



Universidade Federal do ABC

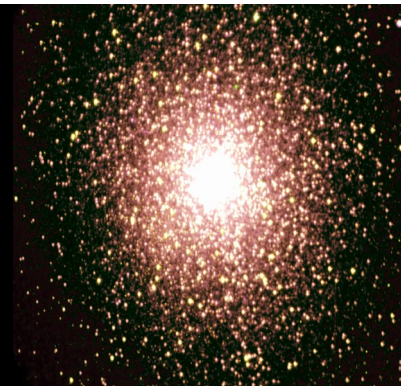
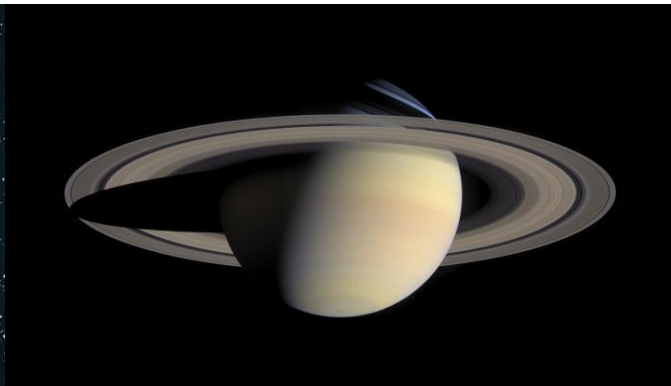
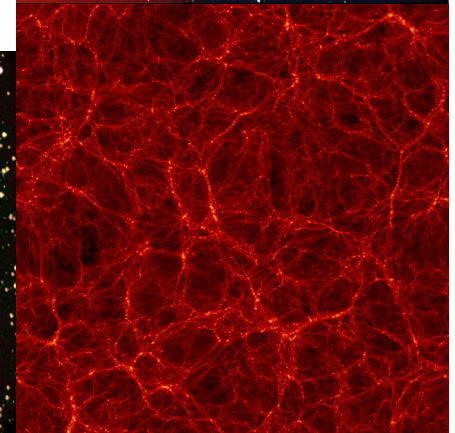
Física Contemporânea

01. O Papel da Astronomia: Nascimento da Ciência e dos Modelos Cosmológicos

Prof. Pieter Westera

pieter.westera@ufabc.edu.br

<http://professor.ufabc.edu.br/~pieter.westera/Astro.html>



Física Contemporânea

!!! Física Contemporânea é uma **ciência**, e na ciência

As Grandezas têm

Unidades

Atenção também com o número de algarismos significativos.

Astronomia

Wikipedia:

A **Astronomia**, ou **Astrofísica** (do grego astron (ἄστρον), "estrela" e nomos (νόμος), "lei" ou "cultura") é uma **ciência natural** que estuda **corpos celestes** (como estrelas, planetas, cometas, nebulosas, aglomerados de estrelas, galáxias) e fenômenos que se originam **fora da atmosfera da Terra** (como a radiação cósmica de fundo em micro-ondas). Ela está preocupada com a **evolução**, a **física**, a **química**, e o **movimento** de **objetos celestes**, bem como a **formação** e o **desenvolvimento** do **Universo**.

!! Astronomia **não** é **Astrologia**, q. d. **não** trata de horoscópios e afins.

Cosmologia

Wikipedia:

A **Cosmologia** (do grego κοσμολογία, κόσμος="cosmos"/"ordem"/"mundo" + -λογία="discurso"/"estudo") é o ramo da **astronomia** que estuda a **origem, estrutura e evolução** do **Universo** a partir da aplicação de **métodos científicos**.

Astronomia Antiga

Desde que existe o ser humano, ele olha pro céu, vê os **corpos celestes** com seus **movimentos**, e tenta entendê-los, por **motivos religiosos** ou **práticos** (prever as estações do ano, agricultura, orientação, navegação), ou simplesmente **curiosidade**.

=> Astronomia é uma das **ciências** mais **antigas**.

Os **conhecimentos astronômicos** dos povos antigos se manifestam na maioria dos casos nos seus **calendários**, e em **alinhamentos** das suas **construções** com posições de **corpos celestes** em determinadas datas e horários, **direções** especiais na **rosa de ventos**, etc. ...

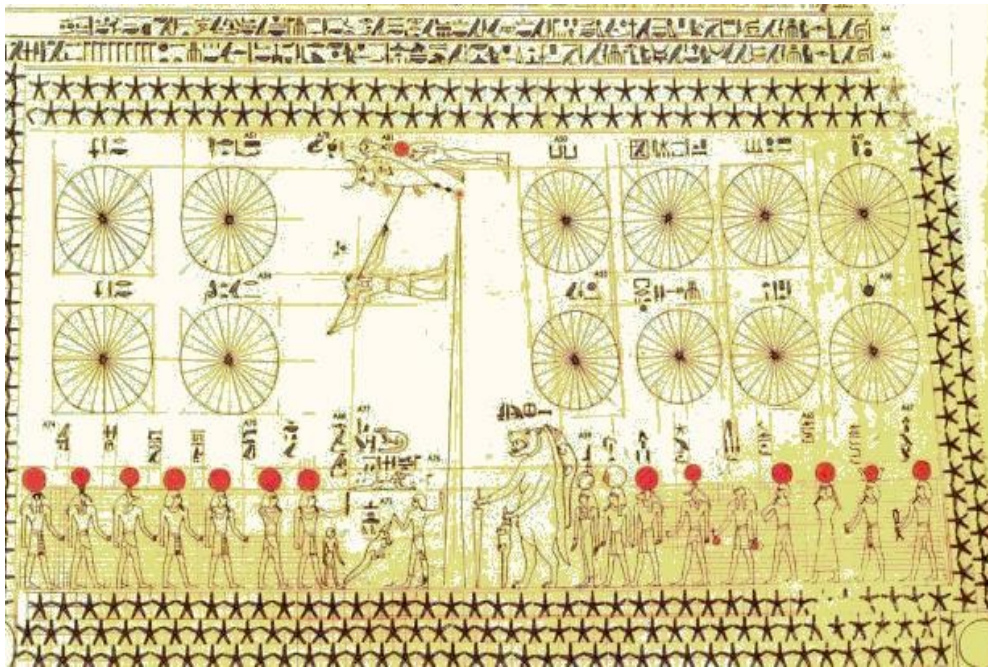
Astronomia Antiga

A ciência que estuda a astronomia praticada por povos pré-históricos, através de seus monumentos construídos para a observação dos astros é chamada Arqueoastronomia.

Relacionada a esta é a Etnoastronomia que estuda a maneira como diferentes povos/culturas veram/vêem e entenderam/entendem o céu, i. e. as constelações estelares, calendários, etc., estabelecidas pelos diferentes povos.

Astronomia Antiga

... por exemplo no Egito (desde o 5º milênio a. C.),

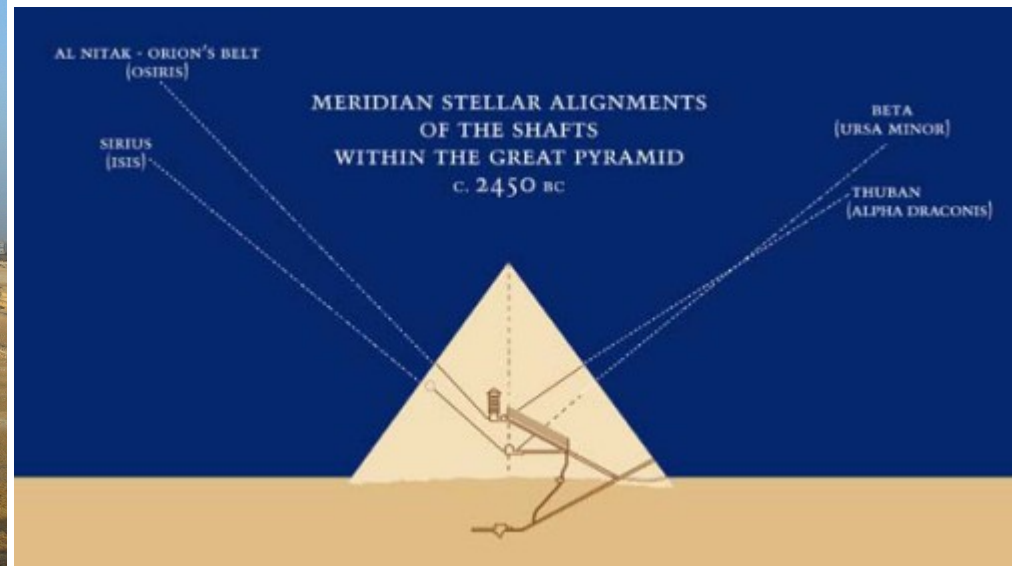


Calendário achado no túmulo de Senemut

Os egípcios davam importância aos ciclos de tempo, usavam **calendários solares** e **lunares** e já conheciam o **ano** de 365 dias.

Astronomia Antiga

... por exemplo no Egito (desde o 5º milênio a. C.),



Pirâmide de Gizeh, os corredores são alinhados com estrelas “importantes” (em conjunção?)

Astronomia Antiga

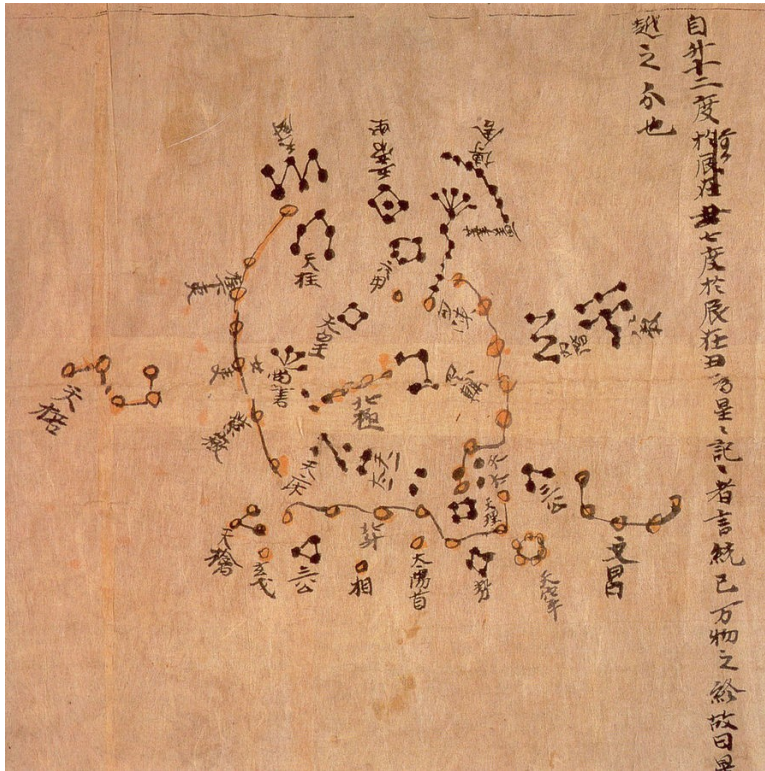
na Inglaterra (3100 a 1100 a. C.),



Stonehenge, certas pedras são alinhados com o Nascer do Sol no solstício de verão

Astronomia Antiga

na China (desde 3000 a. C.),



Carta celeste feita entre os séculos 3 e 4 a. C.
O mais antigo mapa estelar conhecido



Esfera Armilar no Observatório antigo de Pequim

Astronomia Antiga

nos Estados Unidos (desde 2500 a. C.),



Roda medicinal de Bighorn

Astronomia Antiga

na Babilônia/Mesopotâmia (desde 1200 a. C.),



Calendário babilônico

Notada pelos seus registros de fenômenos astronômicos tais como eclipses, posições dos planetas e nascimento e o caso da Lua. Alguns destes registros são considerados os mais antigos documentos científicos existentes (~800 a.C.).

Astronomia Antiga

no México (900 d. C. - chegada dos espanhóis),



Chichén Itzá, pirâmide maio



calendário maio



calendário azteca

Astronomia Antiga

no Brasil (entre 500 e 2000 anos atrás),



Círculo de Calçoene, "Stonehenge do Amapá", uma das pedras aponta pro Sol meio-dia no solstício de inverno do hemisfério norte (~21 de dezembro), e outros alinhamentos

e outros lugares.

Astronomia Antiga

Um Exemplo de Etnoastronomia



Constelação Guaraní da Ema (coincidindo com as constelações ocidentais do Cruzeiro do Sul, da Mosca, do Centauro, do Escorpião, do Triângulo Austral e de Altar)

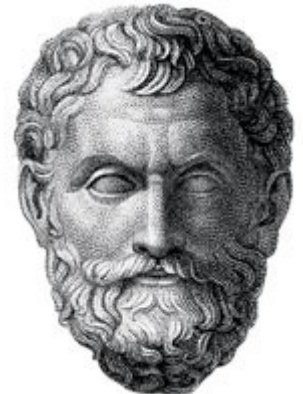
Os povos indígenas brasileiros tinham as suas próprias constelações, representando animais e objetos importantes nas culturas deles, por exemplo a Cabeça de Onça (Desâna), a Ema (Guaraní), Baweta+Coyatchicüra (Tartaruga + Queixada do Jacaré; índios Tikuna).

Nascimento da Ciência

Mas foi na **Grécia** que nasceu a **ciência** (~550 a. C.) como a conhecemos hoje, com indução, dedução, análise, síntese, hipótese, modelos, teorias, etc. (=> Bases Epistemológicas).

Thales de Miletus (~625 - 557 a.C.) foi o primeiro filósofo natural grego importante e, frequentemente, é considerado o pai da astronomia grega.

Ganhou fama ao prever um eclipse solar no ano 585 a.C.

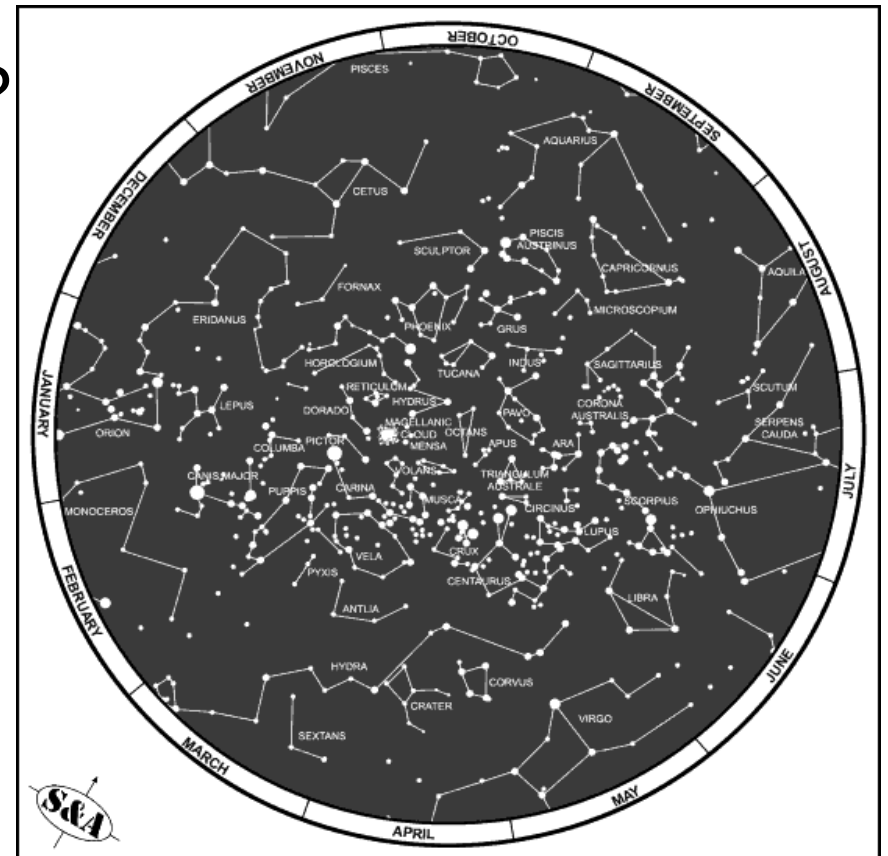


Thales de Mileto

As Observações

Mas primeiro: Quais são as **observações** que os 1^{os} astrônomos tentaram explicar, (e que ainda hoje se pode fazer)?

- Um monte de **estrelas** (fixas), aparentemente agrupadas em **constelações**.
- 7 outros corpos:
Sol, Lua, Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno



As constelações do hemisfério sul

As Observações (a primeira vista)

Todos os corpos celestes se movimentam do leste pro oeste, fazendo uma volta em torno do **eixo** que liga os **polos celestes** norte e sul em aproximadamente um dia. As **posições** no **céu** dos polos celestes dependem da **posição** do **observador**: nos polos no zênite ou no nadir, e no equator, no horizonte.



Foto de longa exposição do céu noturno

O círculo à mesma distância dos dois polos celestes (onde as estrelas fazem o maior caminho de todas) é chamado **equator celeste**.

As Observações (a segunda vista)

Estrelas próximas dos polos são chamadas **estrelas circumpolares** e, dependendo de onde se está, nunca se põem, resp., sempre estão debaixo do horizonte.

Estrelas no equator celeste são visíveis da Terra inteira, para observadores no equator fazem caminhos passando pelo zênite, e para observadores nos polos, caminhos que seguem o horizonte.



As Observações (a segunda vista)

Apenas as estrelas (fixas) fazem círculos perfeitos em torno deste eixo, levando ~23:56, chamado um **dia sideral**, para uma volta, tal que elas se deslocam do céu noturno para o céu diurno (onde ficam invisíveis) e de novo para o céu noturno no decorrer de **um ano**.

Por isto, certas estrelas aparecem (no céu noturno) no inverno, outras na primavera, etc. Exemplo: No hemisfério sul, Órion é uma constelação do verão, e Escorpião, do inverno.



Foto de longa exposição do céu noturno

As Observações (a segunda vista)

O período de 24:00 é chamado **dia solar** (médio) e corresponde ao tempo médio* entre duas conjunções do Sol (“meio-dias”).

*Mediado sobre o ano.
O dia solar verdadeiro varia entre 23:45 e 24:15.



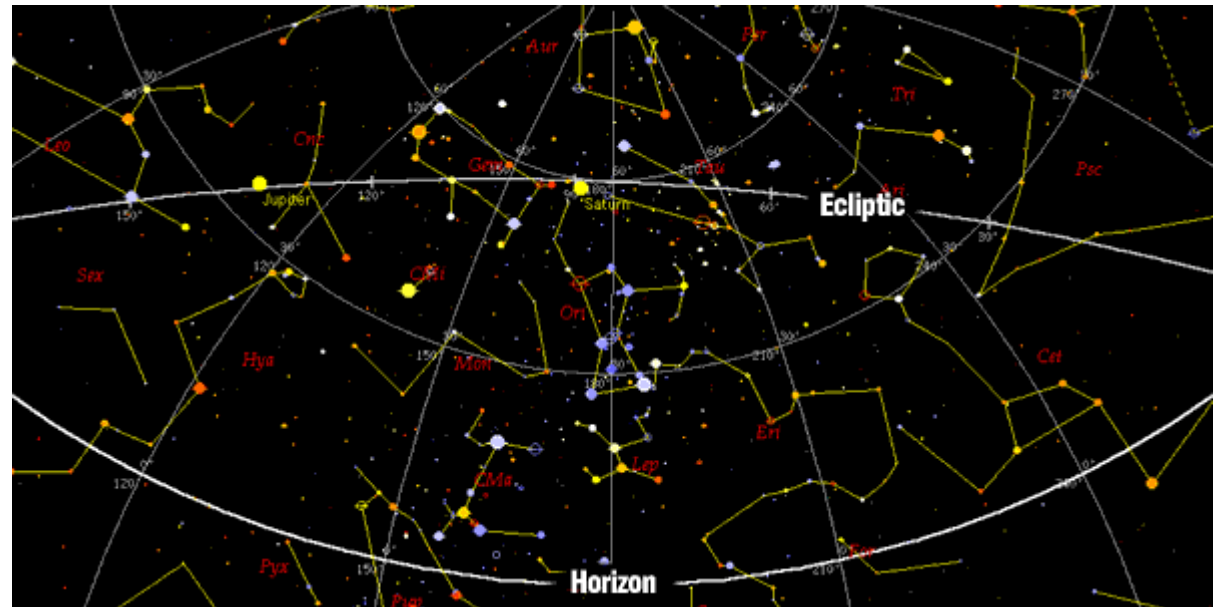
As Observações (a segunda vista)

Os outros sete corpos se **movimentam em relação às estrelas fixas** e mudam de brilho. Estes foram chamados **planetas**, (estrelas) “errantes” pelos gregos:

O **Sol** faz uma volta de **um ano** no céu das estrelas fixas, seguindo um caminho chamado **eclíptica**.

A **eclíptica** é **inclinada** (por $23,5^\circ$) em relação ao **equator celeste**.

Por causa desta **inclinação**, o Sol fica no **hemisfério sul** de ~23/9 a ~20/3, e no norte na outra metade do ano.



As Observações (a segunda vista)

Por isto, de setembro a março ele passa **mais alto** no céu no **hemisfério sul**, causando **estações** mais **quentes** (primavera e verão) e **dias** mais **longos**, e o **oposto** no **hemisfério norte** (Sol baixo, estações frias, dias curtos).

De março a setembro, é o oposto (Sol baixo no sul, etc.).

O momento de **posição mais austral** do Sol, em torno de 21/12, é chamado **solstício de verão** no **hemisfério sul**, e **solstício de inverno** no **norte**.

O oposto vale para ~21/06, dia da posição mais pro norte.

O Sol **cruza** o **equator celeste** nos **equinócios**, ~20/03 e ~23/09, quando **dia** e **noite** têm a **mesma duração** na Terra inteira (tirando os polos).

As Observações (a segunda vista)

A **Lua** faz uma volta de 27.32 dias, chamado **mês sideral** em relação às estrelas fixas.

Já que, neste tempo, o Sol avança um pouco no céu, a Lua leva 29.53 dias, chamado **mês sinódico**, para alcançar a mesma posição em relação ao **Sol**, que também é o tempo entre duas vezes a mesma fase da Lua.

Exercício pra casa: Mostre, que $1/m.sid.=1/m.sin.+1/ano$ (dica: faça uma adição ou subtração de velocidades angulares e divida os dois lados da equação por 2π .)



A Lua fotografada no mesmo horário em dias diferentes

As Observações (a segunda vista)

Os outros planetas fazem movimentos mais complicados, mas normalmente se encontram **perto** da **eclíptica**:

- **Vênus** e **Mercúrio nunca** se **afastam** muito do **Sol**, às vezes ultrapassando - , às vezes sendo ultrapassados por este.
- **Marte**, **Júpiter** e **Saturno** fazem **voltas** em órbitas perto da eclíptica, às vezes voltando pra trás antes de continuar, chamado **movimento retrógrado**. Neste tempo, eles são mais brilhantes.

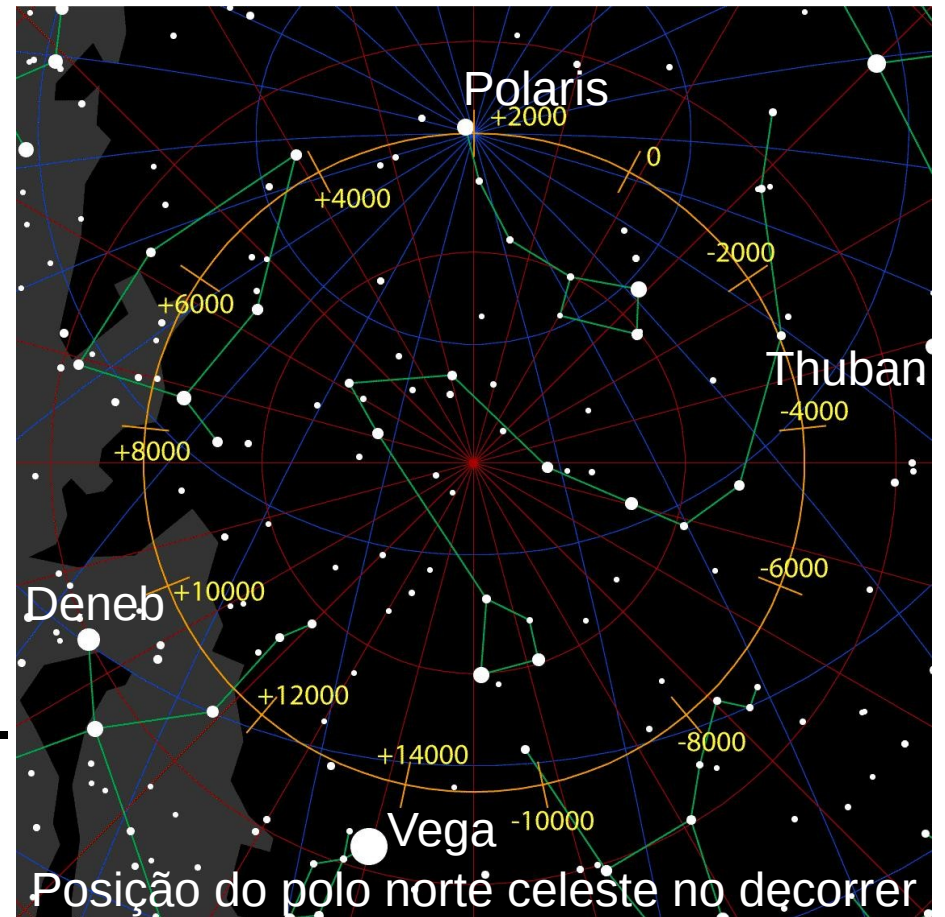


Laço na órbita de Marte

Este movimento parcialmente retrógrado dos planetas foi o **principal problema** da astronomia por quase **2000 anos!**

As Observações (a terceira vista)

O **eixo de rotação** (do céu) também se **movimenta** em relação às estrelas fixas: Ele descreve um círculo pequeno em $\sim 26'000$ anos, fazendo que a estrela polar não sempre é a mesma, e que hoje o Sol não passa nas mesmas datas pelas mesmas constelações que 2000 anos atrás, fenômeno chamado **precessão lunisolar**.



Posição do polo norte celeste no decorrer dos anos

Os modelos cosmológicos antigos

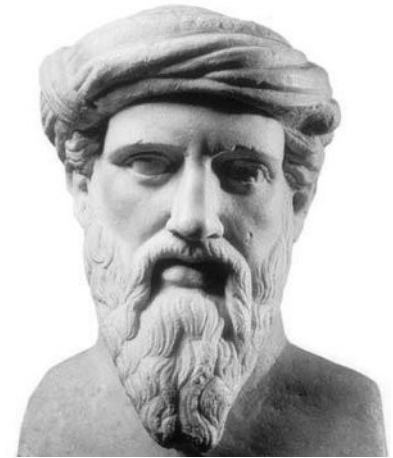
E como explicaram estas observações?

Os modelos cosmológicos antigos

Pitágoras de Samos
(~570 - ~495 a.C.) “inventou”
a **matemática** e fez hipóteses
sobre a **organização** do **Universo**:

A Terra é **esférica**, e os **planetas**
movem-se em diferentes velocidades
nas várias **órbitas** ao redor da Terra.

Há uma **ordem** que domina o **Universo**.



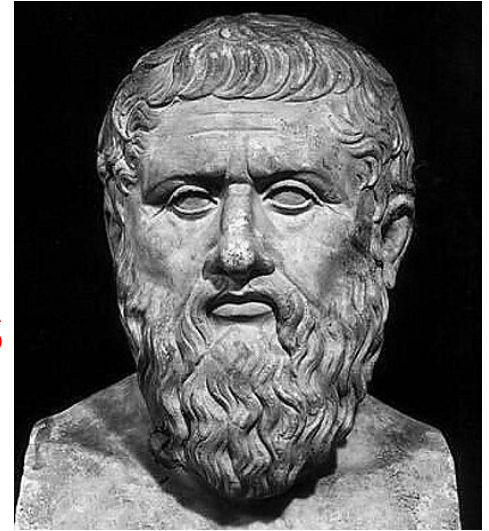
Pitágoras de Samos

Os modelos cosmológicos antigos

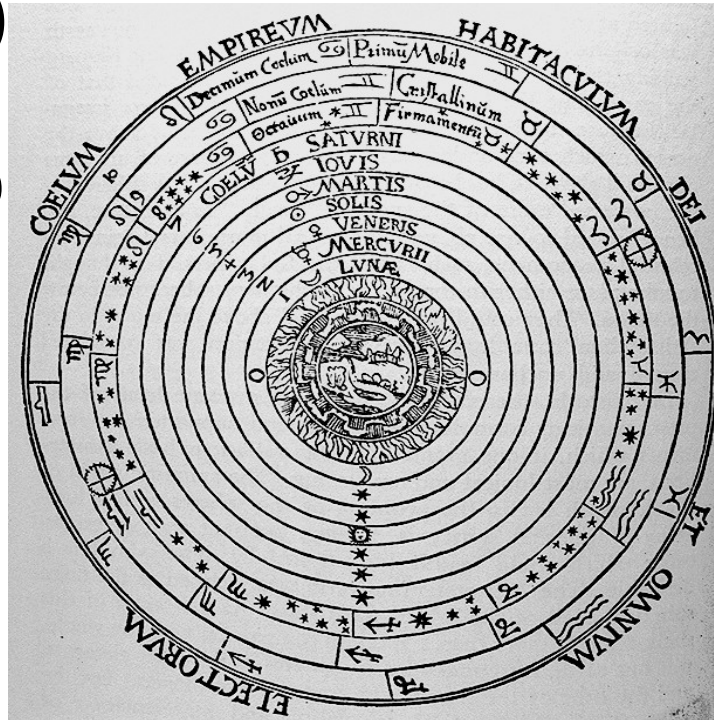
~350 a. C.: **Platão: Universo Geocêntrico**

Esfera de **estrelas** girando em torno da **Terra imóvel**, já que **círculos** e **esferas** eram vistos como as **formas** mais **perfeitas** (dogma do círculo)

Acrescentado pelo aluno de Platão **Eudócio** de Cnido por **mais esferas** carregando os **planetas**



Platão

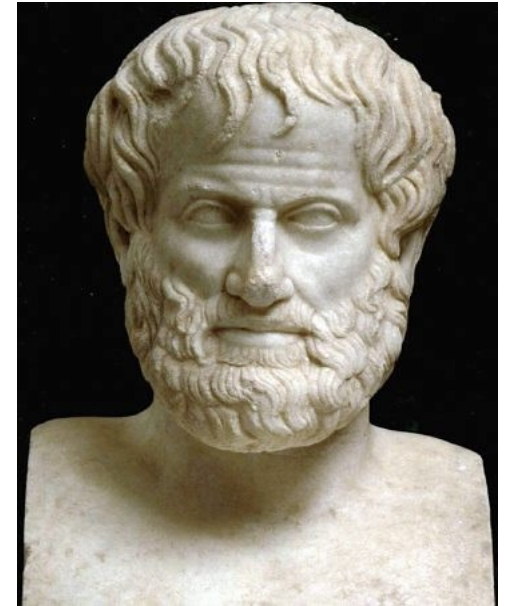


Representações esquemáticas do modelo geocêntrico

Os modelos cosmológicos antigos

Aristóteles (384 - 322 a. C.):

Aluno de Platão, argumentou, **não** conhecendo o **princípio da inércia** de Newton, que a **Terra** deve ser **imóvel**, por que, caso **girasse**, um objeto lançado verticalmente **não voltaria** pro **mesmo ponto**, mas com algum **recuo**, já que, durante o voo, a **Terra** teria se **deslocado** (paradigma da **física aristotélica**).



Aristóteles

Os modelos cosmológicos antigos

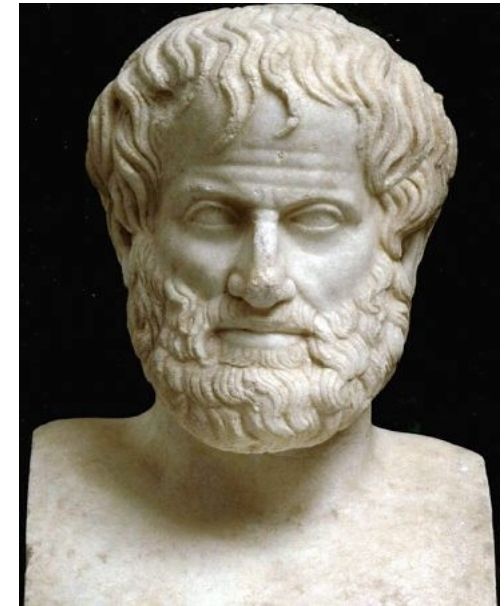
Aristóteles (384 - 322 a. C.):

Ele também propôs 4 **provas observacionais** de que a **Terra** é uma **esfera**:

- Navios **desaparecem** lentamente no **horizonte**.
- Durante os **eclipses lunares** a **sombra** lançada sobre a **Lua** pela **Terra** parece **circular**.
- **Estrelas diferentes** são visíveis em **latitudes** mais ao norte e mais ao sul (ou as mesmas estrelas em alturas diferentes).
- Elefantes são encontrados tanto na Índia, que estava na sua direção leste, como no Marrocos, na sua direção oeste. Sua ideia era que ambas as regiões estão a uma distância razoável na superfície de uma esfera de tamanho moderado.

=> Na **idade média** se **sabia** que a **Terra não é plana**

Leitura interessante sobre o tema: Fernando Lang da Silveira:
Sobre a Forma da Terra: <https://goo.gl/WbaqWA>



Aristóteles

Os modelos cosmológicos antigos

Heráclides do Ponto (388 - 315 a. C.):

Foi o primeiro a propor, que o **movimento aparente** das **estrelas fixas** seria devido à **rotação** da **Terra**. A Terra giraria em torno do seu eixo em em dia na direção do oeste pro leste (“refutado” por Aristóteles).



Heráclides do Ponto

Os modelos cosmológicos antigos

Aristarco de Samos (310 - 230 a. C.)

conseguiu determinar os diâmetros e distâncias da Lua e do Sol em termos do raio da Terra a partir do seguinte raciocínio:

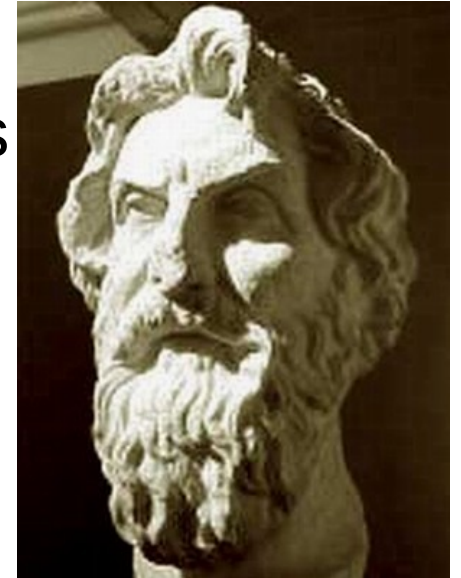
Sol e **Lua** são os únicos corpos celestes que, a olho nu, se apresentam como **discos** e não pontos luminosos e parecem ter o **mesmo tamanho** angular no céu.

+

A **Lua** eventualmente passa **à frente do Sol** produzindo os chamados **eclipses solares**.
=> **Lua** está **mais próxima** da Terra que o **Sol**.

↓

O **Sol**, objeto mais distante, deve ter **dimensões maiores** que a **Lua**, objeto mais próximo.



Aristarco de Samos



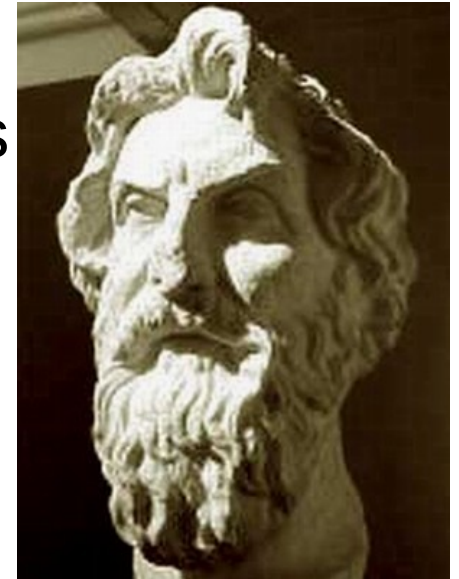
Os modelos cosmológicos antigos

Aristarco de Samos (310 - 230 a. C.)

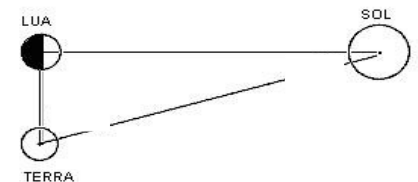
conseguiu determinar os diâmetros e distâncias da Lua e do Sol em termos do raio da Terra a partir das seguintes hipóteses e medidas:

Hipóteses

- A **Lua** é **iluminada** pelo **Sol**
- O **raio** da **Terra** é muito **menor** que a **órbita** da **Lua** (de fato é menor que 2 %)
 - ângulos medidos a partir da superfície da Terra coincidem com ângulos medidos a partir do seu centro
- Quando a **Lua** está na fase de **quarto crescente** ou **quarto minguante**, o triângulo Terra-Lua-Sol é **reto** na **Lua**, já que a linha que vemos separando a parte clara da parte escura é perpendicular à linha Sol-Lua



Aristarco de Samos



Os modelos cosmológicos antigos

Medidas (ângulares*)

- O **ângulo** entre o **Sol** e a **Lua** (chamado de elongação) na fase de quarto minguante ou quarto crescente (87°, levemente subestimado, valor moderno: 89° 51' 10")
- A **largura** da **sombra** da **Terra** à distância da **órbita lunar**, observada durante eclipse lunares (2 diâmetros da Lua, valor moderno: $2.64 d_{\text{L}}$)
- O **diâmetro angular** da **Lua** (2°, 4 x maior que o valor verdadeiro!)
- O **diâmetro angular** do **Sol** é **igual** ao da **Lua**
→ decorrente de observações de eclipses solares totais

*Na astronomia, medidas “de tamanho” normalmente são de tamanho **angular** (em graus/minutos/segundo de arco/radianos resp. segundo de arco em quadrado/steradianos). O tamanho físico (em km/AU/pc/... ou $\text{km}^2/\text{AU}^2/\text{pc}^2$) só pode ser determinado conhecendo a **distância**, que nem sempre é fácil de determinar.

Os modelos cosmológicos antigos

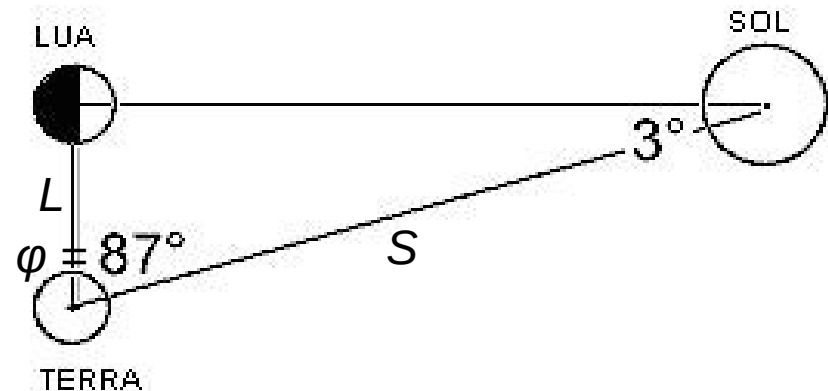
Distâncias

Sendo

L : distância Terra-Lua

S : distância Terra-Sol

φ : ângulo entre Sol e Lua
no quarto minguante
ou crescente



obtemos

$$\cos \varphi = L/S \approx 1/19 \quad (\text{valor moderno: } \sim 1/389)$$

Os modelos cosmológicos antigos

Tamanhos

O sistema Terra-Lua-Sol num eclipse lunar

Dando Mais nomes:

L : distância Terra-Lua

S : distância Terra-Sol

s : raio do Sol

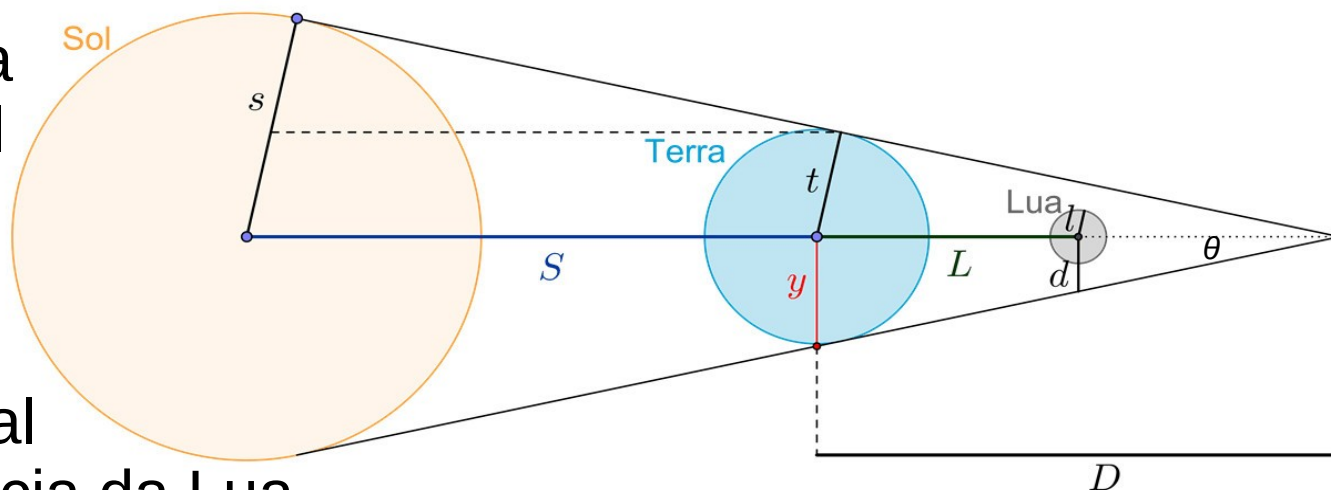
t : raio da Terra

l : raio da Lua

d : raio da sombra total
da Terra, na distância da Lua

D : distância do centro da Terra ao vértice do
cone de sombra da Terra

θ : semi-abertura do cone



Os modelos cosmológicos antigos

Tamanhos

Por semelhança de triângulos:

$$\text{sen } \theta = s/(S+D) = t/D \rightarrow D/S = t/(s-t) \quad (\text{I})$$

$$\text{tan } \theta = d/(D-L)$$

Já que θ é muito pequeno, vale a aproximação:

$$\text{sen } \theta \approx \text{tan } \theta = t/D = d/(D-L) \rightarrow D/L = t/(t-d) \quad (\text{II})$$

Dividindo (I) por (II) e lembrando que os diâmetros angulares do Sol e Lua são ~iguais ($s/S \approx l/L$) conseguimos eliminar D :

$$L/S = l/s = (t-d)/(s-t)$$

Colocando os tamanhos como função do tamanho da Terra:

$$\begin{aligned} s/t &= (1 + s/l) / (1 + d/l) & \text{e} \\ l/t &= (1 + l/s) / (1 + d/l) \end{aligned}$$

Os modelos cosmológicos antigos

Tamanhos

Usando $L/S = l/s = 1/19$ e $d/l = 2$ (pela hipótese de que a largura da sombra da Terra equivale a duas Luas) obtemos pros **raios** da **Lua** e do **Sol** (em unidades do raio da Terra, t):

$$s/t \approx 6.7 \text{ (valor moderno: } \sim 107) \quad \text{e}$$
$$l/t \approx 0.35 \text{ (valor moderno: } \sim 0.275)$$

Para determinar as **distâncias** da **Lua** e do **Sol** usamos o diâmetro angular $\delta \sim 2^\circ = 0.035$ (valor moderno: um quarto disso):

$$S/t = 2/\delta \cdot (s/t) \approx 380 \text{ (valor moderno: } \sim 24'500) \quad \text{e}$$
$$L/t = 2/\delta \cdot (l/t) \approx 20 \text{ (valor moderno: } \sim 63)$$

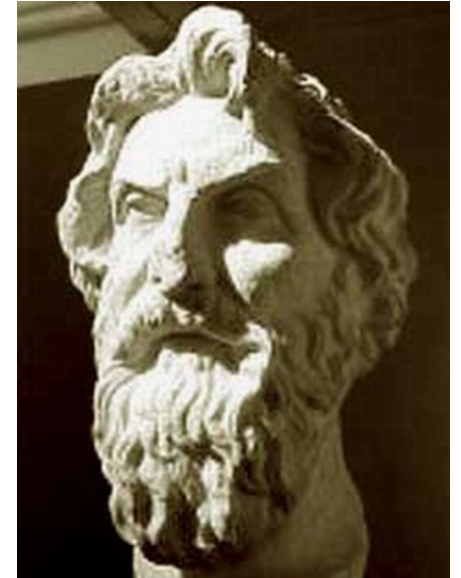
Os modelos cosmológicos antigos

Aristarco de Samos (310 - 230 a. C.)

A partir destes valores, Aristarco sugeriu um **modelo heliocêntrico** (quase 2000 anos antes de Copérnico!), por intuição:

Já que, segundo estas determinações, o tamanho do **Sol** é **muito maior** que o da **Terra**, ele achou contra-intuitivo um corpo grande girar em torno de um corpo muito menor.

Mas a hipótese dele não “pegou” e acabou caindo no esquecimento até o trabalho de Copérnico.



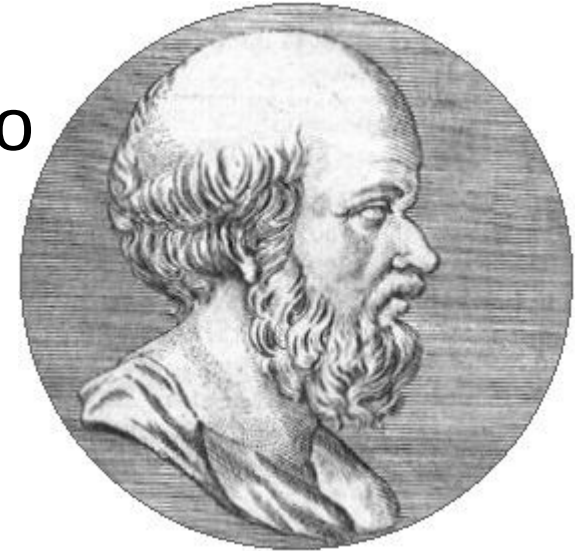
Aristarco de Samos

1ª Determinação do raio da Terra

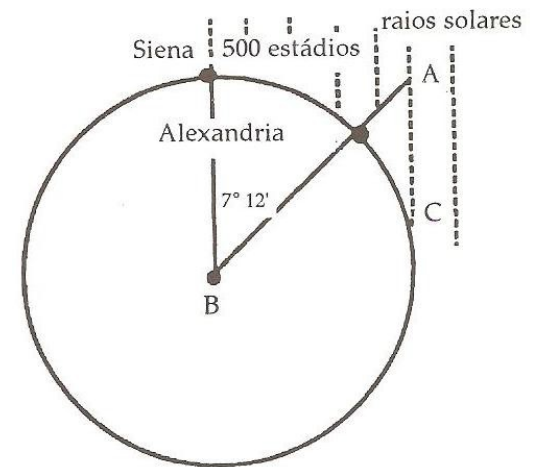
~240 a. C.: **Eratóstenes**

Sabendo que meio dia de um certo dia do ano, o Sol fica no **zenit** em **Alexandria**, a $d = 500$ estádios = 800 km de Siena, e medindo o **ângulo** entre a **posição do Sol** e a **vertical** em **Siena** como $\sim 7^\circ$, ele chegou em (l é a circunferência da Terra):

$R_{\oplus} = l/2\pi = d \cdot 360^\circ / 7^\circ / 2\pi = 6548 \text{ km}$
bem perto do valor real de 6378 km



Eratóstenes



Os modelos cosmológicos antigos

Juntando os valores de Aristarco e Eratóstenes

	Medida Antiga [km]	Medida Atual [km]
Diâmetro da Terra	13'000	12'756
Diâmetro da Lua	4'300	3'476
Diâmetro do Sol	$9 \cdot 10^4$	$1.39 \cdot 10^6$
Distância Terra-Lua	$10^5 *$	$3.84 \cdot 10^5$
Distância Terra-Sol	$2.5 \cdot 10^6 *$	$1.50 \cdot 10^8$

*Na verdade, na época de Aristarco e Eratóstenes já era possível determinar, que o diâmetro angular de Lua e Sol é mais para 0.5° do que para 2° , o que resultaria em distâncias Terra-Lua e Terra-Sol de $4 \cdot 10^5$ km e 10^7 km, respectivamente, como melhores valores possíveis na época.

Os modelos cosmológicos antigos

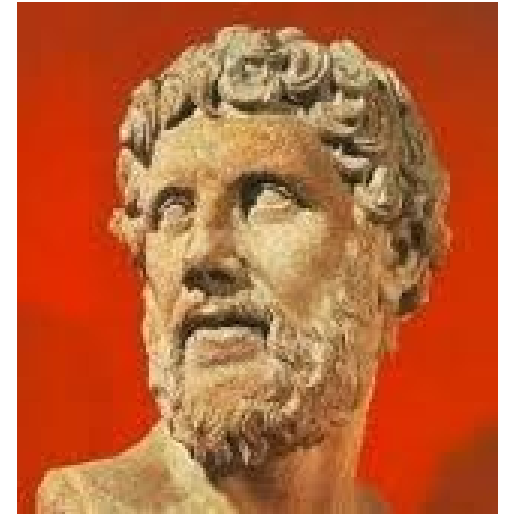
~150 a. C.: **Hiparco: Epiciclos**

Cada **planeta** faz um **movimento circular uniforme**, chamado **epiciclo**, em torno de um **ponto** (no desenho: P) que faz um **movimento circular uniforme** em torno da **Terra**.

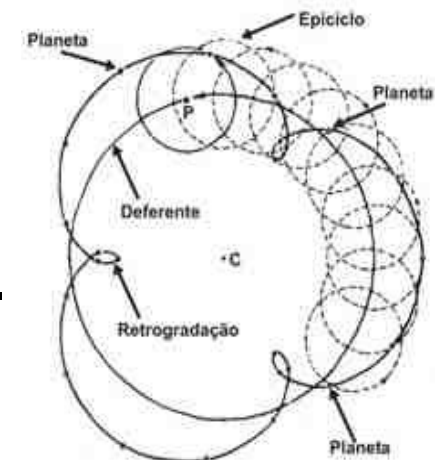
A **órbita** deste ponto se chama **deferente**.

Explica o **movimento retrógrado** dos planetas, pelo menos qualitativamente e o maior brilho durante o trecho retrógrado.

Além disso, ele compilou o primeiro catálogo de estrelas (umas ~850), entre outras contribuições para a ciência.



Hiparco



Modelo de epiciclos

Os modelos cosmológicos antigos

~100 d. C.: **Ptolomeu** (Autor do *Almagesto*, o “Grande Livro”): **Modelo Ptolomaico**

Refinamento do modelo de **epiciclos**:

Os **centros dos deferentes** não ficam mais na Terra, mas **giram** em torno de pontos chamados **equantes**, que também se movimentam.

A **velocidade angular** do epiciclo é **uniforme em relação ao equante**

(então a velocidade é, na verdade, não-uniforme).

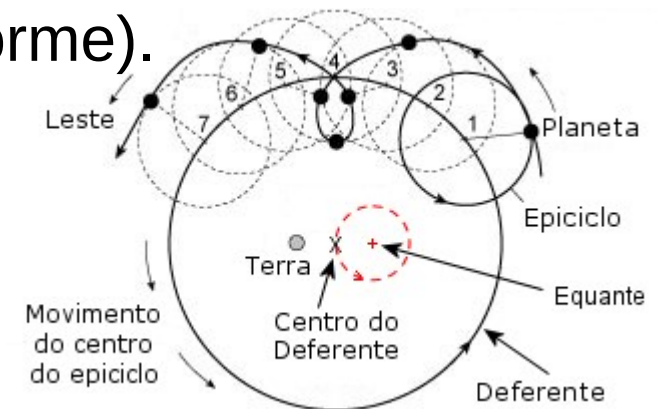
Prevê **melhor** as **posições dos planetas**.

Mas ainda não perfeitamente. Nos séculos seguintes foram acrescentados mais e mais epiciclos para manter a concordância.

O modelo se tornou muito complicado.



Ptolomeu

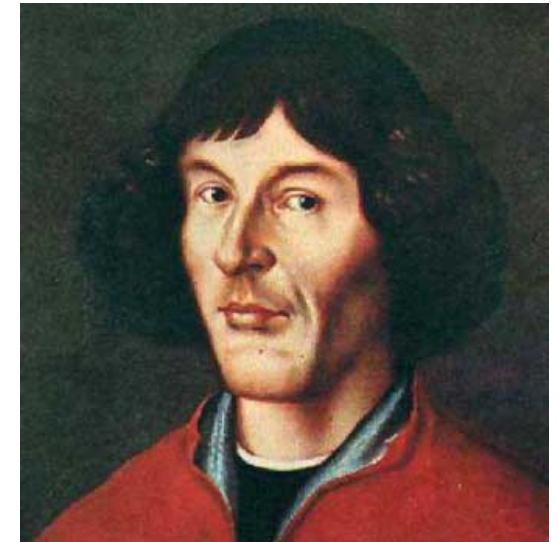


Modelo ptolomaico

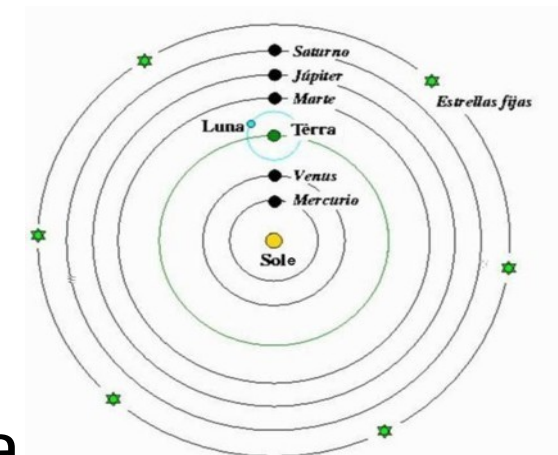
Os modelos cosmológicos antigos

1543: Copérnico: Modelo Heliocêntrico

- O **Sol** é **imóvel** (e não é mais considerado um planeta).
- A **Terra** (que agora é um planeta) e os outros **planetas** (Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno) **giram** em torno do **Sol**, todos no mesmo plano (a eclíptica) e no mesmo sentido, movimento chamado **revolução** (ou translação) dos planetas. Quanto **mais longe** o planeta fica do Sol tanto **mais lentamente** ele se movimenta.



Nicolau Copérnico

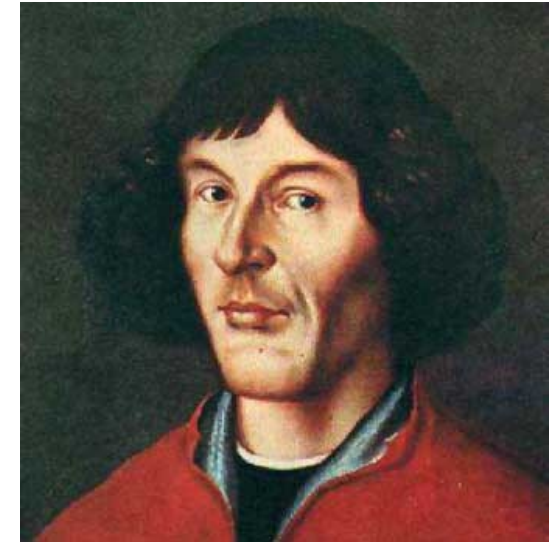


Modelo heliocêntrico

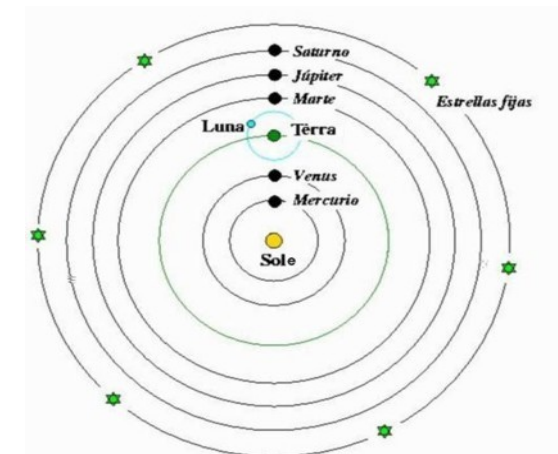
Os modelos cosmológicos antigos

1543: Copérnico: Modelo Heliocêntrico

- A **Terra gira** em um dia sideral em torno do seu **eixo norte-sul** direção leste, chamado **rotação** da Terra. Esta rotação explica, por que todo o céu parece girar (como já tinha sido sugerido por Heráclides do Ponto).
- A **Lua** (que não mais é planeta) **gira** em torno da **Terra** em um mês sideral.



Nicolau Copérnico

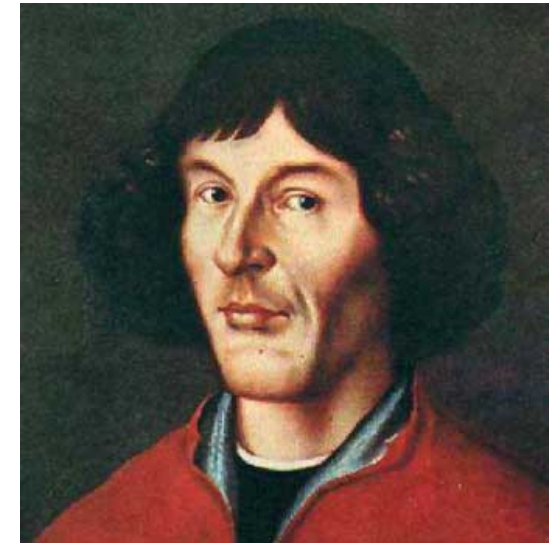


Modelo heliocêntrico

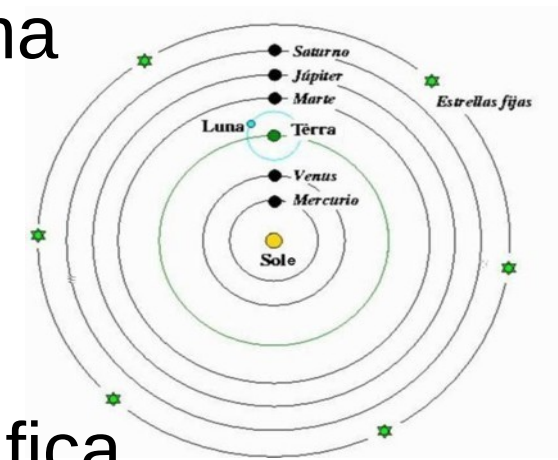
Os modelos cosmológicos antigos

1543: Copérnico: Modelo Heliocêntrico

- As **estrelas fixas** são **imóveis**, e ficam numa **distância muito maior** que o **Sol**.
- Desta maneira, o modelo também explica, por que uma dada **constelação** aparece predominantemente em uma dada **época** do **ano** (exemplo: Órion é uma constelação do verão do hemisfério sul): Nesta época, a Terra se encontra **entre** o **Sol** e a **constelação**, tal que ela esta no **céu noturno**. Meio ano depois, o **Sol** está entre **Terra** e **constelação**. A constelação fica no **céu diurno** atrás do Sol e é invisível.



Nicolau Copérnico

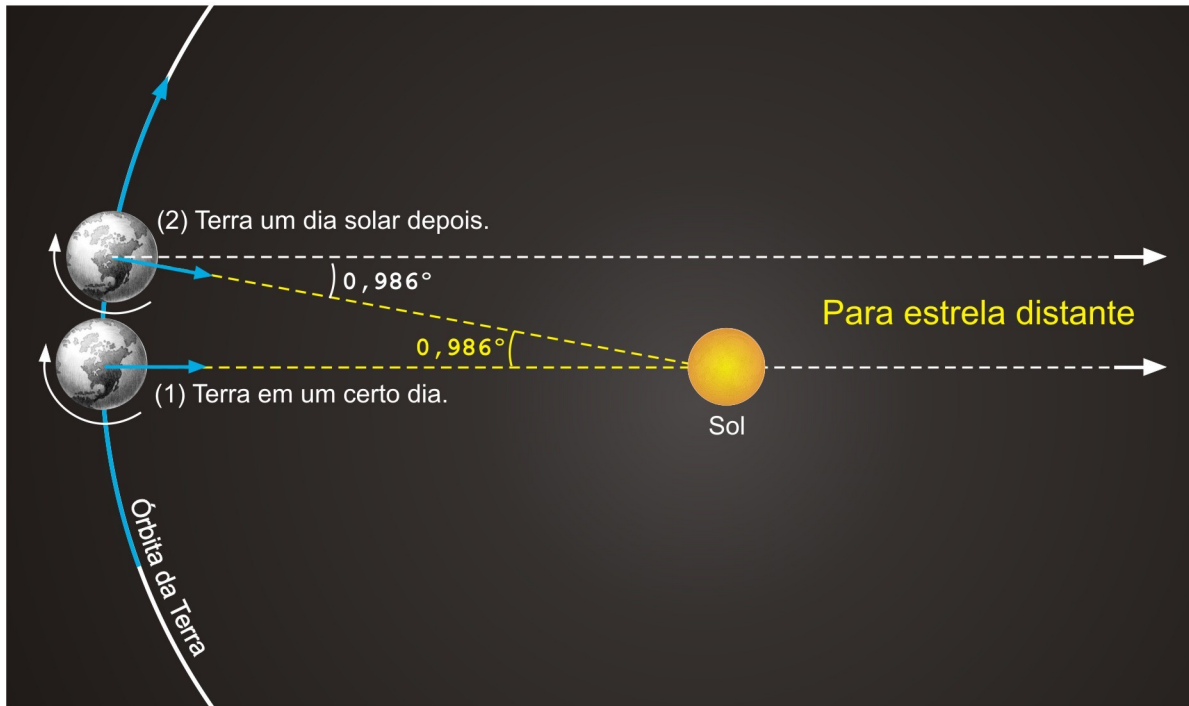


Modelo heliocêntrico

Os modelos cosmológicos antigos

1543: **Copérnico: Modelo Heliocêntrico**

Explica a diferença entre os dias sideral e solar.



Os modelos cosmológicos antigos

1543: Copérnico: Modelo Heliocêntrico

Explica de maneira mais natural os movimentos dos planetas:

- **Mercúrio** e **Vênus** seguem **órbitas menores** que a **Terra**
=> planetas **inferiores**
Por isto ficam **perto** do **Sol** no céu.
- Também explica, por que **Vênus** às vezes é bem **brilhante**.
No **modelo ptolomaico** sempre veríamos o **lado não-iluminado** do nosso planeta irmã.

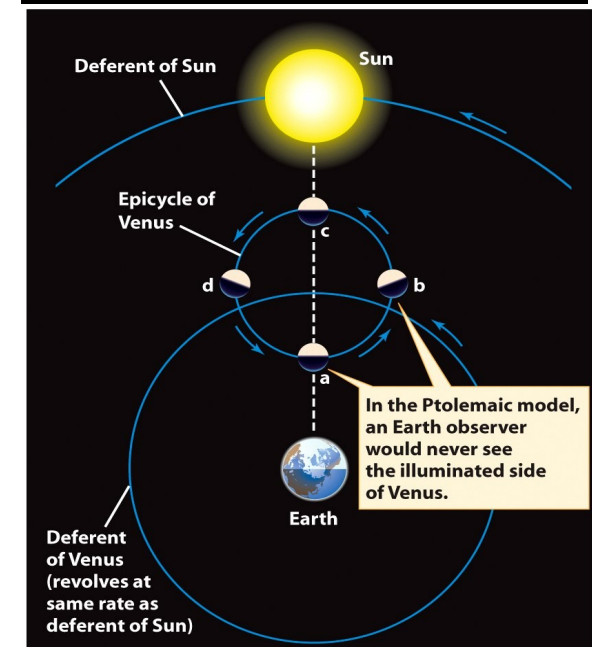
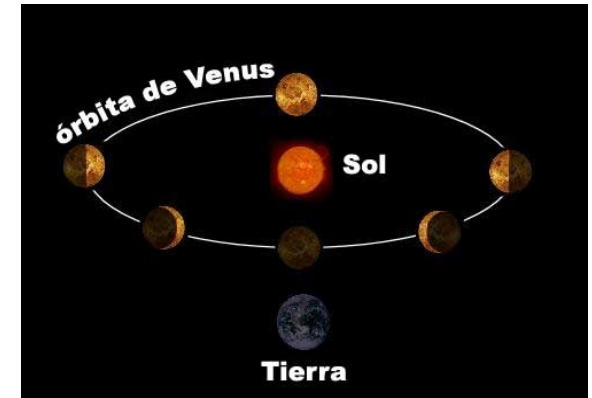


Figure 4-15
Universe, Eighth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

Os modelos cosmológicos antigos

1543: Copérnico: Modelo Heliocêntrico

Explica de maneira mais natural os movimentos dos planetas:

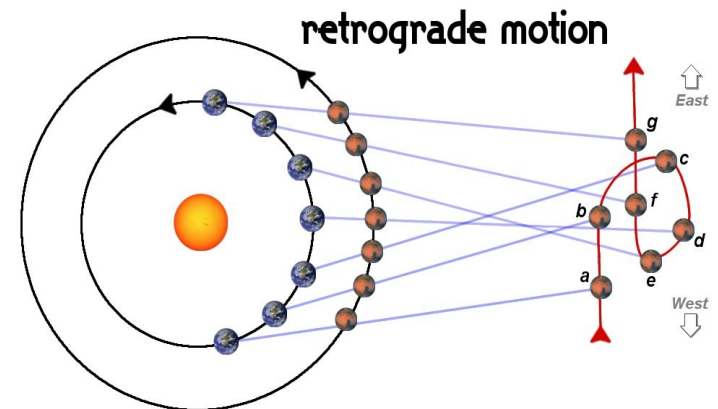
- As órbitas de **Marte**, **Júpiter** e **Saturno** são **maiores** que aquela da **Terra**.

=> planetas **superiores**

O **movimento** aparentemente **retrógrado** ocorre, quando a **Terra** “**ultrapassa**” o **planeta**.

A menor distância até a Terra explica o brilho maior neste período.

!!! Não confundam os termos planetas inferiores e superiores com os termos planetas interiores e exteriores (=> Aula 6 ou 7).



Os modelos cosmológicos antigos

1543: **Copérnico: Modelo Heliocêntrico**

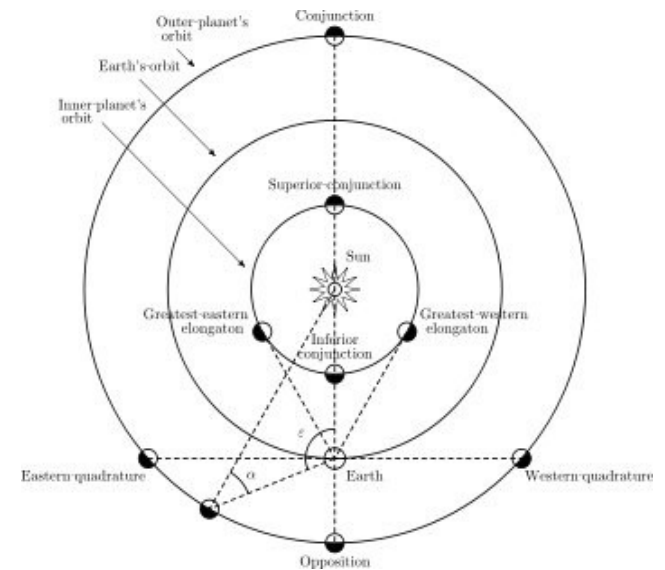
Alguns termos: planetas inferiores

As posições de **distância angular máxima** do Sol dos **planetas inferiores** se chamam **elongação oriental máxima** e **elongação ocidental máxima**.

Mercúrio: 28°

Vênus: 47°

São aproximadamente as posições de **melhor visibilidade** destes planetas.



Os modelos cosmológicos antigos

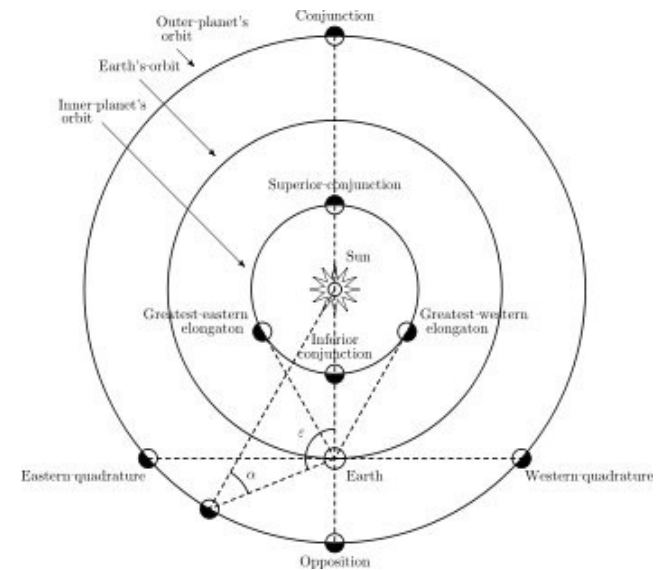
1543: Copérnico: Modelo Heliocêntrico

Alguns termos: planetas superiores

Quando o planeta se encontra do lado **oposto** da Terra que o **Sol**, ele está em **oposição** (e mais perto da Terra => mais brilhante).

“**Atrás**” do Sol, ele está em **conjunção** com o Sol.

A **90°** do Sol, ele está em **quadratura oriental** ou **ocidental**.



Os modelos cosmológicos antigos

1543: Copérnico: Modelo Heliocêntrico

Alguns termos

O período da revolução de um planeta em torno do Sol é chamado período (ou ano) sideral.

No caso da Terra: 1 ano.

Como a Terra se desloca ao mesmo tempo, o período entre duas oposições do outro planeta, chamado período (ou ano) sinódico, difere do período sideral.

Exercício: Mostre, que (sendo $a = 1$ ano terrestre):

$1/p.\text{sin.} = 1/p.\text{sid.} - 1/a$ para planetas inferiores, e

$1/p.\text{sin.} = 1/a - 1/p.\text{sid.}$ para planetas superiores

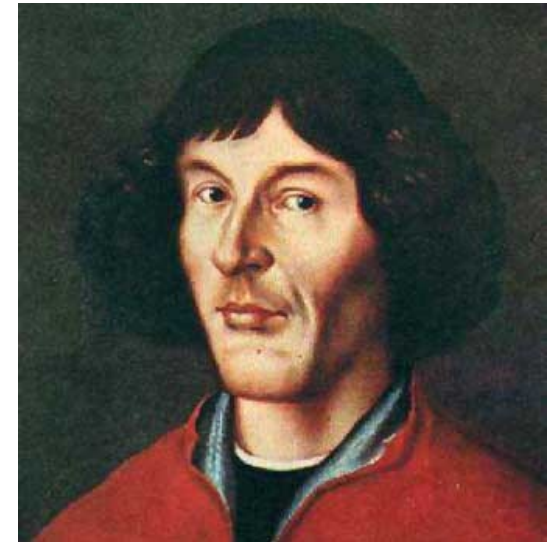
Os modelos cosmológicos antigos

1543: **Copérnico: Modelo Heliocêntrico**

Publicado na obra *De Revolutionibus Orbium Coelestium* em 1543, o ano da morte do astrônomo polonês.

Era visto por muitos como apenas um truque para facilitar o cálculo das posições dos planetas no céu, sem significado real: A Terra não podia ser tirado do centro do Universo tão facilmente. Colocar o Sol no centro significava uma mudança de paradigma, a **Revolução Copernicana**.

Na verdade, as previsões das posições dos planetas nem saem melhor que no modelo ptolomaico (=> próxima aula).



Nicolau Copérnico

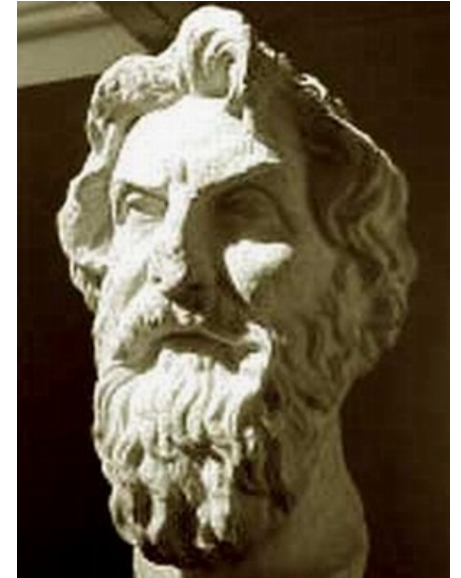
Os modelos cosmológicos antigos

Modelo Heliocêntrico

Como mencionado, Copérnico não foi o primeiro a colocar o Sol no centro.

Aristarco de Samos (310 - 230 a. C.) já tinha sugerido um modelo heliocêntrico quase 2000 anos antes (vide alguns slides atrás).

Copérnico tinha citado Aristarco numa versão preliminar de *De Revolutionibus*, mas deixou a referência fora do manuscrito publicado no final.



Aristarco de Samos

Os modelos cosmológicos antigos

Giordano Bruno (1548-1600):

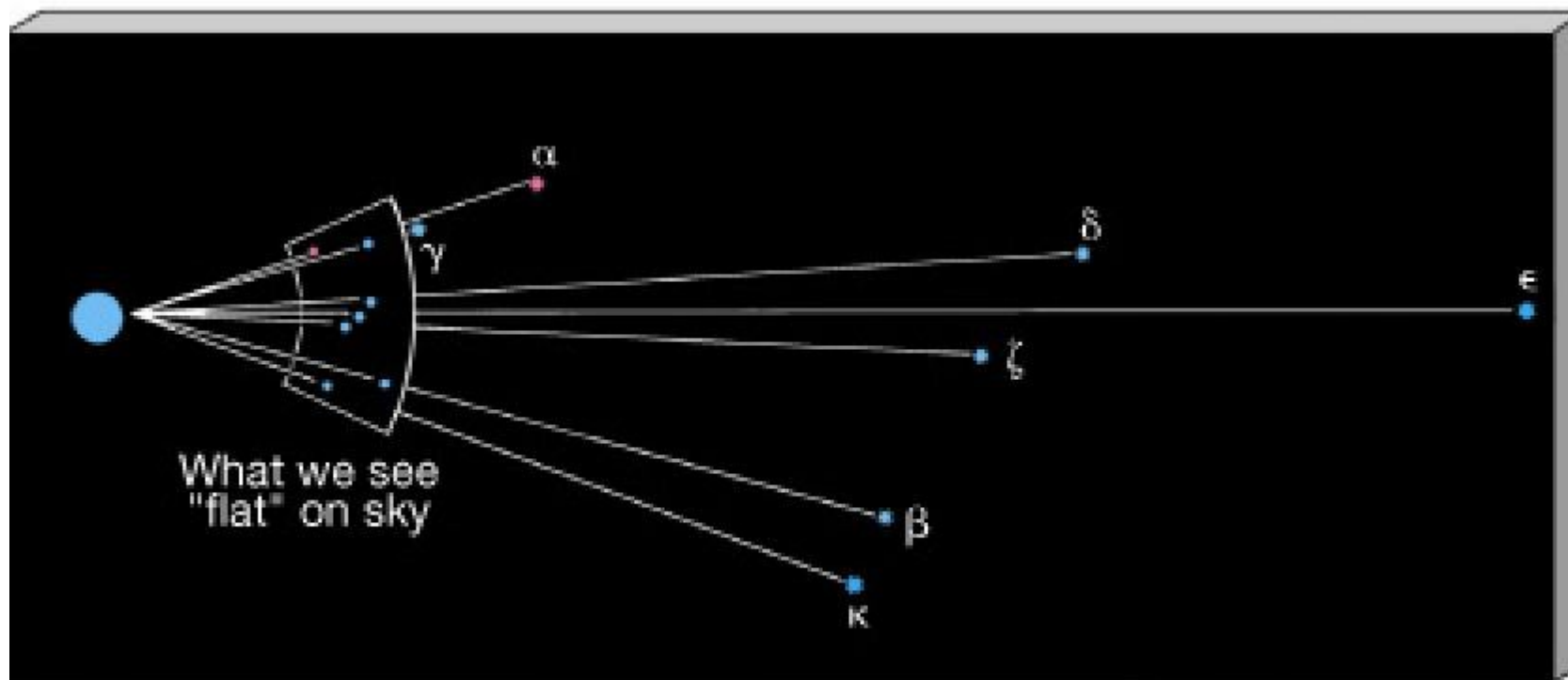
Frade dominicano italiano, teólogo, filósofo e escritor, sugeriu que o **Universo** seria **infinito**, que o **Sol** seria uma **estrela** como as estrelas fixas, que existiriam **planetas** girando em torno de **outras estrelas**, e que nestes poderia existir **vida inteligente**.

Foi condenado e queimado pela inquisição.



Giordano Bruno

Os modelos cosmológicos antigos



c) |← 1,000 light-years →|

A medição das distâncias até as estrelas (=> aula mais pra frente) mostra que o Giordano Bruno teve razão sobre a natureza das estrelas, e que as **constelações não** são **agrupamentos** reais de estrelas.

(Aquele da vida inteligente ainda resta a ser confirmado.)

Os modelos cosmológicos antigos

Em 1718, Edmund **Halley** confirmou a hipótese de **Macrobius** (AD 400), de que as **estrelas** se **movimentam** no céu.

Halley conseguiu mostrar, que Sirius, Arcturus e Aldebaran tinham se deslocado por $> 0.5^\circ$ no céu em relação à posição determinada por Hiparco 1850 anos antes.

Movimento **angular** no “plano” do céu é chamado **movimento próprio**.

Movimento na direção da **linha de visada** é chamado **movimento radial**, e pode ser detectado relativamente facilmente pelo **efeito Doppler** da luz emitida pela estrela.



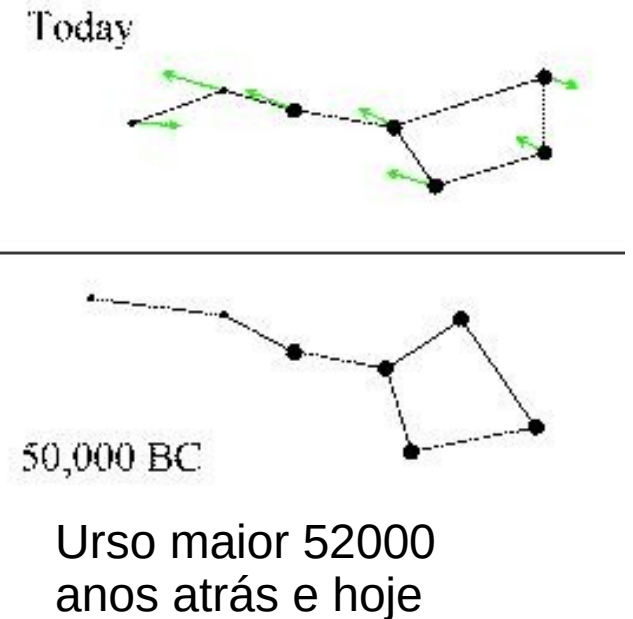
Os modelos cosmológicos antigos

Por isto, as constelações mudam de aparência no decorrer das milênias.

A maioria das estrelas se movimentam por poucos milissegundos de arco por ano.

A estrela com o maior movimento próprio, a estrela de Barnard, se desloca por $\sim 10.3''$ /ano.

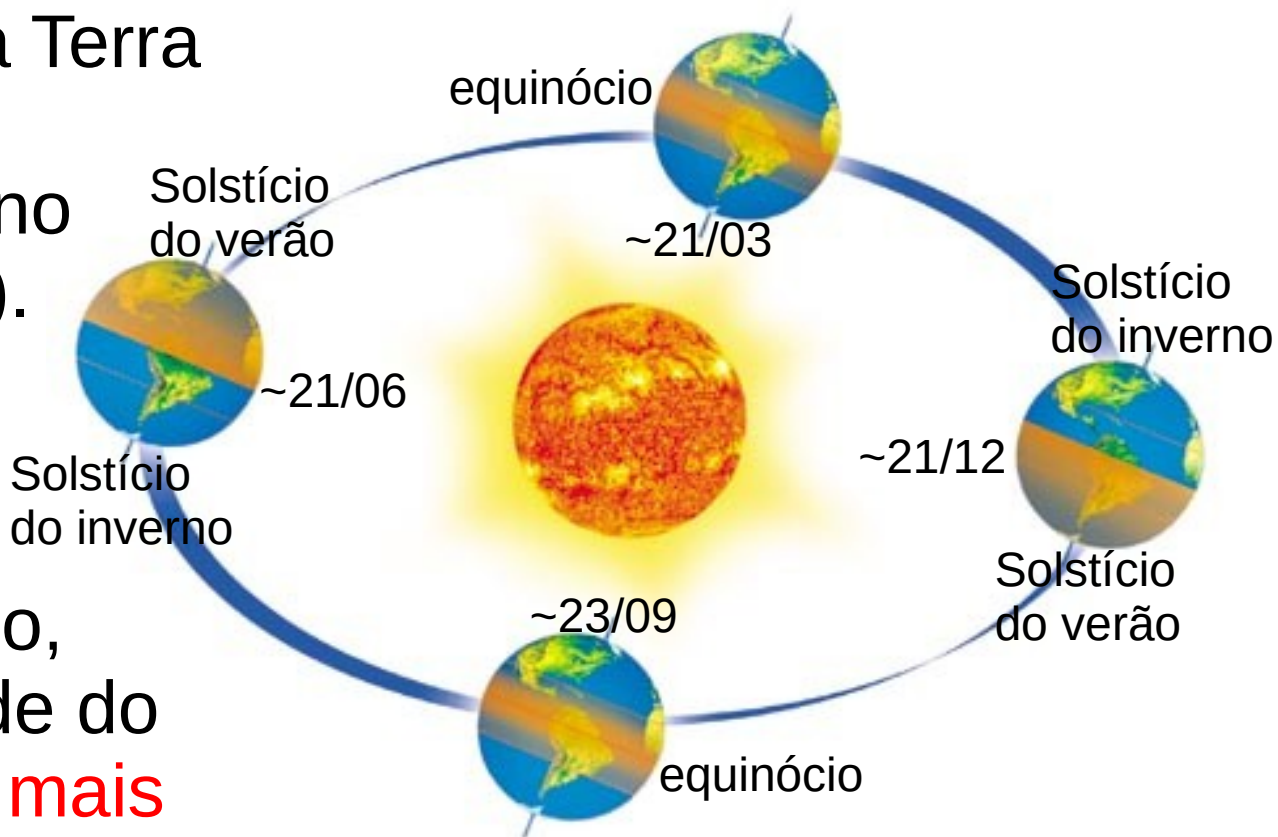
Nada de estrelas fixas!



O Sistema Terra-Sol

As **estações do ano** ocorrem devido à **inclinação do eixo** da Terra em relação à perpendicular ao plano da órbita (a eclíptica).

O lado da Terra **voltado para o Sol** (de setembro a março, o sul; na outra metade do ano, o norte) recebe **mais radiação**, e vivencie as **estações quentes**.

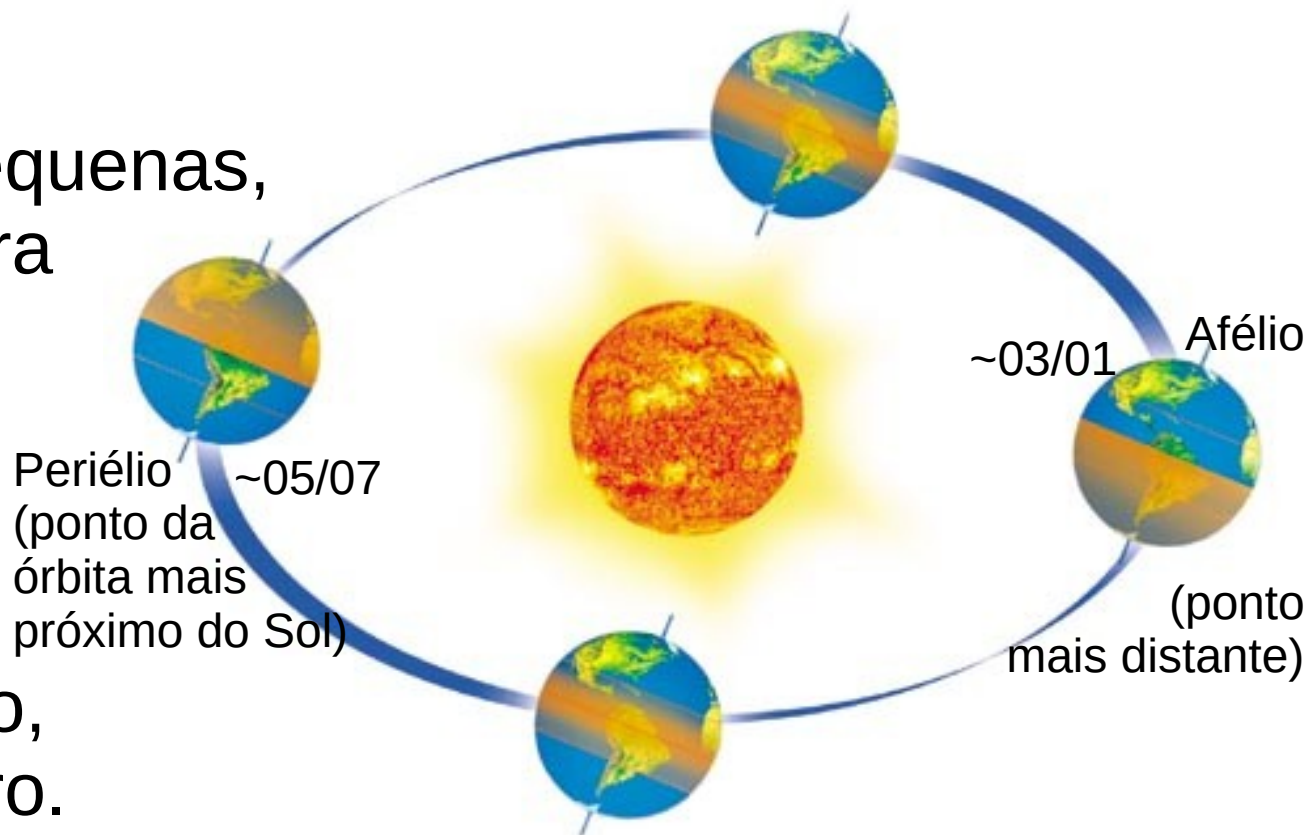


O Sistema Terra-Sol

! O motivo das estações **não** são variações na distância Sol-Terra.

Estas são muito pequenas, i. e. a órbita da Terra é praticamente circular.

Não fosse assim, a Terra inteira teria verão em julho, e inverno em janeiro.



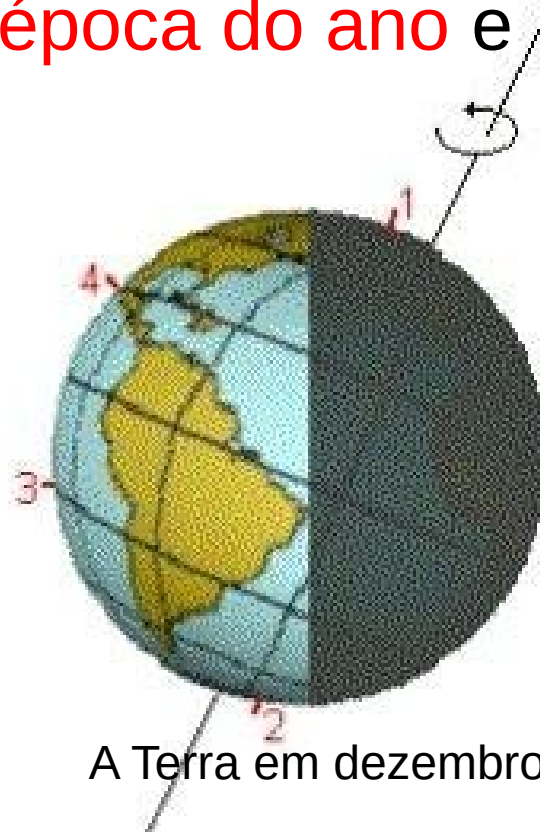
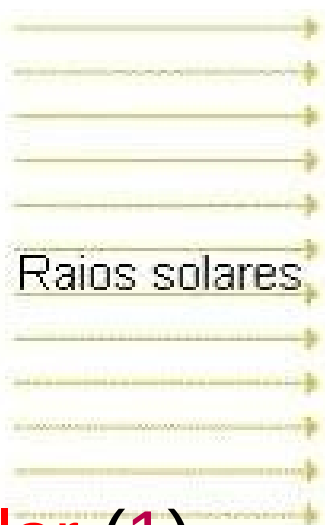
O Sistema Terra-Sol

A **duração** dos **dias** e **noites** varia com a **época do ano** e com a **latitude**:

Do lado **voltado pro Sol** (3), os dias são **mais compridos**, quanto mais perto dos polos, tanto mais.

Nos **polos** ocorre o **dia polar** (2) resp. a **noite polar** (1) (o Sol não se põe, resp. não nasce).

Anoitecer e **amanhecer** duram **mais tempo** perto dos **polos**.



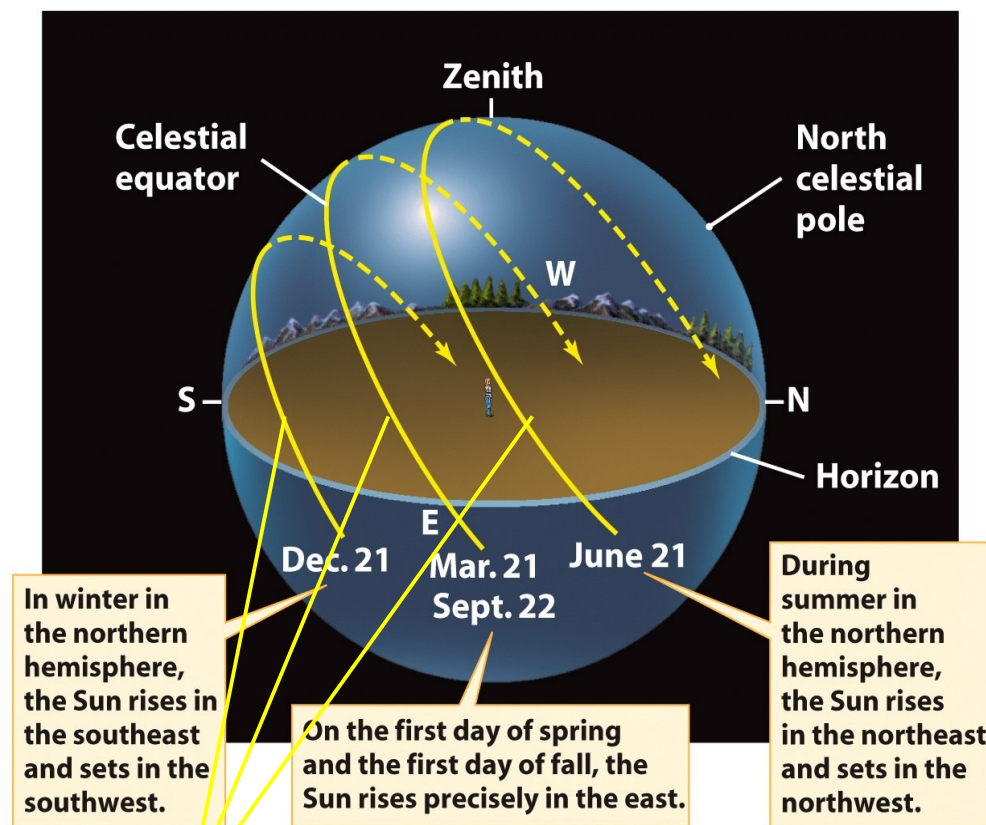
O Sistema Terra-Sol

No **inverno** no **hemisfério sul**, o **Sol nasce** no **nordeste** e se **põe** no **noroeste**.

No **verão austral**, ele **nasce** no **sudeste** e se **põe** no **sudoeste**.

No **inverno** no **hemisfério norte**, o **Sol nasce** no **sudeste** e se **põe** no **sudoeste**.

No **verão boreal**, ele **nasce** no **nordeste** e se **põe** no **noroeste**.



Caminhos aparentes do Sol no céu

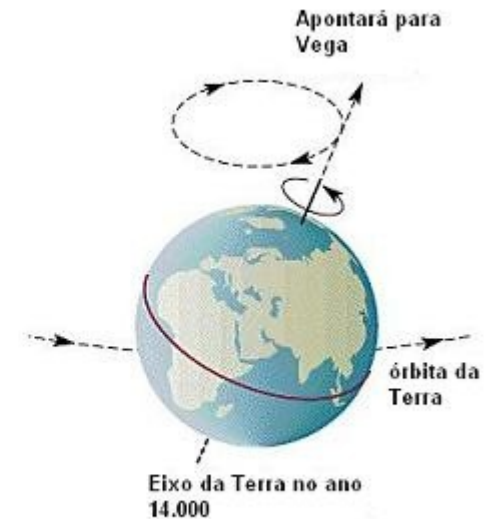
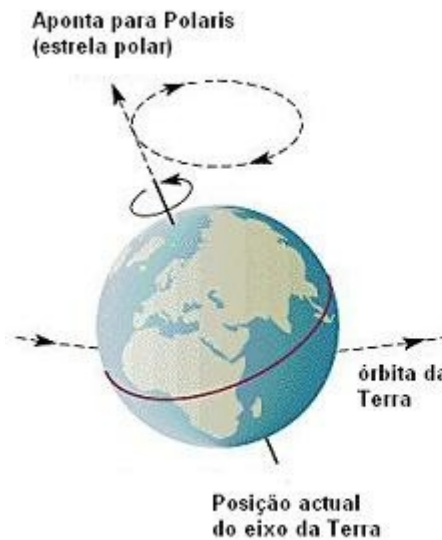
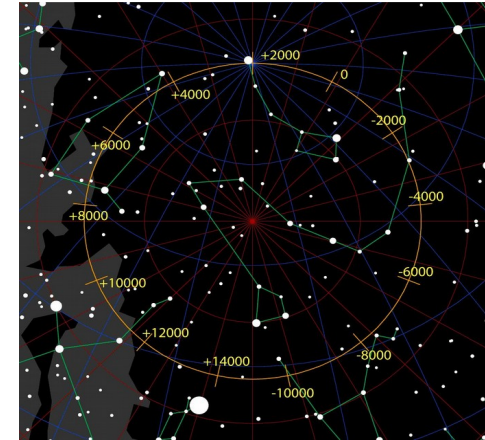
O Sistema Terra-Sol

Resta a vista “de fora” da **precessão lunisolar**.

Neste caso, a impressão não engana. Ela de fato é devida à **variação** da **direção** do **eixo** de **rotação** da **Terra**, que **precede** em torno da **normal** à **eclíptica** com um período da ordem de 26'000 anos.

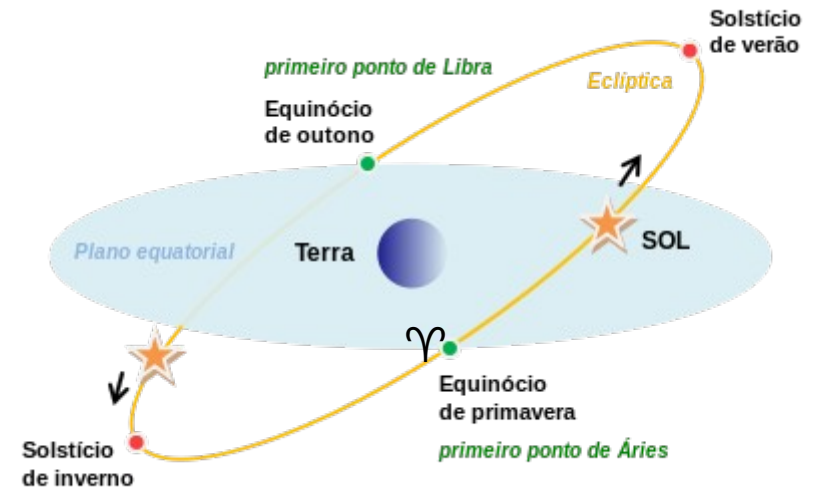
(O motivo para esta precessão veremos na próxima aula.)

Lembrete



O Sistema Terra-Sol

Chamamos de **ponto vernal** ou ponto gama (Υ) a posição do Sol no céu (aparente, visto da Terra) na hora de cruzar o equator celeste, no **equinócio de primavera** do hemisfério **norte**.

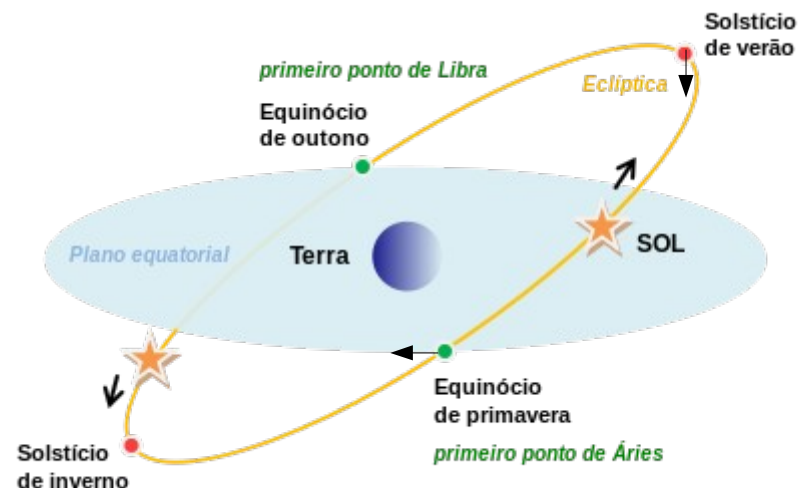


O **tempo** entre **duas passagens** do **Sol** pelo **ponto vernal** determina a **periodicidade** das **estações** do ano e é chamado **ano tropical**, de 365.2422 dias solares. O nosso calendário se baseia no ano tropical.

O Sistema Terra-Sol

Já que o **ponto vernal precede** junto com o eixo da Terra, ele se **desloca** durante uma volta da Terra em torno do Sol, tal que o **ano tropical** dura da ordem de 20 minutos a **menos** que uma **volta inteira**, que dura 365.2563 dias solares, período chamado **ano sideral**.

Na época do Ptolomeu, o ponto vernal estava na constelação de Áries (terceiro nome: ponto de Áries), hoje ele está em Peixes, e por volta do ano 2150 entrará em Aquário. Em 26'000 anos ele faz a volta inteira pelo zodíaco (ou seja, os 20 min. por ano somados dão um ano).



O Sistema Terra-Sol

Já que o **ano sideral** é a verdadeira duração de uma volta da Terra em torno do Sol, no ponto de vista da Terra ele corresponde ao tempo entre **duas passagens** do **Sol** na frente da mesma **estrela fixa**.

Alguns calendários de culturas antigas se basearam no ano sideral.

O Sistema Terra-Sol-Lua

As **fases** da **Lua** são o resultado da **orientação** do **lado iluminado** (pelo **Sol**) da Lua em relação à **Terra**.

Por isto, a **periodicidade** das **fases** é dada pelo **mês sinódico**.

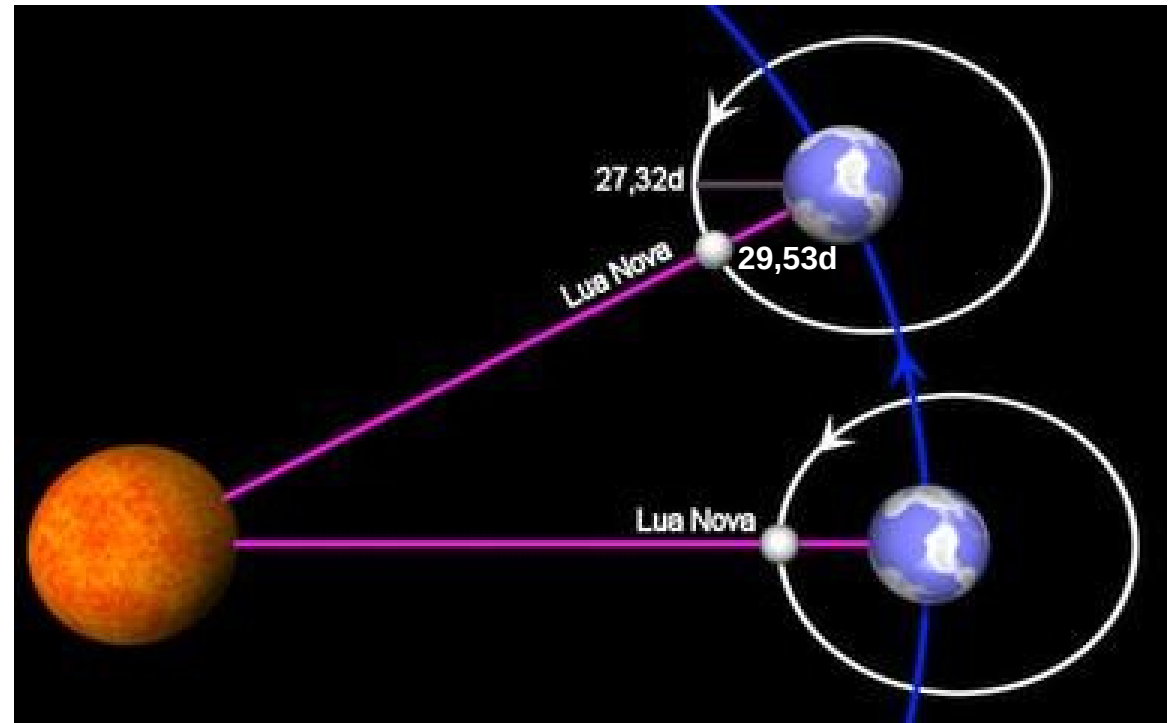
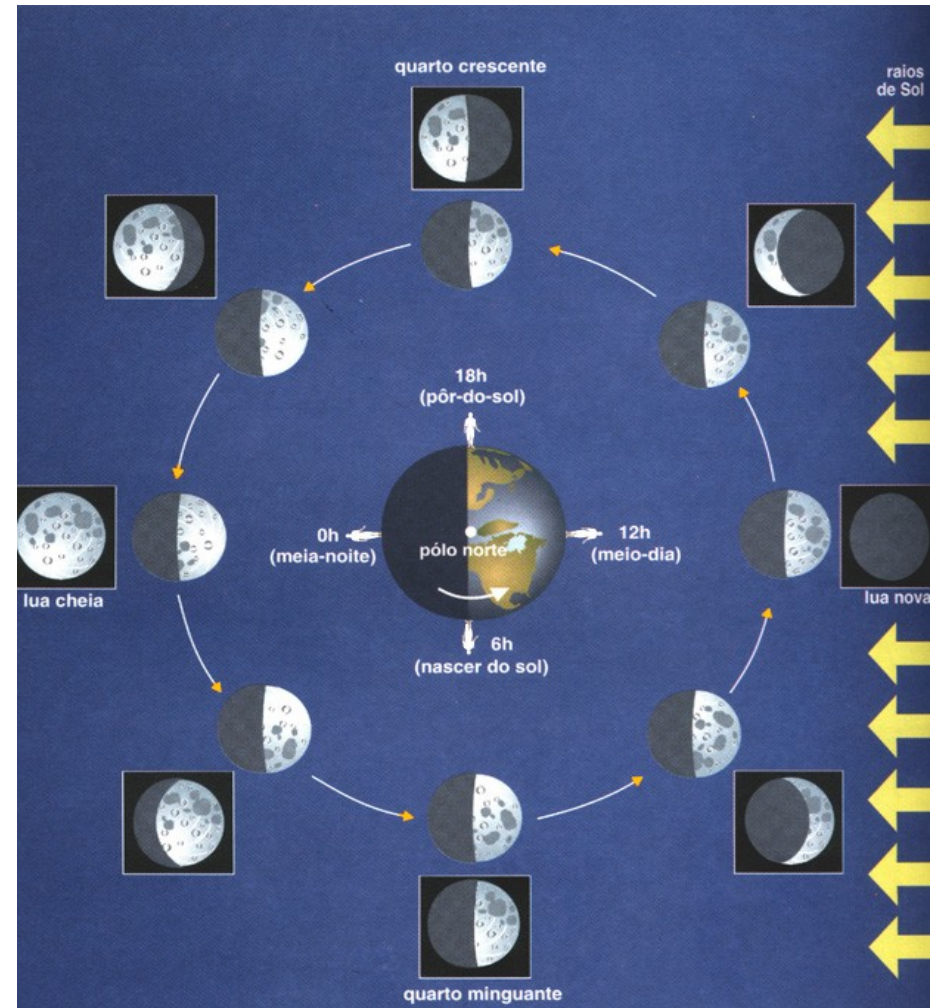


Ilustração dos meses sideral (27,32d) e sinódico (29,53d)

O Sistema Terra-Sol-Lua

Isto também explica, por que a Lua cheia aparece de noite, a Lua nova de dia, a Lua crescente de tarde e no começo da noite, e a Lua minguante, de madrugada e de manhã.

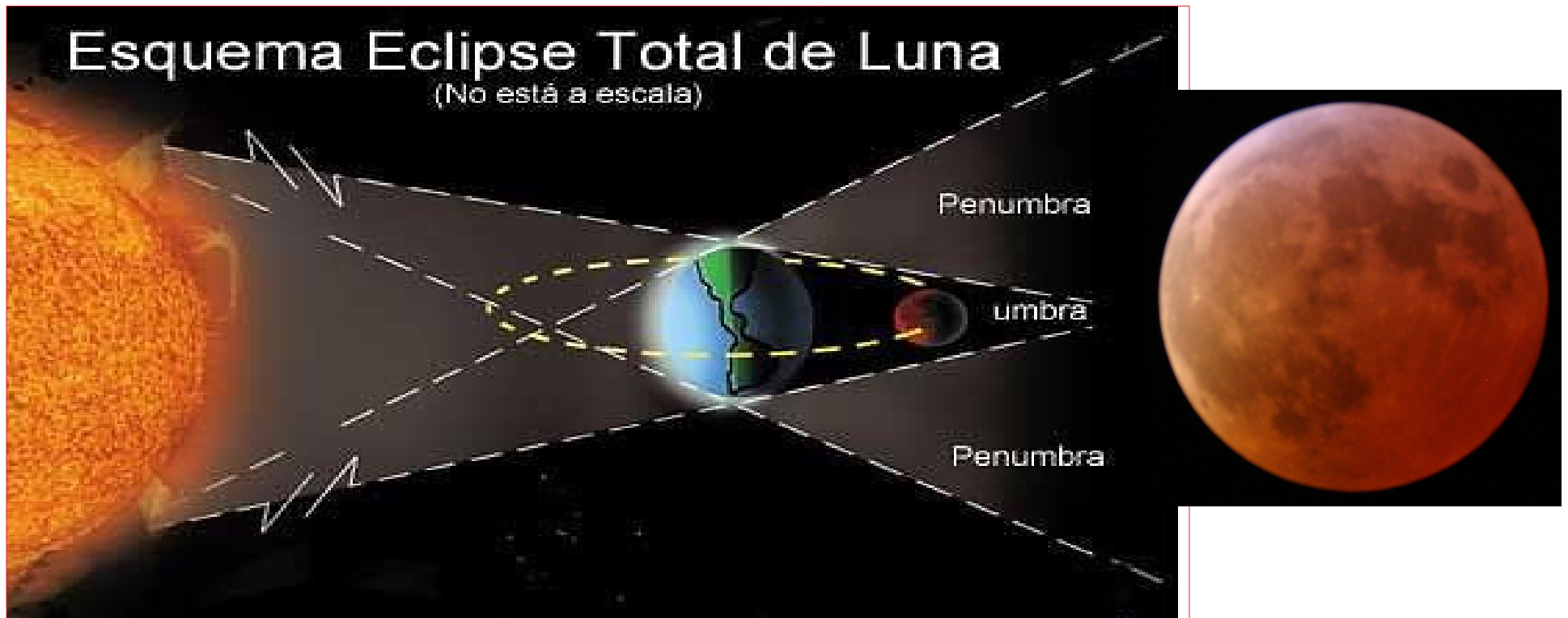


O Sistema Terra-Sol-Lua

Um **eclipse lunar** ocorre quando a **Terra** fica **entre** o **Sol** e a **Lua**, impedindo que os raios solares atinjam-na.

Um **eclipse total** ocorre, quando a **Lua** se encontra **completamente** na **sombra total** (umbra) da **Terra**.

Um eclipse lunar só pode acontecer durante **Lua cheia**.



O Sistema Terra-Sol-Lua

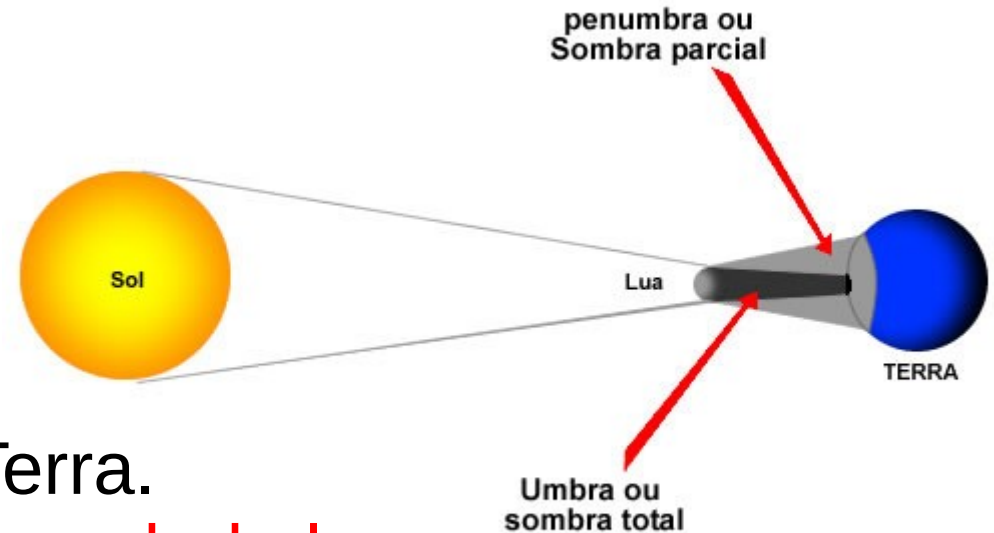
Um **eclipse solar** ocorre quando a **Lua** fica **entre** o **Sol** e a **Terra**, fazendo a sombra da Lua cair na Terra.

No ponto de vista de alguém na Terra, a **Lua** **cobre** o **disco** do **Sol**.

Apesar de mais frequentes que eclipses lunares, eclipses solares sempre só atingem **certos lugares** da Terra.

Por isto são **mais raros em um dado lugar** (e mais espetaculares).

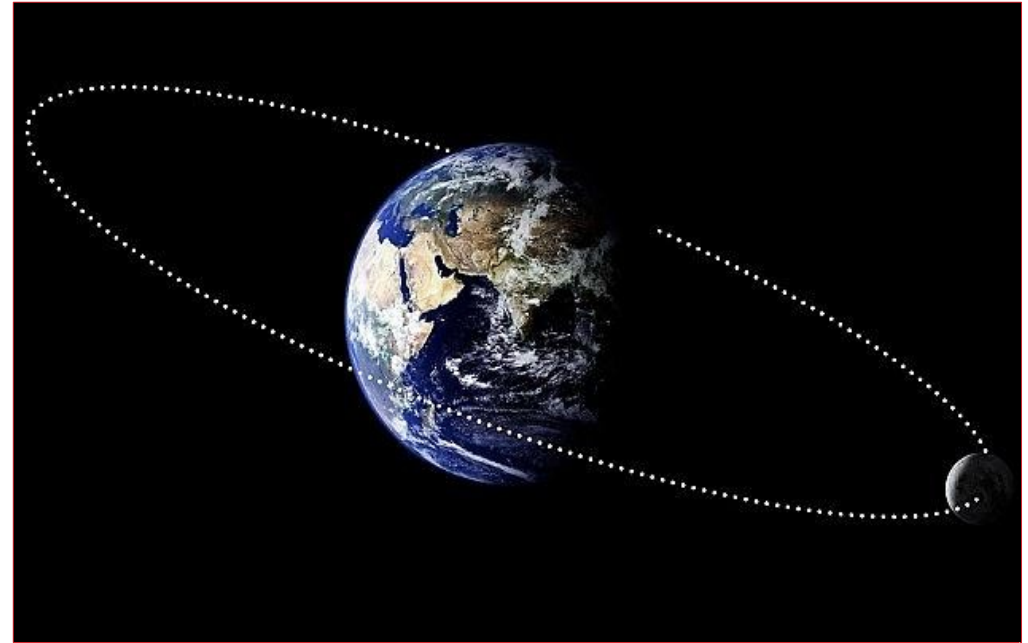
Um eclipse solar só pode acontecer durante **Lua nova**.



O Sistema Terra-Sol-Lua

Na verdade, as **órbitas** da **Terra** em torno do Sol, e da **Lua** em torno da Terra não são circulares, mas **elípticas** (próxima aula).

Por isto, Sol e Lua **variam** de **tamanho angular** no céu, tal que, às vezes, a **Lua** parece **maior**, e, às vezes, o **Sol**.

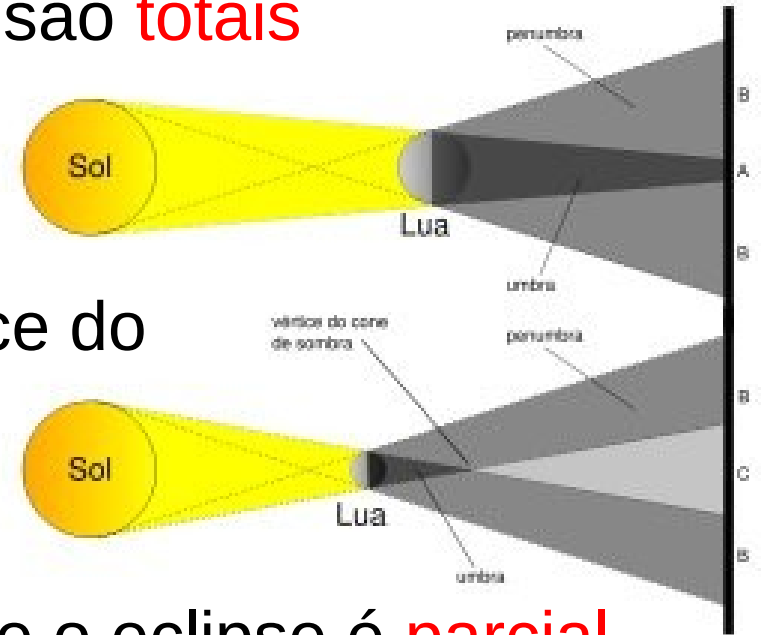


A Lua vista da Terra no Perigeu e no Apogeu, na mesma escala angular



O Sistema Terra-Sol-Lua

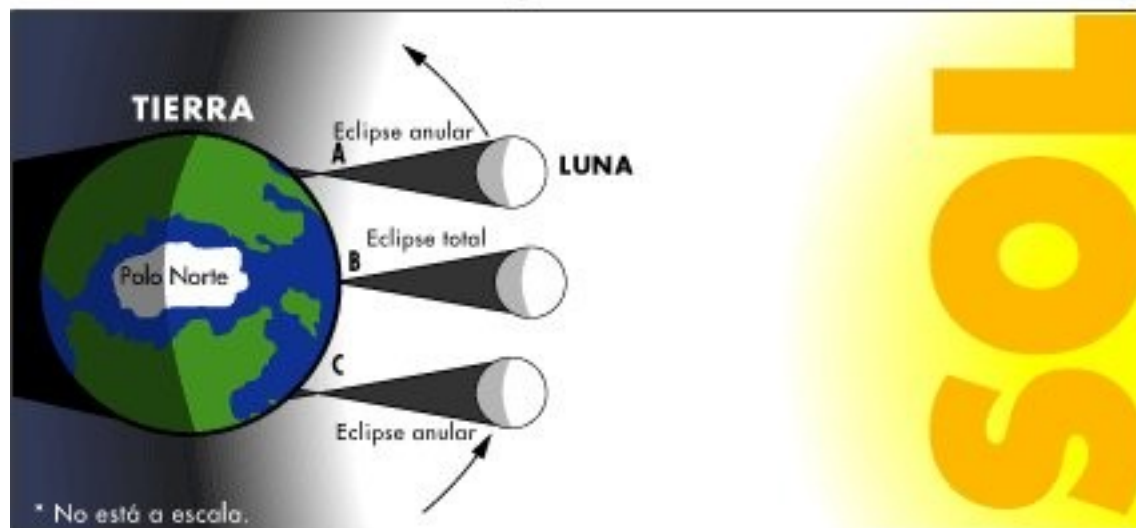
Isto faz, que certos eclipses solares são **totais** (em lugares dentro da sombra total/**umbra**, ocorrem quando a Lua está no (ou perto do) **perigeu**), certos são **anelares** (dentro do vértice do cone de sombra ou **antumbra**, quando a Lua está no **apogeu**). Em todos os eclipses solares há regiões na Terra (na **penumbra**) onde o eclipse é **parcial**.



O Sistema Terra-Sol-Lua

Um caso especial é o eclipse **híbrido**, um eclipse que é **anelar** por parte da sua duração, e **total** por outra parte (pode ocorrer quando a Lua está em uma dada distância da Terra, entre perigeu e apogeu).

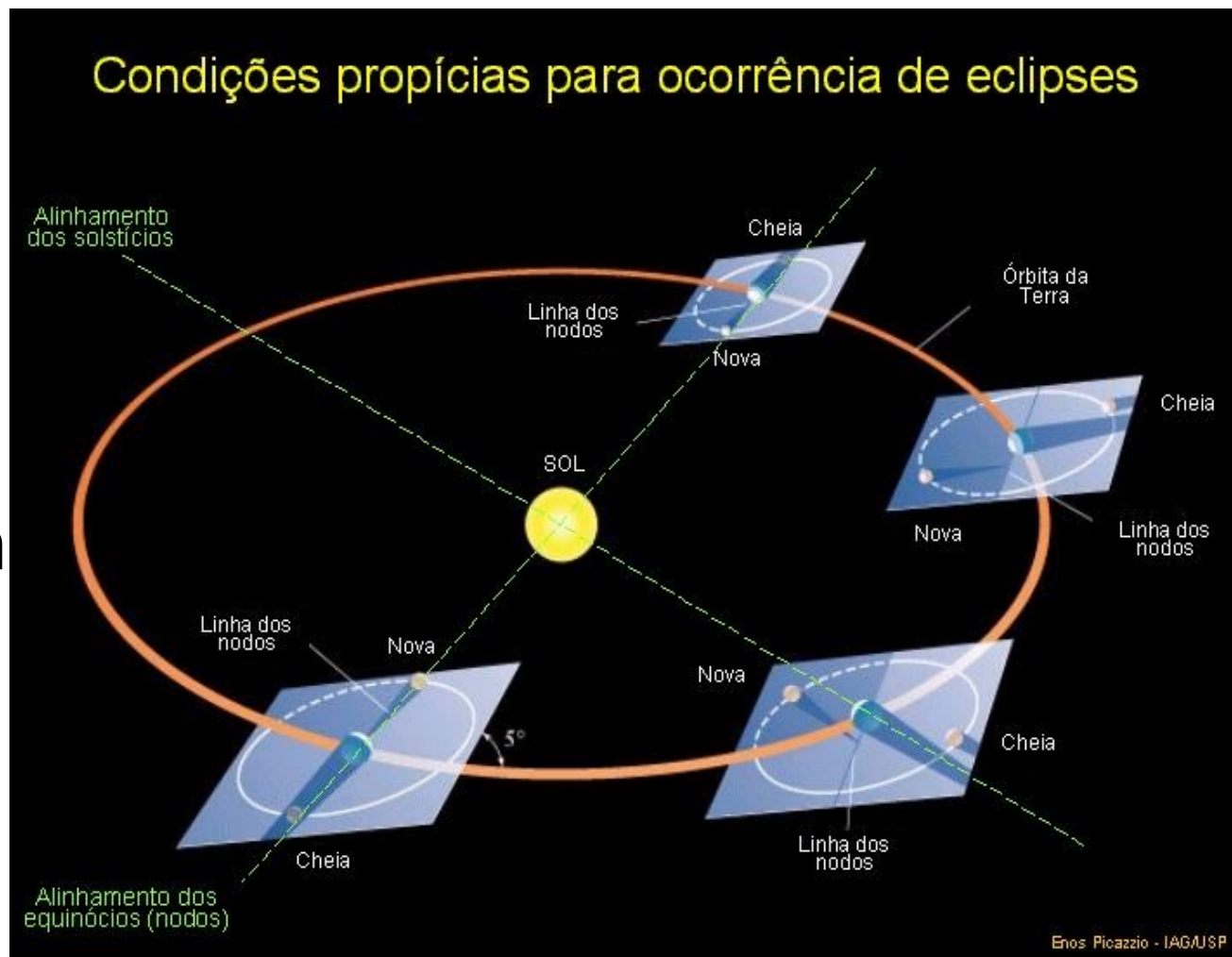
ECLIPSE HÍBRIDO (Anular–Total–Anular)



O Sistema Terra-Sol-Lua

Como o **plano orbital** da **Lua** é **inclinado** em relação à **eclíptica**, não há eclipses todo mês. Eclipses só podem ocorrer, quando a **Lua** está na **eclíptica**.

Disso vem o nome da **eclíptica**, “plano dos eclipses”.



O Sistema Terra-Sol-Lua

Os eclipses caem nos períodos, naqueles a **interseção** dos dois **planos** (eclíptica e plano orbital da Lua), chamada **linha dos nodos**, coincide com a **linha Sol-Terra**.

Estes períodos duram de **um a dois meses**, dando tempo para **dois ou três eclipses** (lunar ou solar, muitos destes apenas parciais).

O tempo entre dois destes períodos é **~173 dias**, não exatamente um meio-ano, por que o **eixo** da **revolução** da **Lua** faz uma **precessão** de 18 anos e 11 dias.

Depois destes 18 anos e 11 dias, chamado **saros**, ou ciclo de eclipses, a sequência de eclipses (geralmente 41 solares e 29 lunares) se repete.

Se chama de **série saros** uma série de eclipses separados por um saros.

Os Maias, Chineses, Gregos (Thales) e outros **povos antigos** já se deram conta deste ciclo e assim conseguiram **predizer eclipses**.



Universidade Federal do ABC

Física Contemporânea

FIM PRA HOJE

