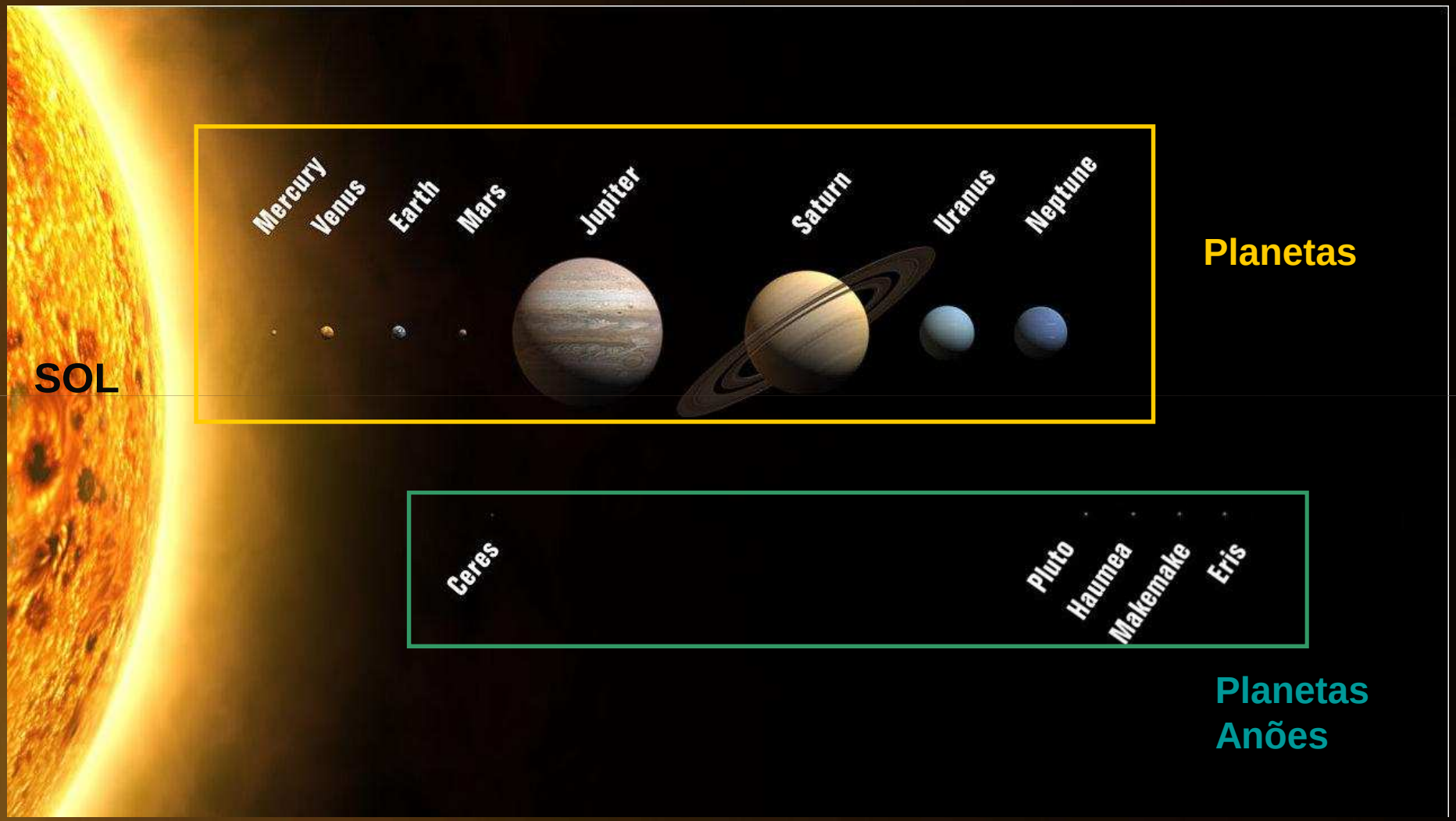
Elementos de Astronomia

Planetas Terrestres, Jovianos e Asteróides

Rogemar A. Riffel

O Sistema Solar

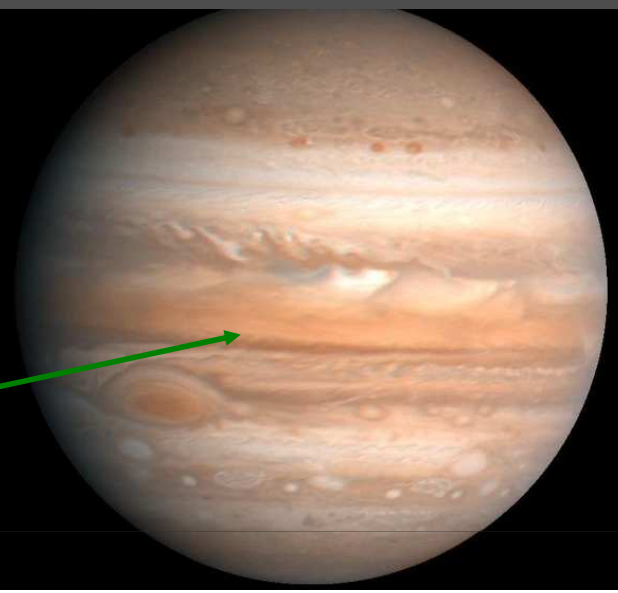


Asteróides, cometas, satélites, anéis

Planetas

Terrestres: Mercúrio, Vênus Terra e Marte

Jovianos: Júpiter, Saturno, Urano e Netuno



Parâmetro	Terrestres	Jovianos
Massa	pequena ($\lesssim M_\oplus$)	grandes ($\geq 14\ M_\oplus$)
Tamanho	pequeno	grande
Densidade	grande	pequena
Distância ao Sol	pequena	grande
Composição Química	rochas e metais pesados: silicatos, óxidos, Ni, Fe	Elementos leves: H, He, H_2O, CO_2, CH_4, NH_3
Número de Satélites	poucos ou nenhum	muitos

Propriedades fundamentais

- Massa: Determinada medindo a influência gravitacional do planeta em um satélite

- Distância ao Sol: Determinada a partir da paralaxe geocêntrica do planeta, ou, mais modernamente por medidas de radar.

- Composição Química: Estimada a partir da densidade média do planeta e por espectroscopia.
  - $\rho \approx 1000\ kg/m^3$: rochas vulcânicas e meteoritos rochosos
  - $5000\ kg/m^3 \leq \rho \leq 5000\ kg/m^3$: minerais ricos em ferro
  - $\rho \approx 7900\ kg/m^3$: meteoritos ferrosos

Propriedades fundamentais

- Rotação: Todos os planetas apresentam rotação, detectada diretamente por aspéctos de sua superfície, por medidas do efeito Doppler de ondas de radar enviadas a ele ou por medidas da rotação do campo magnético do planeta.

- Temperatura: Como os planetas obtém a maior parte de sua energia da luz solar, suas temperaruras dependem basicamente da sua distância ao Sol e do seu albedo (A)

$$A = \frac{\text{Energia espalhada em todas as direções}}{\text{Energia solar incidente}}$$

A = Fração da energia solar refletida pelo planeta
(1-A) = Fração da energia que é absorvida pelo planeta

$$\boxed{T \propto A^{1/4} d^{-1/2}}$$

A estrutura interna

- Depende de como certos parâmetros físicos, como densidade, temperatura e pressão, variam com o raio.

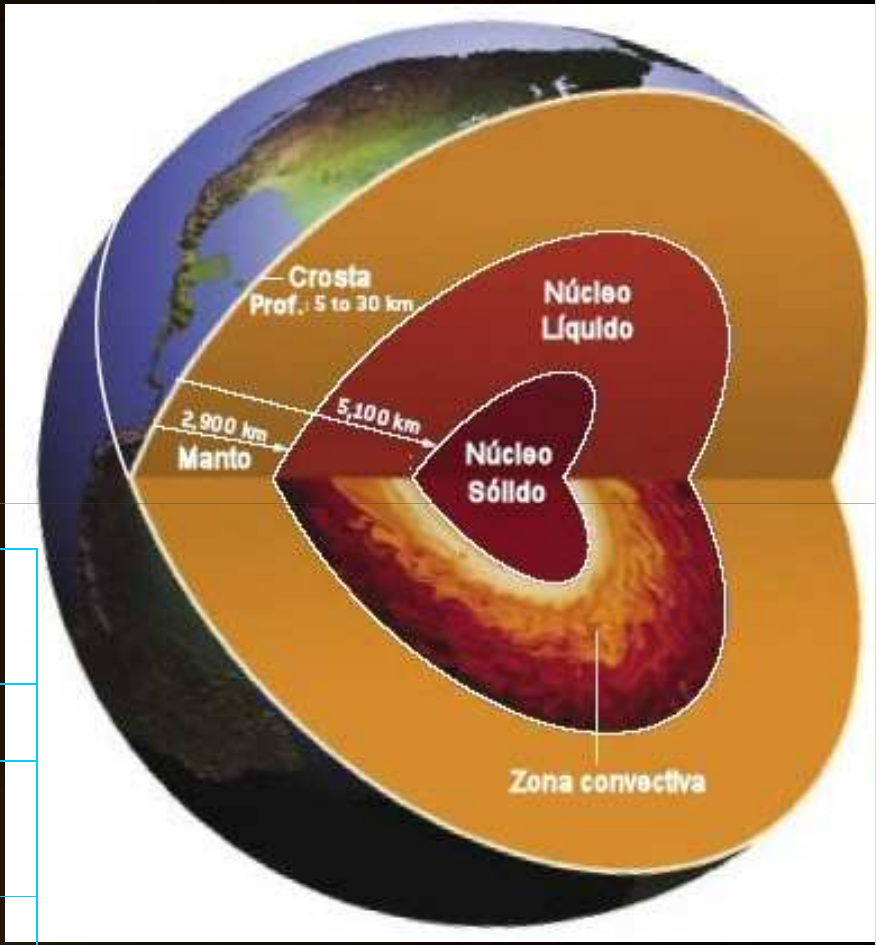
- Planetas terrestres: A estrutura interna pode ser investigada a partir da transmissão de ondas sísmicas (terremoto, impacto artificial)
  - Longitudinais: Se propagam em materiais sólidos e em líquidos.
  - Transversais: Somente se popagam em sólidos.

Planetas terrestres possuem um núcleo metálico (Fe, Ni).

Ausência de núcleo metálico na Lua.

A estrutura interna

- A estrutura interna da Terra



Camada	Espessura (km)	ρ (g/cm³)
Crosta	35	2,5-2,6
Crosta oceânica	5-12	3,0-3,5
Manto	2885	4,5-10
Núcleo externo (líquido)	2270	10,7-11
Núcleo interno	1216	13,3

A estrutura interna

- Planetas jovianos: A estrutura interna dos planetas jovianos não pode ser estudada a partir da propagação de ondas sísmicas pois eles não possuem superfície sólida.

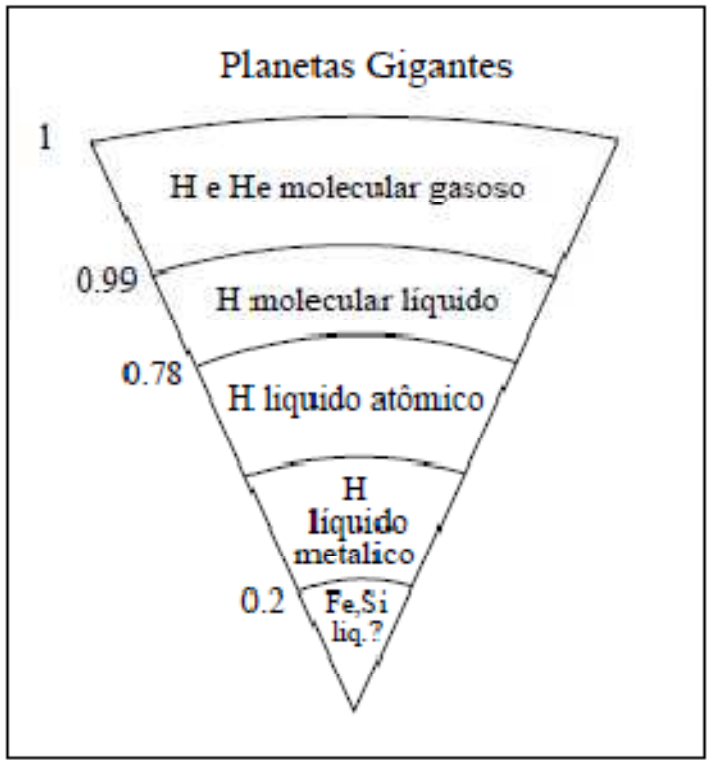
  - Alternativas
    - Mapear o campo gravitacional estudando a órbita de uma sonda que passa pelo planeta
    - Modelos usando o formalismo hidrostático

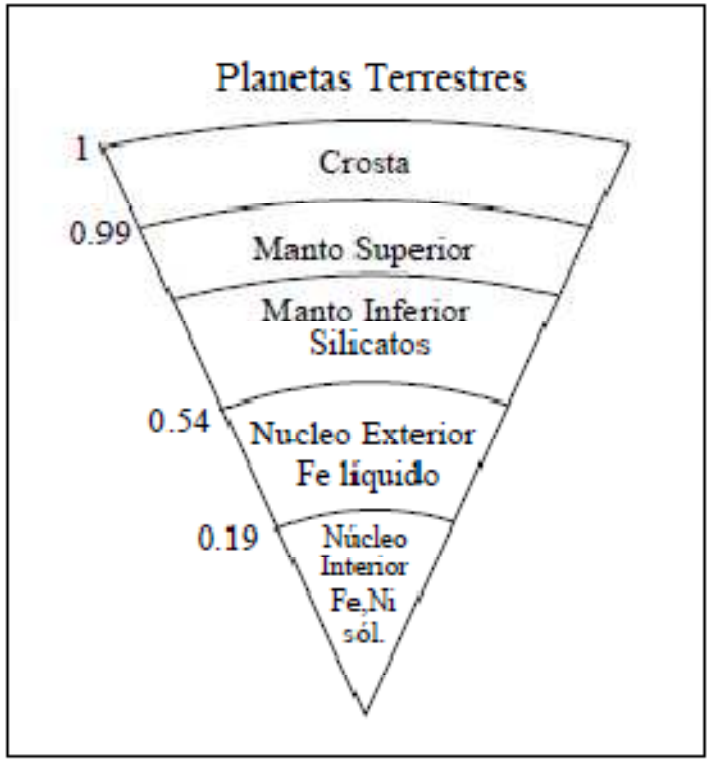
  - Equilíbrio hidrostático: Pressão interna do planeta x Fg

A estrutura interna

- Planetas terrestres têm atmosfera gasosa, superfície sólida e interior na maior parte sólido.

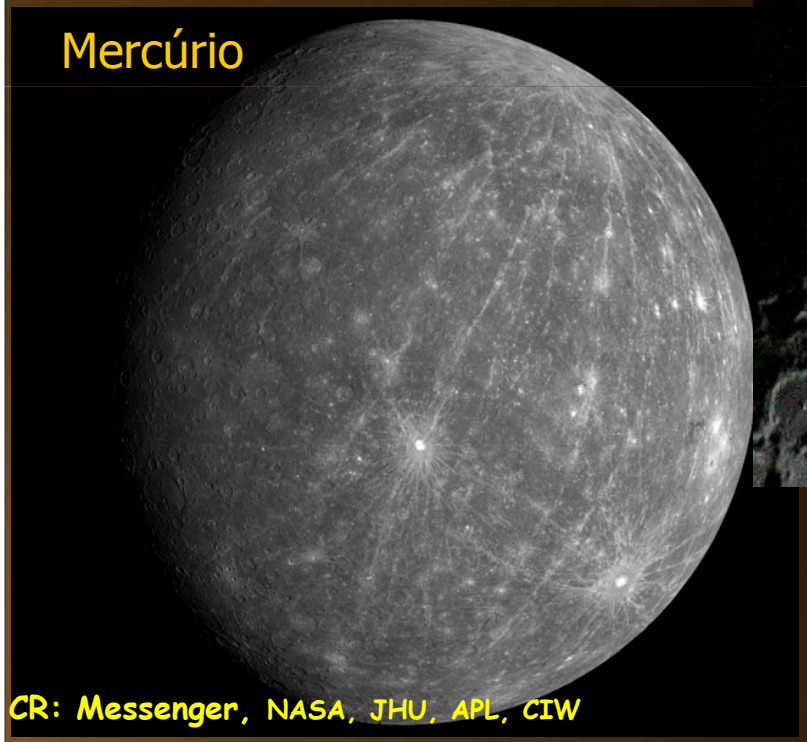
- Planetas jovianos possuem atmosfera gasosa, nenhuma soperfície sólida e um interior líquido na maior parte.





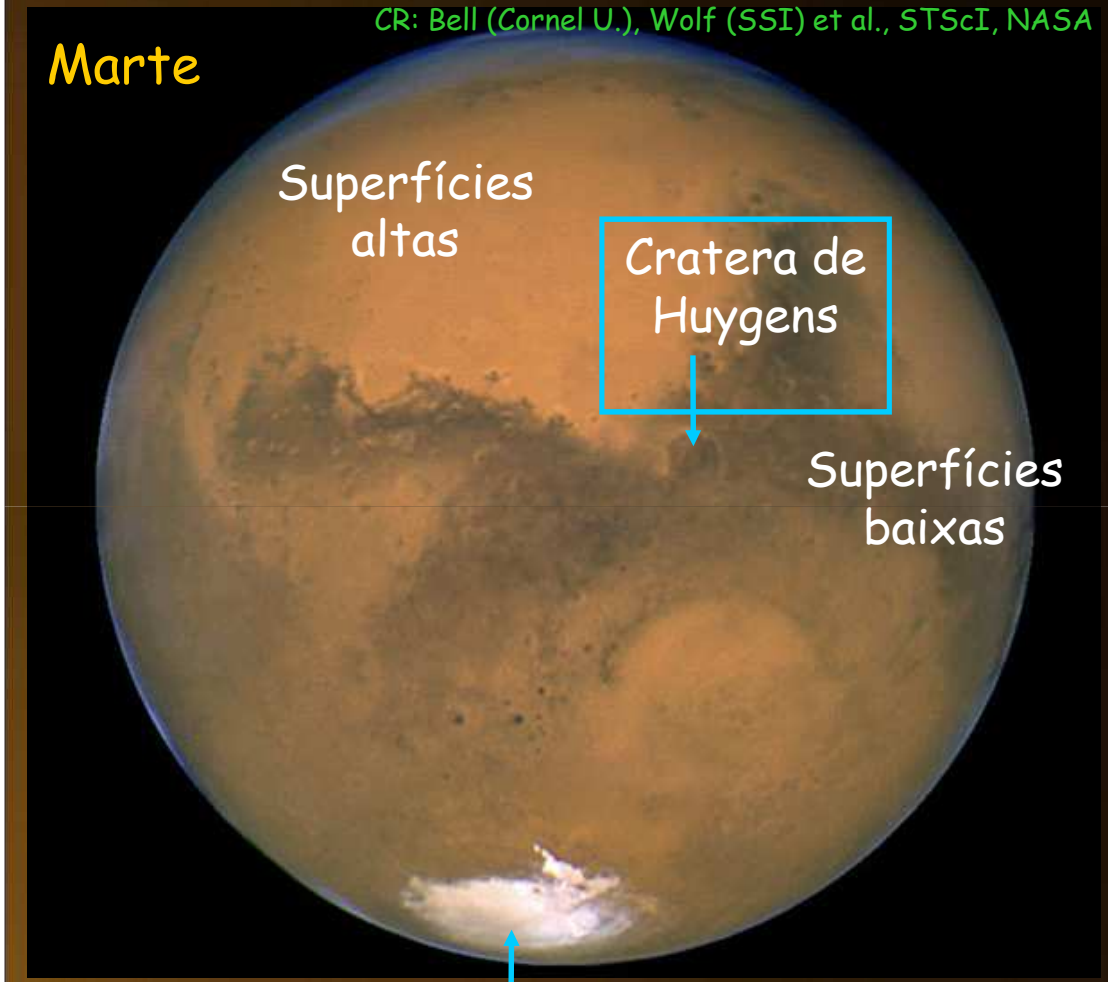
Superfícies

- Podem ser conhecidas a partir do albedo se o planeta não tem atmosfera espessa, como é o caso dos planetas jovianos e de Vênus.



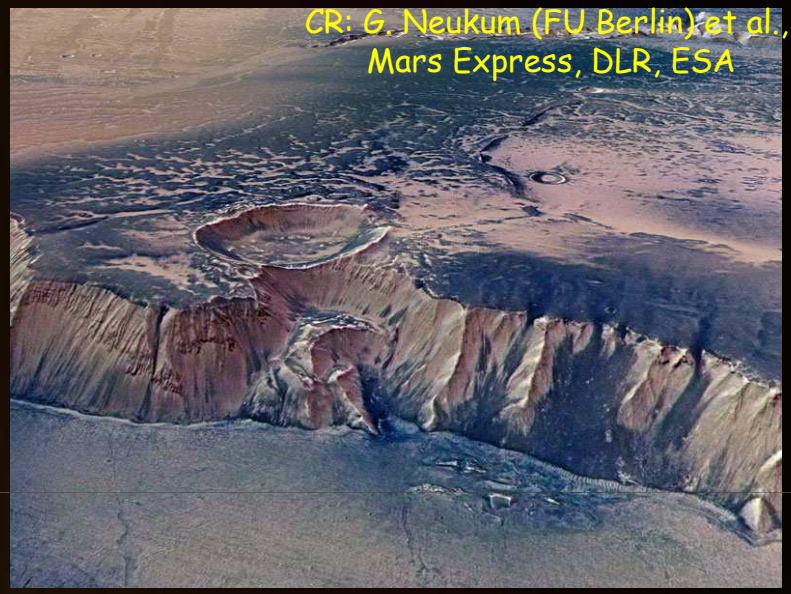
Crateras, regiões baixas e planas

Superfícies



Calota polar

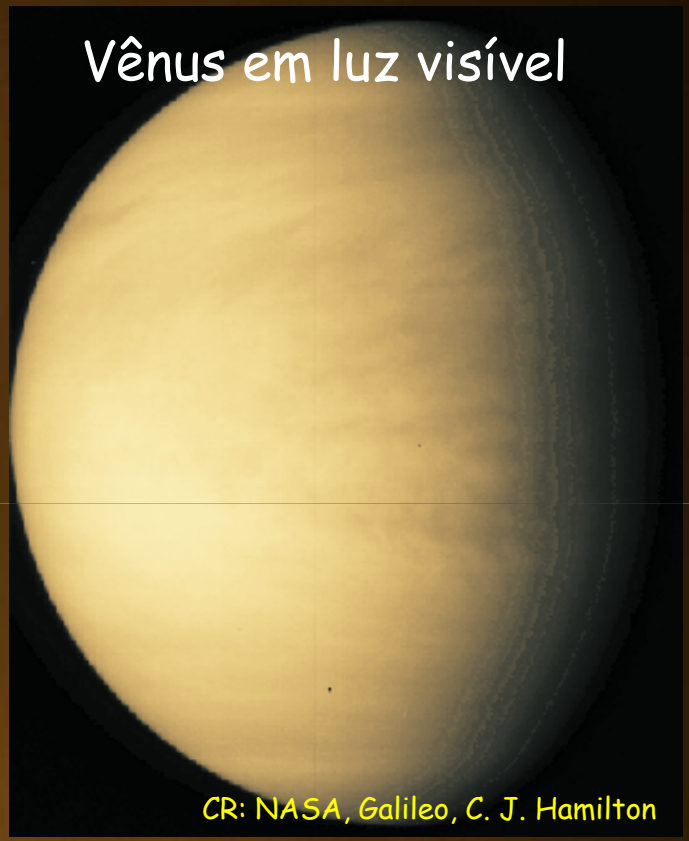
dióxido de carbono congelado



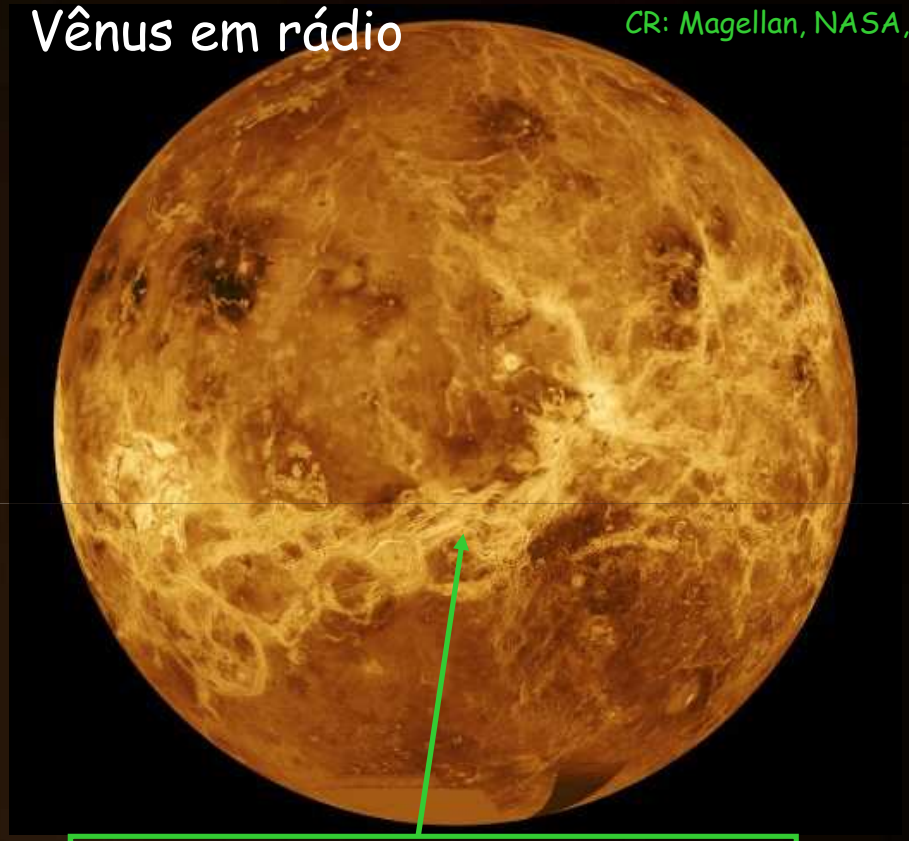
Echus Chasma: Canal com 4 km de profundidade, 100 km de comprimento e 10 km de largura esculpido por água ou lava.

Marte: Superfície com montanhas, vales e canais.

Superfícies



Nuvens de ácido sulfúrico cobrem o planeta. A superfície não é visível.



Maior planalto de Vênus: Terra de Afrodite

Vênus: Principalmente terrenos baixos e planos, mas também apresenta planaltos e montanhas.

Alterações na superfície

- Principais processos: Atividade geológica, erosão e crateramento

- Atividade geológica (vulcanismo e atividade tectônica): Depende do calor interno do planeta.

Terra: Possui vulcões ativos e movimento de placas tectônicas;

Marte: Grandes vulcões (alguns podem estar ativos) e não há evidência de tectonismo;

Vênus: Menos ativo do que a Terra e mais ativo do que Marte. Reteve mais do seu calor residual, consistente com o fato de estar mais próximo do Sol.

Lua: Acontecem poucos sismos por ano. No passado ocorreu um grande vazamento de lava que se solidificou e formou os mares lunares (regiões escuras, baixas e planas, que contém muitas crateras).

Io (Júpiter), Ariel e Titânia (Urano): Atividades vulcânicas violentas

Alterações na superfície

- Erosão: Resultado da ação da atmosfera ou da hidrosfera

Lua e Mercúrio: Não têm erosão.

Terra: Tem erosão, evidenciada pela existência de rochas sedimentares.

Marte: Planeta onde a erosão é mais importante, devido a frequentes tempestades de areia.

- Crateramento: As crateras aparecem em todos os planetas e satélites. Podem ter origem vulcânica (menores e mais profundas) ou de impacto (maiores e mais rasas).

Terra: Crateras de origem vulcânica. A atividade geológica e erosão apagaram os efeitos de impactos da época em que muitos corpos residuais da formação povoavam o Sistema Solar.

Marte, Mercúrio e Lua: Crateras de impacto são dominantes.

O número de crateras de impato observadas em uma superfície permite estimar sua idade, pois este número é proporcional ao tempo desde que a supefície ficou exposta.

Atmosferas

- A retenção das atmosferas é um compromisso entre a energia cinética (ou temperatura) das moléculas do gás e a velocidade de escape do planeta (ou sua massa).

$$v_{méd} \leq 1/6\ v_{esc} \quad \text{(para reter a atmosfera)}$$

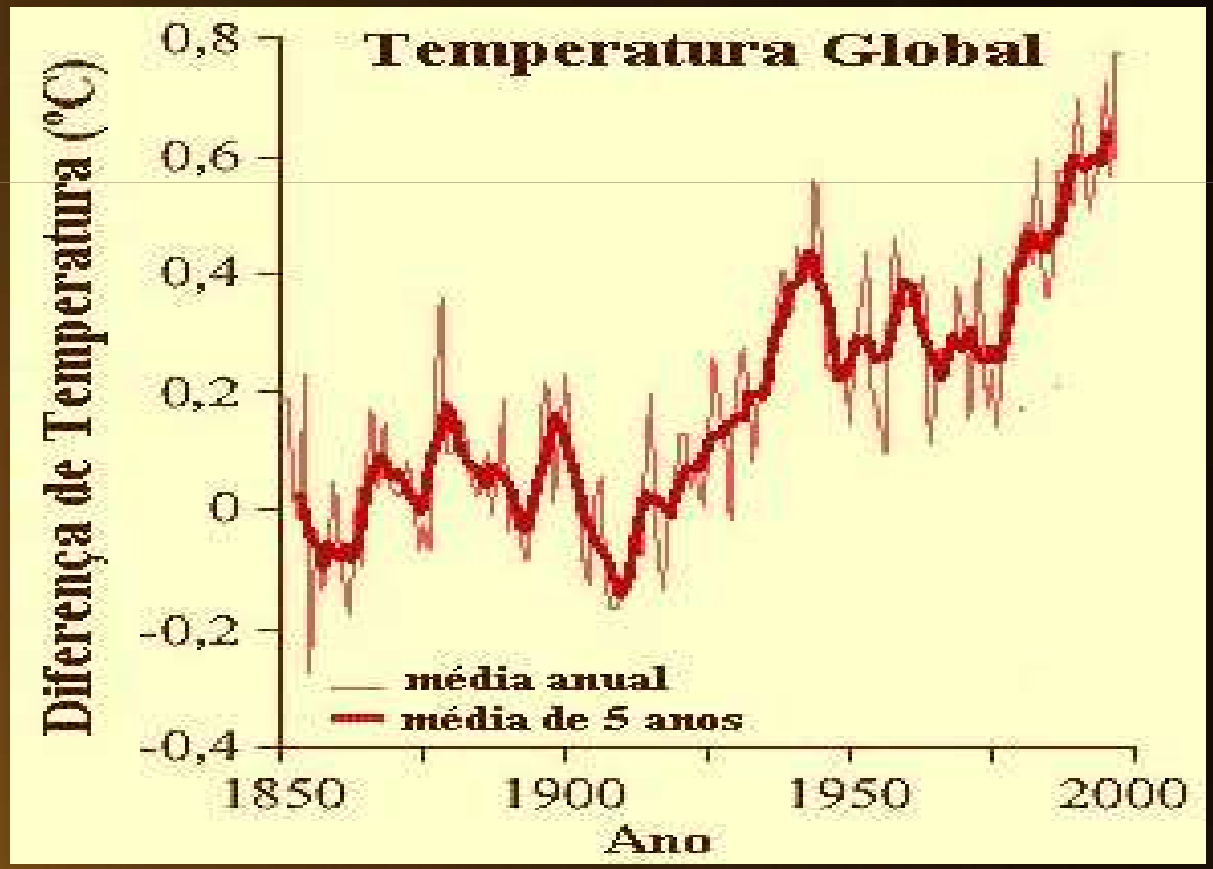
- A composição da atmosfera pode ser conhecida pela análise espectral da luz solar que elas refletem.
  - A identificação das linhas de absorção permite identificar o gás que as produziram, bem como sua temperatura e pressão.

- Planetas terrestres: Não conseguiram reter suas atmosferas. É formada a partir de gases escapados de seu interior. O impacto com cometas também contribuiu com alguns elementos.

- Planetas jovianos: Possuem uma atmosfera dominada por gases mais leves e mais comuns (H e He) pois foram capazes de reter o gás presente no sistema solar na época da formação.

O efeito estufa

- Efeito estufa: elevação de temperatura de sua superfície devido ao acobertamento pela atmosfera.
  - É mais importante para Vênus por causa da grande quantidade de CO_2 na atmosfera, que é opaco a radiação infravermelha.



Aquecimento global na Terra

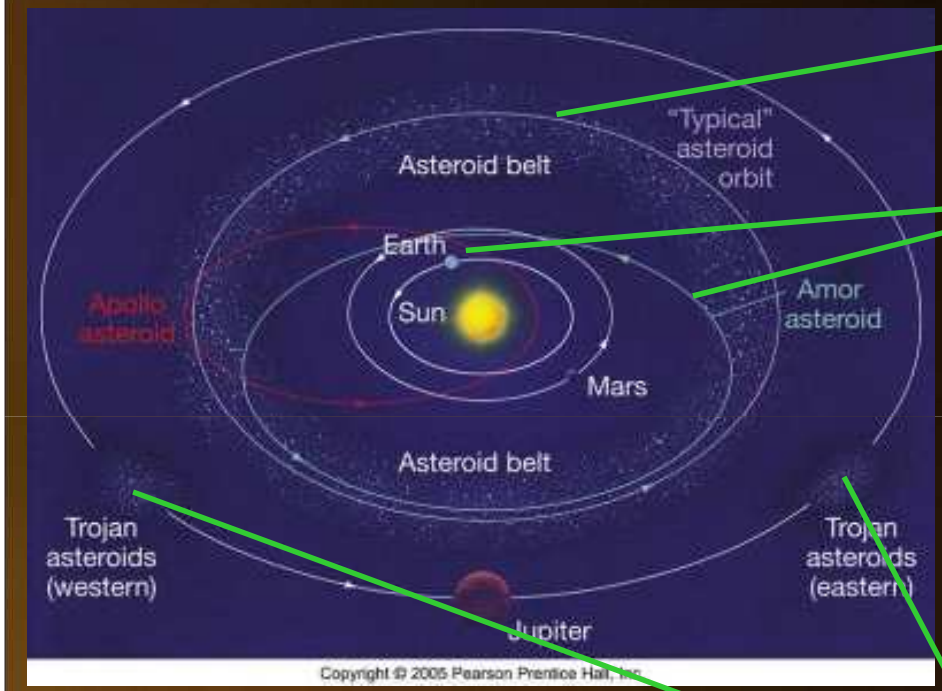
Asteróides

- Asteróides são um numeroso grupo de pequenos corpos situados na sua grande maioria no cinturão principal com órbitas de 2,2 a 3,3 UA do Sol (entre Marte e Júpiter)
- O cinturão principal possui uma massa menor do que 1/1000 M_{Terra} e seu centro está a ~2,8 UA do Sol.

- Teorias para formação dos asteróides
  - Explosão de um planeta (abandonada)

  - Formados juntamente com os planetas
    - Os asteróides primordiais eram grandes corpos (porém bem menores do que os planetas)
    - Se fragmentaram devido a colisões, formando os asteróides atuais
    - Alguns dos maiores asteróides atuais devem ser corpos originais que não se quebraram.

A distribuição dos asteróides



Cinturão principal

Asteróides Apollo-Amor: Perielio interno a órbita da Terra (Apollo) e entre a órbita da Terra e de Marte (Amor). 433Eros usado para determinar o tamanho da UA: no perielio encontra-se a 20 milhões de km (estimada por paralaxe trigonométrica)

Asteróides troianos: Órbitas a 60^0 de Júpiter (próximos a pontos especiais L_4 e L_5 da solução do problema de 3 corpos).

A distribuição dos asteróides

- Asteróides do cinturão de Kuiper localizado a ~50 UA do Sol e povoado por restos de planetesimais gelados.
- Foram descobertos ~1.000 asteróides do cinturão de Kuiper. A maioria com tamanhos de 100 km de diâmetro. Estima-se que tenha mais de 70.000 asteróides neste cinturão.

  - Eris (1200 km de raio)
  - Plutão (1175 km)
  - 2005 FY9 (625 km)
  - Haumea (650 km)
  - Sedna (750 km)
  - Quaoar (625 km)
  - Ixion (550 km)
  - Varuna (450 km)

Meteoros e meteoritos

- Meteoros são pequenos asteróides que se chocam com a Terra, e ao penetrar na atmosfera geram calor por atrito deixando um rastro brilhante facilmente visível a olho nu.

- Meteoritos são meteoros que atravessam a atmosfera sem serem totalmente vaporizados. Existem 3 tipos de meteoritos: metálicos, rochosos (90%) e os metálico-rochosos.

Impactos na Terra

- Duas vezes no século XX grandes objetos colidiram com a Terra.
  - Em 30 de junho de 1908, um asteróide ou cometa de aproximadamente 100 mil toneladas (d=30–60m) explodiu na atmosfera perto do Rio Tunguska, na Sibéria.
  - Em 12 de fevereiro de 1947, na cadeia de montanhas Sikhote-Alin, Sibéria. Um asteróide de 100 toneladas se rompeu no ar e deixou mais de 106 crateras, com tamanhos de até 28m de diãmetro e 6m de profundidade.

Cratera Barringer, no Arizona, com d=1,2 km e 50 mil anos.

Impactos na Terra

- A extinçãao dos dinossauros, 65 milhões de anos atrás, é consistente com um impacto de um asteróide ou cometa de mais de 10 km de diâmetro, que abriu uma cratera de 200 km de diâmetro perto de Chicxulub, na península de Yucatan, no México.

- O impacto liberou uma energia equivalente a 5 bilhões de bombas atômicas como a usada sobre Hiroshima em 1945.

- A extinção se deu por alterações climáticas que atingiram toda a Terra, com um esfriamento na superfície e pela existência de uma fina camada de argila com uma alta taxa de irídio.

- Uma grande nuvem de pó que se espalhou por todo o planeta, cobrindo a luz do Sol. Com a queda da fotossíntese, as plantas morreriam e os dinossauros morreriam por falta de alimentos.

Planetas Anões

- Planetas anões são objetos que
  - Estão em órbita em torno do Sol (como planetas)
  - Tem forma determinada pela auto-gravidade, ou seja são esféricos (como planetas)
  - Não tem tamanhos significativamente maiores do que os objetos em sua vizinhança (ao contrário dos planetas)
  - Não são satélites.

- Éris (2.400 km)
- Plutão (2.350 km)
- Ceres (950 km)
- Haumea (1.300 km)
- Makemake (1.300 – 1.900 km)

Satélites

- Em geral o número de satélites está associado a massa do planeta.

- O maior satélite do sistema solar é Ganimedes (de Júpiter) com raio de 2631 km, seguido por Titan (de Saturno) com 2575 km de raio. Ambos são maiores do que Mercúrio, que tem 2439 km de raio.

- A Lua, com 3475 km de diâmetro, é maior do que Plutão, que tem 2350 km de diâmetro.

- A maioria dos satélites revolve em torno do respectivo planeta no sentido de oeste para leste e a maioria tem órbita aproximadamente no plano equatorial de seu planeta.

Anéis

- Os quatro planetas jovianos apresentam um sistema de anéis, constituídos por bilhões de pequenas partículas orbitando muito próximo de seu planeta.

- Os anéis estão dentro do limite de Roche e devem ter se formado pela quebra de um satélite ou a partir de material que nunca se aglomerou para formar um satélite.

$$d = 2{,}44(\rho_M/\rho_m)^{1/3}\ R$$

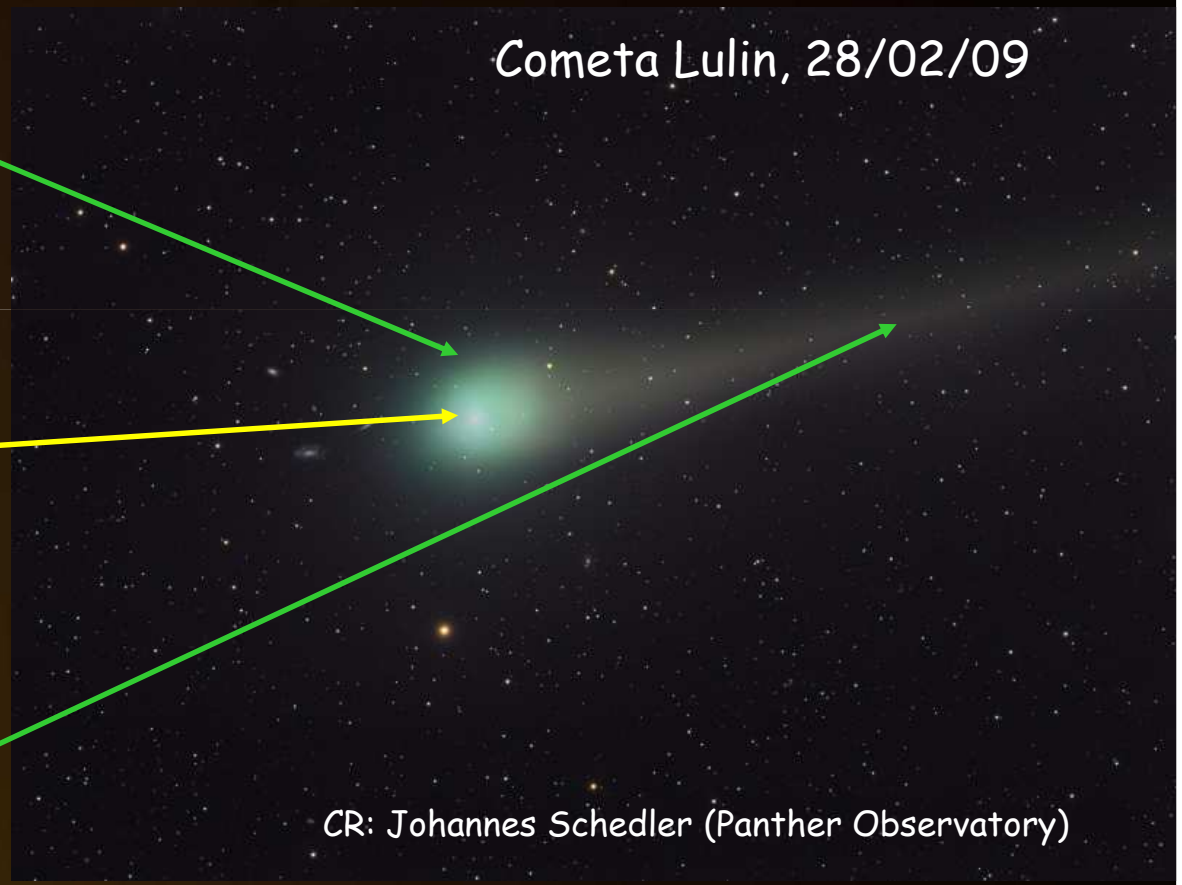
Cometas

- Os cometas são formados de gelo (água, metano, ...) e poeira, possuem tamanhos típicos de 10 km e órbitas muito alongadas.

Coma: nuvem de gás e poeira ao redor do cometa devido a sublimação do gelo pela radiação solar. Aparece quando o comenta está a ~2UA do Sol

Núcleo: Parte sólida e gelada no interior

Cauda: O vento solar e a pressão de radiação empurram o gás e a poeira da coma formando a cauda do comenta. Que pode ter até 1 UA de comprimento.



Cometas

Cauda de gás: Resultado da interação do vento solar com o gás. Sua emissão é principalmente devida a emissão de átomos excitados. É reta e azul, pois grande parte de seu brilho é devido a emissão de monóxido de carbono ionizado em 4200 angstrons.

Cauda de poeira: Causada pela pressão de radiação. A velocidade das partículas são menores e esta cauda é geralmente mais larga e curvada do que a cauda de gás. Possui cor amarelada devido a reflexão da luz solar.

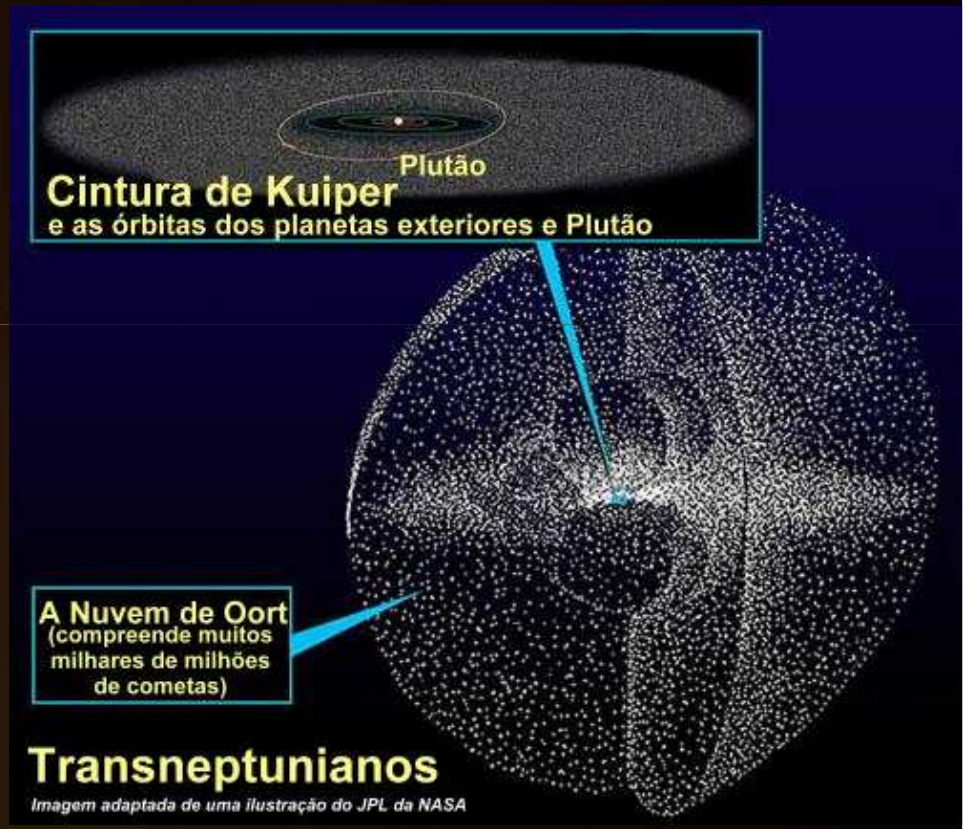
A nuvem de Oort

Nuvem de Oort: Nuvem esférica com raio de 50.000 UA contendo bilhões de núcleos comentários.

Proposta por Jan H. Oort em 1950 como explicação à existência dos cometas de longo período (P > 200 anos).

Perturbações gravitacionais (por ex. por uma estrela, força gravitacional do disco da Via Láctea) da órbita de um cometa da nuvem de Oort podem lança-lo a regiões mais internas do sistema solar – comentas de longo período

Estes comentas não sobrevivem a mais de 1.000 passagens periélicas antes de perder todos os elementos voláteis.



A nuvem de Oort

- Estudos de cometas de longo período indicam estes se formaram juntamente com o restante do sistema solar.

- A origem no Sistema Solar interno porque somente nesta região a matéria estava suficientemente densa para formar os comentas da nuvem de Oort

- Como estes objetos foram parar na nuvem do Oort?

  - Perturbações gravitacionais
    - Uma estrela companheira do Sol que se dissipou com o tempo (sistema binário)
    - Nuvens moleculares da nebulosa primordial, dissipadas pelo vento solar após a perturbação.
    - Perturbações de Urano e Netuno + perturbações de estrelas próximas e/ou do disco galático. Suposição: Júpiter e Saturno se formaram depois de Urano e Netuno.

O Cinturão de Kuiper

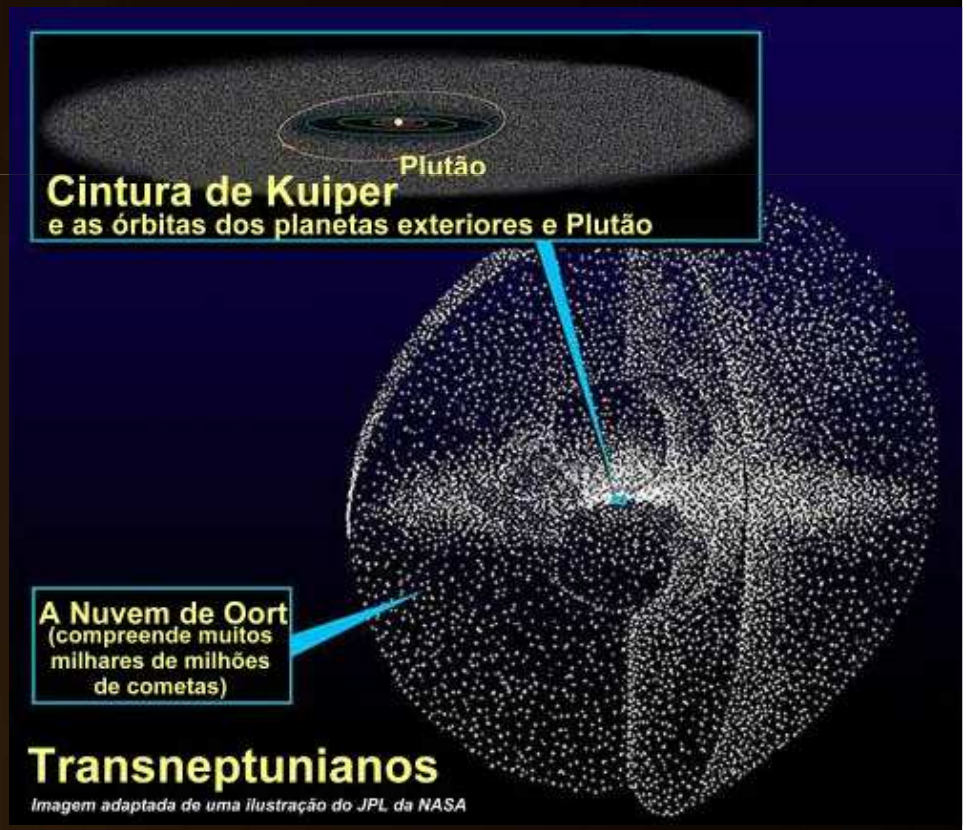
- Está no plano do Sistema Solar e se estende deste a órbita de netuno até 150 UA do Sol.

- Proposto por Gerard Kuiper em 1951 para explicar comentas com períodos curtos (P < 200 anos e órbitas menos excêntricas).

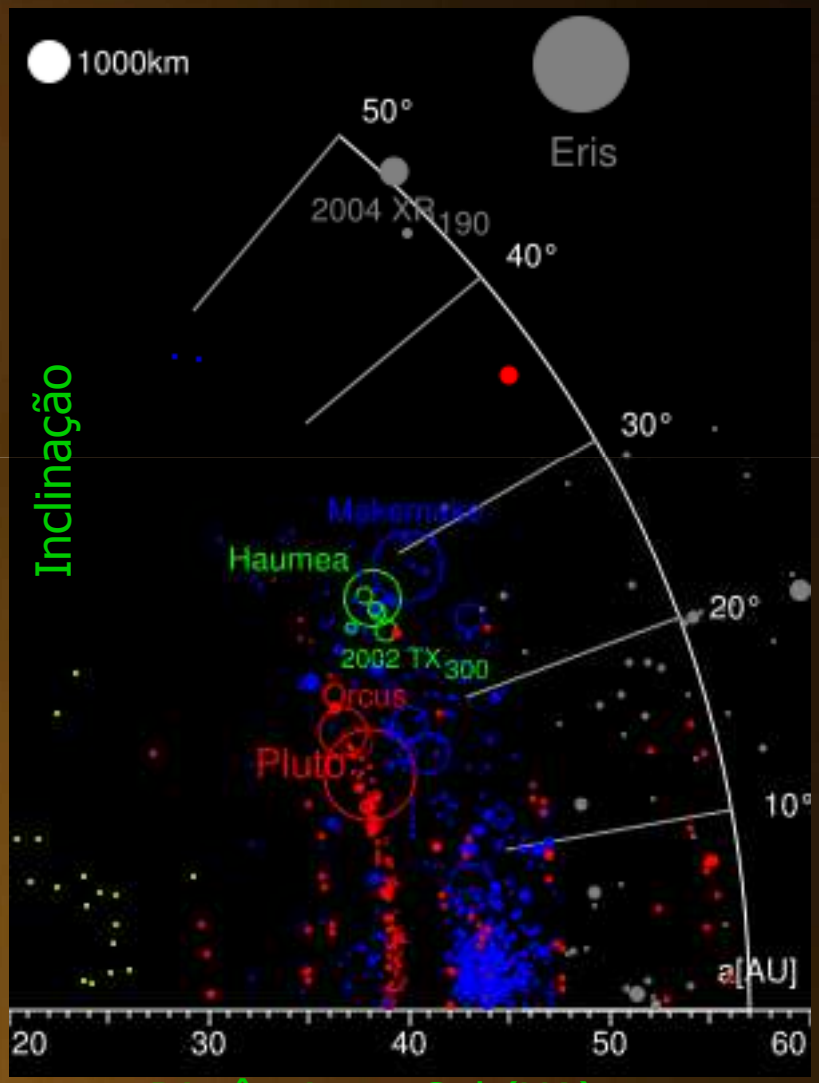
- A forma achatada indica que os objetos que o formam são remanescentes dos planetesimais formados no disco da nebulosa solar.

- Até os anos 70: cometas de curto período = cometas de longo período com órbitas modificadas pela interação com algum planeta.

- Simulações numéricas mostraram que esta teoria não se aplica p/ um grande número de objetos.



Os objetos trans-netunianos



Objetos Classicos (KBOs): Objetos típicos do cinturão de Kuiper – 40 < a < 50 UA

Colisionais: Origem em uma colisão

Plutinos, troianos de Netuno e outros ressonantes: Estão em ressonância orbital com Netuno. Possuem períodos que são múltiplos inteiros do período de Netuno.

Disco espalhado (SDOs): Objetos com órbitas altamente excêntricas (e~0.6) espalhadas por perturbações devido a encontros com Netuno – a > 50 UA

Centauros: objetos com órbitas instáveis – meio cometa e meio asteróide