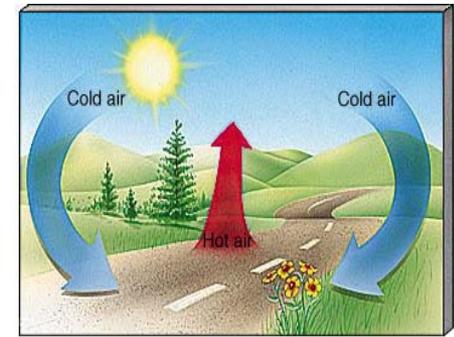


# **Convecção**: movimentos de massa de ar devido ao **gradiente de temperatura** -->

Regiões com **baixa pressão** são formadas em áreas onde o ar está subindo (ar quente – menos pesado); **pressão alta** onde o ar está descendo (ar frio – mais pesado)

Recebe influência também do contraste de temperatura entre oceano e continente com mudanças das estações que complicam o padrão de convecção.

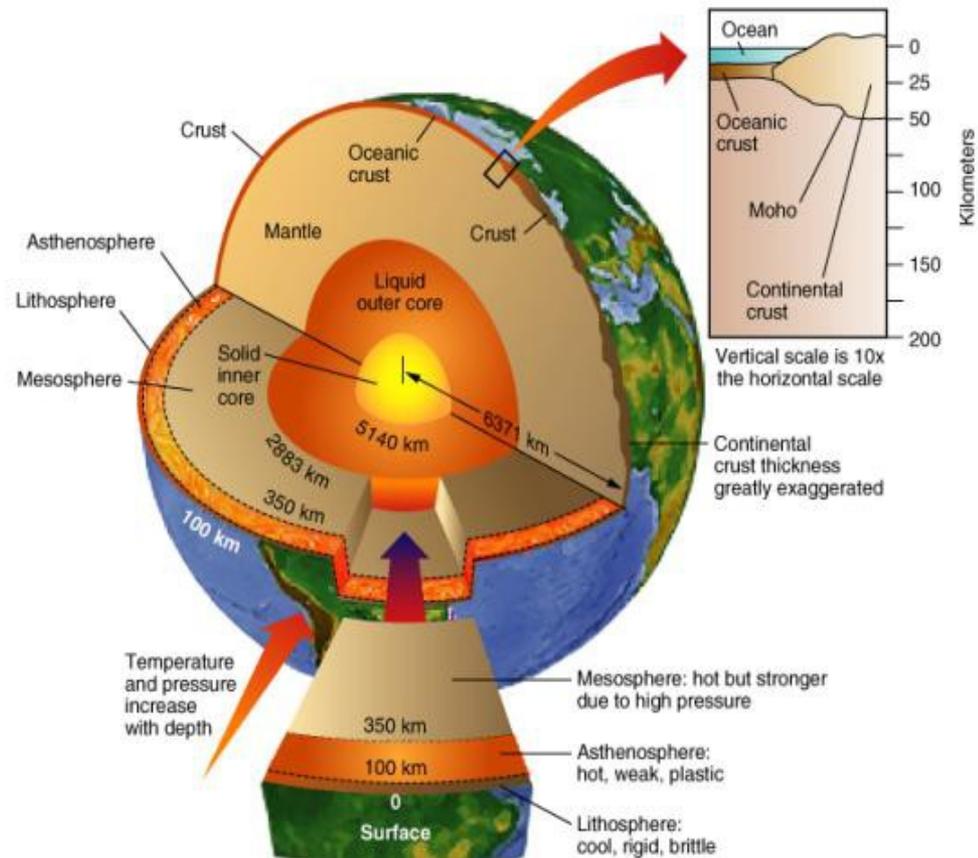
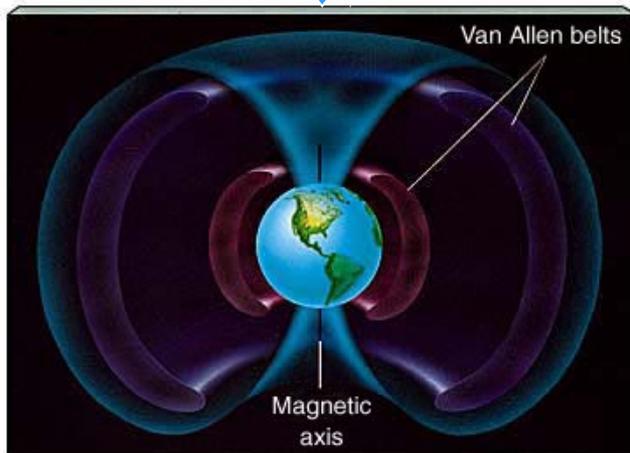
Rotação da Terra também afeta os movimentos do ar



# Interior

Estudado via **ondas sísmicas**, vibrações causadas por terremotos que viajam através do interior do planeta: 3 tipos: **transversa (S)** - passam por sólidos; **compressão (P)** - para sólidos e líquidos; **transversa (L)** só na superfície).

- Crosta: rocha, espessura (e) ~5-60 km
  - Manto: semi-rígido, espessura ~3000 Km (litosfera, astenosfera e mesosfera)
  - Caroço: interno (sólido) e externo (líquido)
- Atrito gera Campo Magnético



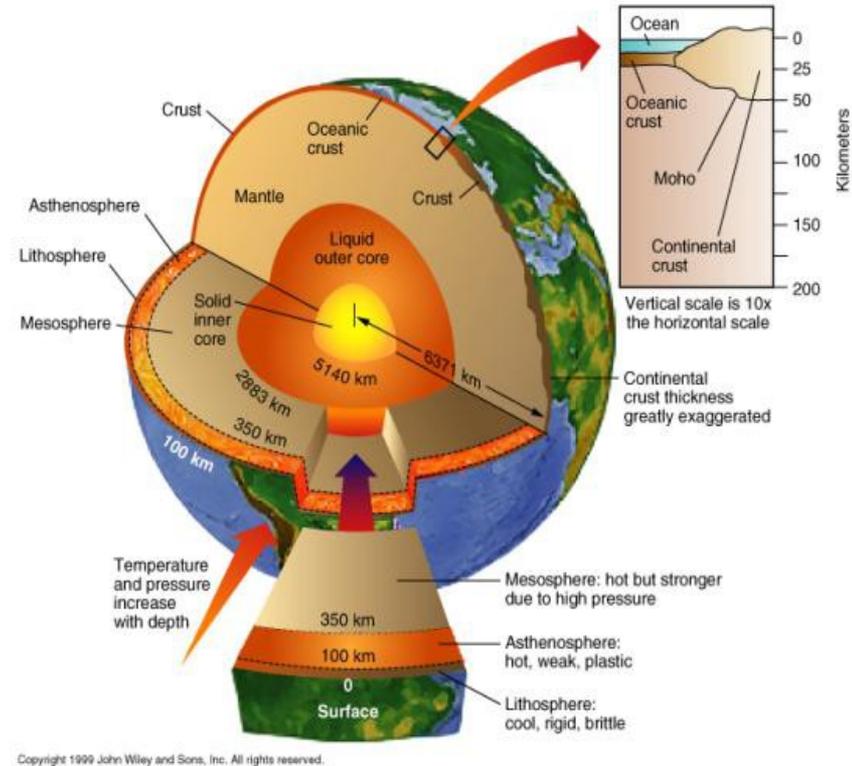
# Crosta

...papel na evolução

Placa fina, quebradiça e instável que flutua no manto



Se movimentam, criam atividades tectônicas e **geram montanhas além da deriva de continentes**

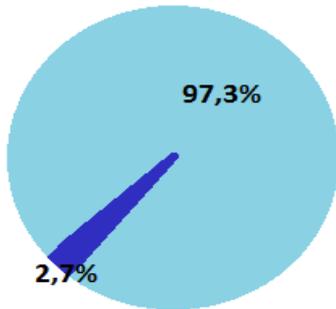


**Erupções vulcânicas criam as maiores mudanças na estrutura da superfície**

**Erosão** causa mudanças -> geleiras, clima, colisões (início...)

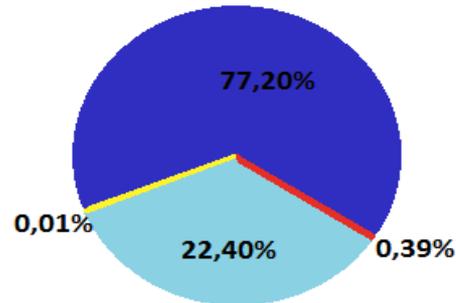
# Superfície: 70% de água

Gráfico 1:  
Total de água na Terra



■ Água doce  
■ Água salgada

Gráfico 2:  
Distribuição de água doce na Terra



■ Nas calotas polares  
■ Águas subterrâneas  
■ Na atmosfera  
■ Na superfície



Água salgada pode ter sido armazenada em um período de evolução do Sistema Solar chamado “intenso bombardeio tardio”, há 4 bilhões de anos, através de cometas ou planetóides que carregam em suas superfícies gelo sujo.

A água doce é procedente de um processo de precipitação; chuva, granizo ou do degelo de geleiras. A água da chuva é formada através da evaporação das águas dos rios, lagos e mares. Ao evaporar a água não carrega o sal do mar

# Lua

...relativamente grande comparada com Terra

Diâmetro da ordem de 1/4 do diâmetro da Terra ( $\simeq 4000\text{km}$ )

Massa da Lua ( $7,3474271 \times 10^{22} \text{ kg}$ ), da ordem de 1.23% da Massa da Terra ( $5,973332 \times 10^{24} \text{ kg}$ ).

**Não possui atmosfera!**

Possui efeitos importantes sobre a Terra devido aos movimentos de rotação, translação e devido aos efeitos de força de maré.

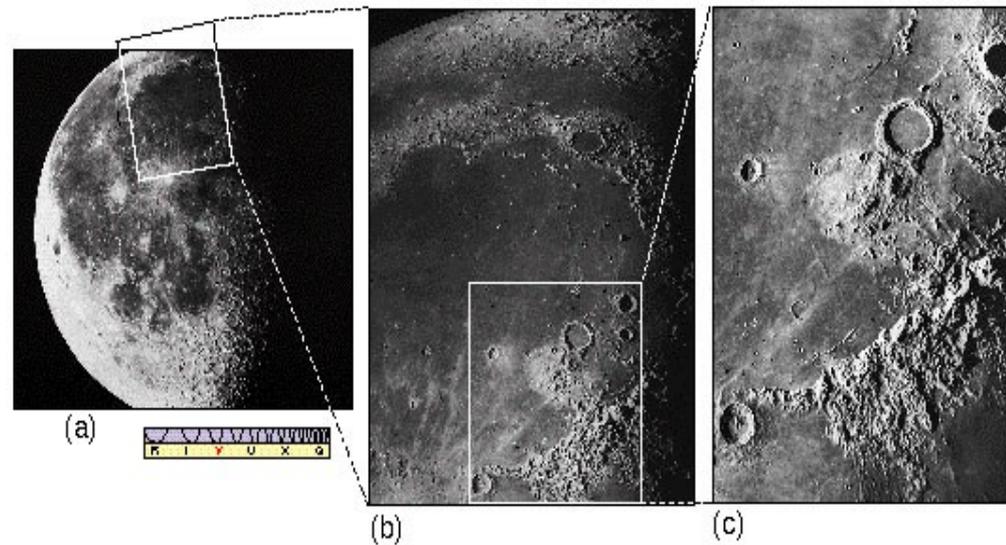
Rotação sincrônica (período de rotação=orbital) resultando em um lado sempre oculto.

A distância Terra-Lua foi medida por radar e por laser disparado até um dos espelhos (prismas retro-refletores, que refletem a luz na mesma direção da luz incidente) colocados pelos astronautas na Lua nas missões Apollo 11, 14 e 15. O tempo de ida e vinda do laser é então medido. Seu valor médio é de 384.403 km

# Lua

## Características de Superfície

Mais proeminentes características são os **mares**, as extensas **regiões montanhosas brilhantes**; e inúmeras **crateras** de todos os tamanhos.



- **Mares:** concentradas na face não oculta, são **regiões planas e escuras cobertas por extensivos fluxos de lavas antigas** provocadas por colisões em uma fase onde o interior lunar estava parcialmente fundido. **Representam da ordem de 16% da superfície da Lua.**

Essas áreas mais baixas têm menos crateras do que o resto da superfície indicando que são mais jovens. Datação radioativa das rochas destas áreas indicam que elas tem **3 bilhões de anos.**

- **Montanhas:** muito antigas com idade da ordem de **4 - 4,5 bilhões de anos.**

- **Crateras:** com características resultantes de impacto, formadas no 1º bilhão de ano de formação do Sistema Solar.

## Características do Interior

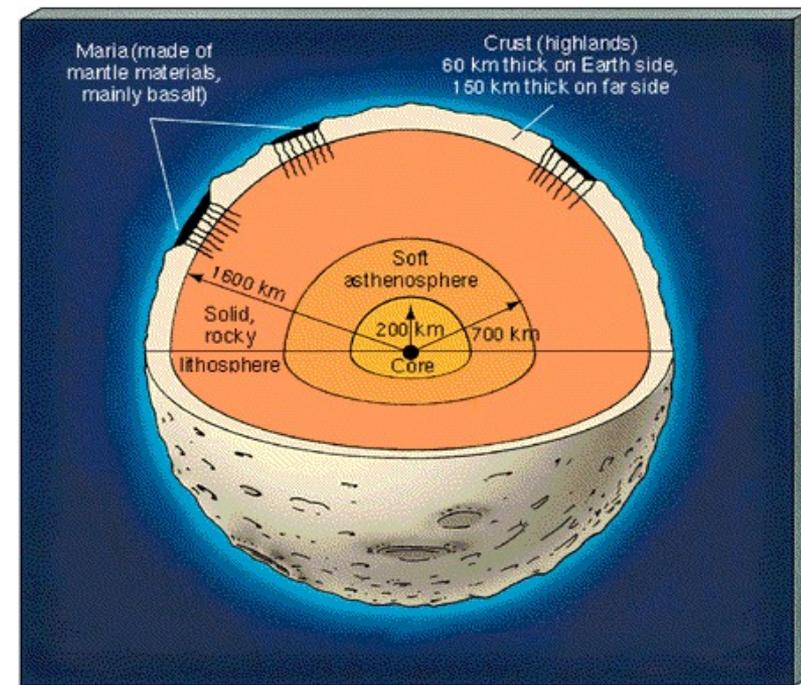
Impacto de pequenas naves que caíram na superfície gerou ondas sísmicas que permitiram estudar o interior da Lua.

- **Crosta** (e = 50-100km): mais fina do lado visível (60Km)...e mais espessa ( 150 Km) do lado oculto
- **Manto** (lithosphera rígida+ asthenosphaera semi-rígida) e
- **Caroço sólido**

Campo Magnético não detetado, portanto, nenhuma zona líquida no caroço

...nenhuma Atividade Tectônica -> geologi<sup>te</sup> inerte

...não possui **Fe** no centro



## Origem Lua...? ... Qualquer teoria deve explicar...

Baixa q<sup>de</sup> Ferro e elementos parentes comparado c/ Terra

Escasses de elementos voláteis

Certas formas atômicas ou isotopos de elementos, tais como Oxigênio, estão presentes na Lua e na Terra com a mesma abundância relativa (ex. O)

Alto momento angular orbital (MA)

Não possui Fe no centro

### Hipóteses

**Captura:** Lua formada em algum lugar e foi capturada pela Terra

Pbs-> muito difícil de ocorrer – pouco provável e não explicaria a semelhança de isótopos de O entre Terra e Lua

**Contemporânea:** formadas ao mesmo tempo

Pbs-> não explica alto MA e contrastes químicos

**Fissão:** Lua separada Terra no início da formação...

Pbs-> não explica como tal qde massa poderia ter sido ejetada a tão gde orbita, além do contraste químico

## Hipótese: ...a que parece melhor



- Terra + Lua + planetas -> todos formados por coalescência de planetesimais (corpos sólidos de tamanho intermediário que condensaram via gás e poeira, no início de formação do Sistema Solar)
- Após formação da Terra, já “**diferenciada** – fase onde o **Fe** já havia se escoado para o centro” houve colisão com planetóide, com consequente ejeção das camadas externas (deficientes em Fe) → o material ejetado aquecido no impacto vaporizou parcialmente -> restante gerou disco -> condensou -> formou Lua

- **Evolução da LUA....**

Crosta esfria e endurece -> colisões abrem fissuras -> flui lavas -> criam mares (onde a crosta é mais fina e 1 bilhão de anos + jovem do que montanhas) .....o interior esfria e se solidifica -> poucas atividades geológicas

Força de influência gravitacional da Terra (maré) diminui rotação -> Lua se afasta gradualmente mantendo Momento Angular constante -> fica presa, nesta configuração de equilíbrio ficando o lado mais denso (mares) permanentemente de face para Terra

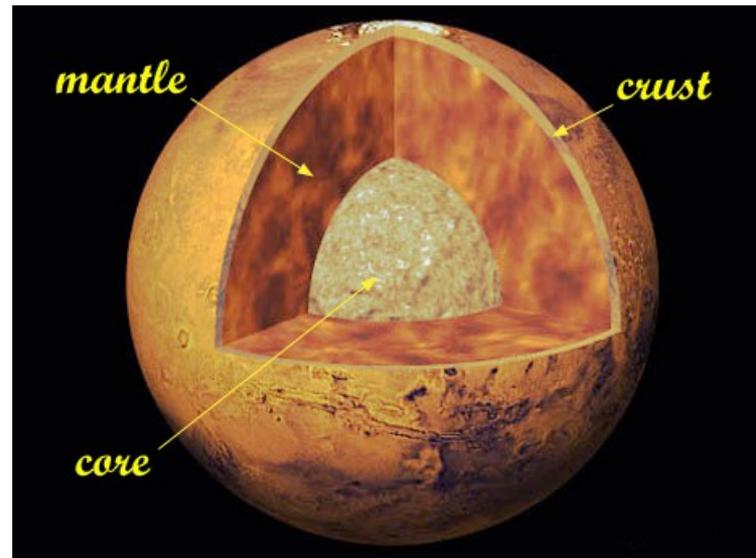
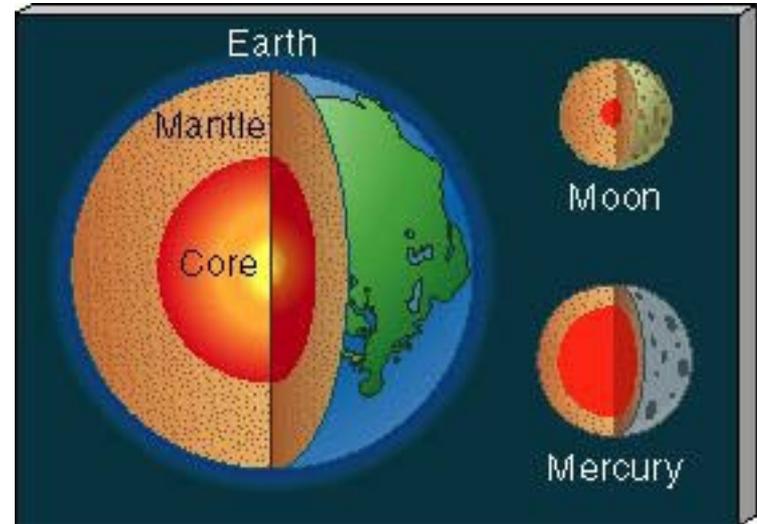
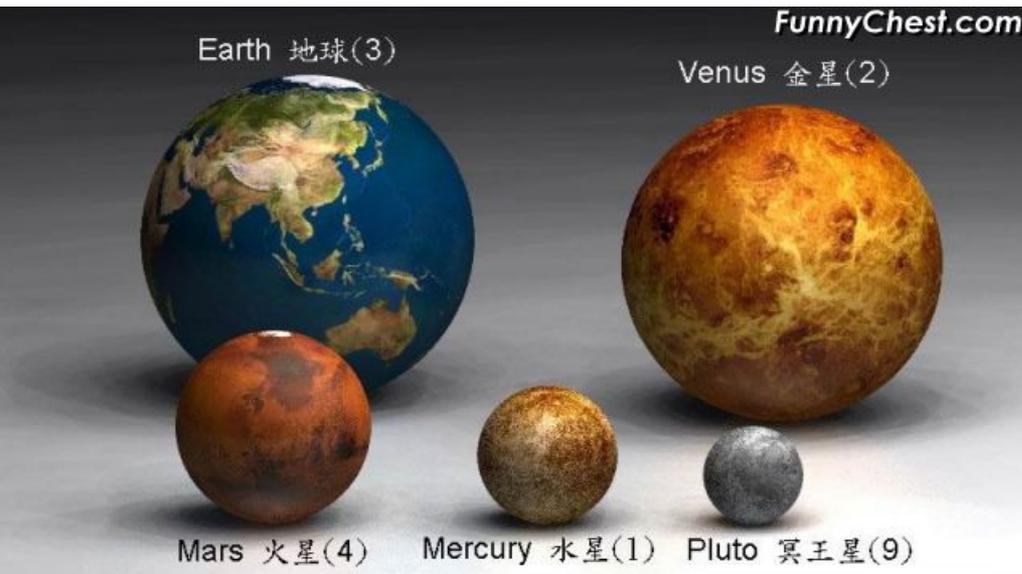
- **Este cenário explicaria:**

- 1. Alta velocidade de impacto e o alto momento angular**
- 2. Contrastes químicos**
- 3. Mesma abundância relativa de O**

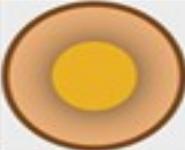
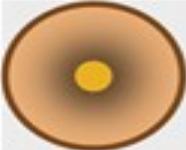
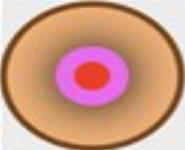
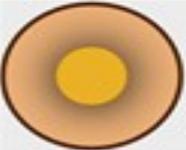


PS: Recentemente, artigo publicado por De Meijer e Van Westrenen tenta resgatar a hipótese de formação da Lua por FISSÃO ([www.scielo.org.za](http://www.scielo.org.za))

# Comparando Dimensões e Estruturas dos Planetas Internos



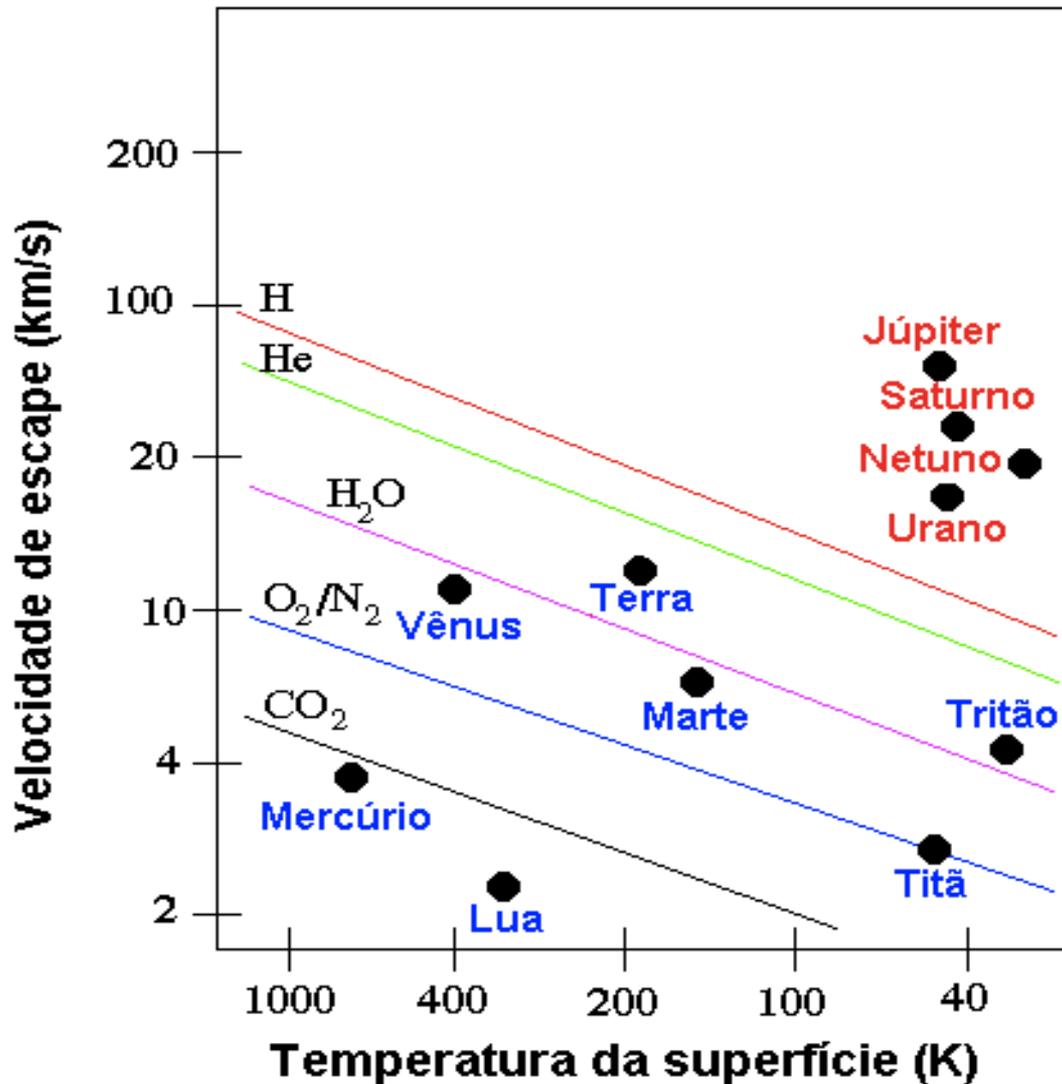
# Propriedades Gerais dos Planetas Internos

	Mercúrio	Vênus	Terra	Marte
				
<b>Distância média ao Sol (milhões km)</b>	57,9	108	149	228
<b>Período de translação</b>	88 d	224,7 d	365 d	687 d
<b>Período de rotação</b>	58,6 d	» 243 d	23,9 h	24,5 h
<b>Diâmetro equatorial (km)</b>	4878	12 000	12 756	6787
<b>Massa (unidade=1)</b>	0,055	0,81	1,0	0,1
<b>Temperatura superfície °C</b>	-170 a 430	464	15	- 40
<b>Densidade média água = 1 g/cm<sup>3</sup></b>	5,4	5,2	5,5	3,9
<b>Nº de satélites naturais</b>	0	0	1	2
<b>Estrutura interna</b>				

● Crusta  
 ● Manto  
 ● Núcleo  
 ● Núcleo externo  
 ● Núcleo interno  
 ● Manto  
 ● Manto  
hidrogênio e hélio    água, amoníaco e metano

a- anos; d- dias; h- horas; » - movimento retrógrado; »» - movimento retrógrado aparente

# Comparação da velocidade de escape entre os planetas internos e externos



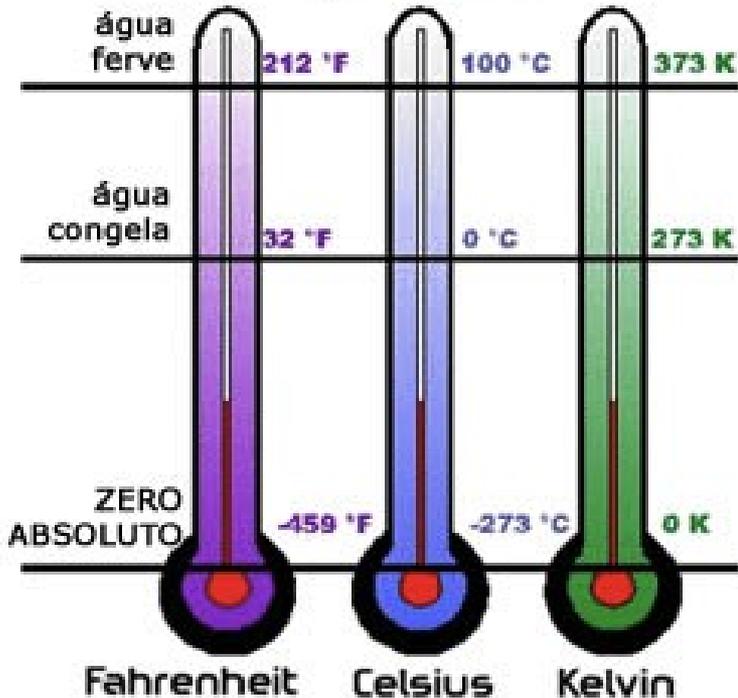
Vimos até aqui a estrutura interna do Sistema Solar, com extensão da ordem de 4 unidades astronômicas, **caracterizada pela presença de planetas rochosos relativamente pequenos e densos (3500-5500 kg/cm<sup>3</sup>) e praticamente desprovidos de satélites.**

A composição química destes planetas é relativamente baixa em elementos leves e gases voláteis (H e He), e **alta de elementos pesados, refratores, como o silício e ferro.**

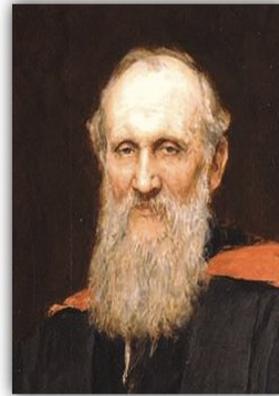
Vamos ver agora a Estrutura Externa do Sistema Solar...

# Tirando dúvidas sobre relações entre escalas de temperatura....

## Comparação das escalas:



## Escalas Termométricas



Escala Kelvin foi criada por **Lorde William Kelvin** (1824–1907) que foi um físico escocês criador da escala Kelvin em 1854. A escala Kelvin é baseada na idéia do zero absoluto, a temperatura teórica que é a temperatura mais baixa possível existente no universo:  $-273,15^{\circ}\text{C}$ .

Sabe-se que não há, teoricamente, um limite superior para a temperatura que um corpo pode alcançar.

$$\frac{a}{b} = \frac{\theta_C - 0}{100 - 0} = \frac{\theta_F - 32}{212 - 32} = \frac{\theta_K - 273}{373 - 273}$$

$$\frac{\Delta\theta_C}{5} = \frac{\Delta\theta_F}{9} = \frac{\Delta\theta_K}{5}$$

Portanto  $1^{\circ}\text{C} = 1\text{ K} \sim 2^{\circ}\text{F}$

