

Aula 1
Observando o Céu:
O Nascimento da Astronomia

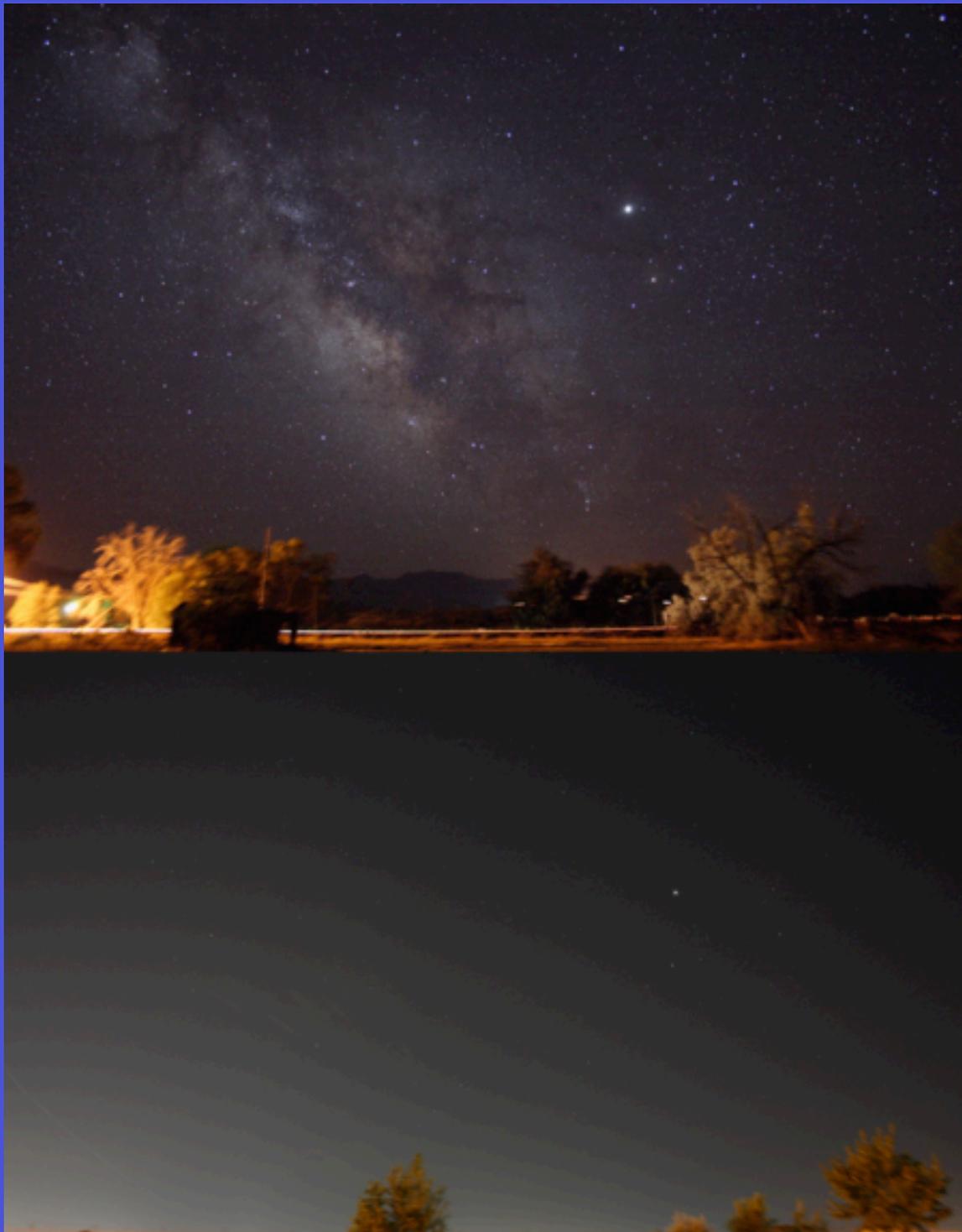


Via láctea vista de um local escuro

Em noites sem lua e com o horizonte desobstruído, pode-se ver aproximadamente 3000 estrelas

Céu noturno (!) de NY





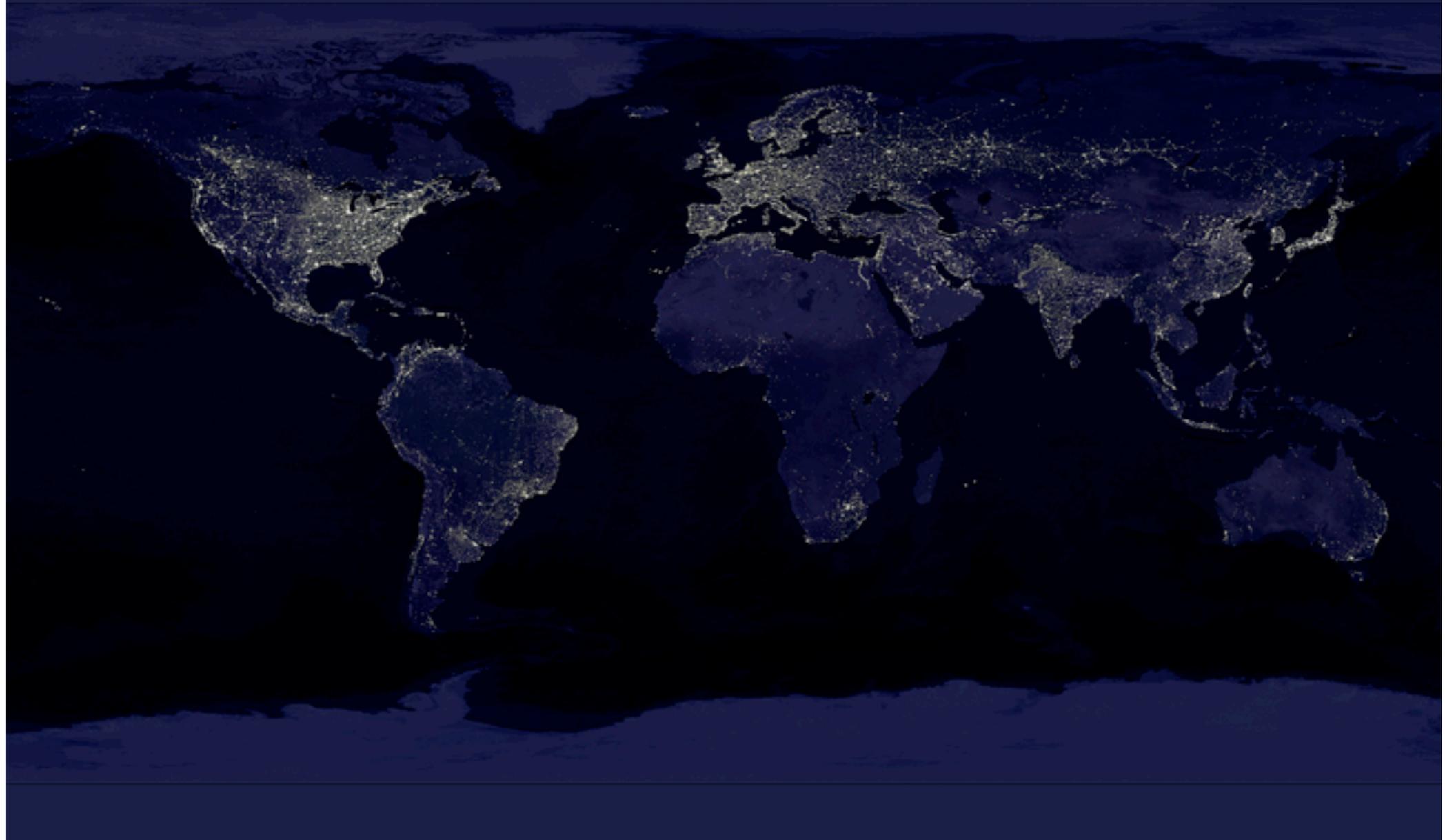
Poluição luminosa

Céu brilhante causado pela luz artificial espalhada pela atmosfera

Quanto mais brilhante o céu, menor o número de estrelas que podem ser vistas

Vários problemas:

- astronomia;
- saúde;
- ecossistemas.



Resultado:

Natureza (e o céu, em particular) não mais participa do nosso cotidiano



Antiquidade:

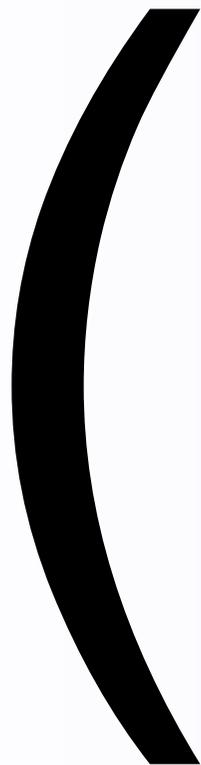
TODOS os registros de tempos antigos mostram que os povos observavam os astros e tentavam entendê-los.

- agricultura
- cosmologia
- religião
- astrologia

Ex: principais deuses do panteão grego eram associados com os seis

Observando o Céu: O Nascimento da Astronomia

- elementos do céu noturno e diurno que podem ser observados a olho nu
- evolução da concepção humana do cosmos até o séc. XVI (cosmologia aristotélica)



Abrindo um parêntese

O que é ciência?

~~Conjunto de todo o conhecimento humano.~~

Correto? não

Ciência abarca, também, o *método pelo qual tentamos entender a Natureza e a forma como ela se comporta.*

Conjunto do conhecimento humano gerado e sujeito ao método científico.

O que é ciência?

série de
observações

Movimentos do Sol, Lua,
estrelas e planetas



modelo
geocêntrico



novas
observações

Tycho Brahe



mudança de
paradigma

novo
modelo

heliocêntrico

validação

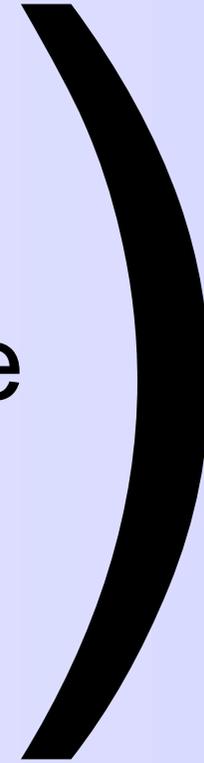


Ingredientes fundamentais:

- auto-correção
- revisão pelos pares

Ex: fusão a frio

fechando o parêntese



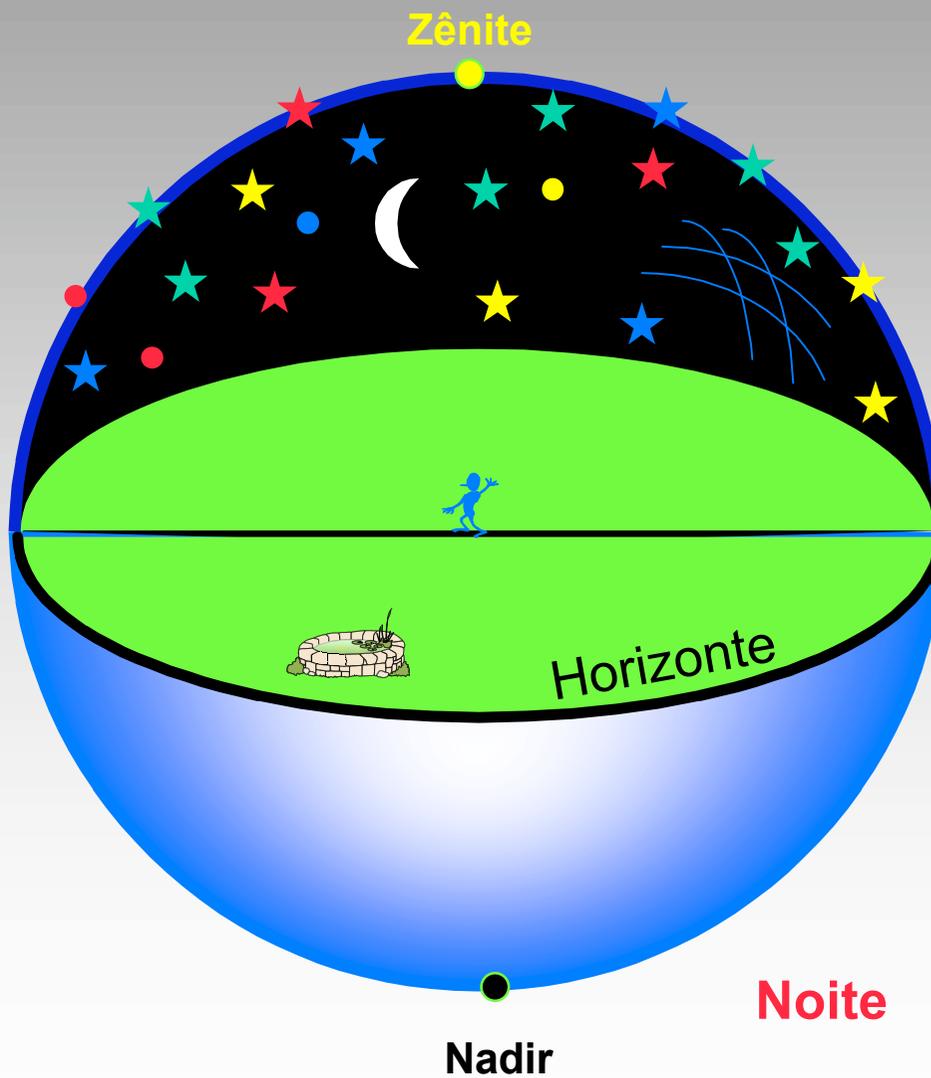
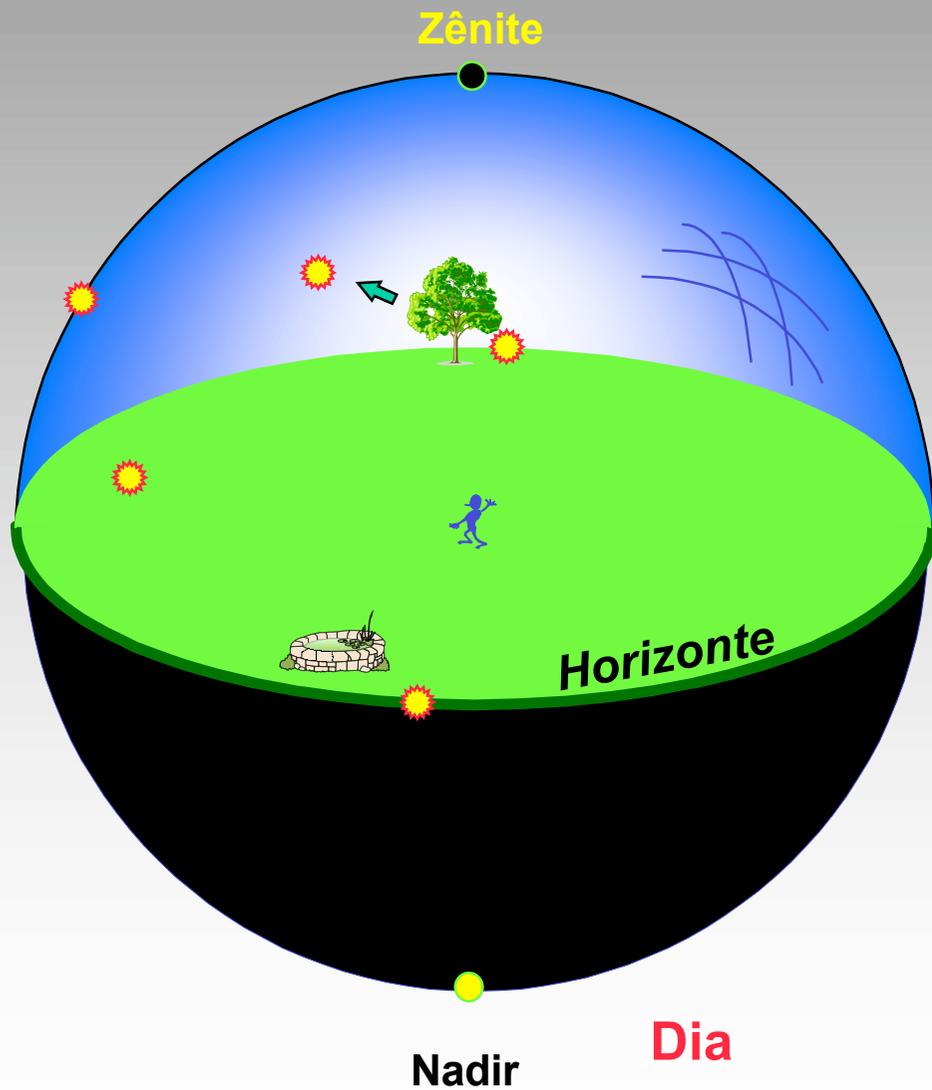
Movimento Diurno e Anual dos Astros

Imaginemo-nos vivendo em um local escuro (longe de cidades) e que observássemos e registrássemos o movimento do Sol, Lua, planetas e estrelas. O que veríamos?

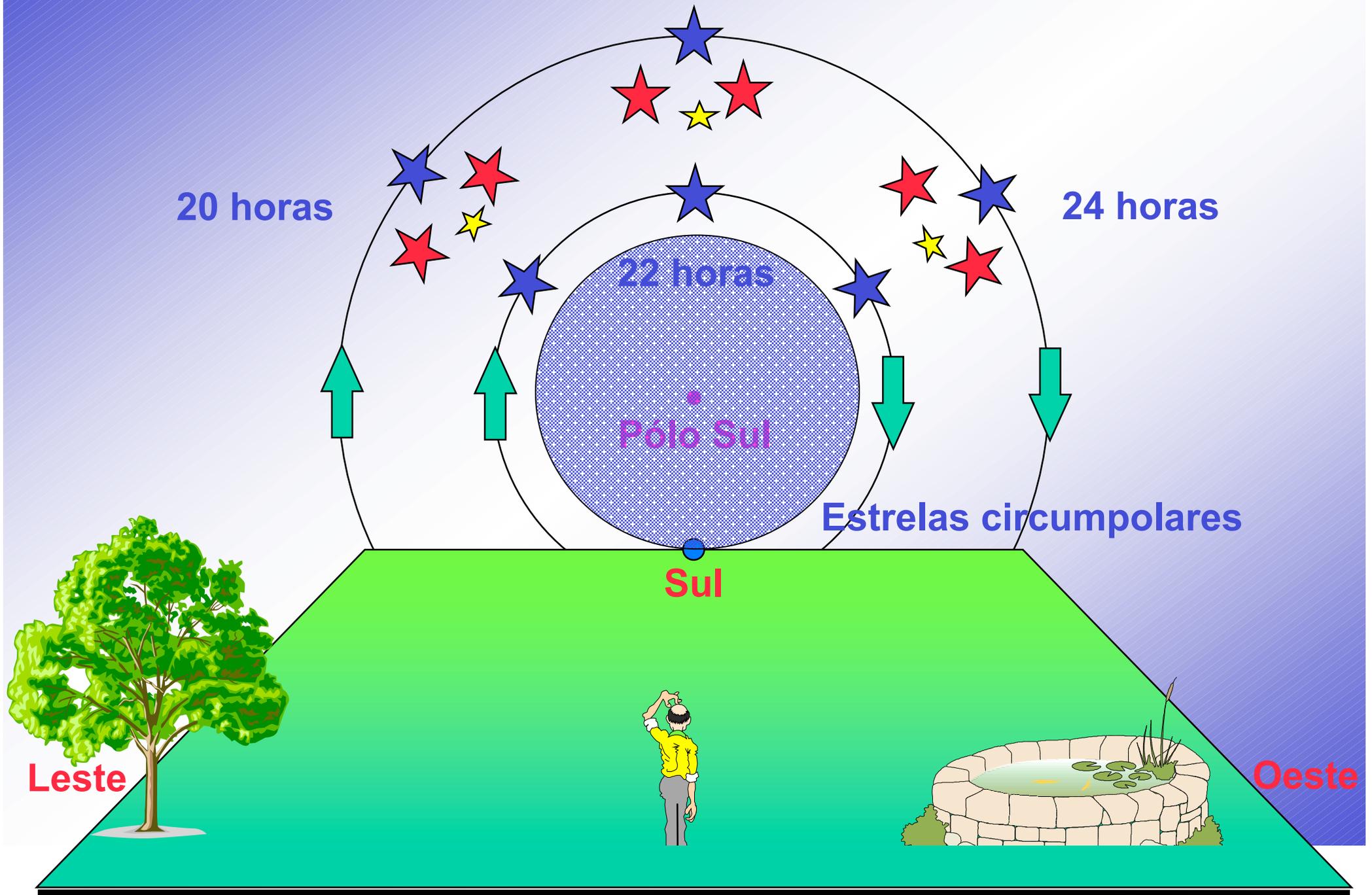
- **Movimentos diurnos** dos astros
- **Movimento mensal da Lua** em relação à abobada celeste
- **Movimento anual do Sol** em relação à abobada celeste
- **Movimento complexo dos planetas** em relação à AC
- E se observássemos por muito, muito tempo veríamos a **precessão dos equinócios**

Vamos, então, estudar quais seriam nossos “**dados observacionais**”

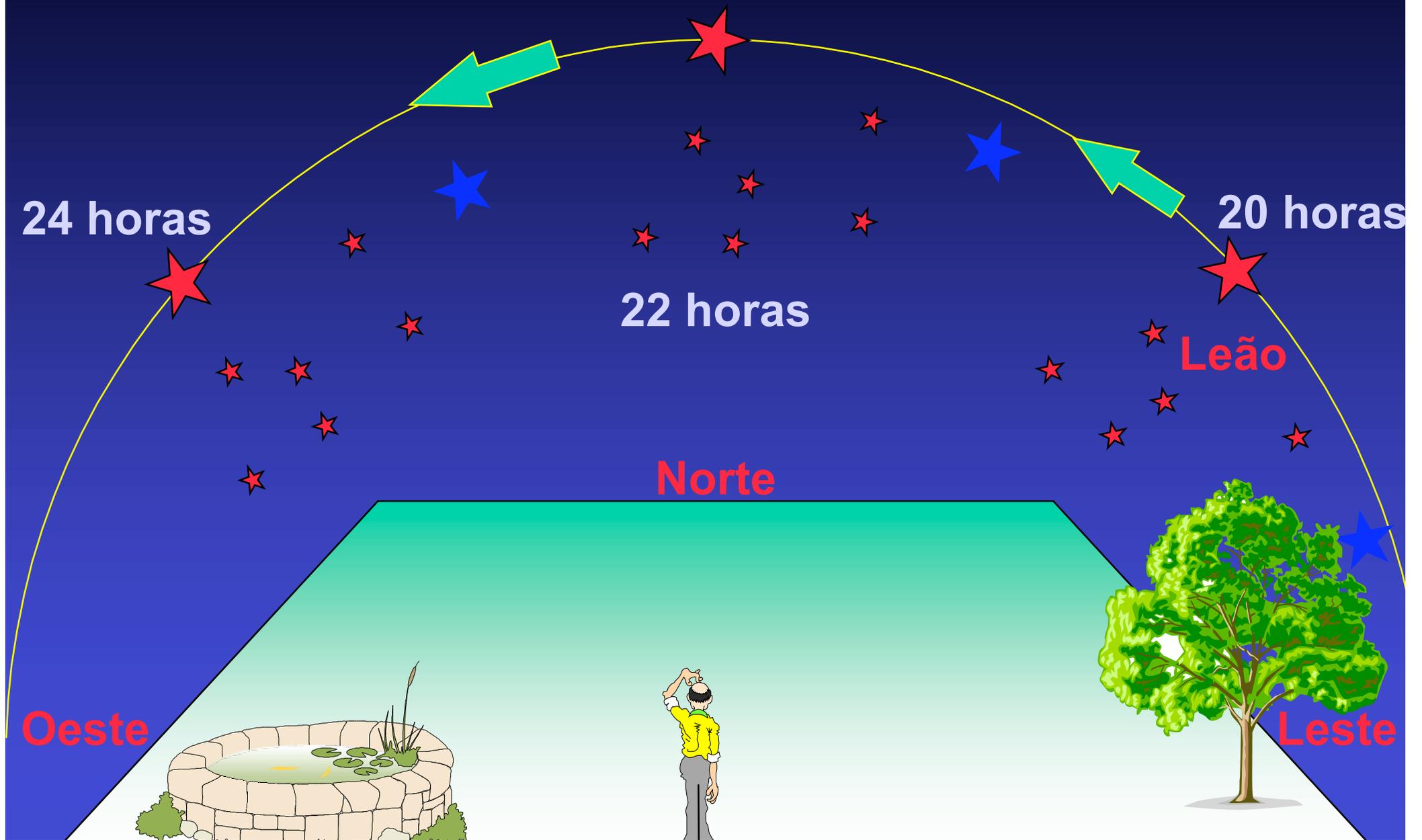
A Abóbada Celeste = céu = firmamento



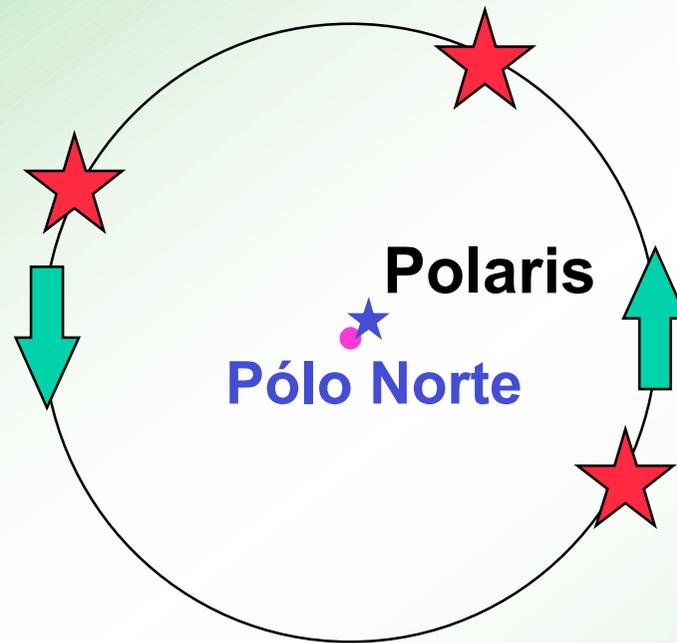
Movimento noturno aparente olhando ao Sul



Movimento noturno aparente olhando ao Norte

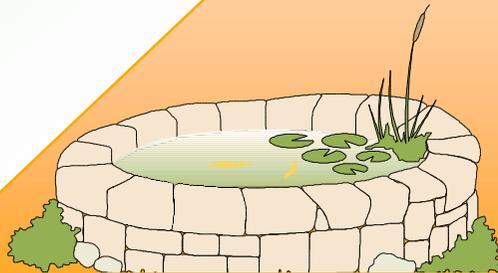


Movimento noturno aparente de uma estrela circumpolar norte



Norte

Oeste



Leste



Star trails...



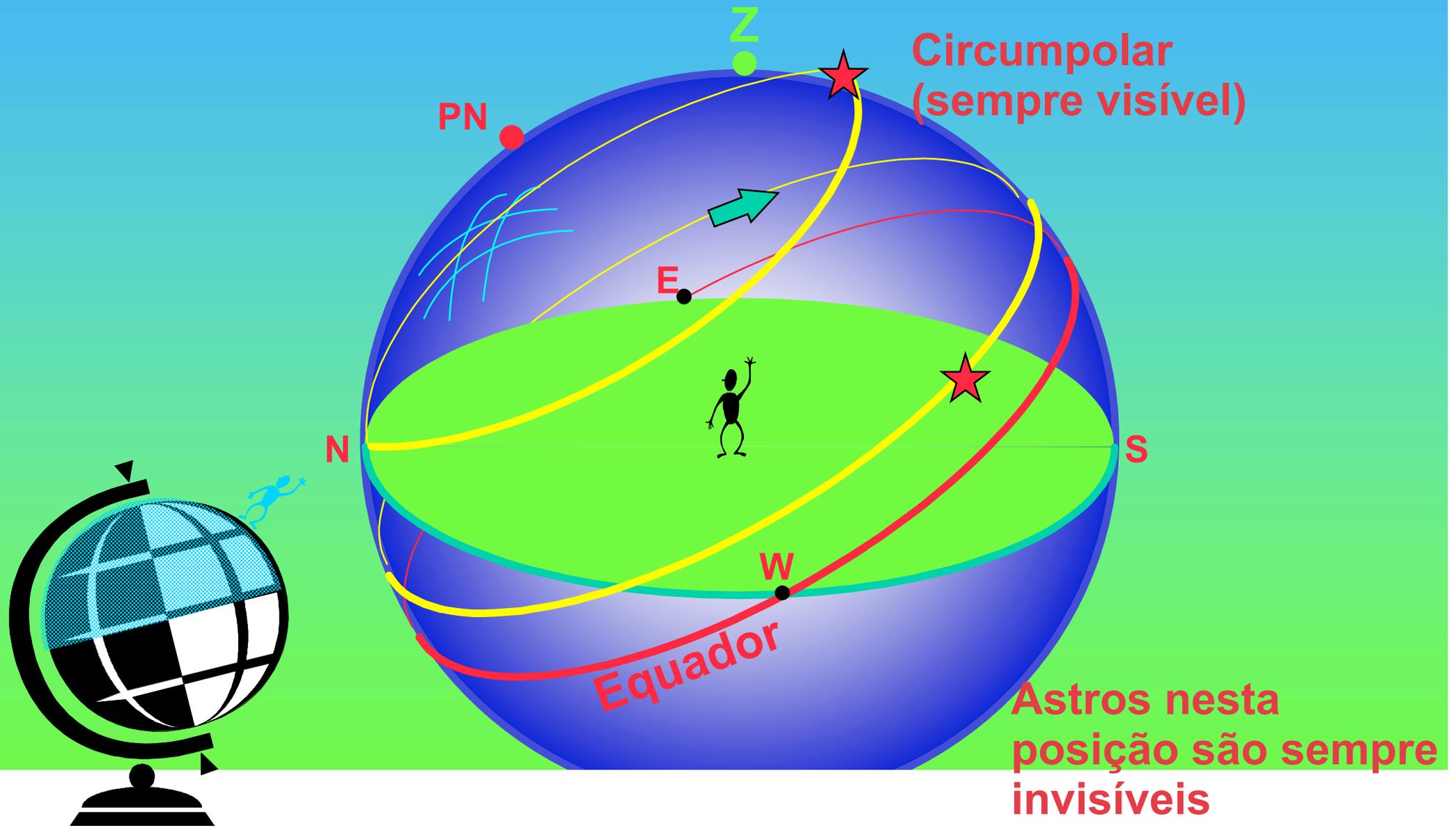
Movimento diurno aparente em torno do PS visto dos Andes

Via Láctea

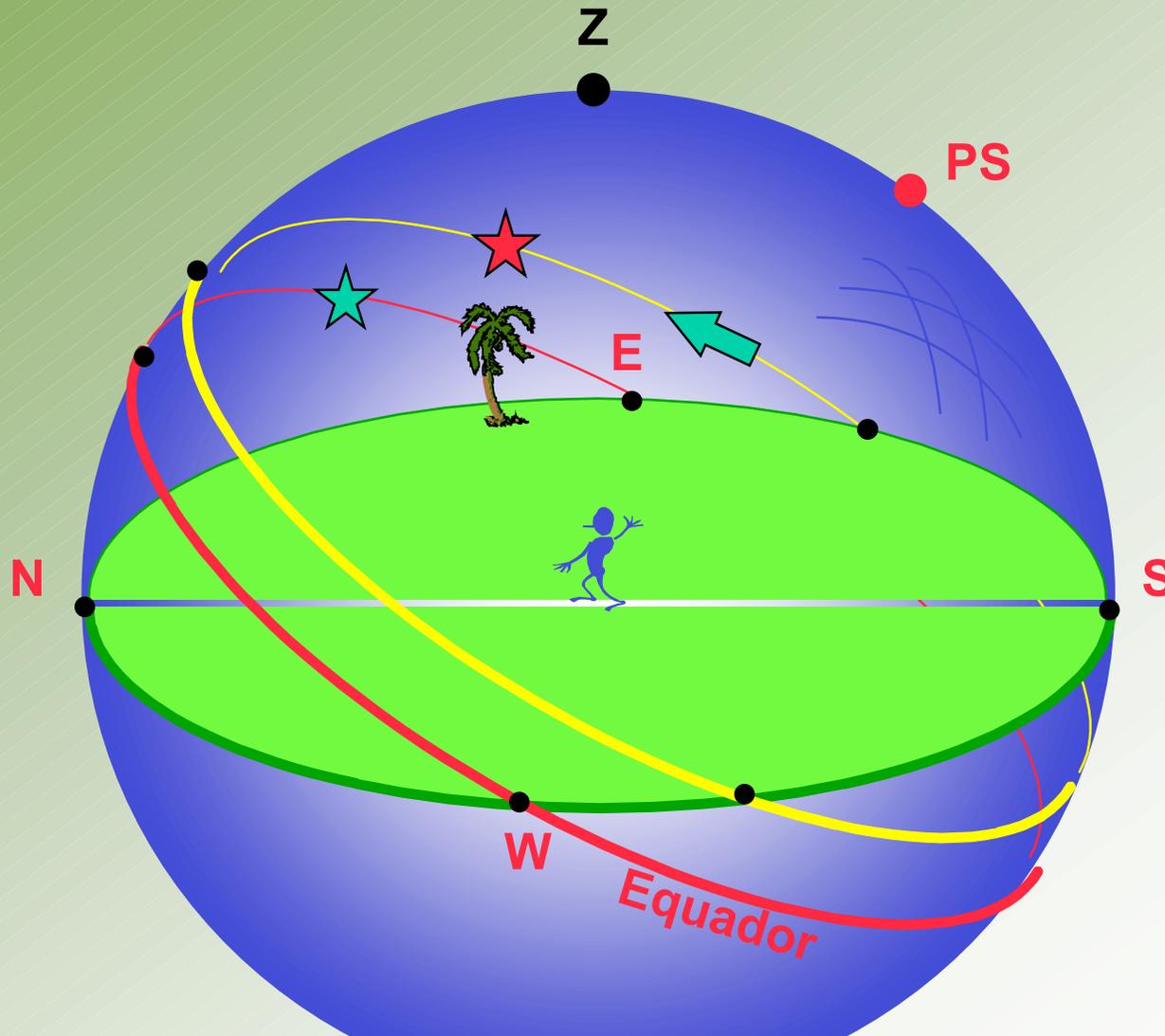
Nuvens de Magalhães

Ojos del Salado
Mais alto vulcão ativo da Terra
Altitude = 6000 m
Temperatura = -18 °C
Exposição ≈ 1 hora

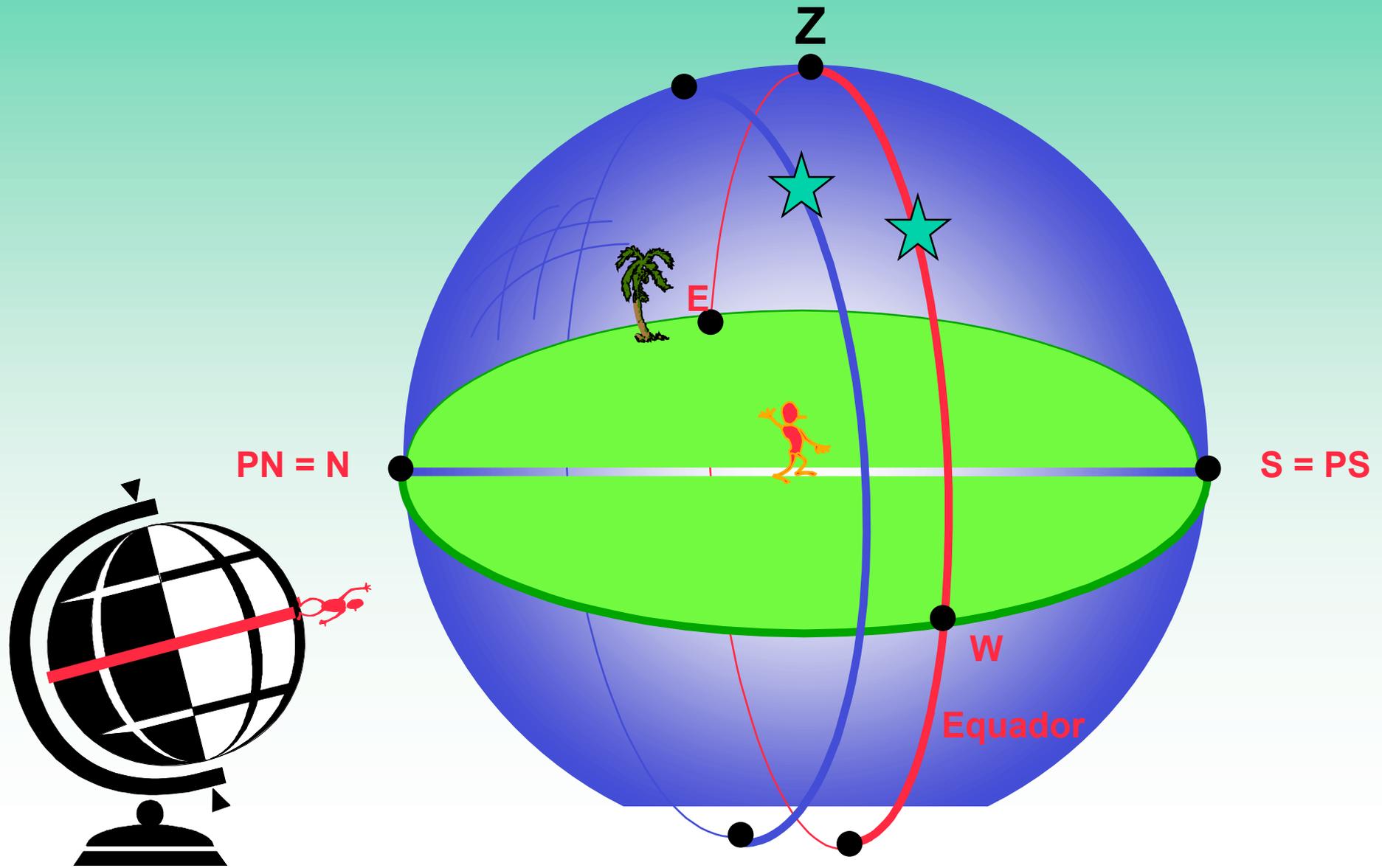
Movimento Aparente visto do Hemisfério Norte



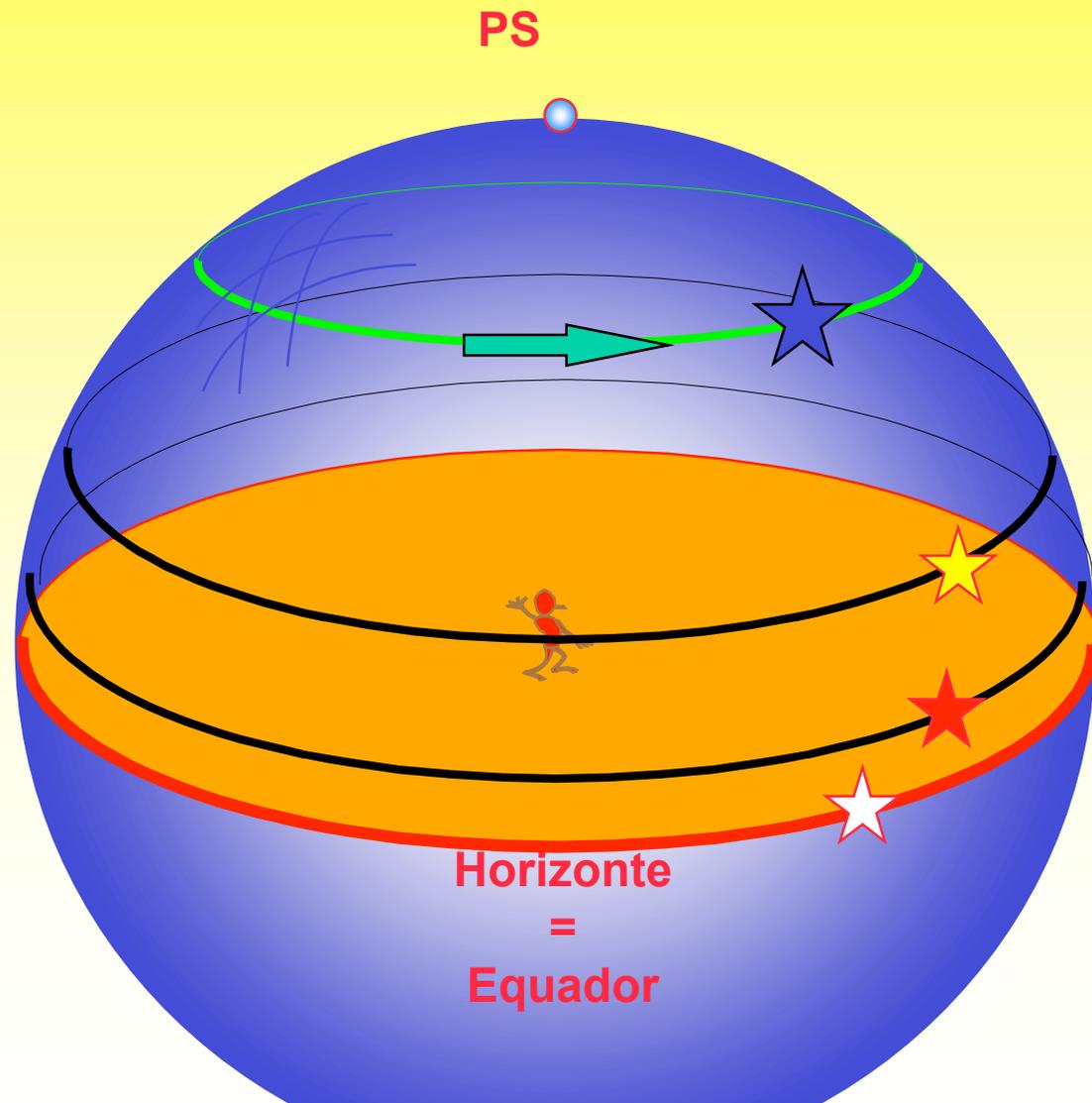
Movimento aparente visto do hemisfério Sul



Movimento aparente visto do equador



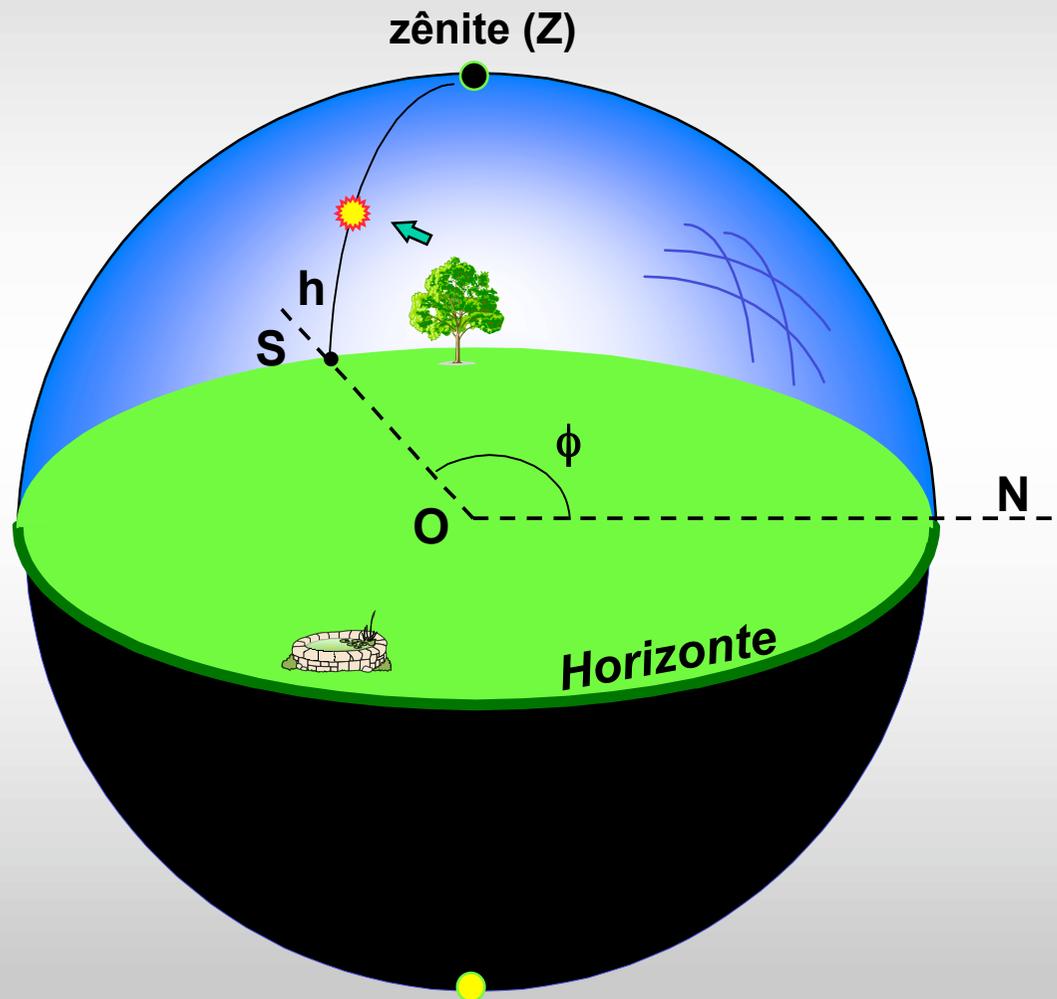
Movimento aparente visto do Polo Sul



Muito importante: o movimento aparente dos astros depende da latitude do observador...

Como descrever esse movimento?

Sistema Altazimutal (local)



Neste sistema, a posição de um astro é dada por dois ângulos:

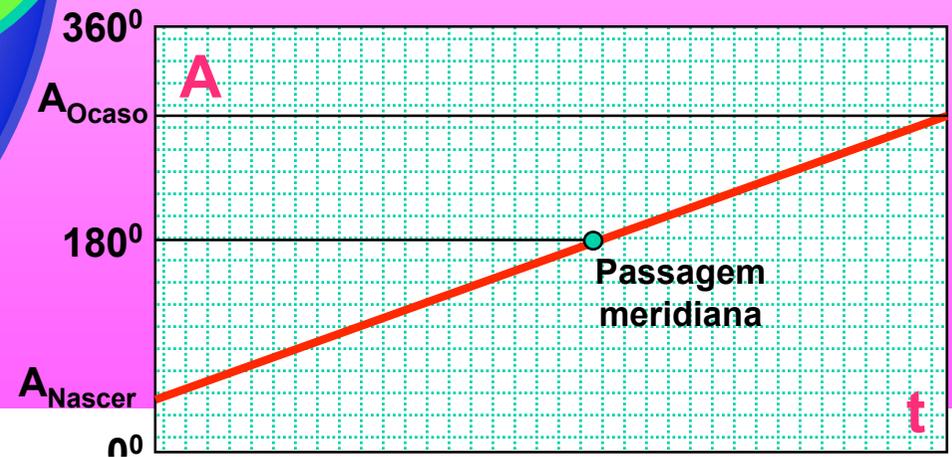
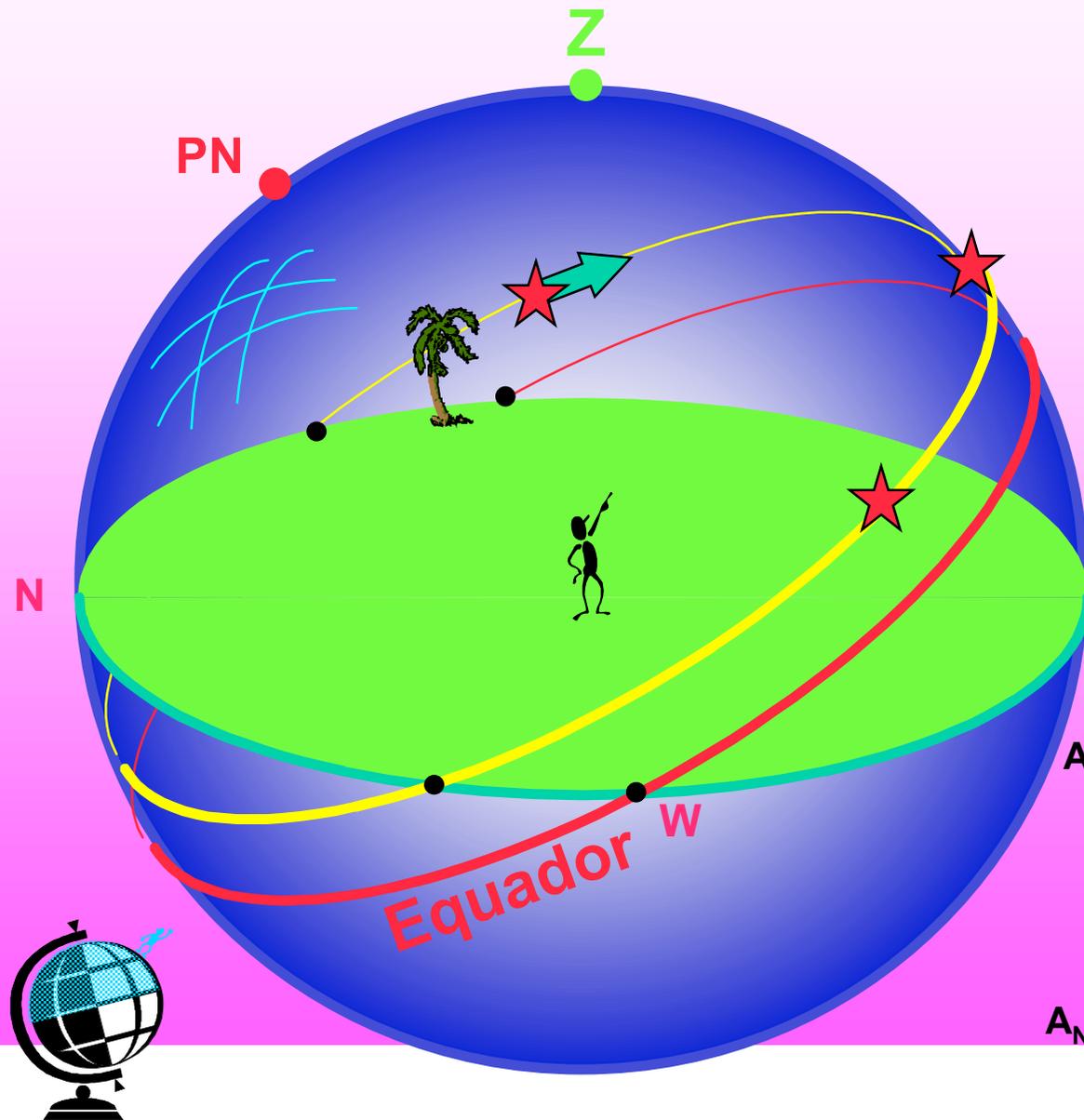
azimute (ϕ): ângulo entre o plano que contém a estrela, o zênite e o observador (ZOS) e a direção norte
($0 < \phi < 360^\circ$)

altura (h): ângulo entre o plano do horizonte e a estrela
($0 < h < 90^\circ$)

É útil para certas situações, mas não pode ser usado em catálogos astronômicos, por exemplo, pois varia com o tempo de forma complicada.

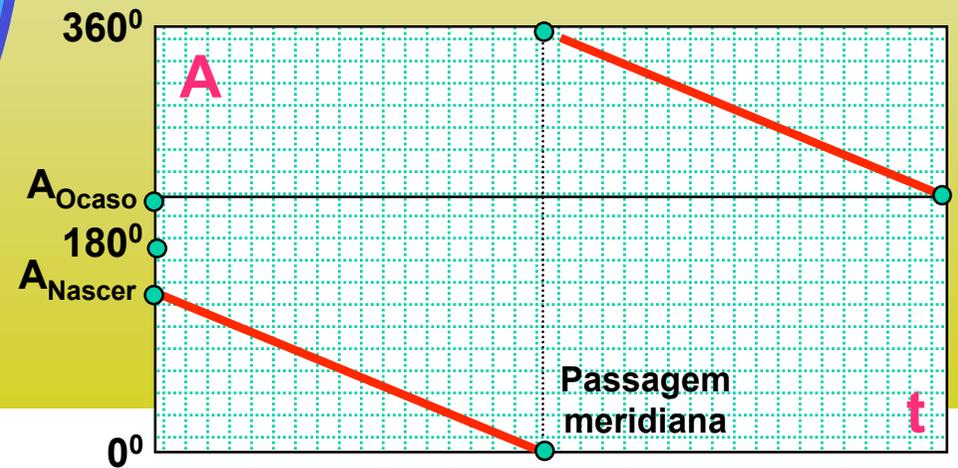
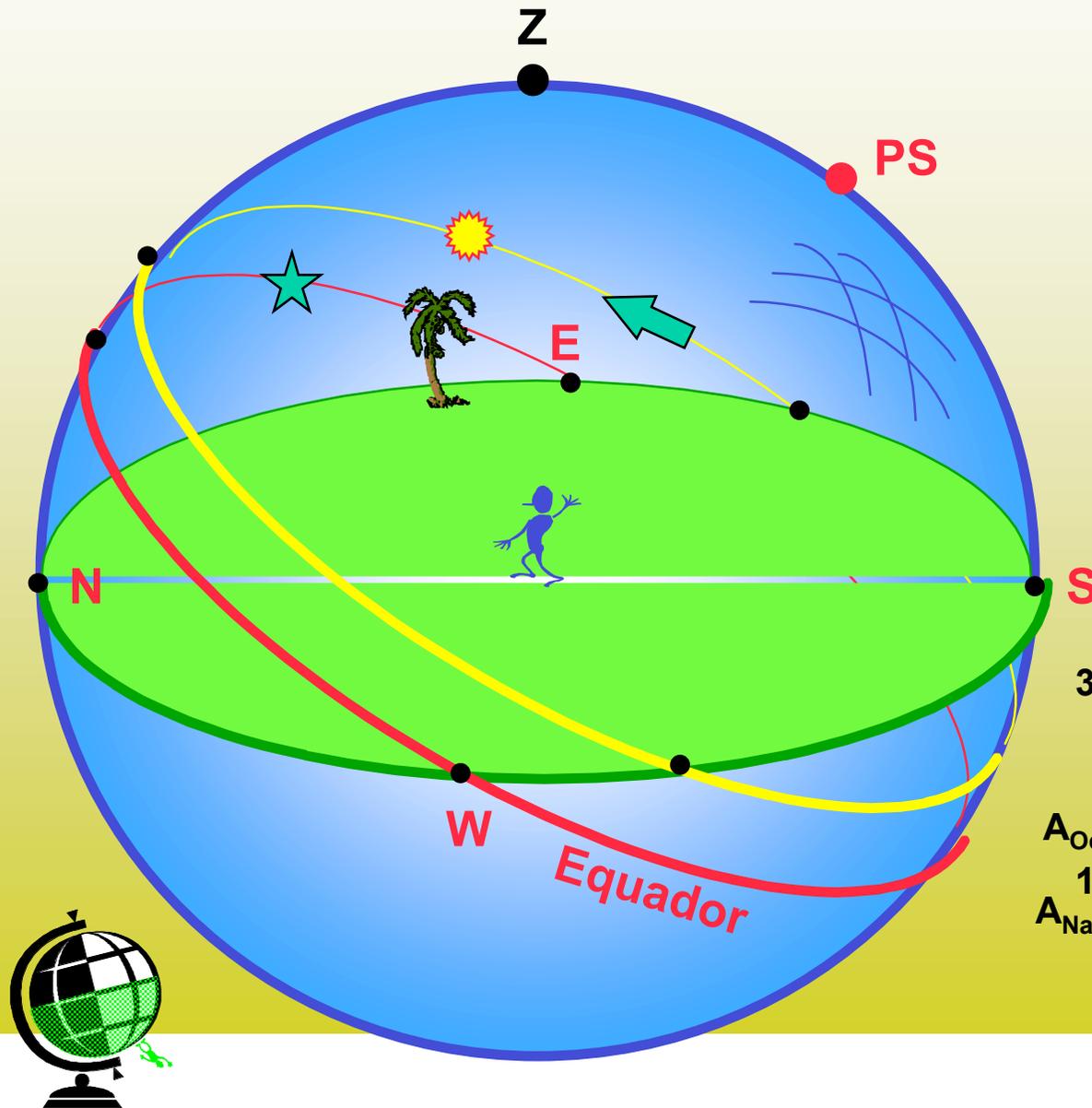
Azimute de um astro ao longo do dia no HN

Como varia o azimute de um astro ao longo do dia?



Azimute de um astro ao longo do dia no HS

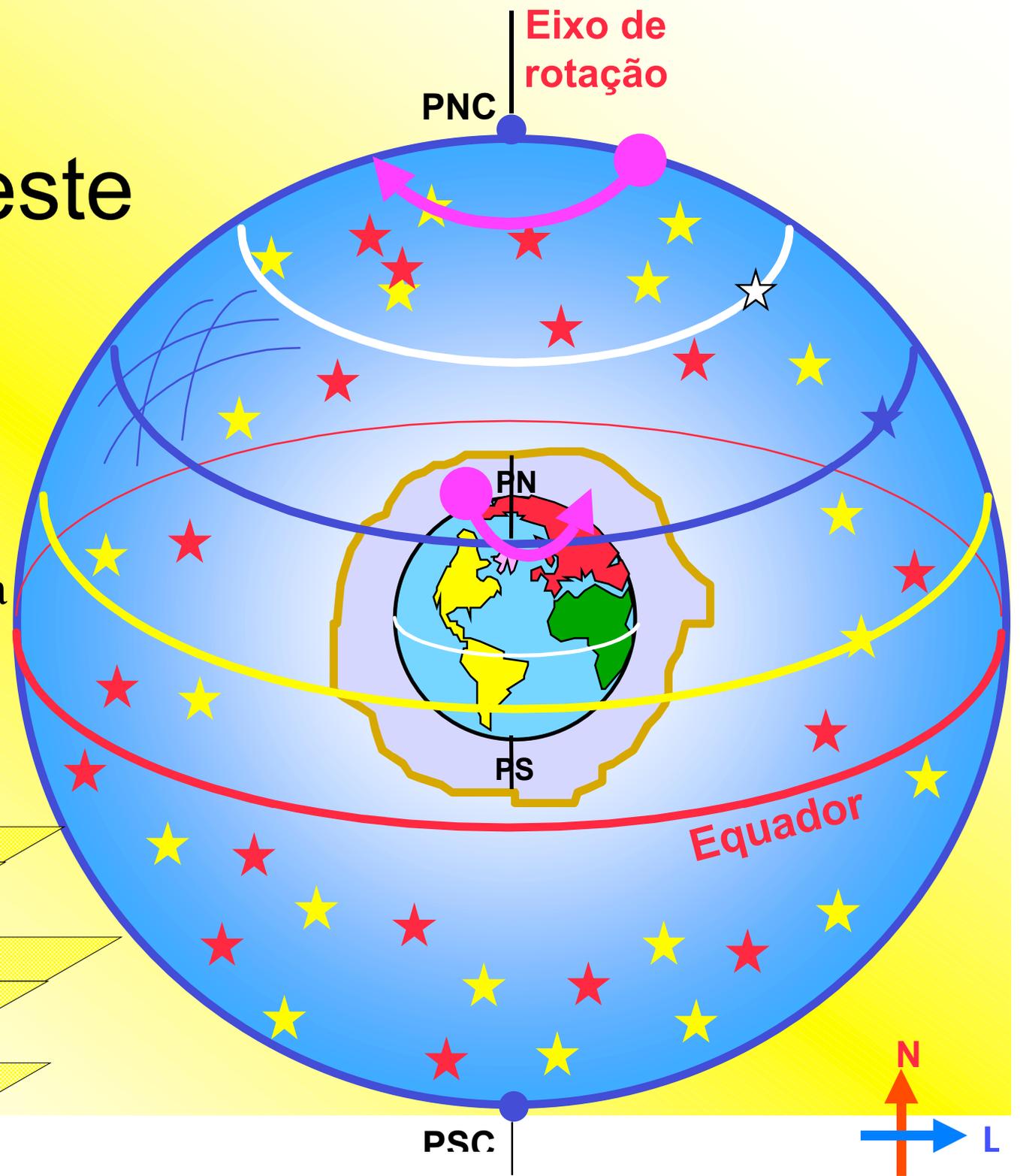
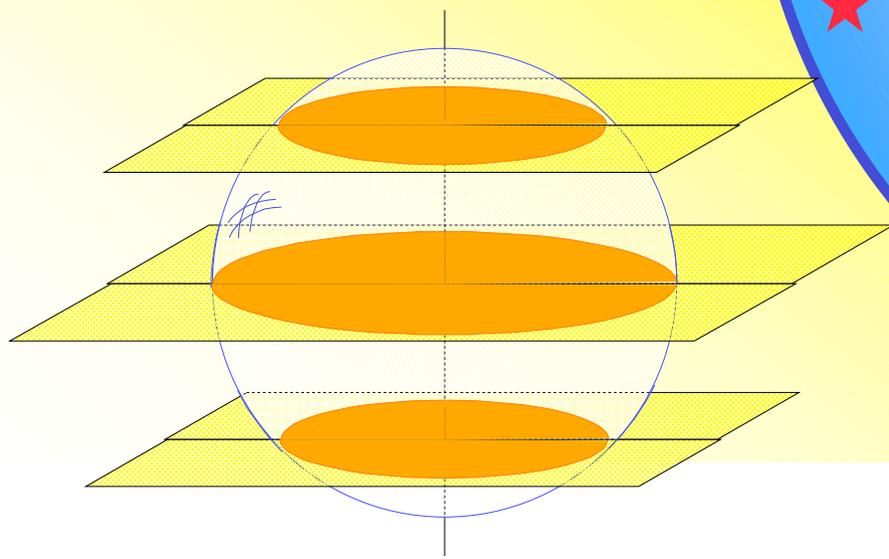
Como varia o azimute de um astro ao longo do dia?



A esfera celeste

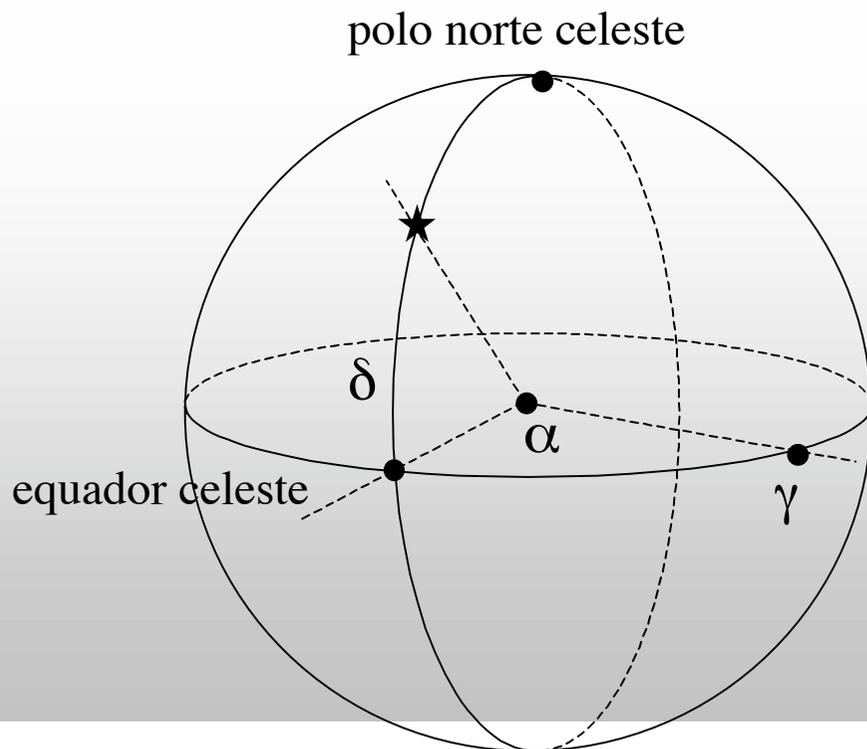
- pólos sul e norte
- equador celeste

Movimento do astro é ao longo de linhas formadas pela intersecção entre uma esfera e planos paralelos ao equador



Coordenadas Celestes

Um sistema de coordenadas muito mais útil para a Astronomia usa a esfera celeste como referência. Neste sistema, a posição de um astro é dada por duas coordenadas (**ascensão reta** e **declinação**), análogas à latitude e longitude terrestres.



Ascensão reta (α): ângulo entre o meridiano que cruza a estrela e um ponto de referência (γ), medido ao longo do equador celeste.

Declinação (δ): ângulo entre a equador e a estrela, medido ao longo do meridiano ($-90^\circ < \delta < 90^\circ$)

Ponto vernal (γ): posição do Sol na esfera celeste no dia do equinócio da primavera no HN

Condição de visibilidade de um astro

Dado um observador situado a uma latitude φ , determinar para quais intervalos de declinação uma estrela:

- seja sempre visível;
- tenha nascer e ocaso;
- seja sempre invisível.

Círculo de perpétua visibilidade olhando para o norte

Círculo de perpétua visibilidade

Polo Norte

Círculo de perpétua visibilidade:
Região do céu permanentemente visível para aquele observador

Norte

Oeste



Leste



Círculo de perpétua visibilidade olhando ao Sul



Círculo de perpétua visibilidade:
Região do céu permanentemente visível para aquele observador



Leste



Oeste

Condição de (in)visibilidade no hemisfério Sul



Circumpolares invisíveis



$$\delta_{\text{Máx}} - \varphi = 90^\circ$$

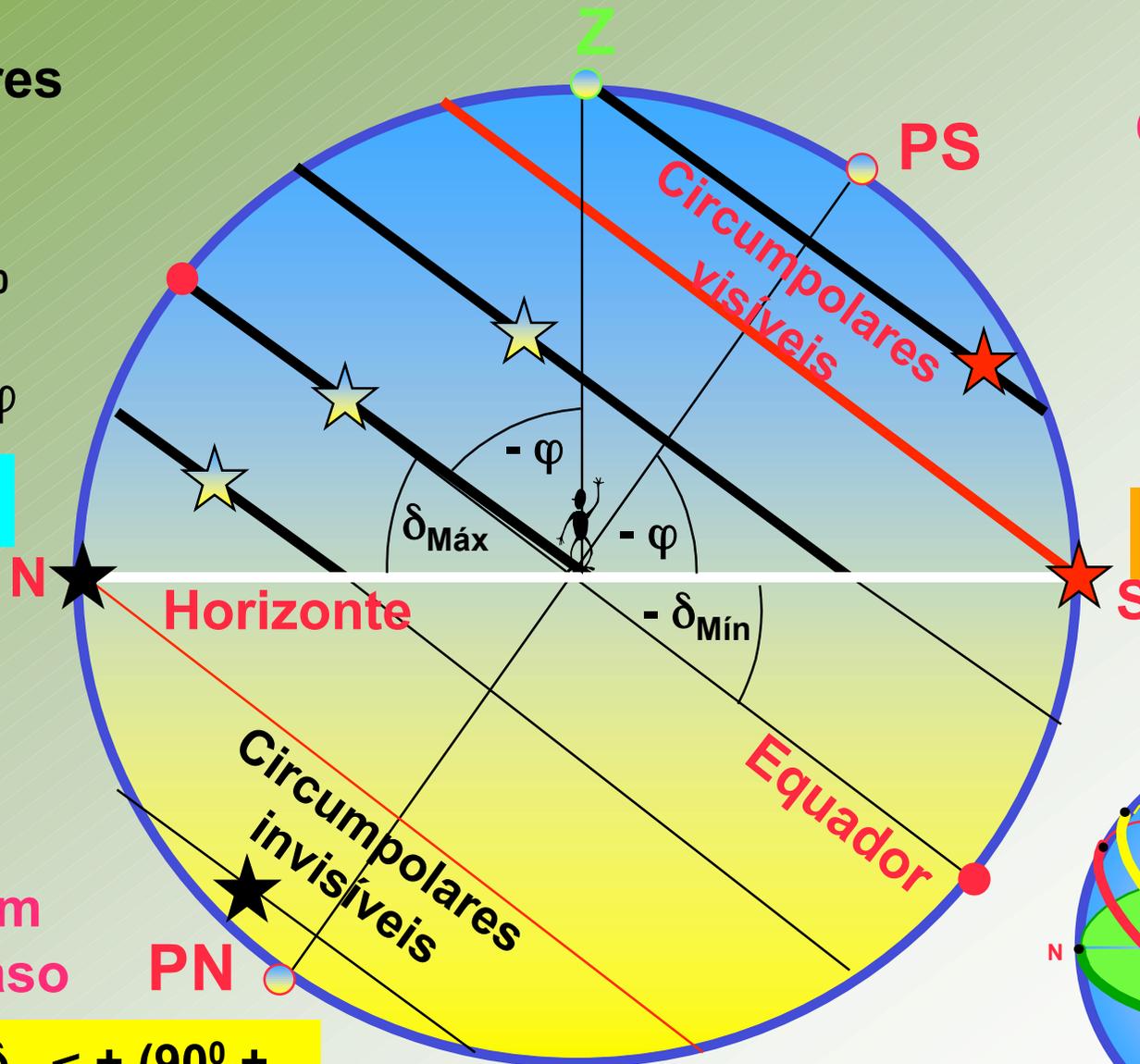
$$\delta_{\text{Máx}} = 90^\circ + \varphi$$

$$\delta_* \geq 90^\circ + \varphi$$

Estrelas com nascer e ocaso

PN

$$-(90^\circ + \varphi) \leq \delta_* \leq +(90^\circ + \varphi)$$



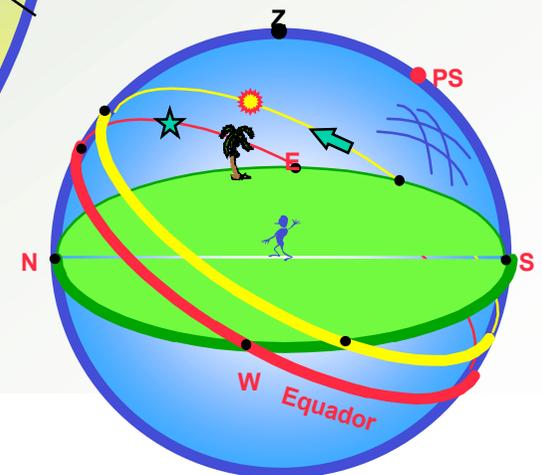
Circumpolares visíveis



$$-\delta_{\text{Mín}} - \varphi = 90^\circ$$

$$\delta_{\text{Mín}} = -90^\circ - \varphi$$

$$\delta_* \leq -(90^\circ + \varphi)$$



Movimento do Sol

Inverno na Itália
(Mar Tirreno)

Que horas
são neste
ponto?



Sol



Gnômon

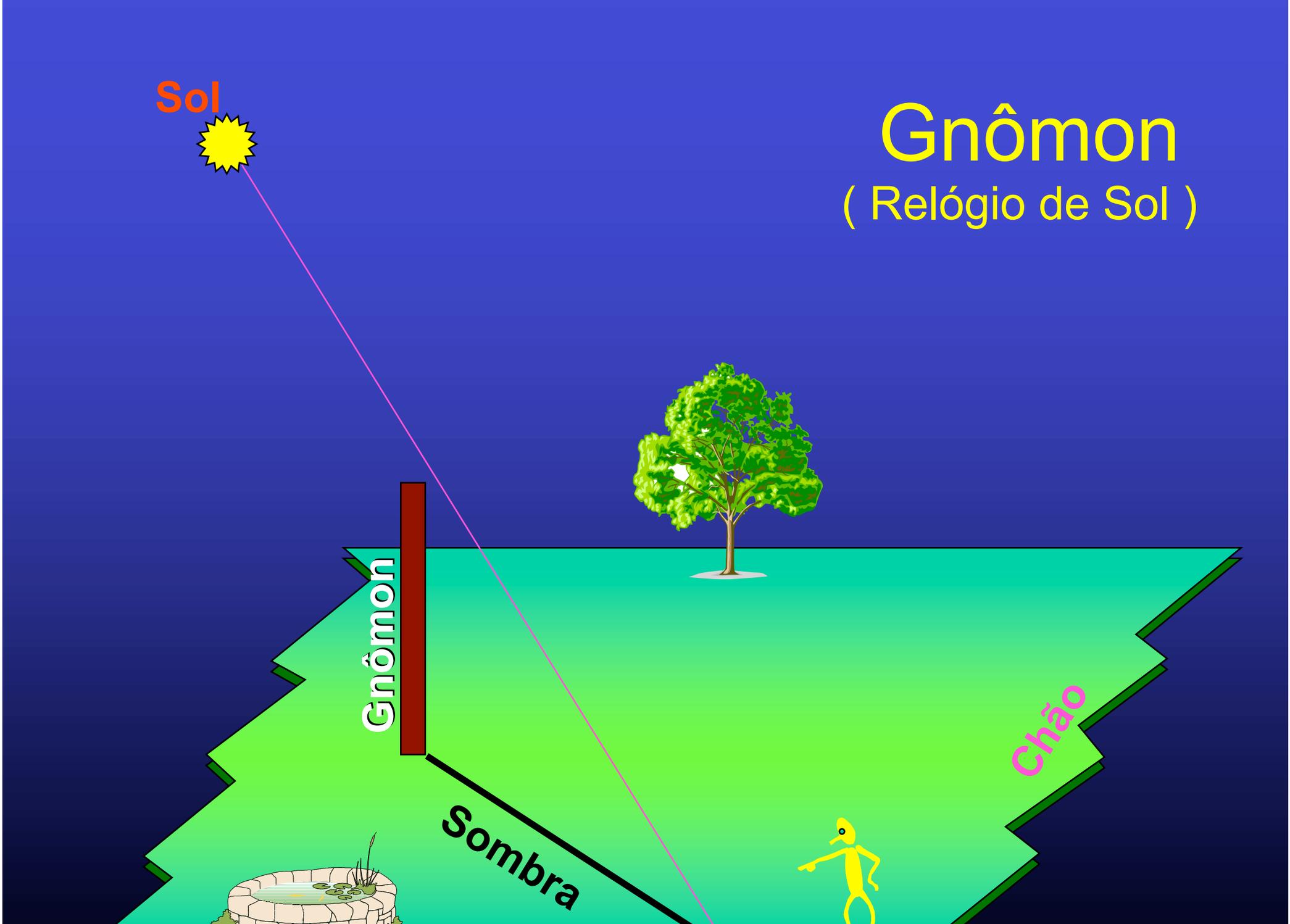
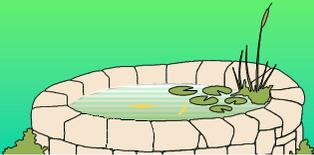
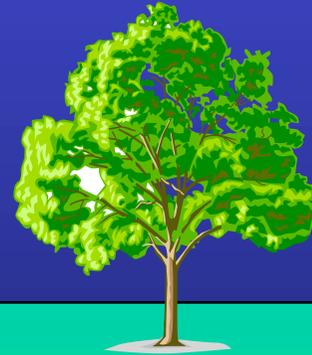
(Relógio de Sol)

Gnômon

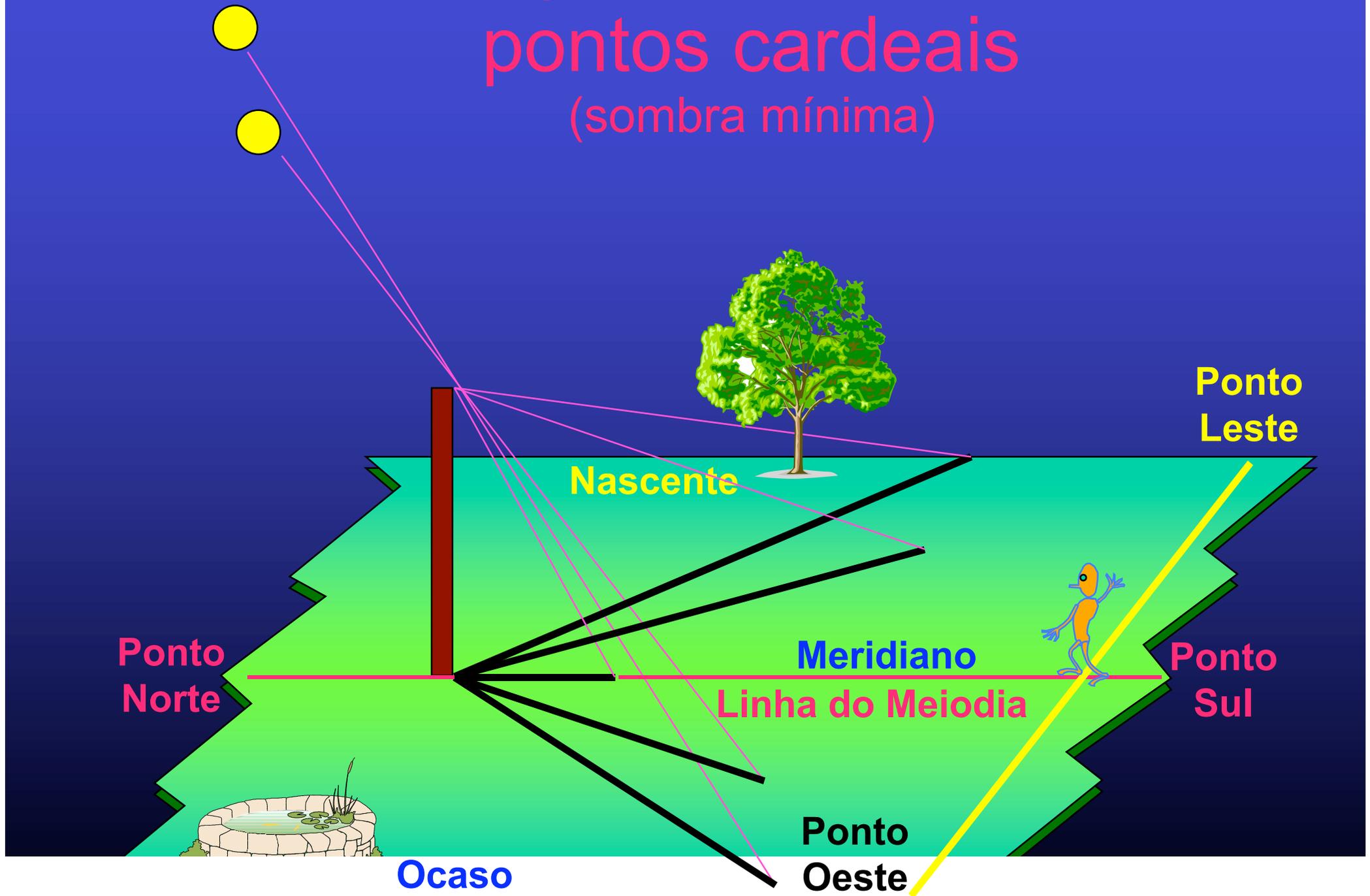


Sombra

Chão

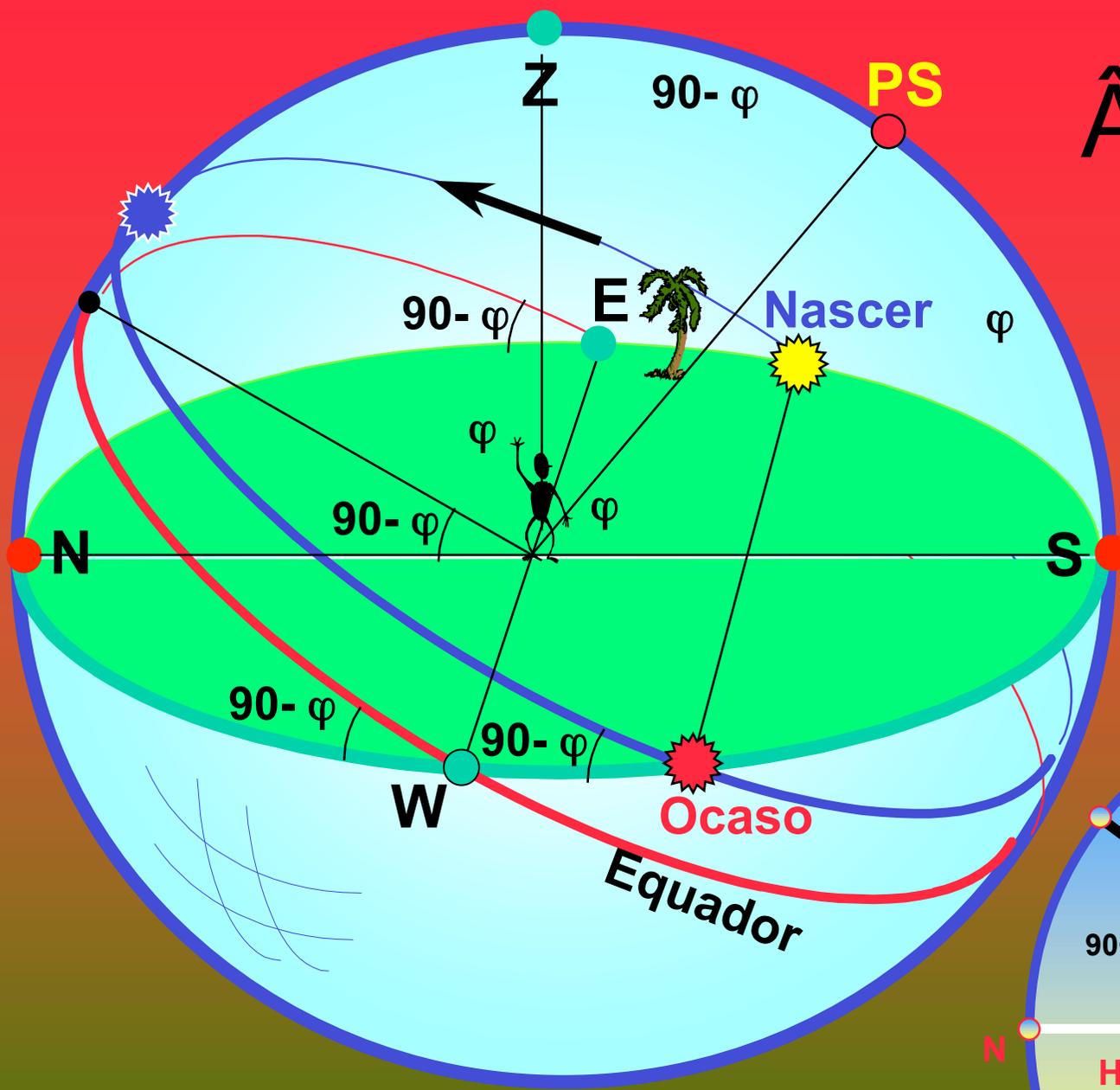


Determinação do meridiano e dos pontos cardeais (sombra mínima)

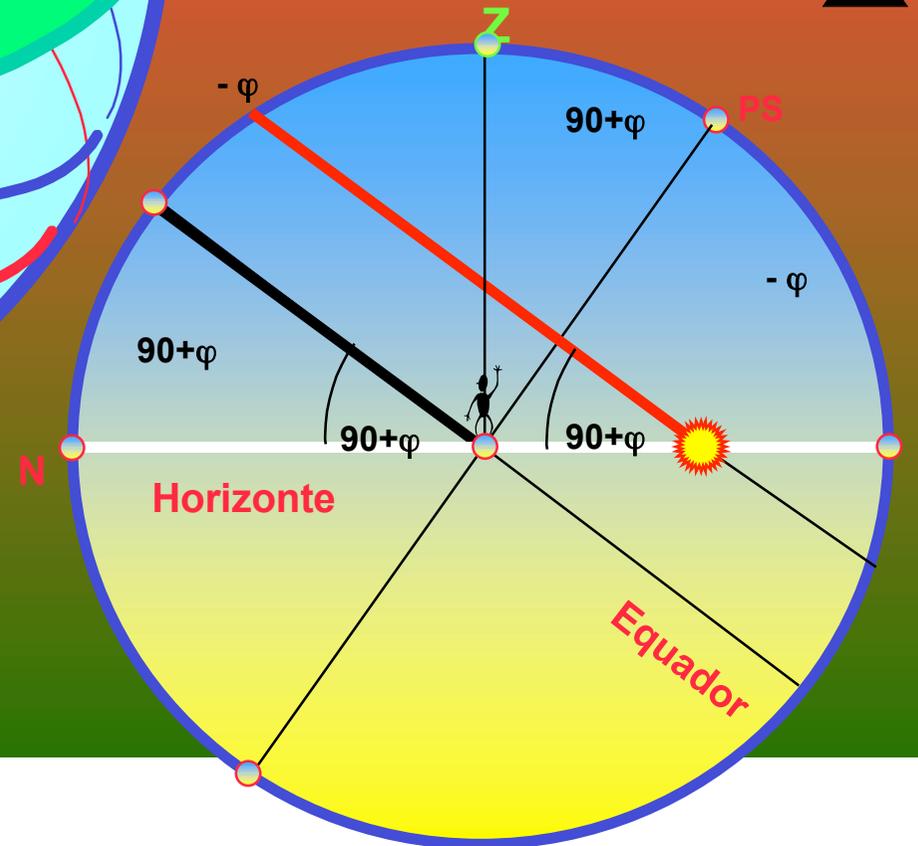


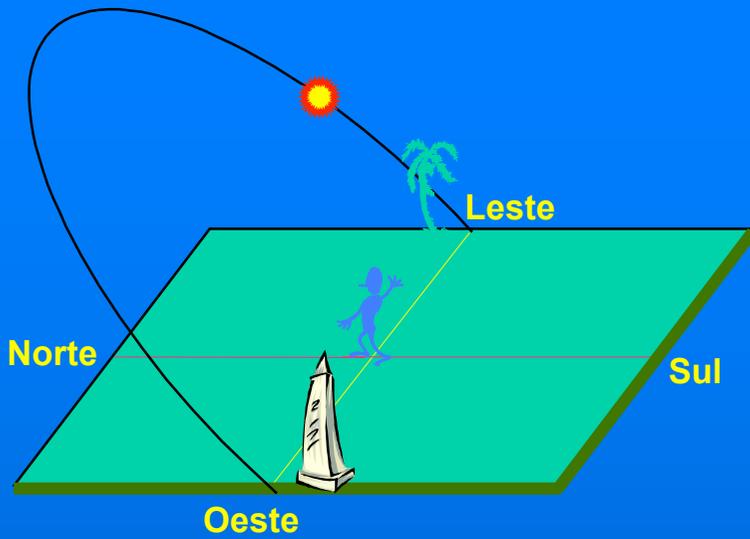
Astronomia a serviço da polícia

Ângulo entre o equador e o horizonte



Ângulo entre o equador e o plano do horizonte: $90^\circ - \varphi$



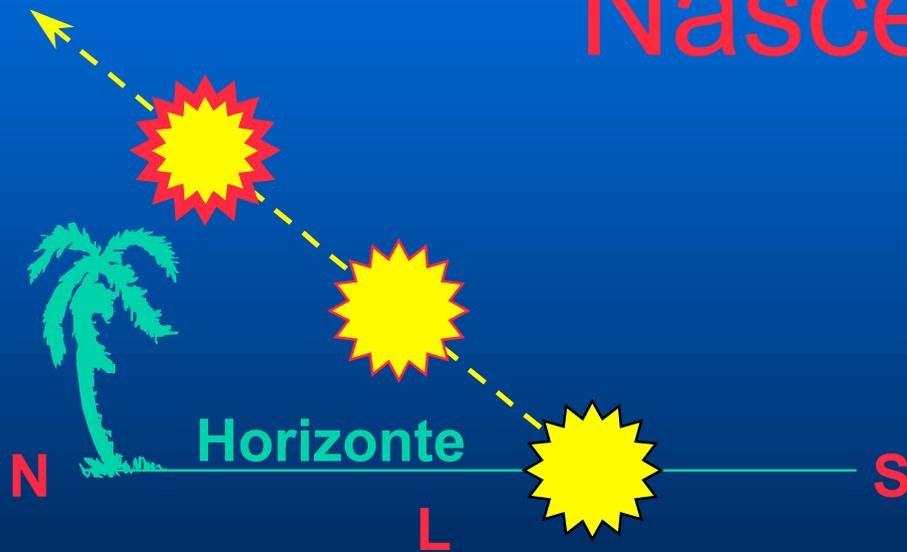


Observador no Hemisfério Sul

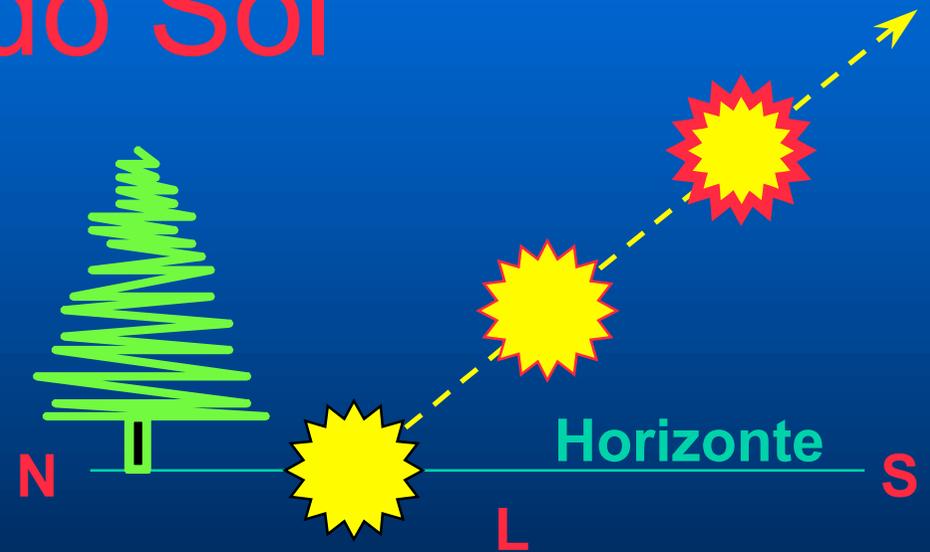


Observador no Hemisfério Norte

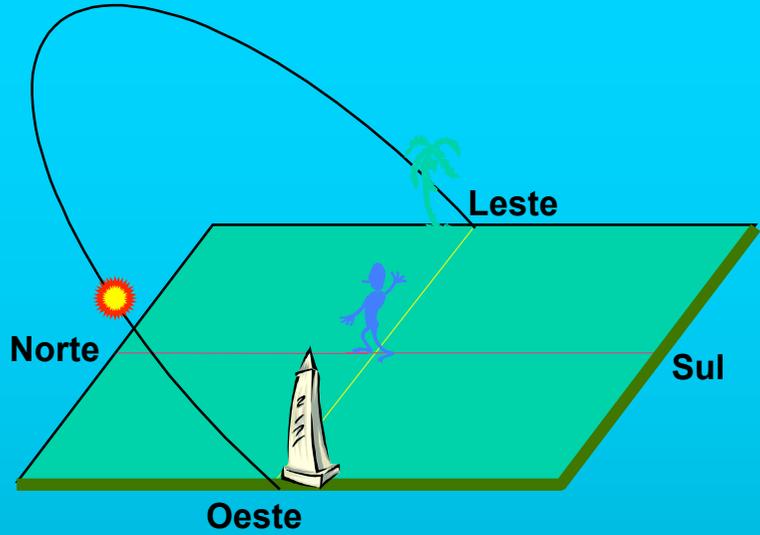
Nascer do Sol



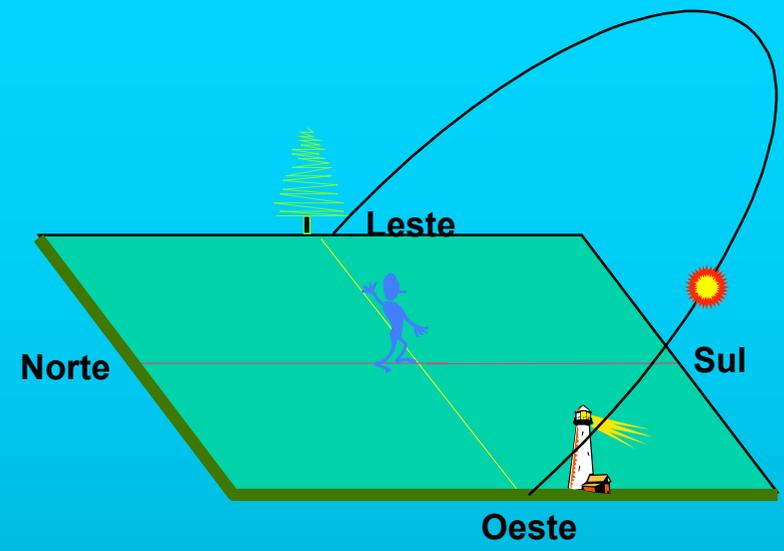
Visto por um observador
no Hemisfério Sul



Visto por um observador
no Hemisfério Norte

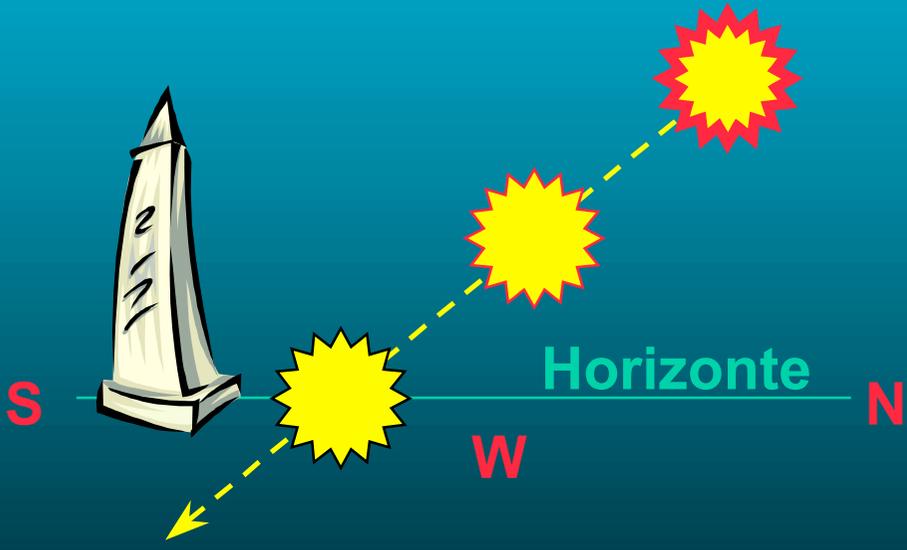


Observador no Hemisfério Sul

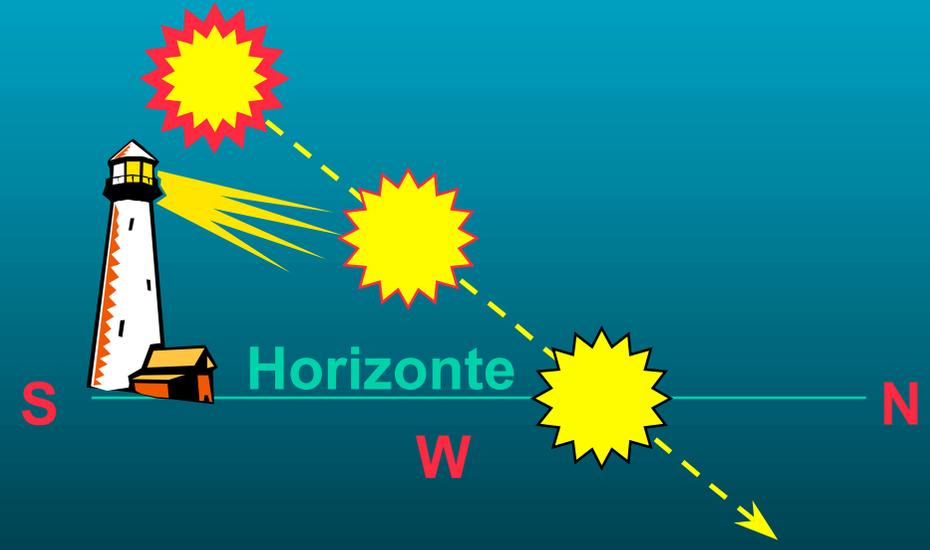


Observador no Hemisfério Norte

Ocaso do Sol

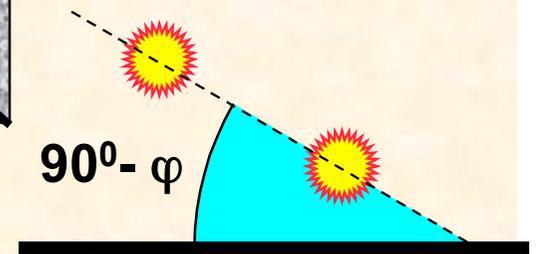
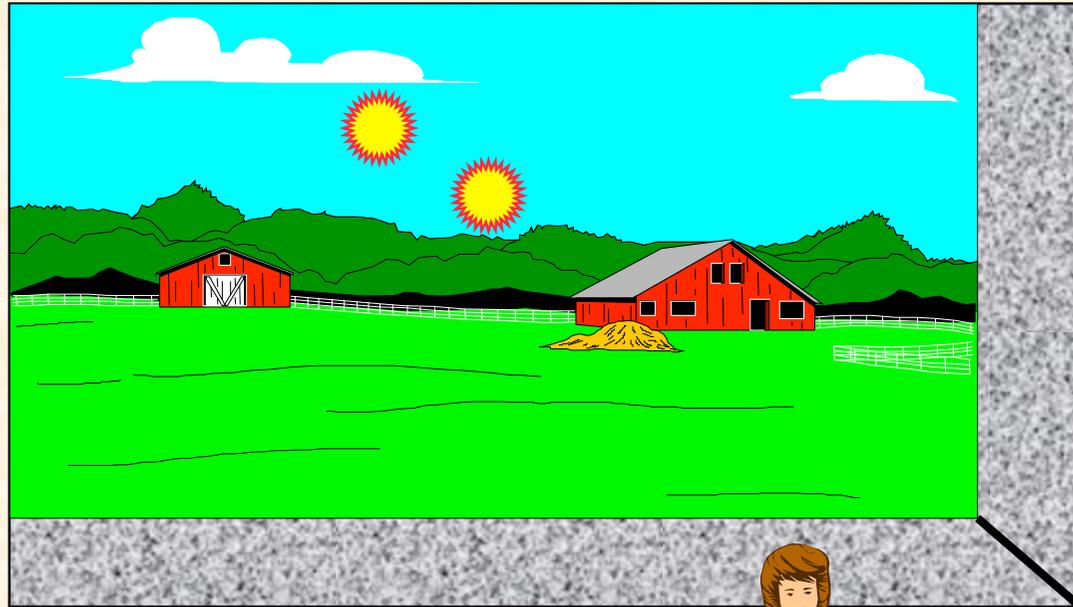


Visto por um observador no Hemisfério Sul



Visto por um observador no Hemisfério Norte

Sequestradores distraídos



Mapa do crime!



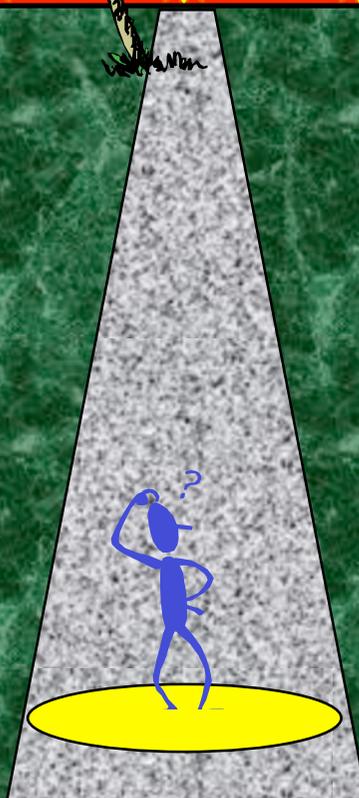
Pergunta: a duração do pôr (ou nascer) do sol é a mesma em todos os pontos da Terra?

Resposta: não. Em altas latitudes o pôr do sol é muito mais longo que próximo ao equador

Próximo aos pólos: há dias em que o sol nunca se põe ou nunca nasce (próxima aula...)



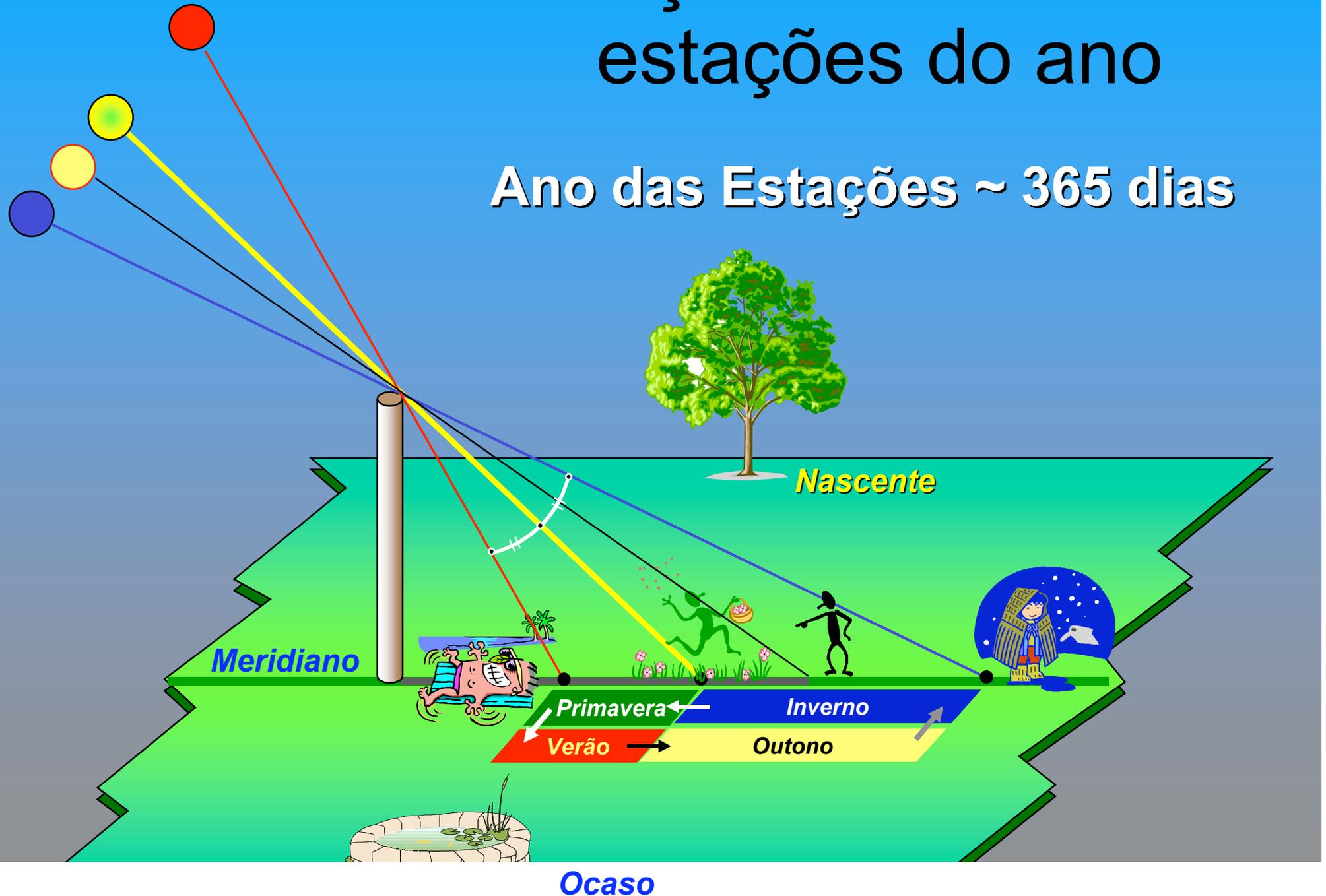
Nascer do Sol



Leste
é o ponto onde
o Sol nasce.
(?!?)

Noção de ano e de estações do ano

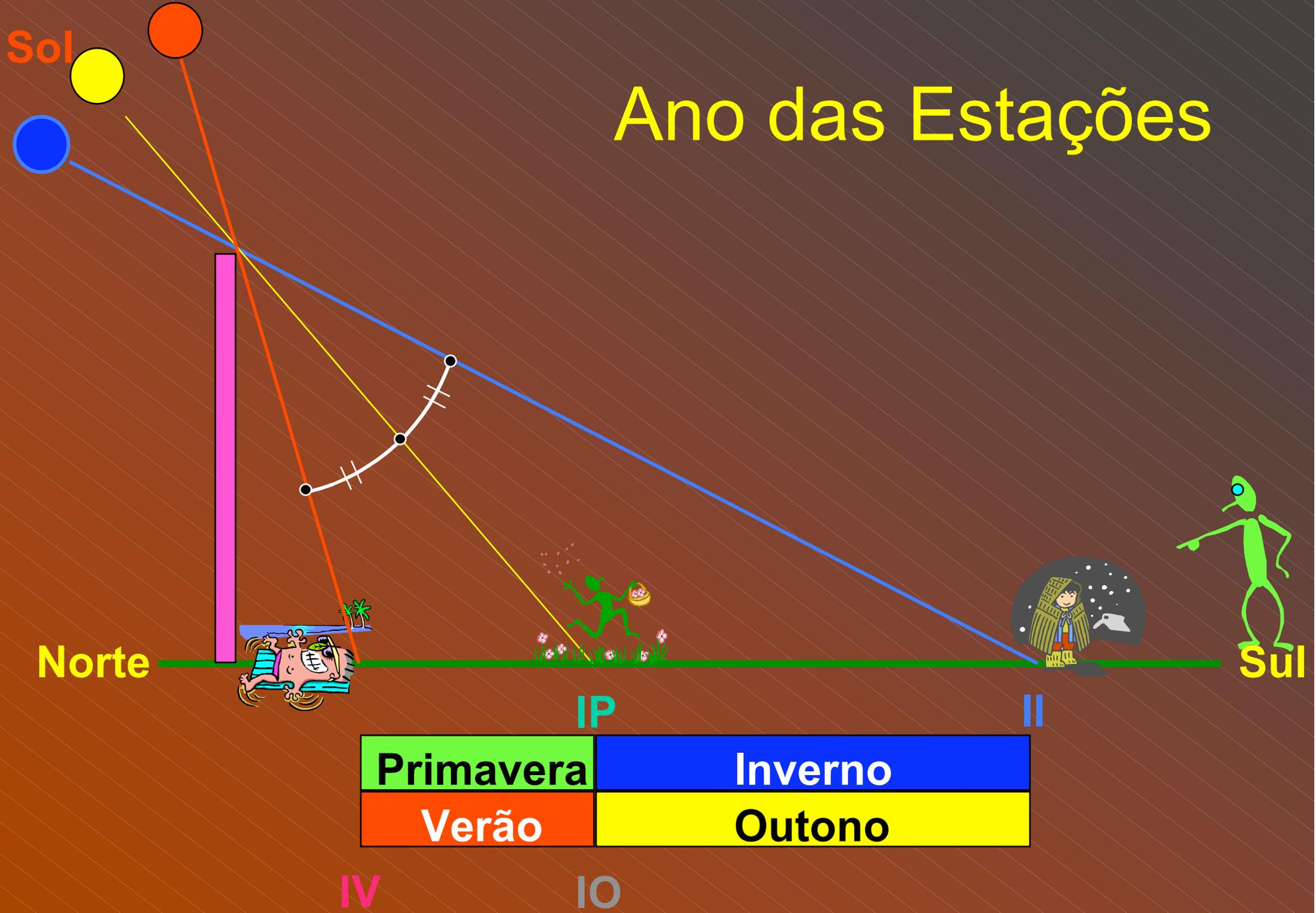
Ano das Estações ~ 365 dias



Noção de ano e de estações do ano

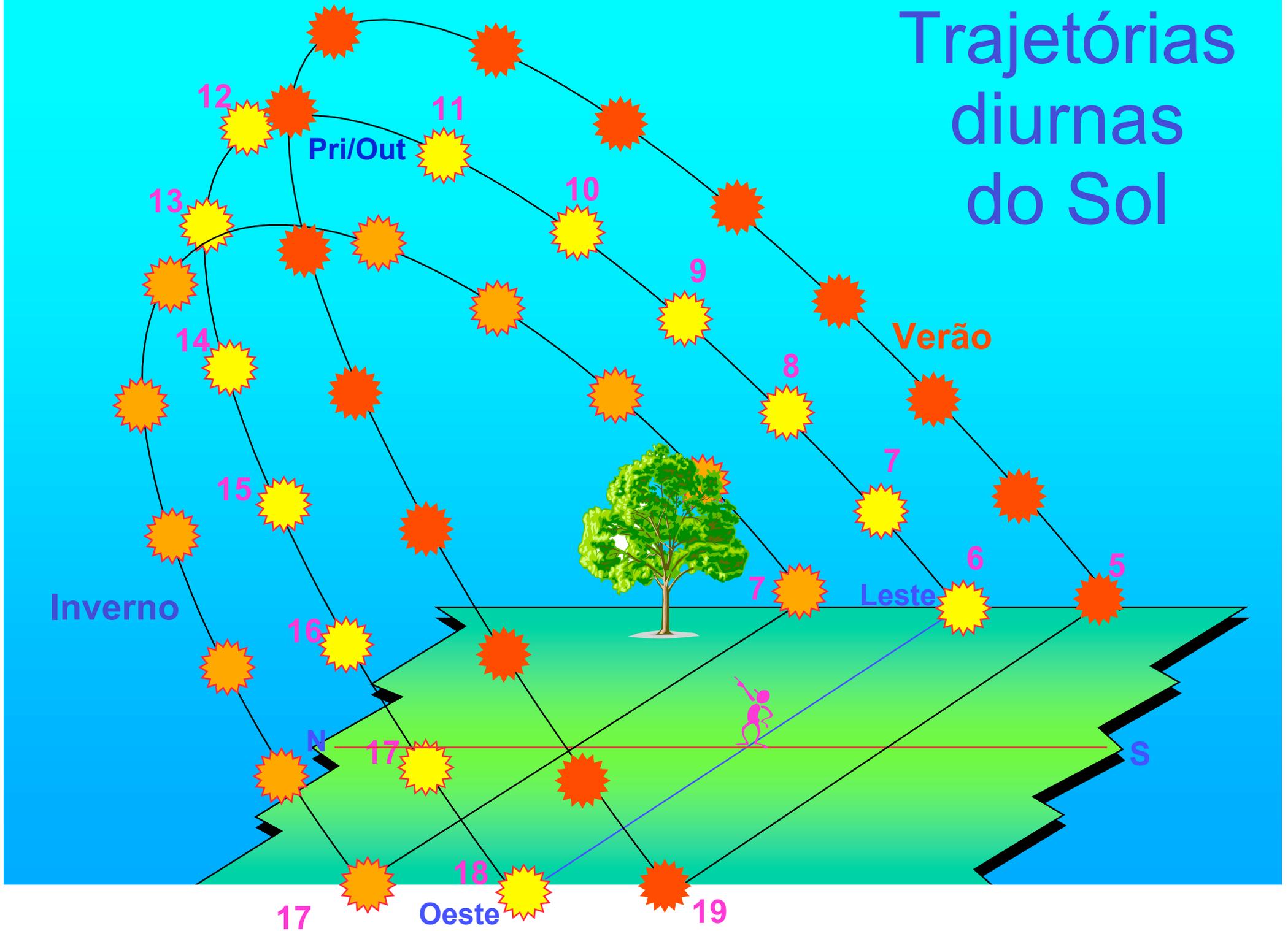


Ano das Estações



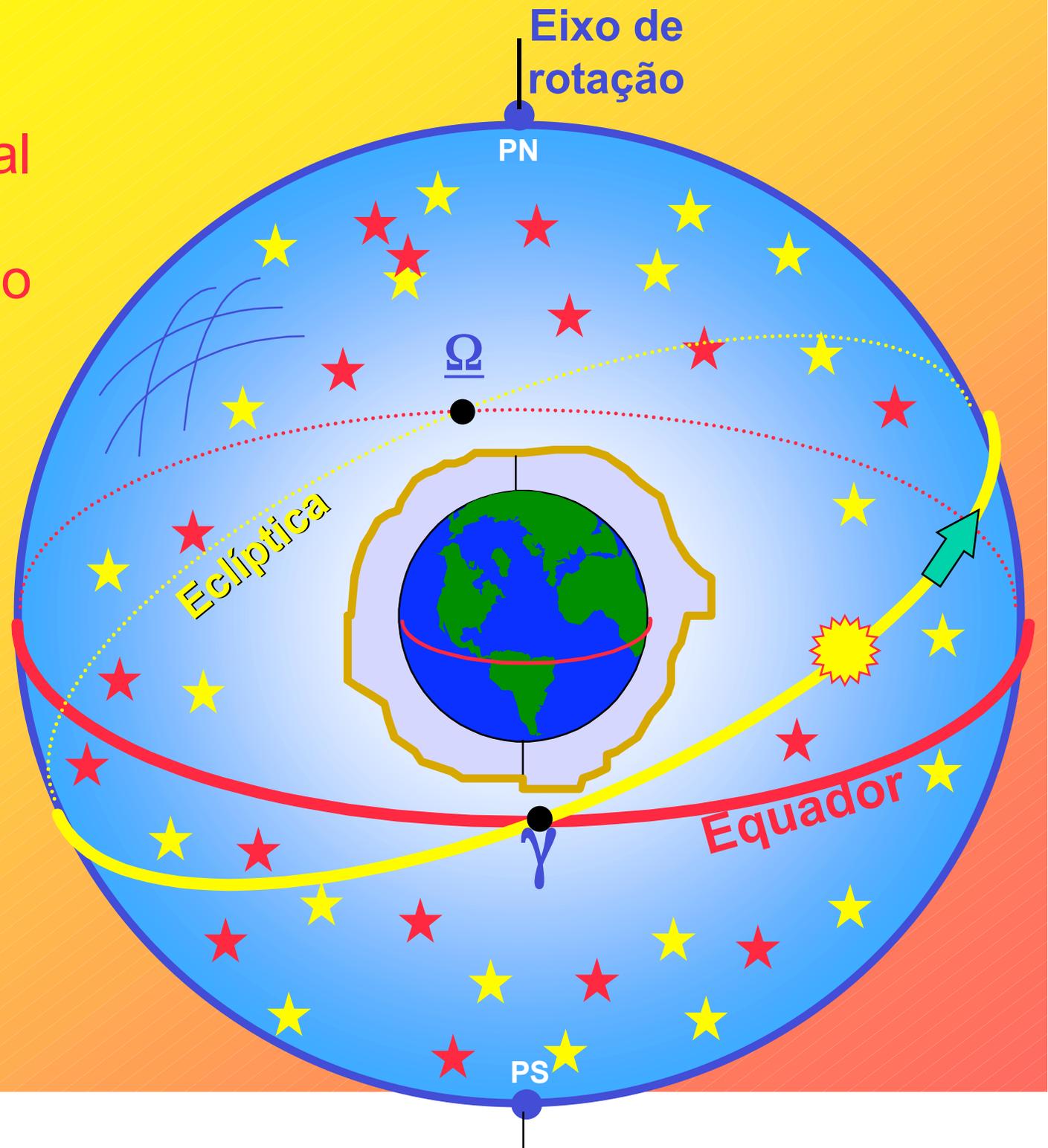
Ano das Estações ~ 365 dias

Trajetoórias diurnas do Sol



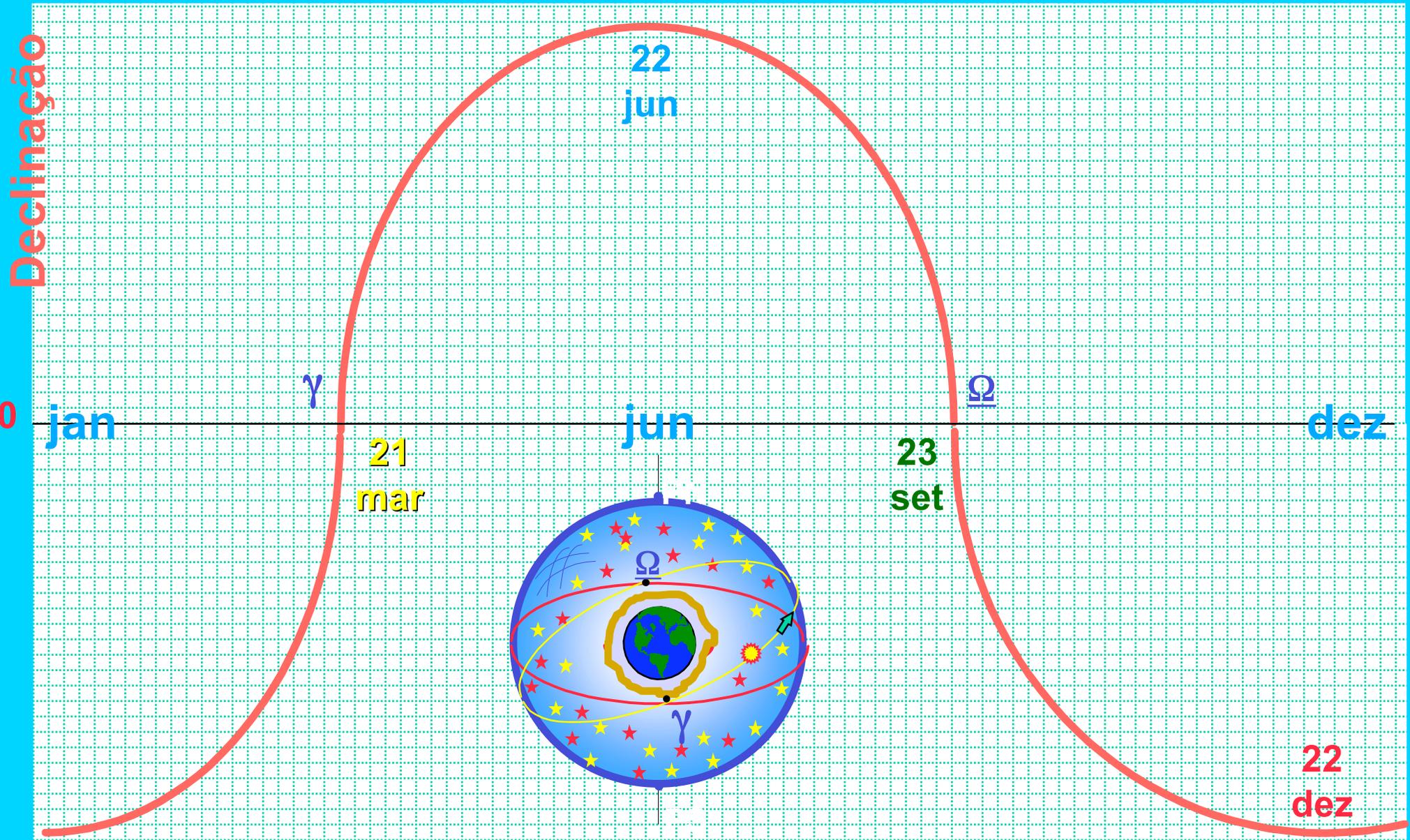
Pergunta: como os astrônomos da antiguidade explicavam isso?

Eclíptica:
Trajetória anual
aparente
do Sol ao longo
da esfera
celeste



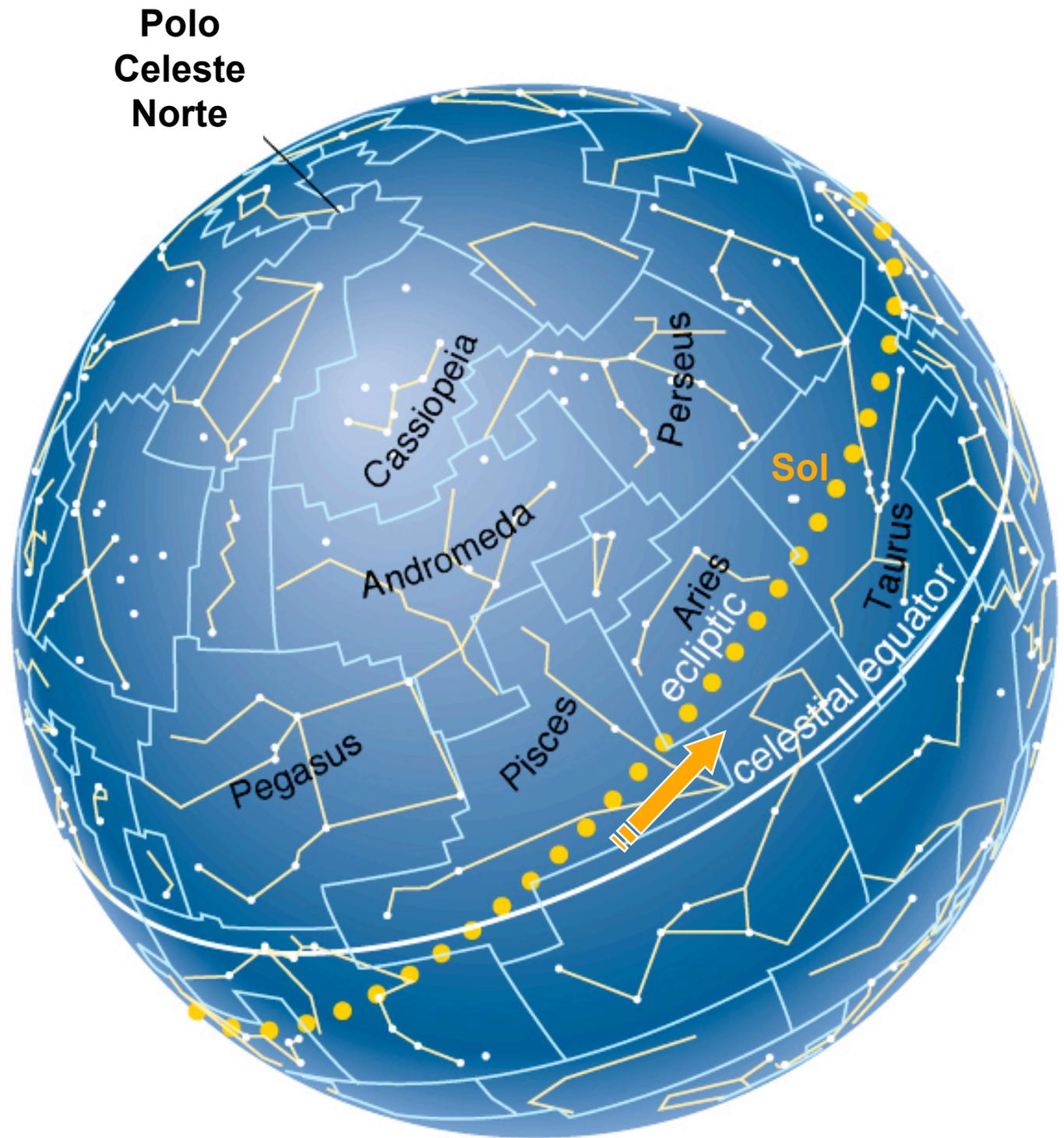
Declinação do Sol ao longo do ano

+ 23,5°



- 23,5°

Trajetória anual
aparente do Sol
por entre as
constelações
sígnos...



Movimentos dos planetas

Planeta vem do grego “planetes”, que significa aquele que vagueia

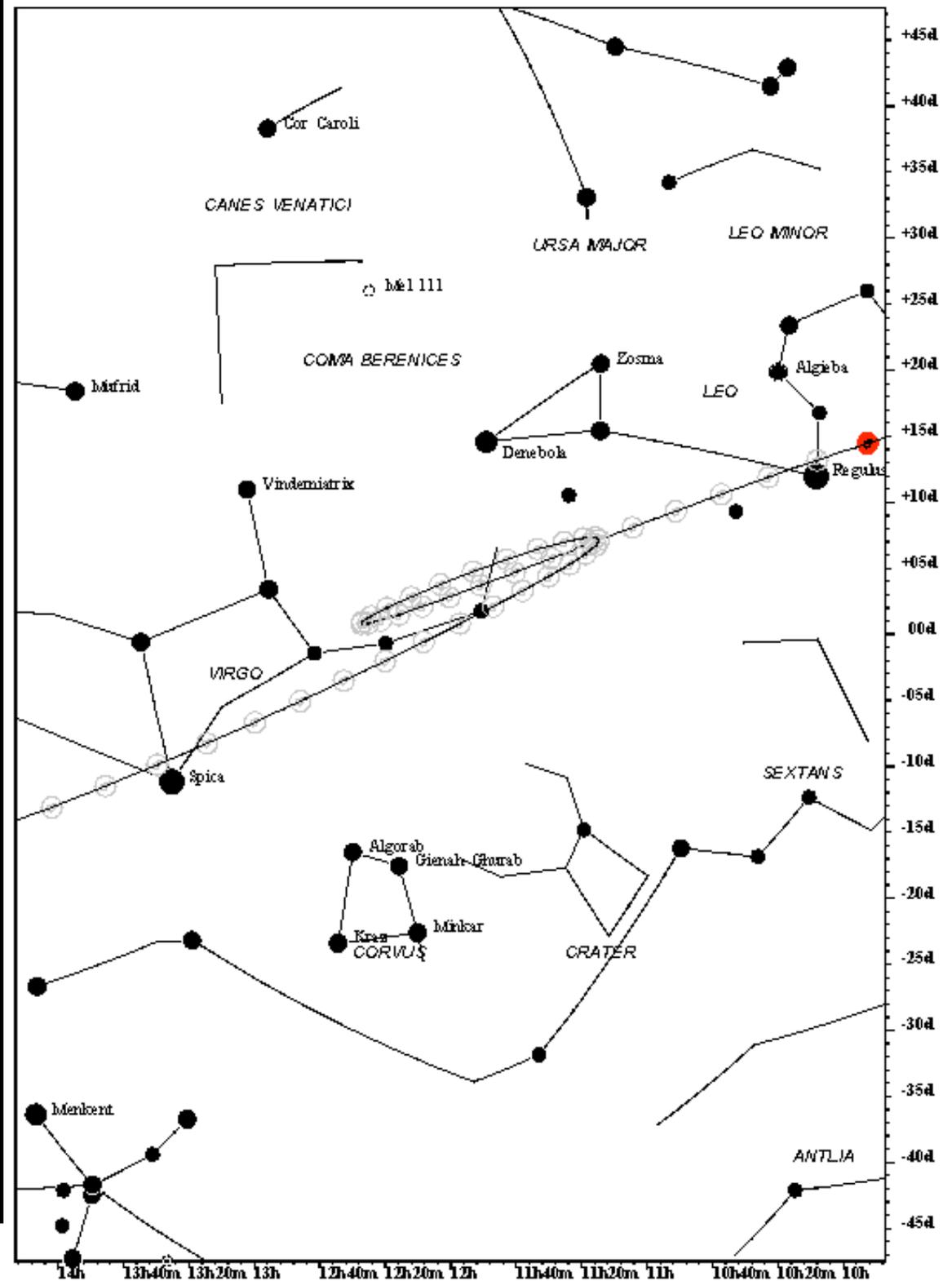
Já na antiguidade notou-se que havia seis “estrelas” que se moviam lentamente em relação às demais (chamadas, por isso, de estrelas fixas)

Alguns planetas (ex. Marte) moviam-se mais rapidamente que outros (ex. Saturno)

Além disso, o brilho do planeta mudava com o tempo.
Distância??

Movimento de Marte no céu

Movimento retrógrado!
Como explicar isso?
Enorme desafio para os
astrônomos da antiguidade



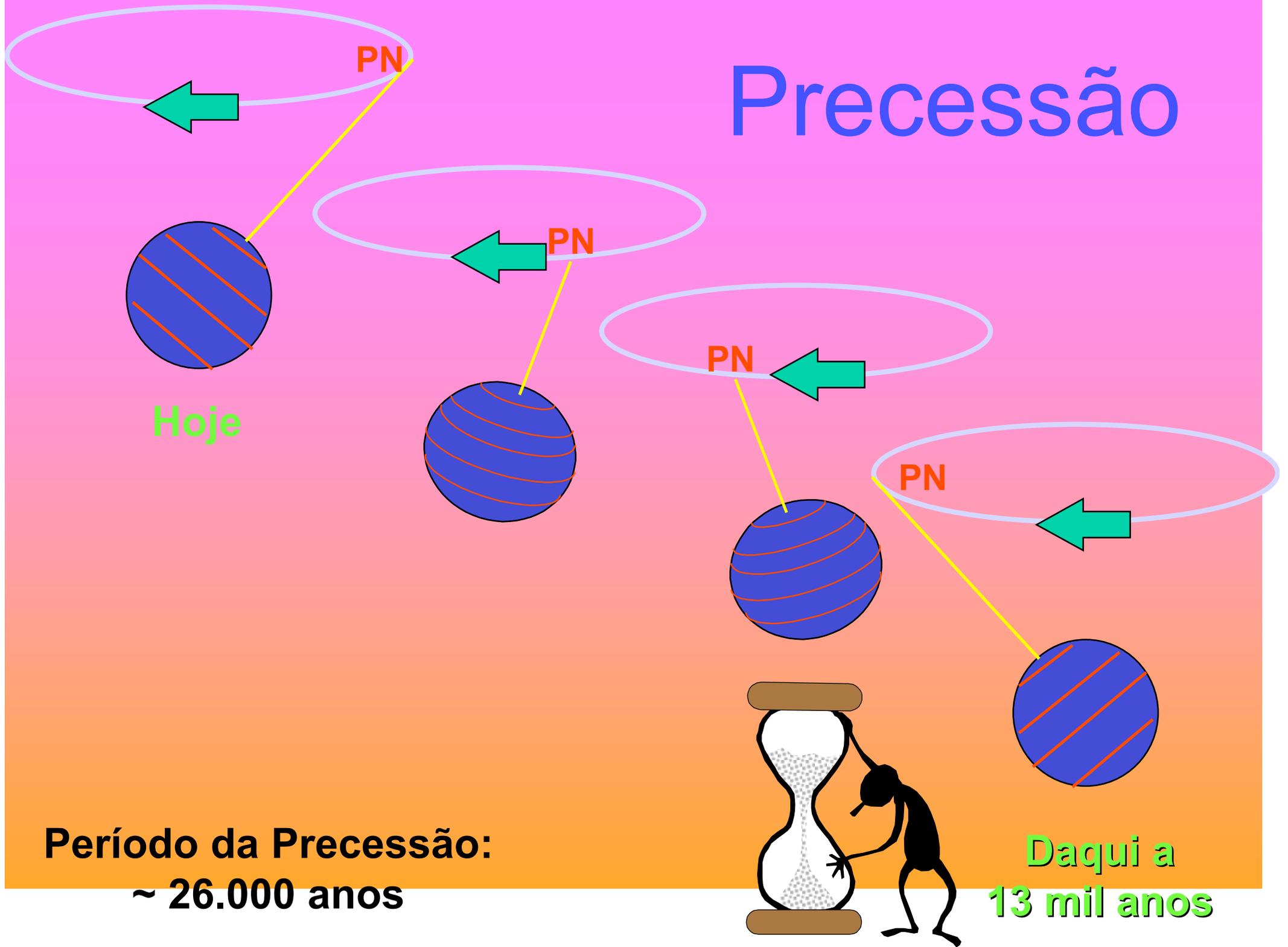
Precessão dos equinócios

Se observarmos a posição das estrelas (declinação e ascensão reta) por muito tempo (séculos), notaremos que **ela não é constante!**

Isso foi descoberto em por volta de 150 AC pelo astrônomo grego Hiparco, que notou diferenças entre as coordenadas da estrela Spica por ele obtidas e as obtidas por Timocaris dois séculos antes.

Como explicar isso?

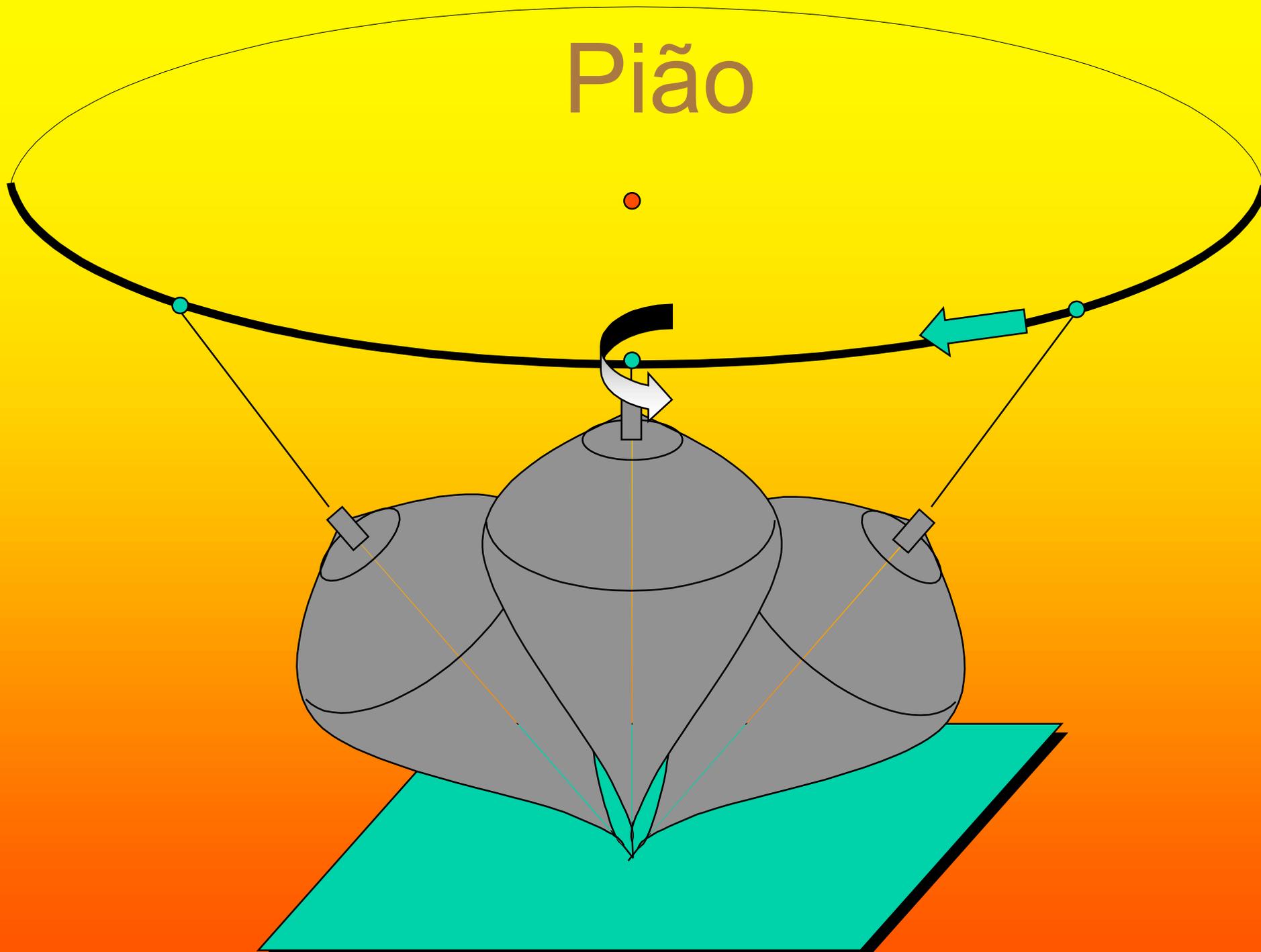
Precessão



Período da Precessão:
~ 26.000 anos

Daqui a
13 mil anos

Pião



Estrelas Polares

Lira

Cisne

δ

10000

8000

6000

Cefeidas

β

γ

4000

14000

ι

PNE

Ursa Menor

PN

2000

16000

Dragão

0

Hércules

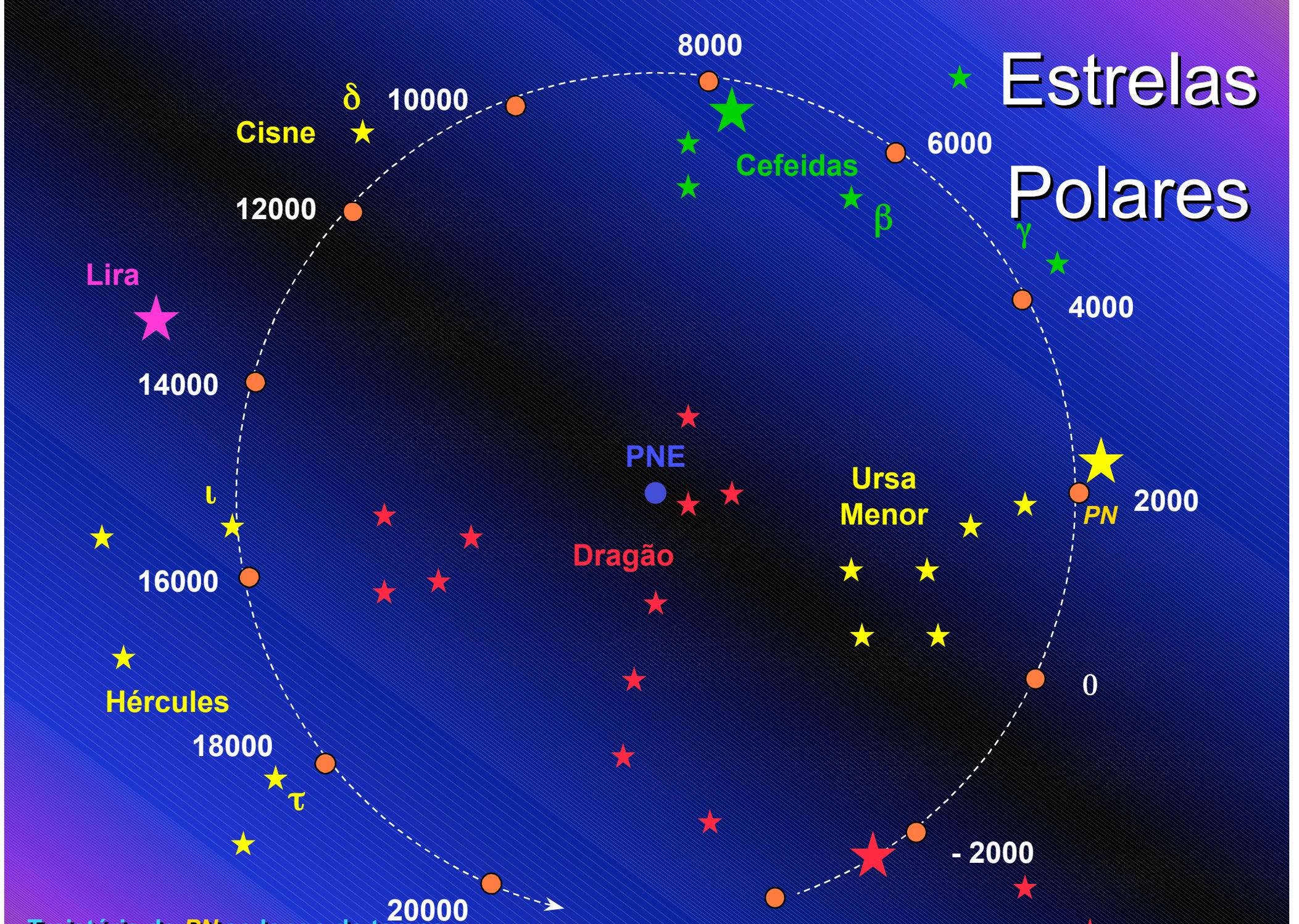
18000

τ

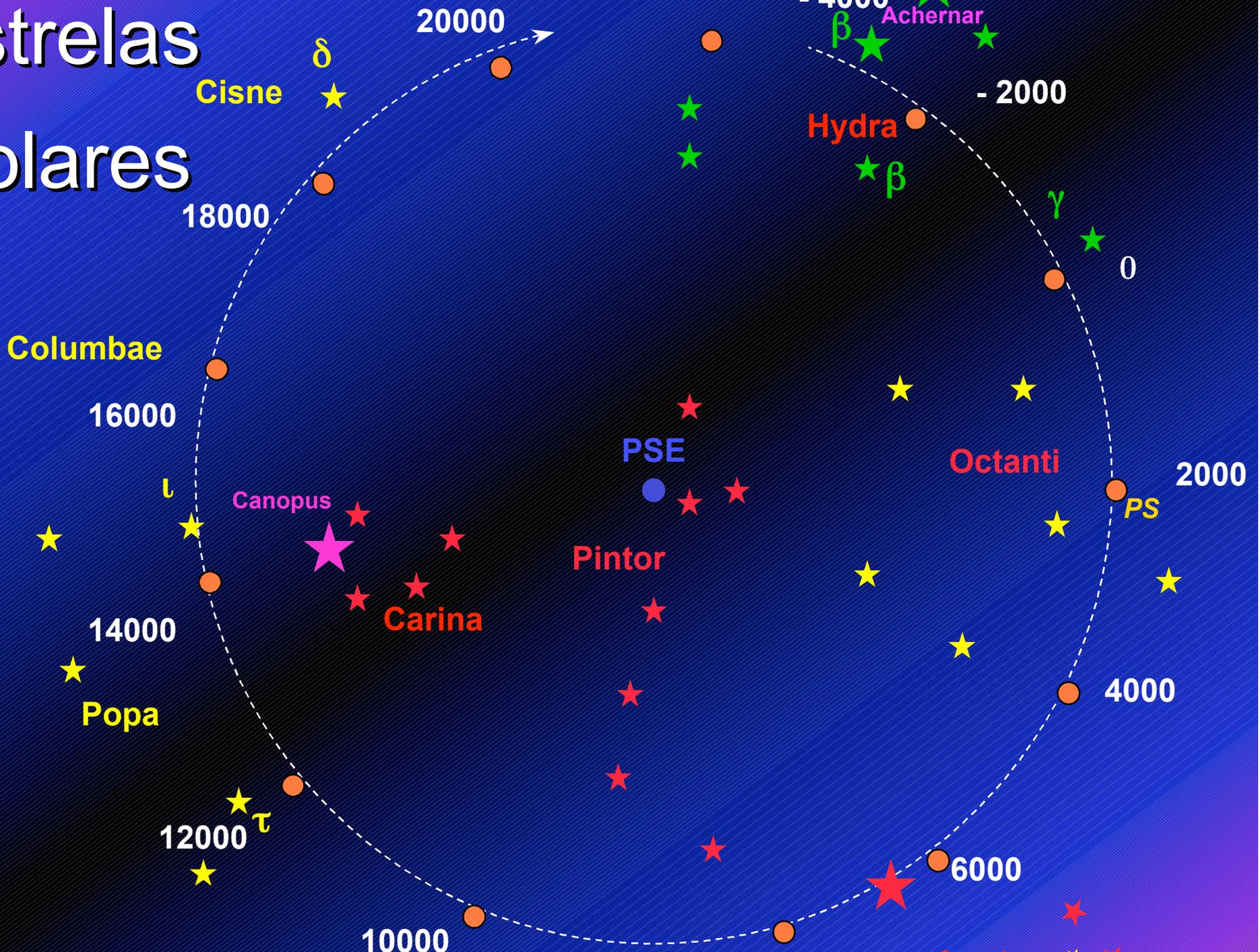
-2000

20000

Trajетória do PN ao longo do tempo visto por um observador no HN



Estrelas Polares



Trajétória do **PS** ao longo do tempo visto por um observador no HS

Movimento Diurno e Anual dos Astros

Já temos nossos dados observacionais:

- **Movimentos diurnos** dos astros
- **Movimento mensal da Lua** em relação à abobada celeste
- **Movimento anual do Sol** em relação à abobada celeste
- **Movimento complexo dos planetas** em relação à AC
- **Precessão dos equinócios**

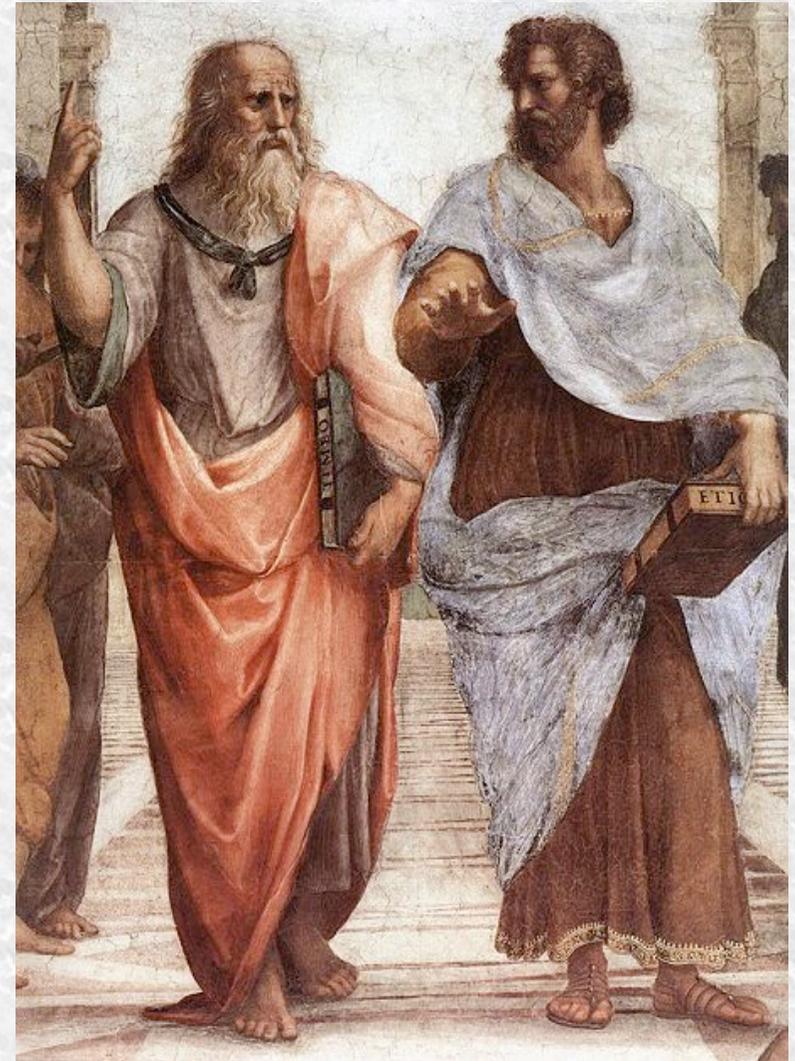
Qual o modelo que melhor os explica?

Modelos do Sistema Solar

(a visão do cosmos da antiguidade até o século XVI)

Grécia antiga (750 a.C. - 146 a.C.)

- Desenvolvimento da Matemática, Geometria, Astronomia, Filosofia, Política, etc.
- Em sua obra **Metafísica**, Aristóteles (384 a.C. - 322 a.C.), o precursor do *Método Científico*, propôs que o Universo era Geocêntrico, i.e. a Terra ocuparia seu centro.
- Modelo geocêntrico era baseado tanto em observações (ciência) quanto em conceitos filosóficos (não ciência)



**Idéias são reais.
O mundo é só uma
imagem das idéias.**

**Sim,
mestre!**

**Bobagem! O mundo
dos fenômenos é o
mundo real. As idéias
são sua essência.**

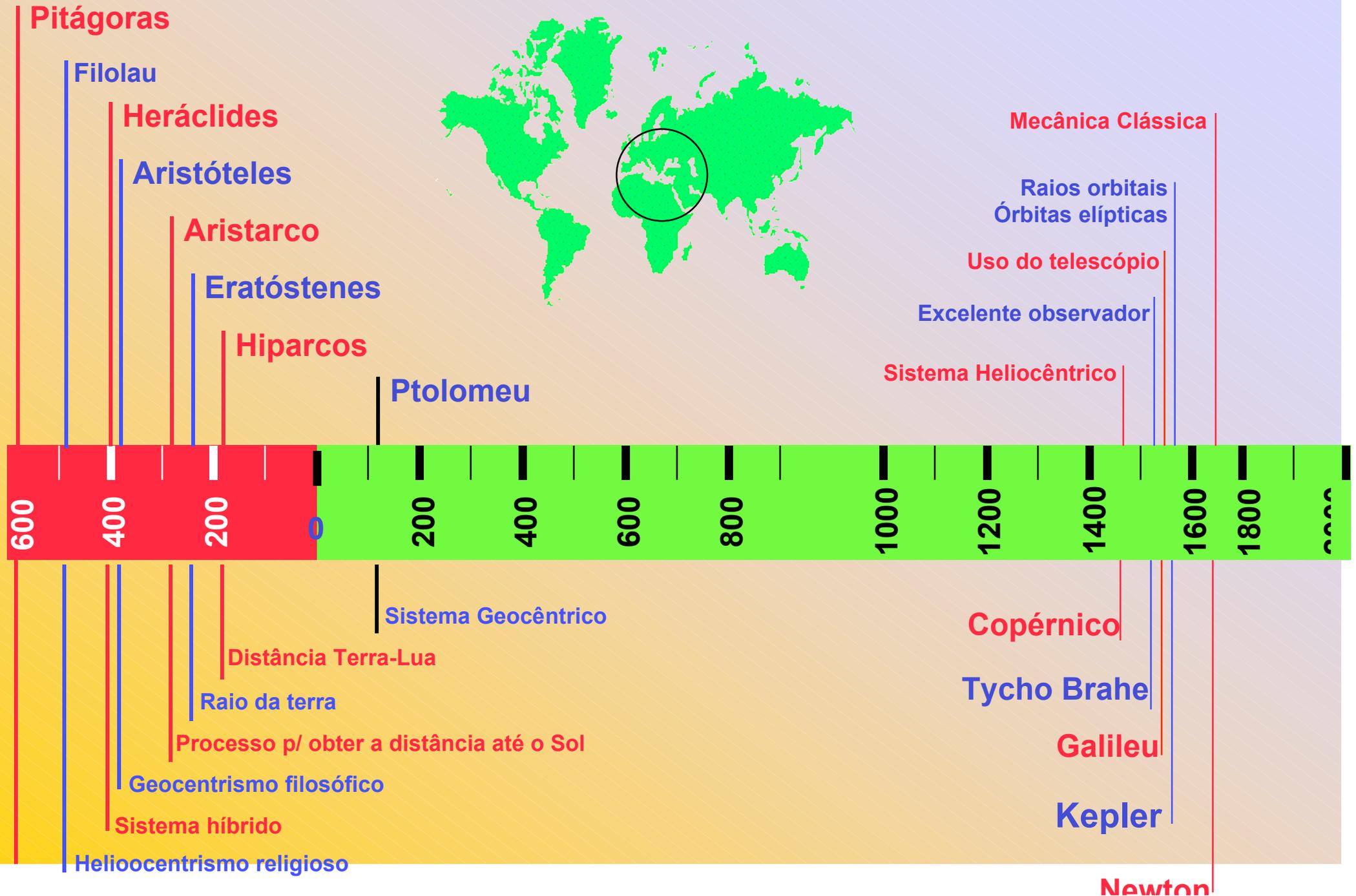


Platão

Aristóteles

Platão e Aristóteles

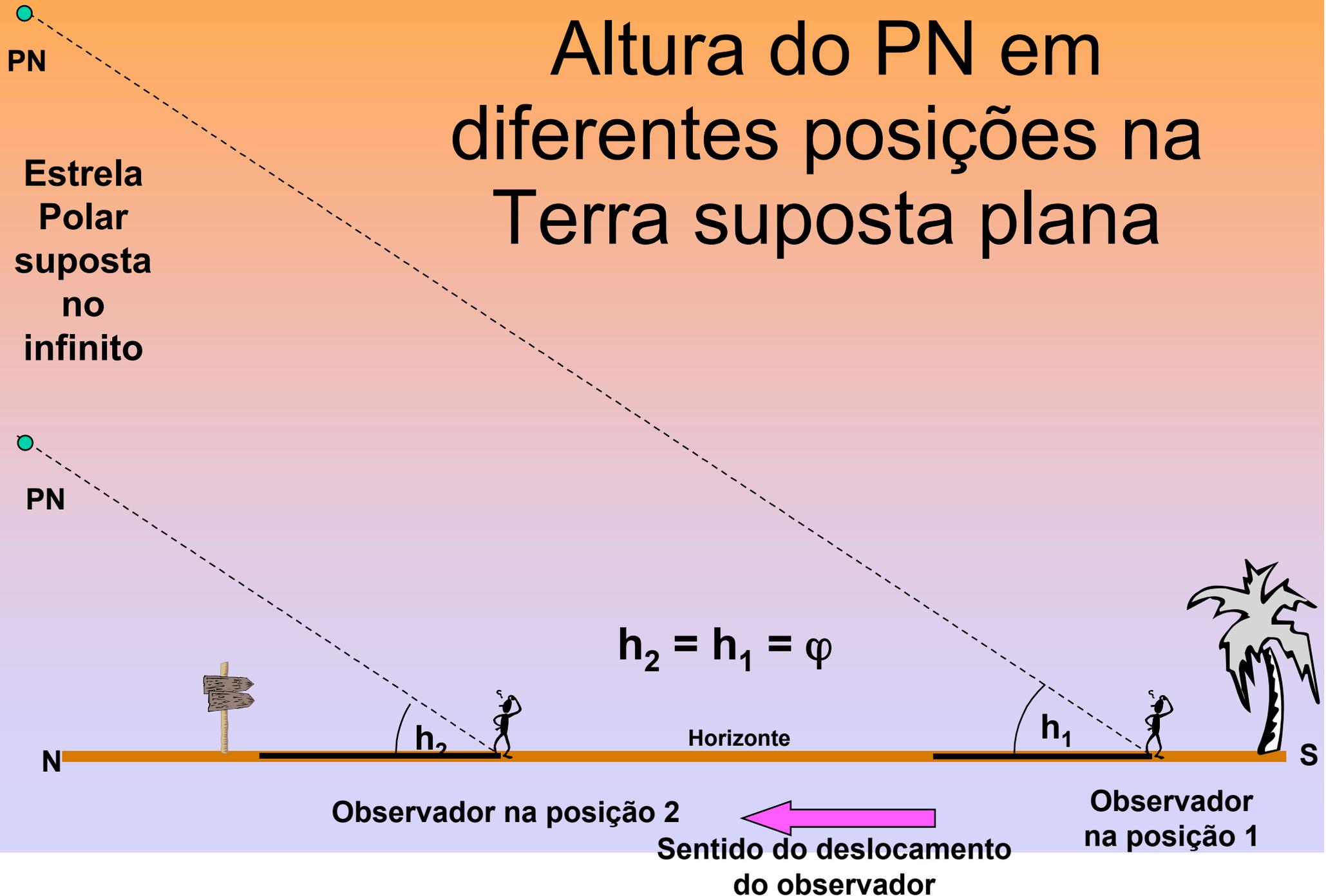
Alguns Astrônomos Famosos



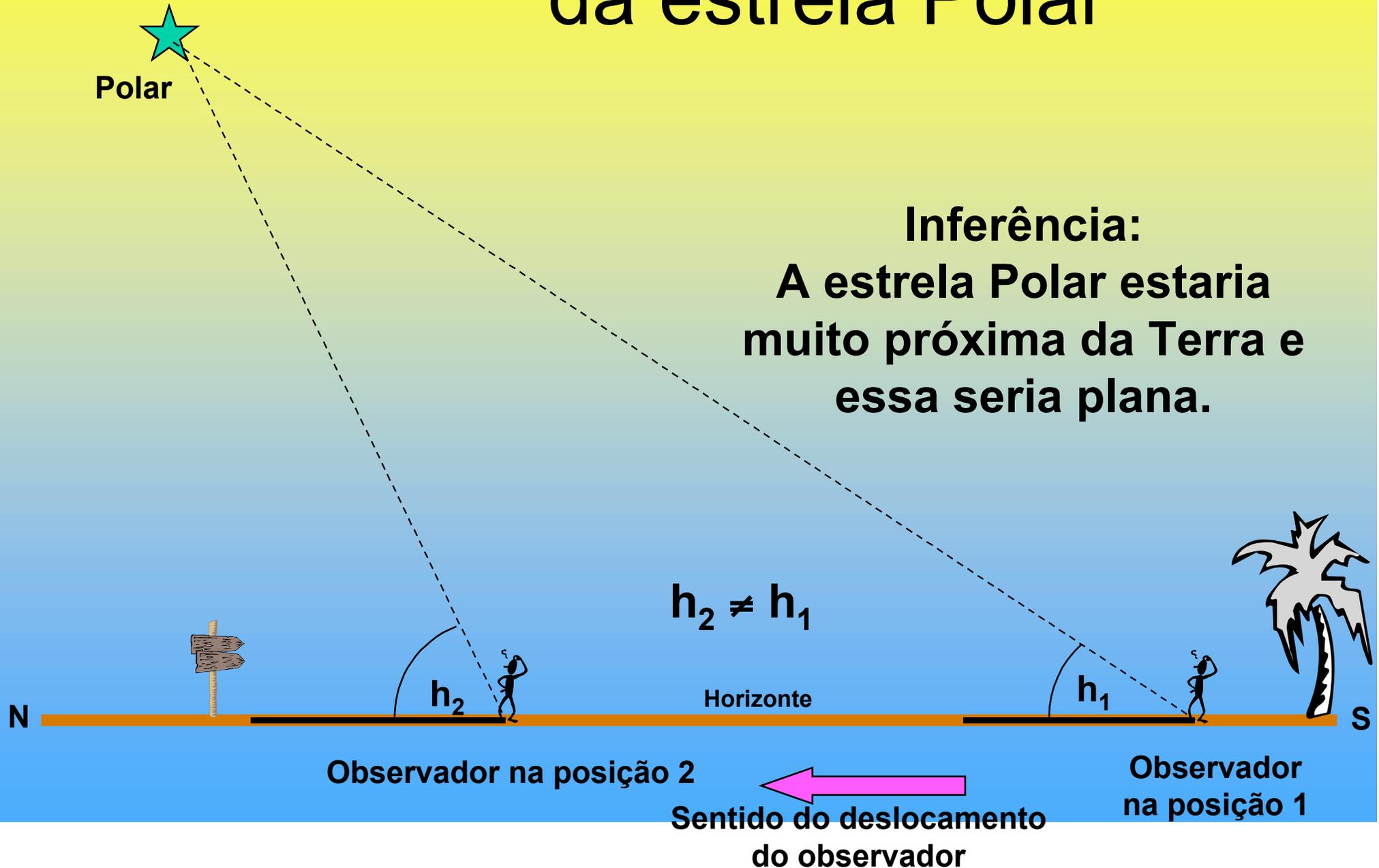
Aristóteles já sabia que a Terra é esférica. Algumas evidências:

1) Variação da latitude astronômica

Altura do PN em diferentes posições na Terra suposta plana



Variação observada na altura da estrela Polar



Aristóteles já sabia que a Terra é esférica. Algumas evidências

1) Variação da latitude astronômica

2) Nos eclipses da Lua, a sombra projetada pela Terra é sempre redonda



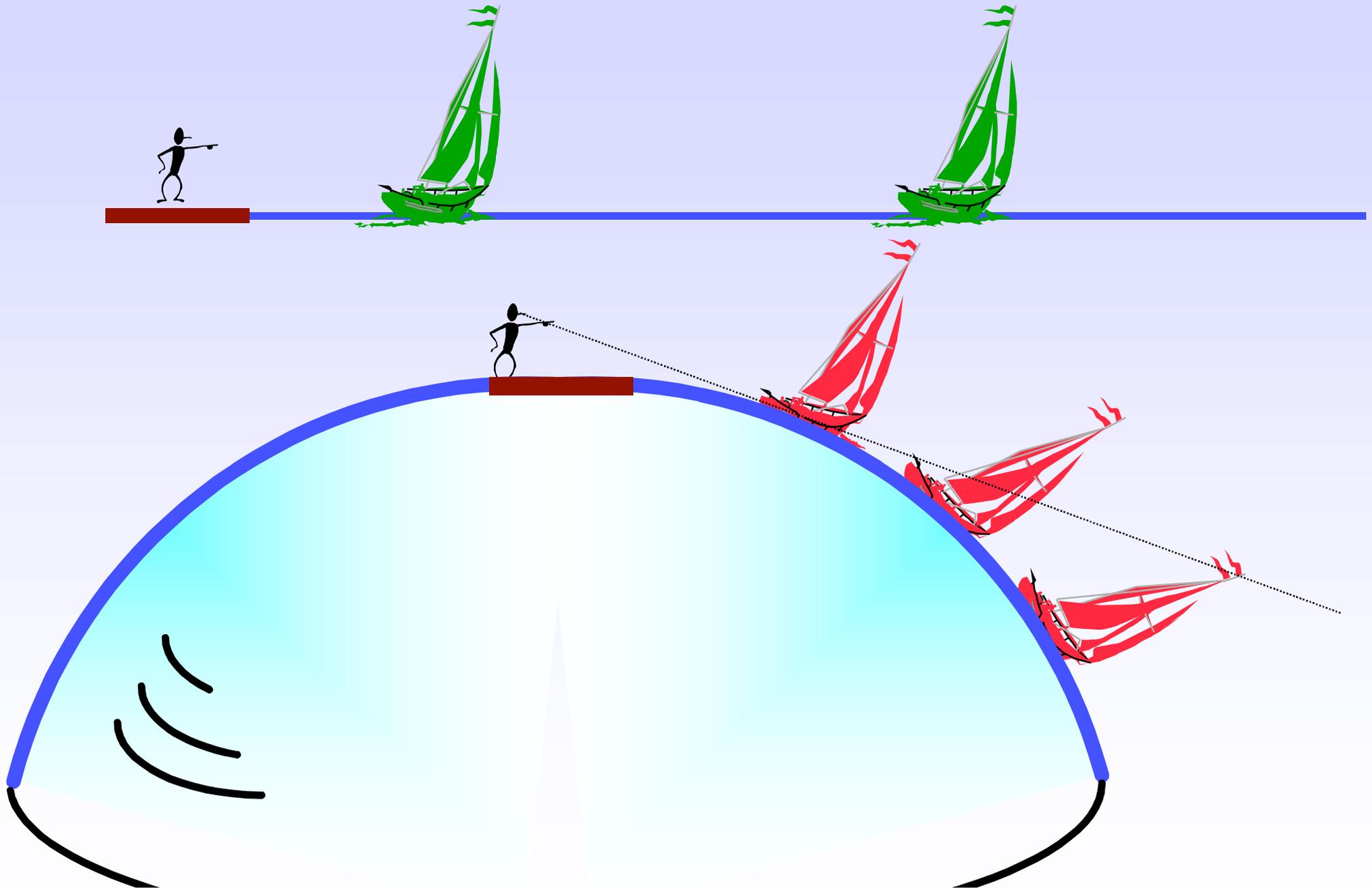
Aristóteles já sabia que a Terra é esférica. Algumas evidências

1) Variação da latitude astronômica

2) Nos eclipses da Lua, a sombra projetada pela Terra é sempre redonda

3) Em navios que se afastam do porto sempre a parte de baixo desaparece primeiro que a parte de cima

Esfericidade da Terra



- **Hiparco** (190 – 120 a.C.) foi o maior astrônomo da antiguidade
- Seus modelos geométricos do Sol e da Lua permitiam-lhe fazer previsões de eclipses
- Compilação de um catálogo com 850 estrelas com coordenadas
- Invenção do astrolábio
- Descoberta da precessão dos equinócios



- **Claudio Ptolomeu** (83 – 161 d.C.) escreveu diversas obras científicas, entre elas o **Almagesto**.
- O **Almagesto** utilizava um modelo geocêntrico para se calcular a posição dos planetas no céu, no passado ou futuro.
- Também fazia parte do **Almagesto** um catálogo estelar com aproximadamente 1000 estrelas e 48 constelações.
- O modelo geocêntrico perdurou até o século XVI.



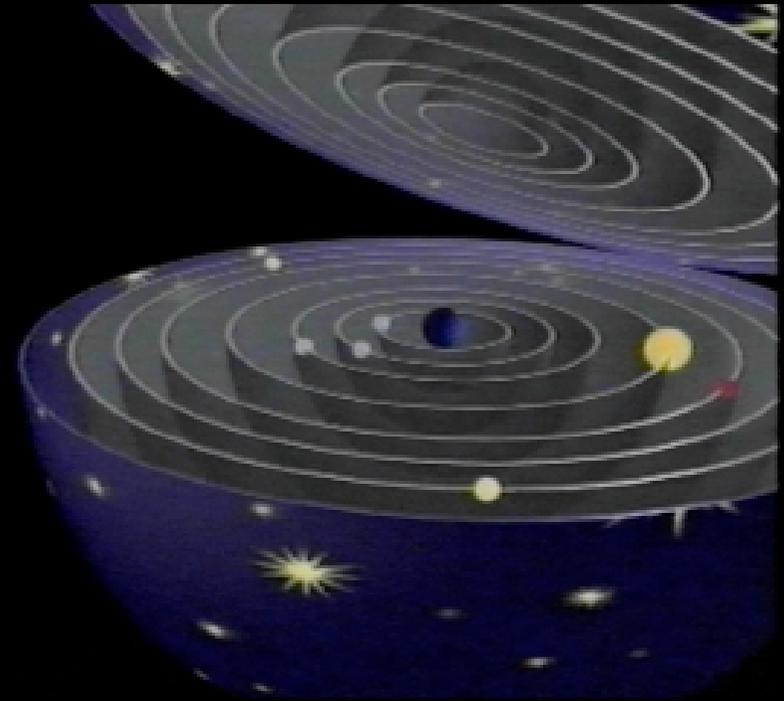
Geocentrismo: um modelo amplamente aceito

- A Terra parece firme e estável.
- As estrelas parecem descrever circunferências no céu, em torno dos pólos celestes.
- Os “planetas” da época (Lua, Sol, Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno) parecem mover-se em torno da Terra.
- Profundas raízes filosóficas e religiosas
- Argumento bíblico: Josué ordenou ao Sol e à Lua que parassem.

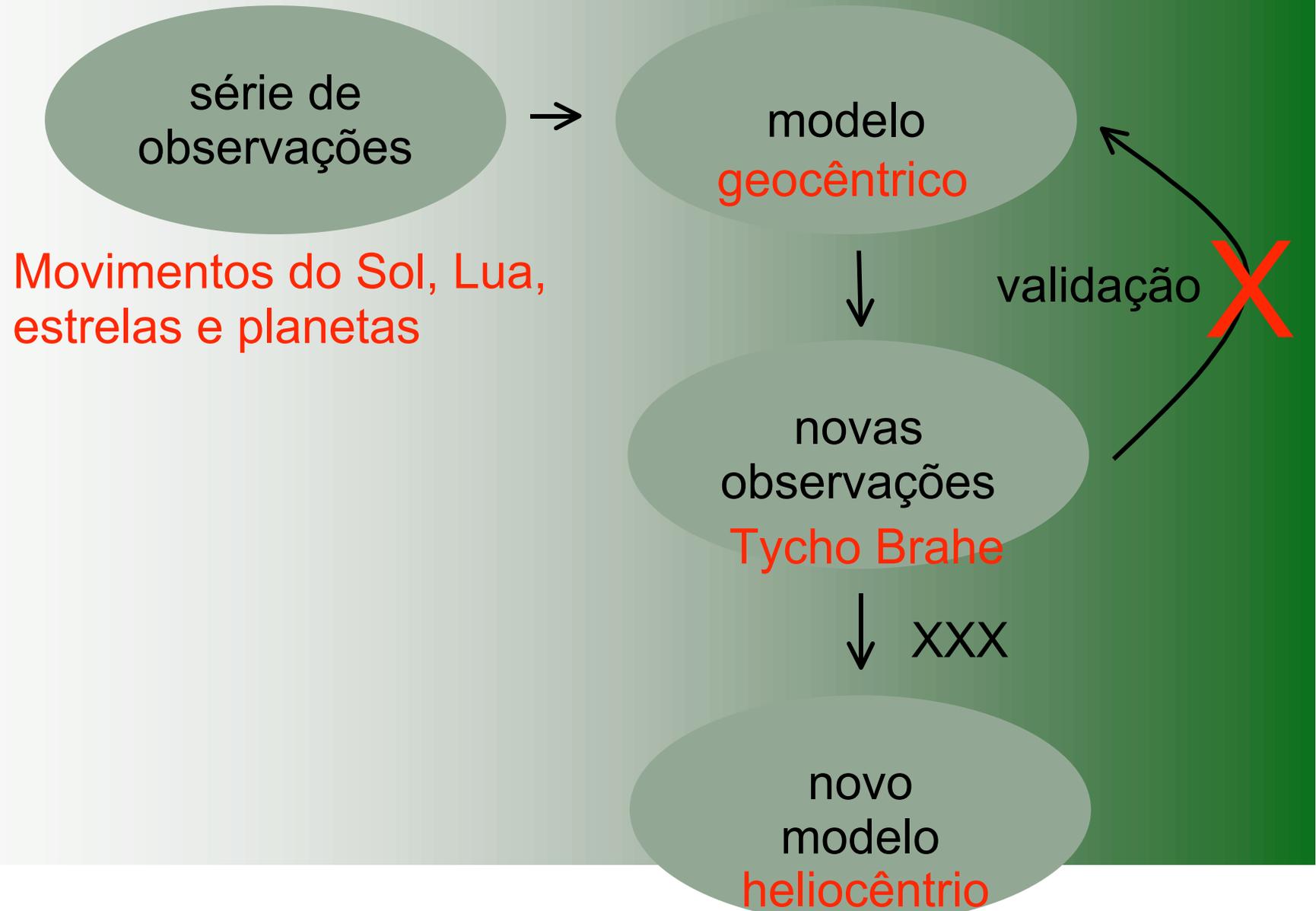


O Modelo Geocêntrico:

- A Terra ocupa o centro do Universo.
- Os planetas giram em órbitas circulares em torno da Terra.
- Os planetas mais “rápidos” estão mais próximos: Lua, Mercúrio, Vênus, Sol, Marte, Júpiter e Saturno.
- As estrelas estariam incrustadas numa esfera de cristal, muito distante.



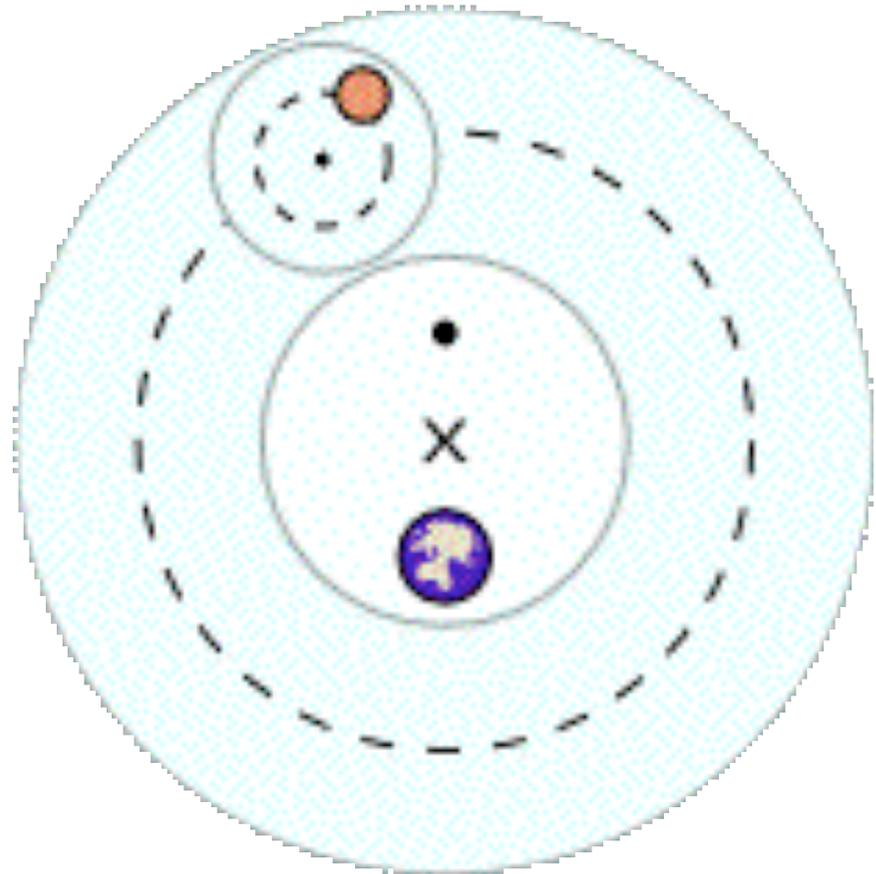
O que é ciência?



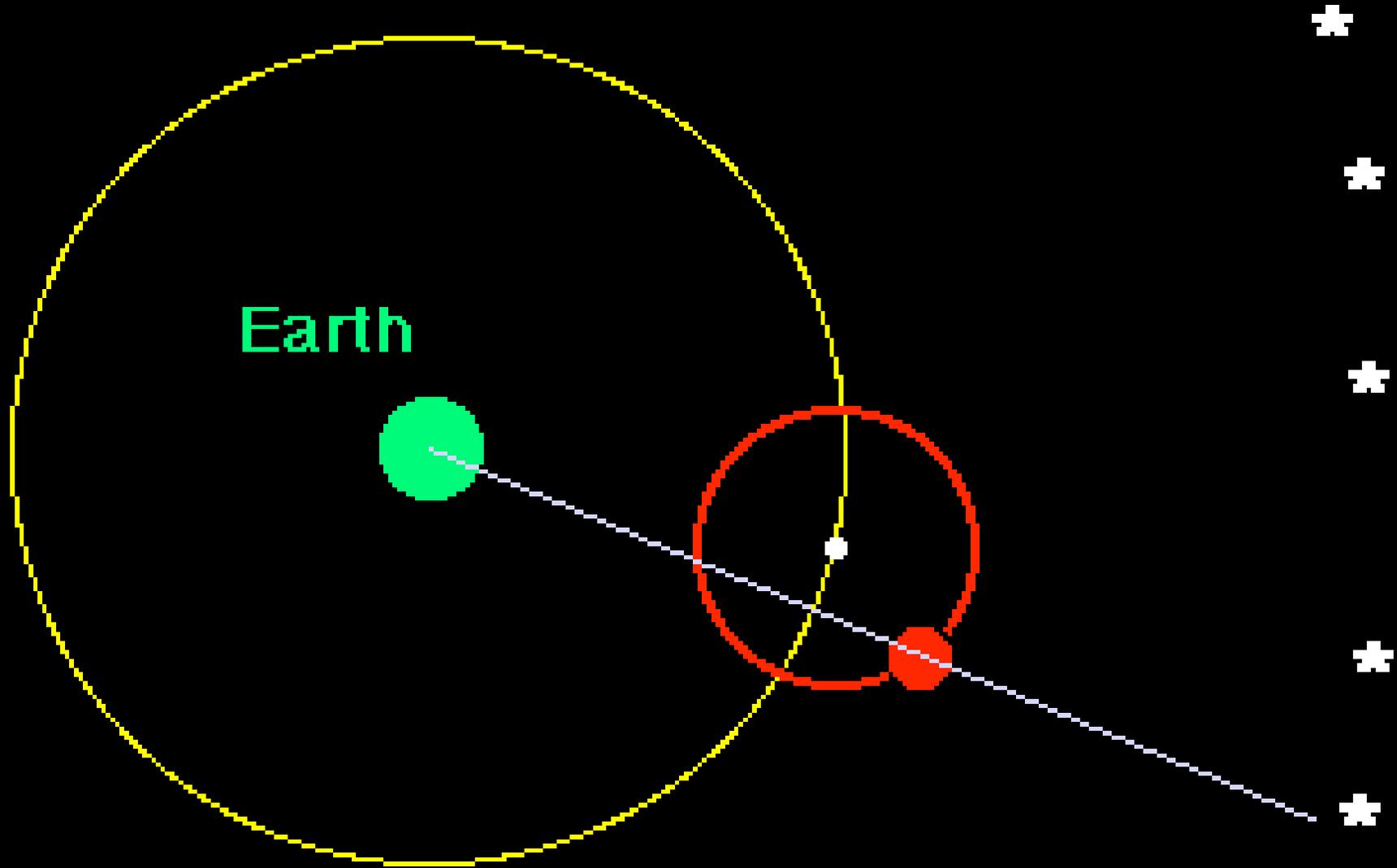
Problemas do Modelo Geocêntrico

(notados por Ptolomeu)

- A velocidade dos planetas no céu é variável.
- O brilho dos planetas é variável.
- Há ocasiões quando o sentido do movimento dos planetas temporariamente se inverte: as “laçadas”.
- Solução: ciclos, epiciclos, equantes...



Epicyclos



O Nascimento da Astronomia Moderna

- O **complicadíssimo** modelo geocêntrico de Ptolomeu (mas que já remontava ao primórdios da Grécia Antiga) sobreviveu por 15 séculos sem alterações.
- Ele só foi questionado por Copérnico no séc. XVI.
- Assunto da próxima aula...

Para saber mais:

- Uma História da Astronomia

Jean-Pierre Verdet, pags. 49-57,
61-67, 95-110.

- Astronomia & Astrofísica

Kepler Oliveira & Maria de Fátima
Saraiva, Caps. 9, 10, 11 e 12.