

Agradecimentos

Estas aulas contou com o material do Professor Valter Líbero do IFSC-USP que teve a colaboração do Professor Roberto Boczko, do Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo, IAG-USP e da equipe do Centro de Divulgação da Astronomia, CDA

A deep field image of the universe, showing a vast field of galaxies and stars. The background is a rich tapestry of celestial objects, including spiral, elliptical, and irregular galaxies, as well as numerous individual stars of various colors and magnitudes. The overall scene is a dense and colorful representation of the cosmos.

Astronomia - Licenciatura

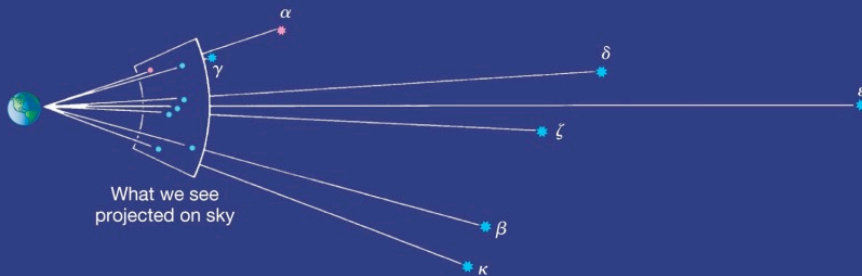
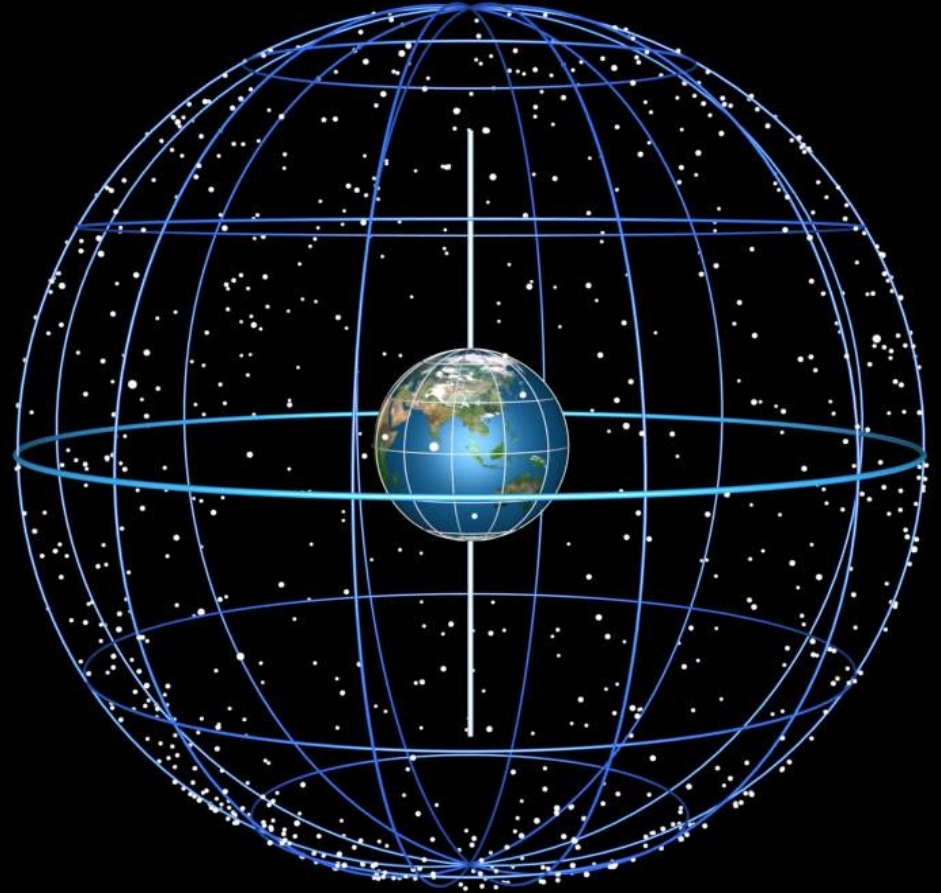
Aula 4 - A Esfera Celeste: sistemas de coordenadas

Prof. Aion Viana

Esfera Celeste e Sistemas de Coordenadas

A Esfera Celeste

- Ao observarmos o céu, podemos ter a nítida impressão de que existe **uma esfera imaginária envolvendo a Terra**.
- Os astrônomos chamam essa esfera imaginária de **Esfera Celeste**.
- A Esfera Celeste é, portanto, **uma esfera imaginária, de raio arbitrário, na qual se encontram projetados todos os corpos celestes**
- Este mapa nos fornece a posição angular (2 ângulos), não radial das estrelas.



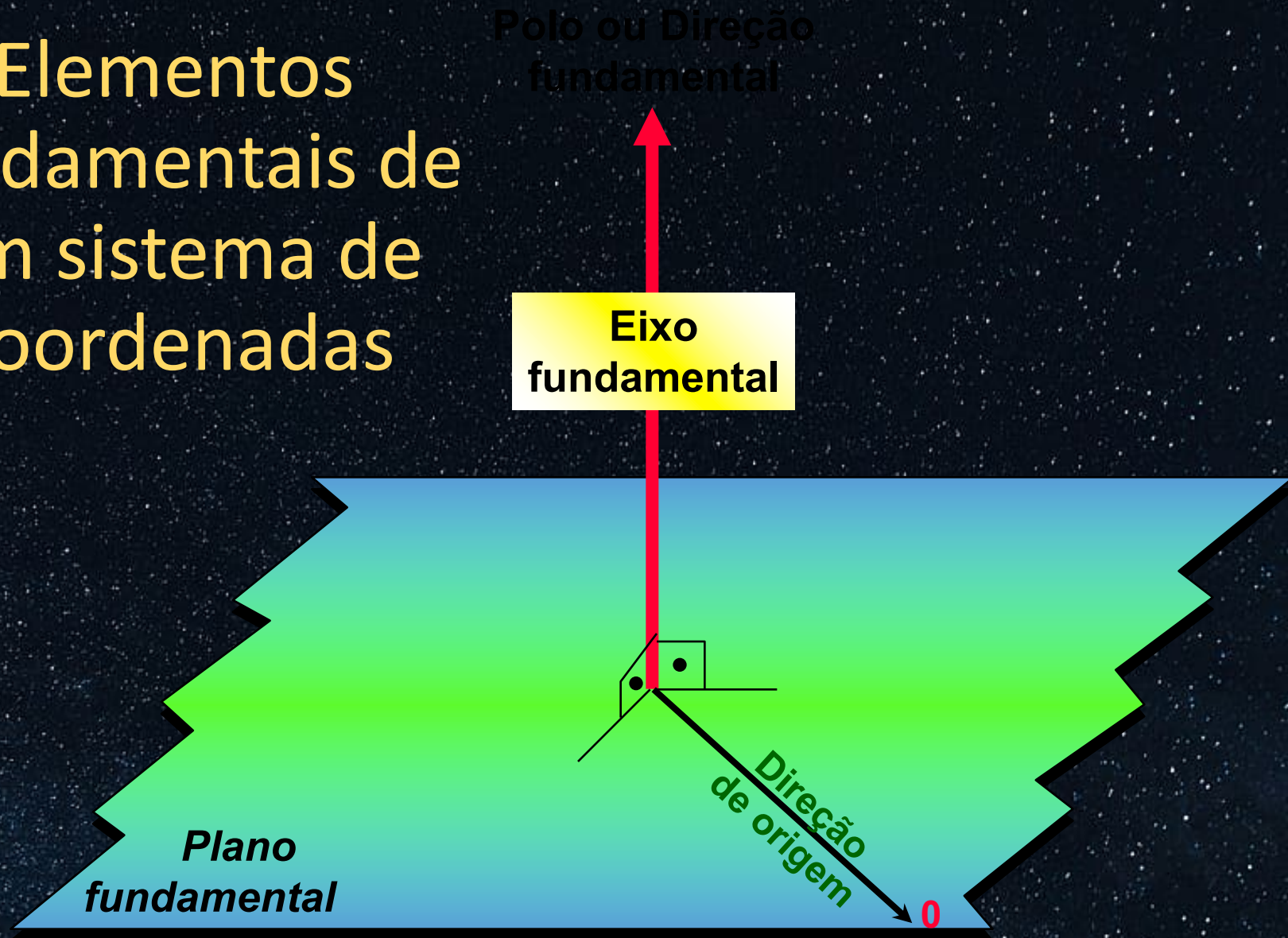
Sistema de coordenadas = Gaiola

Sistemas de coordenadas fixos à Terra ou ao Céu



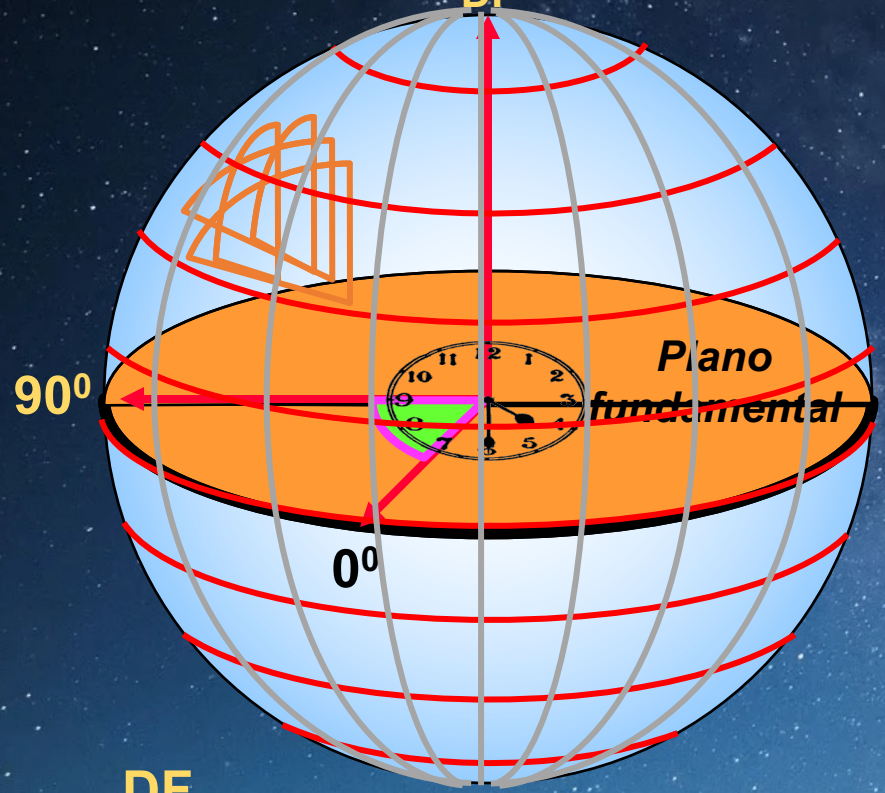
Por causa da rotação da Terra, um sistema se movimenta com relação ao outro

Elementos fundamentais de um sistema de coordenadas



Tipos de sistemas cartesianos

Direção
Fundamental
DF

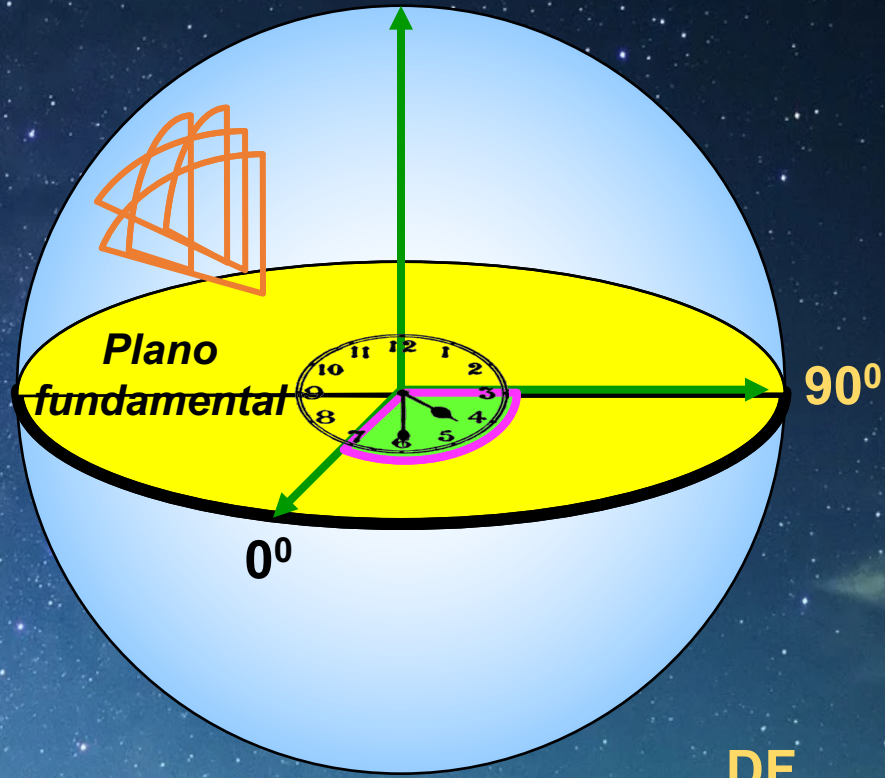


DF

Sistema de mão **esquerda**
Sistema horário



Direção
Fundamental
DF

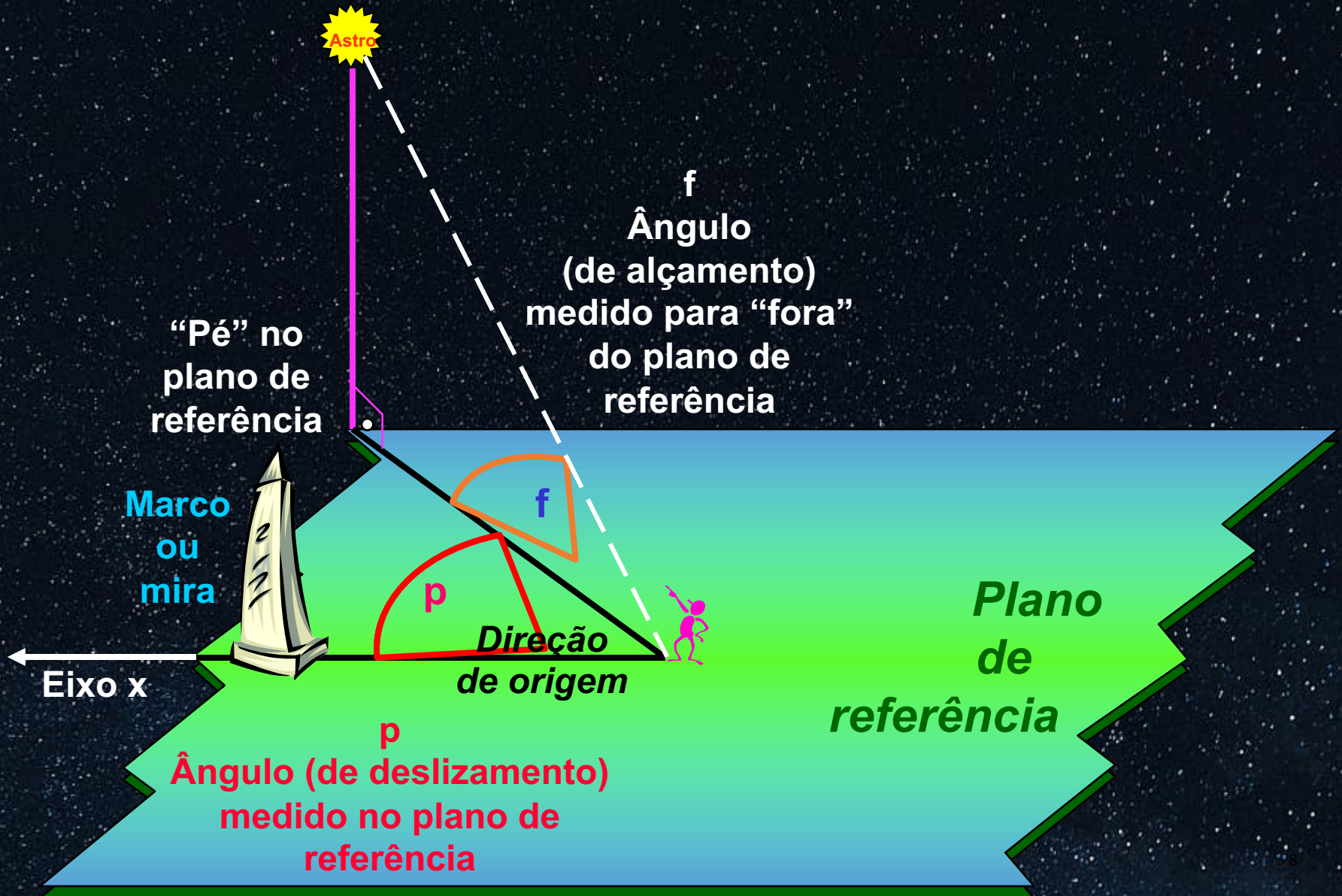


DF

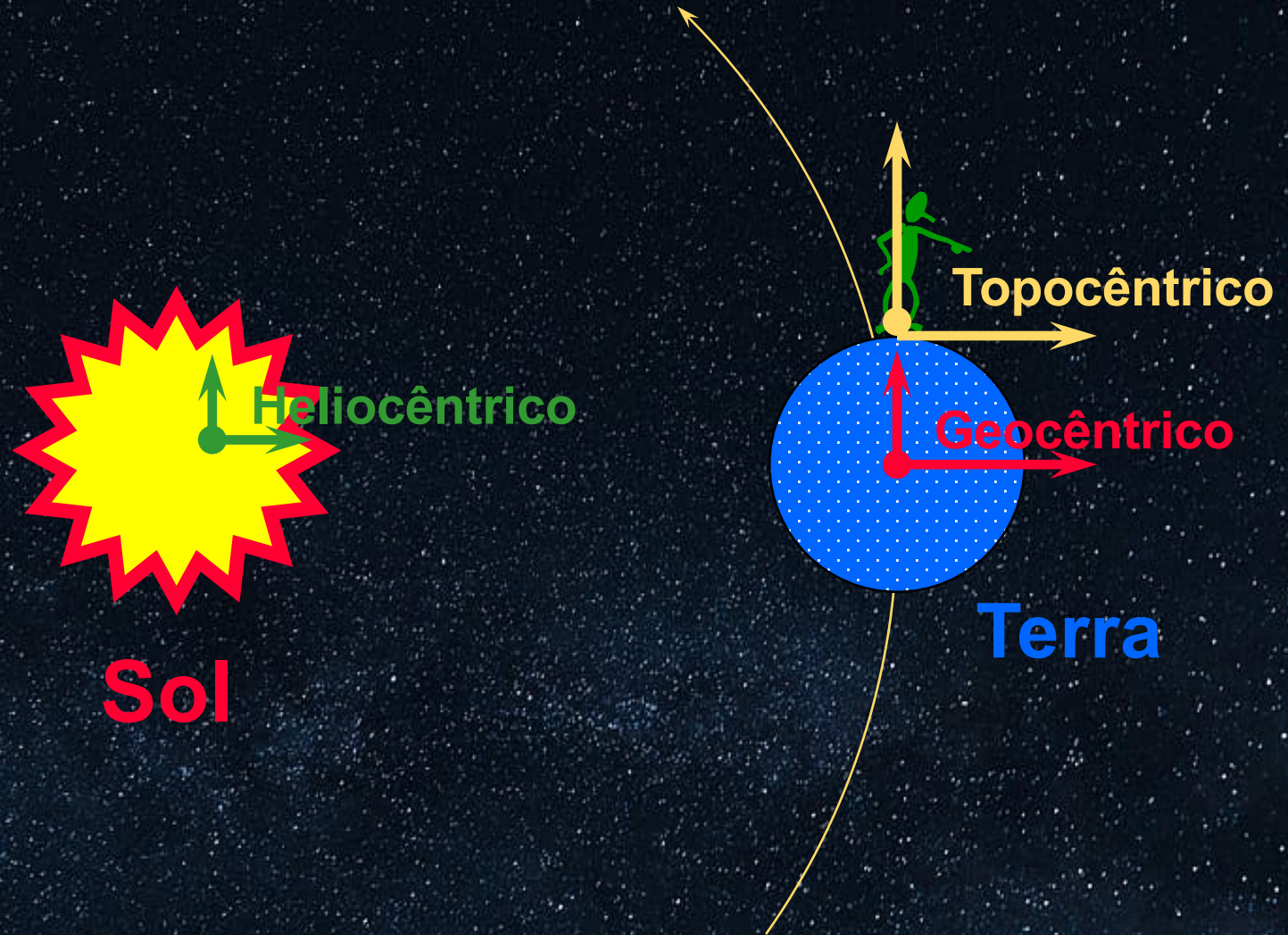
Sistema de mão **direita**
Sistema anti-horário



Coordenadas esféricas



Origem do Sistema de Referência



Sistemas de coordenadas usados em astronomia



❖ Horizontal

❖ Geográfico

❖ Equatorial

❖ Horário

❖ Eclíptico

❖ Galáctico

Fixo ao céu



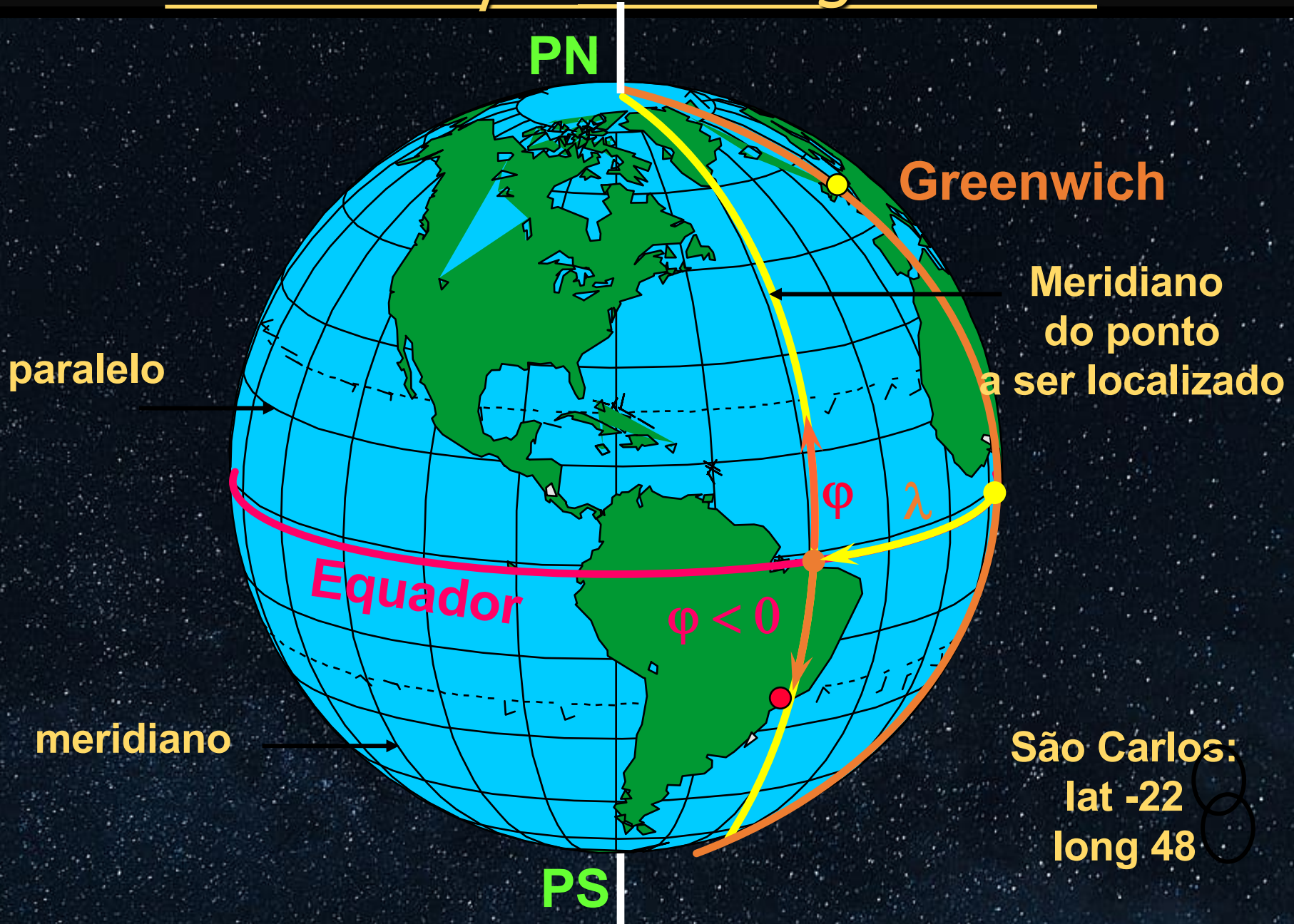
Mão esquerda (Horário)



Mão direita (Anti-horário)

Sistemas de Coordenadas Geográfico

Latitude φ e Longitude λ



Coordenadas geográficas

Longitude geográfica λ

Referência: meridiano de Greenwich

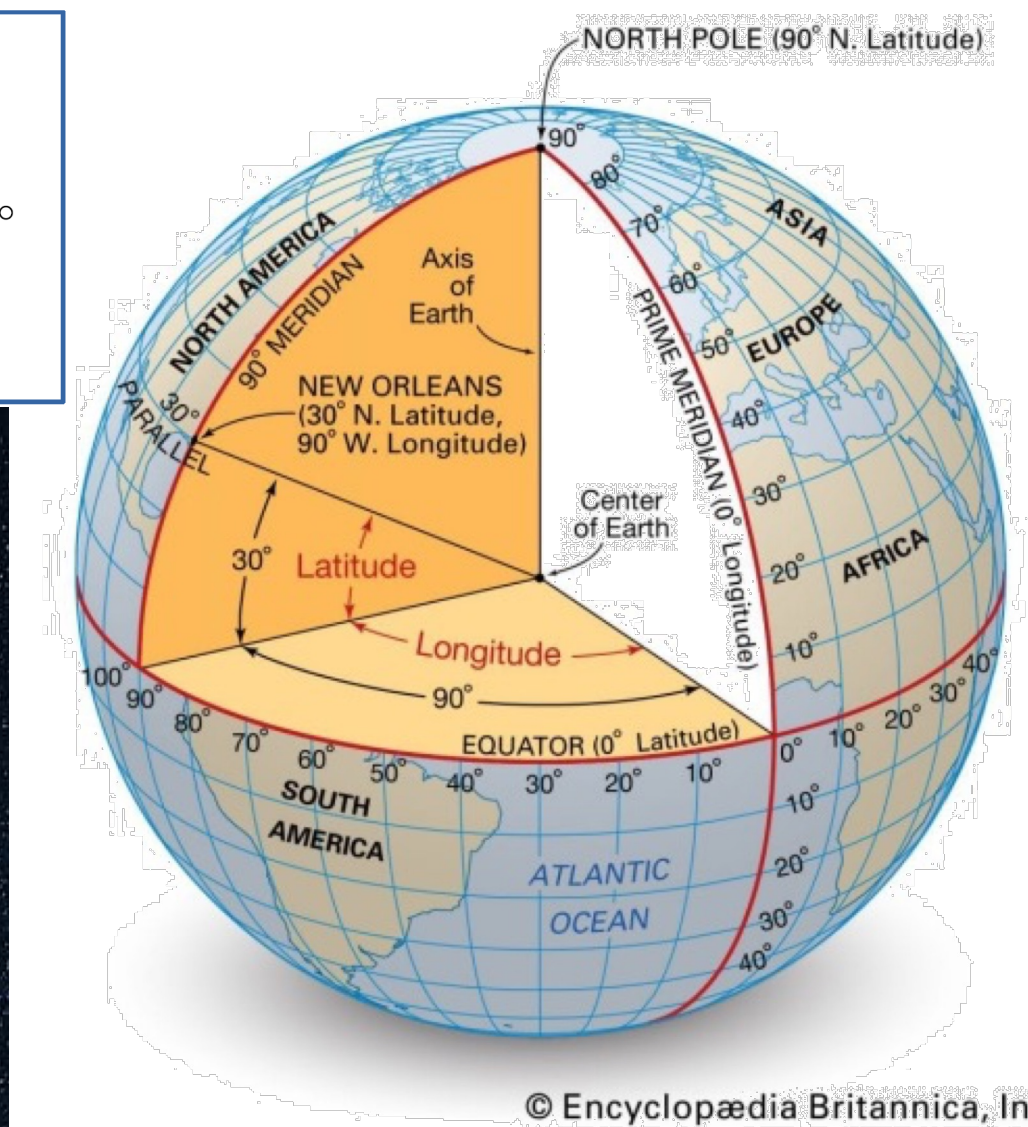
$$-180^\circ < \lambda < 180^\circ$$

$$(-12\text{h} < \lambda < 12\text{h}) \Leftrightarrow 24\text{h} \leftrightarrow 360^\circ$$

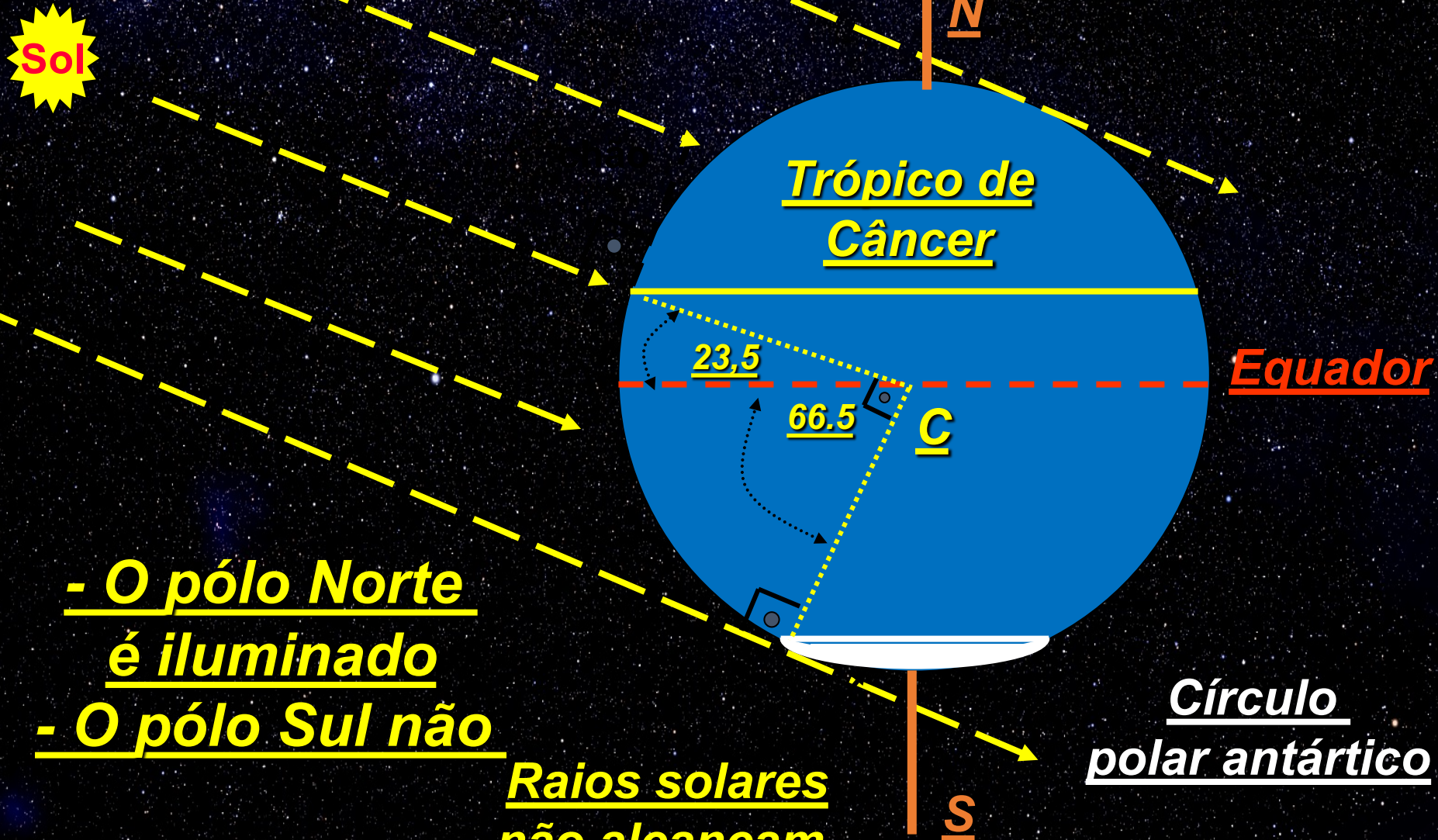
Latitude geográfica ϕ

Referência: Equador

$$-90^\circ < \phi < 90^\circ$$



Latitudes Especiais



- O pólo Norte é iluminado
- O pólo Sul não

Raios solares não alcançam esta região polar

Latitudes Especiais

Círculo polar ártico

Raios solares não alcançam esta região polar

Equador

C

66,5

23,5

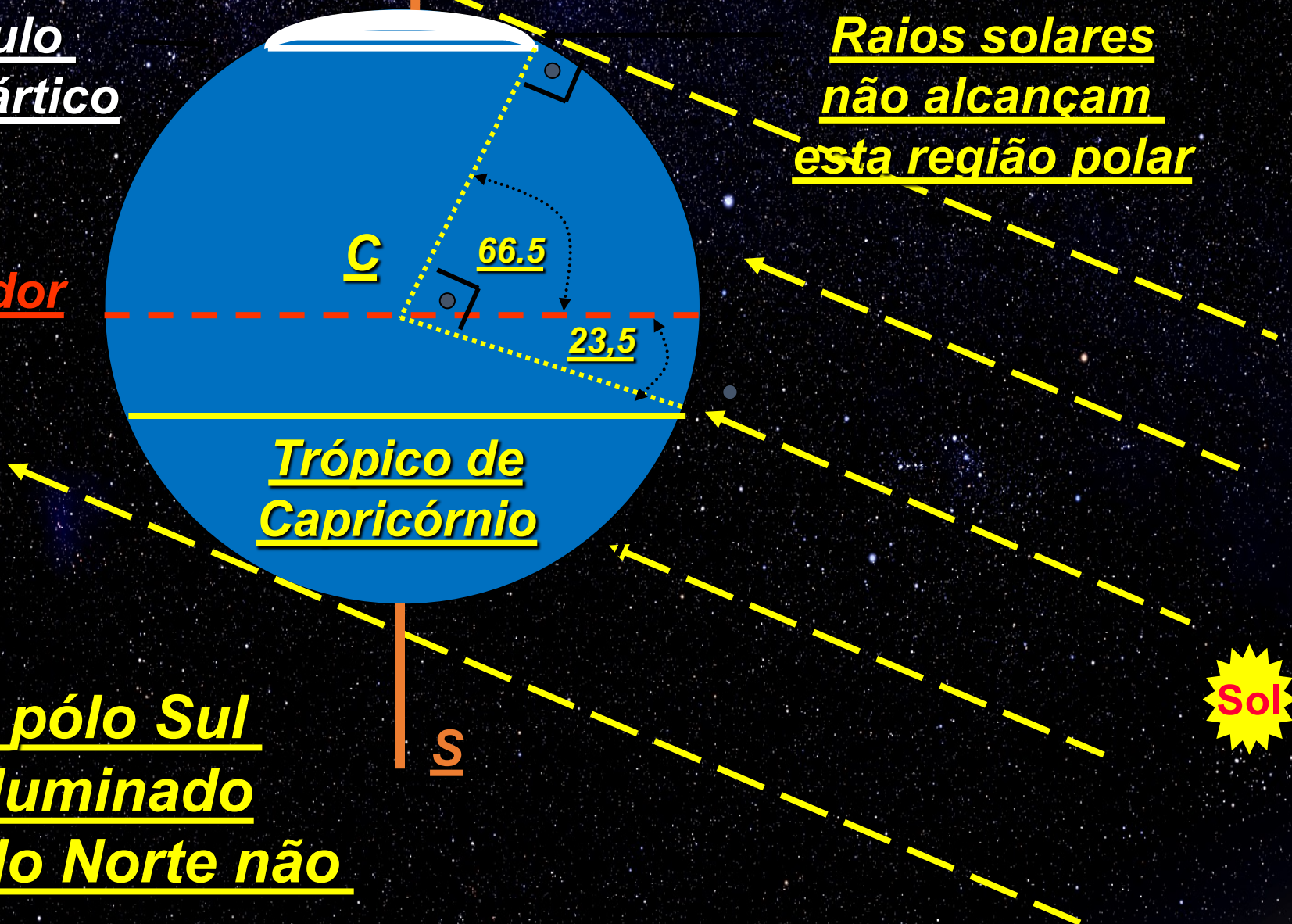
Trópico de Capricórnio

- O pólo Sul é iluminado

S

Sol

- O pólo Norte não



Declinação magnética

Declinação magnética (δ_M):
É o ângulo entre a direção do ponto cardinal norte e a direção norte indicada pela bússola
(δ_M depende do lugar e da época)

Tabela das declinações magnéticas

λ_1, ϕ_1 δ_M^1

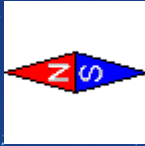
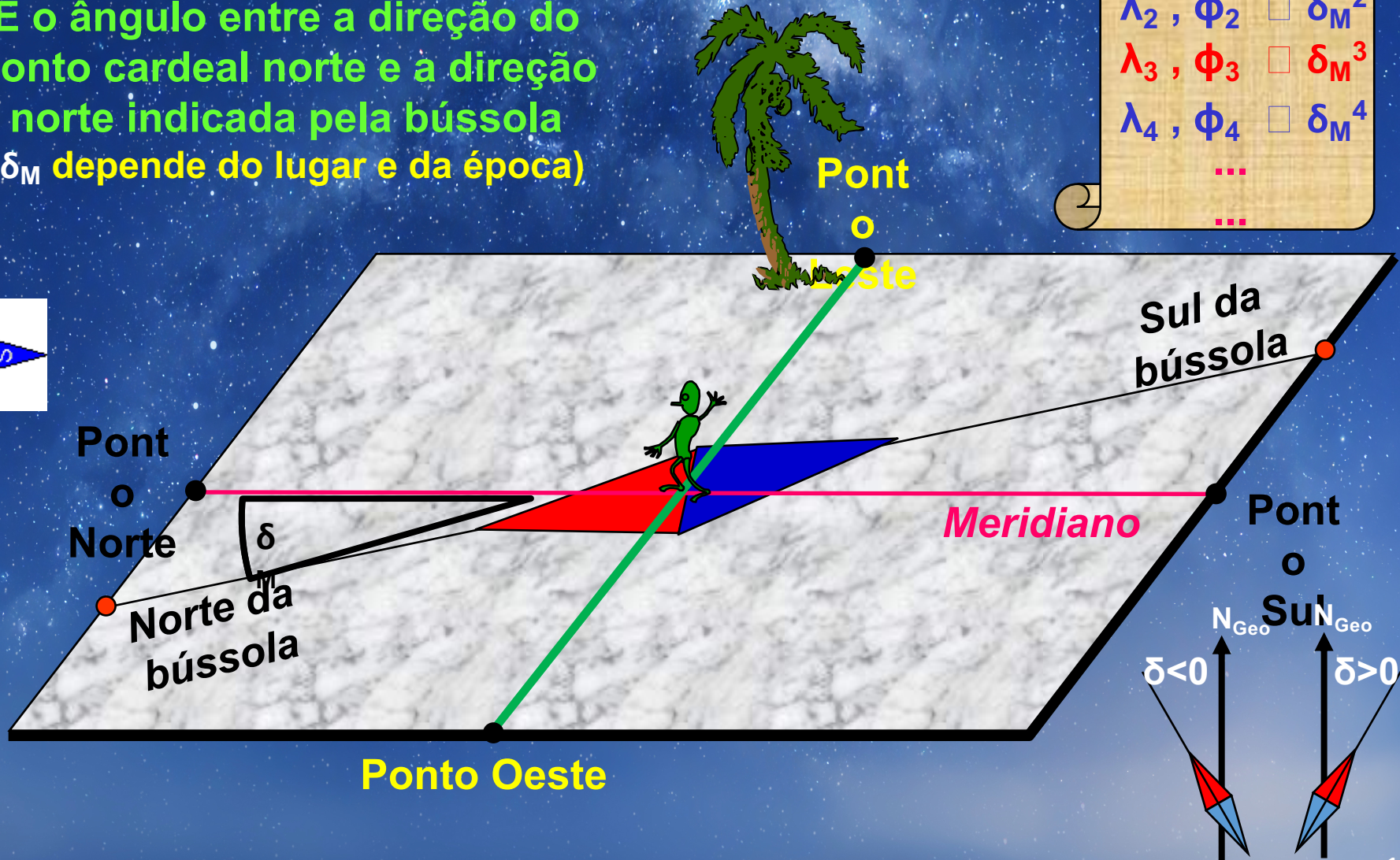
λ_2, ϕ_2 δ_M^2

λ_3, ϕ_3 δ_M^3

λ_4, ϕ_4 δ_M^4

...

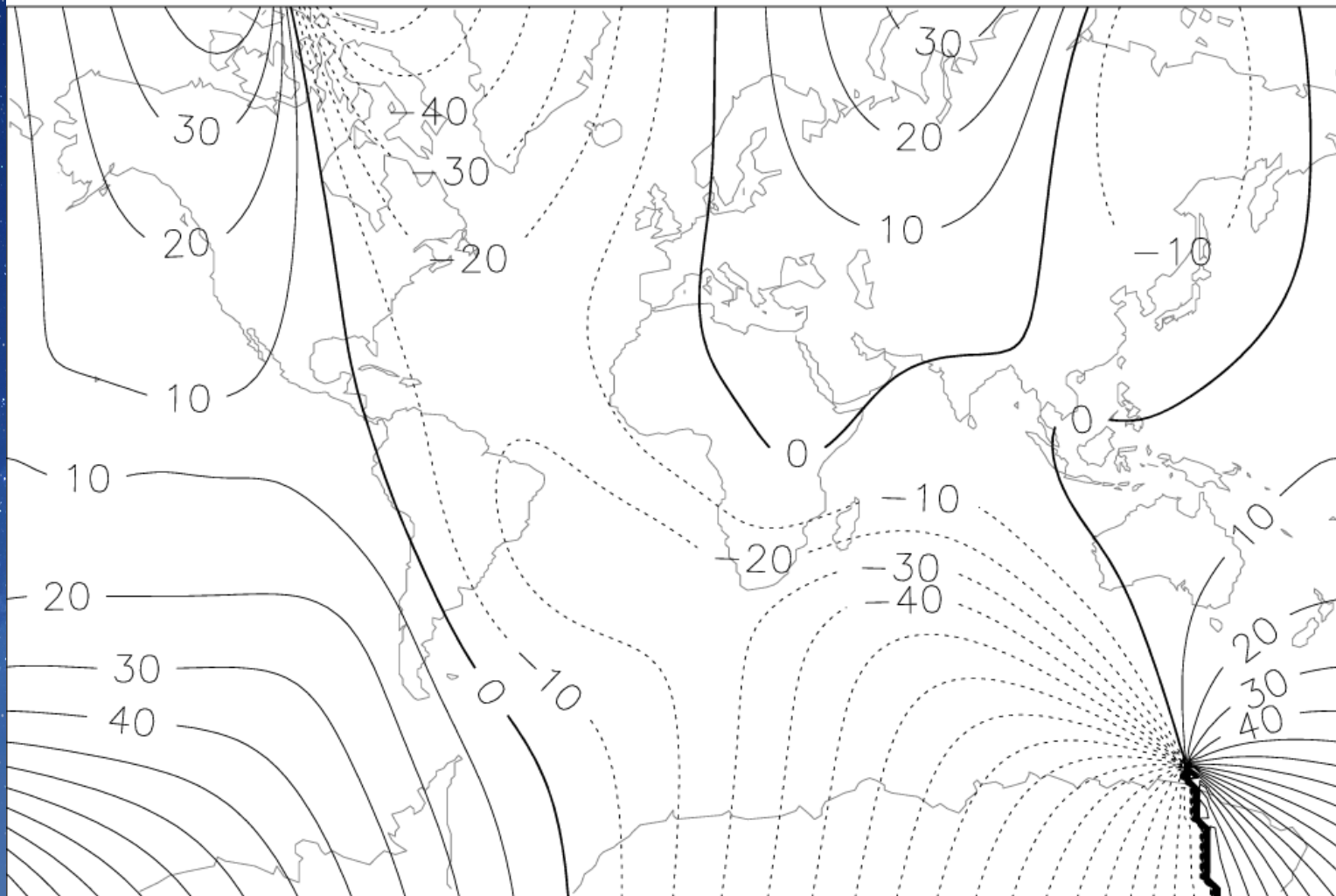
...



Declinação magnética

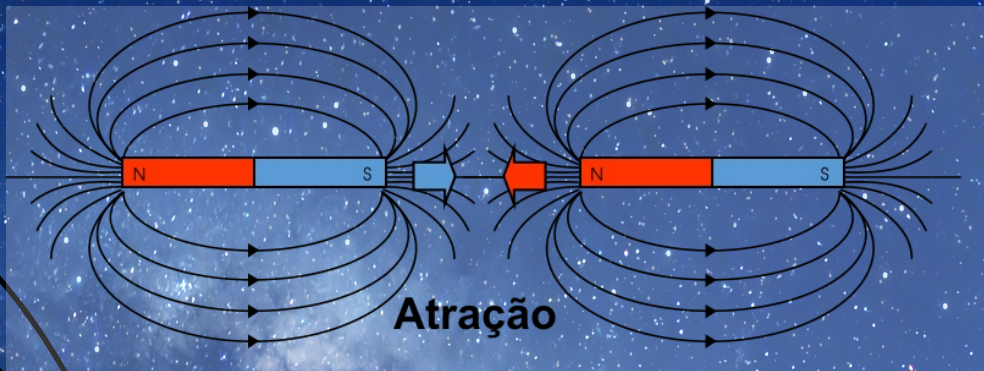
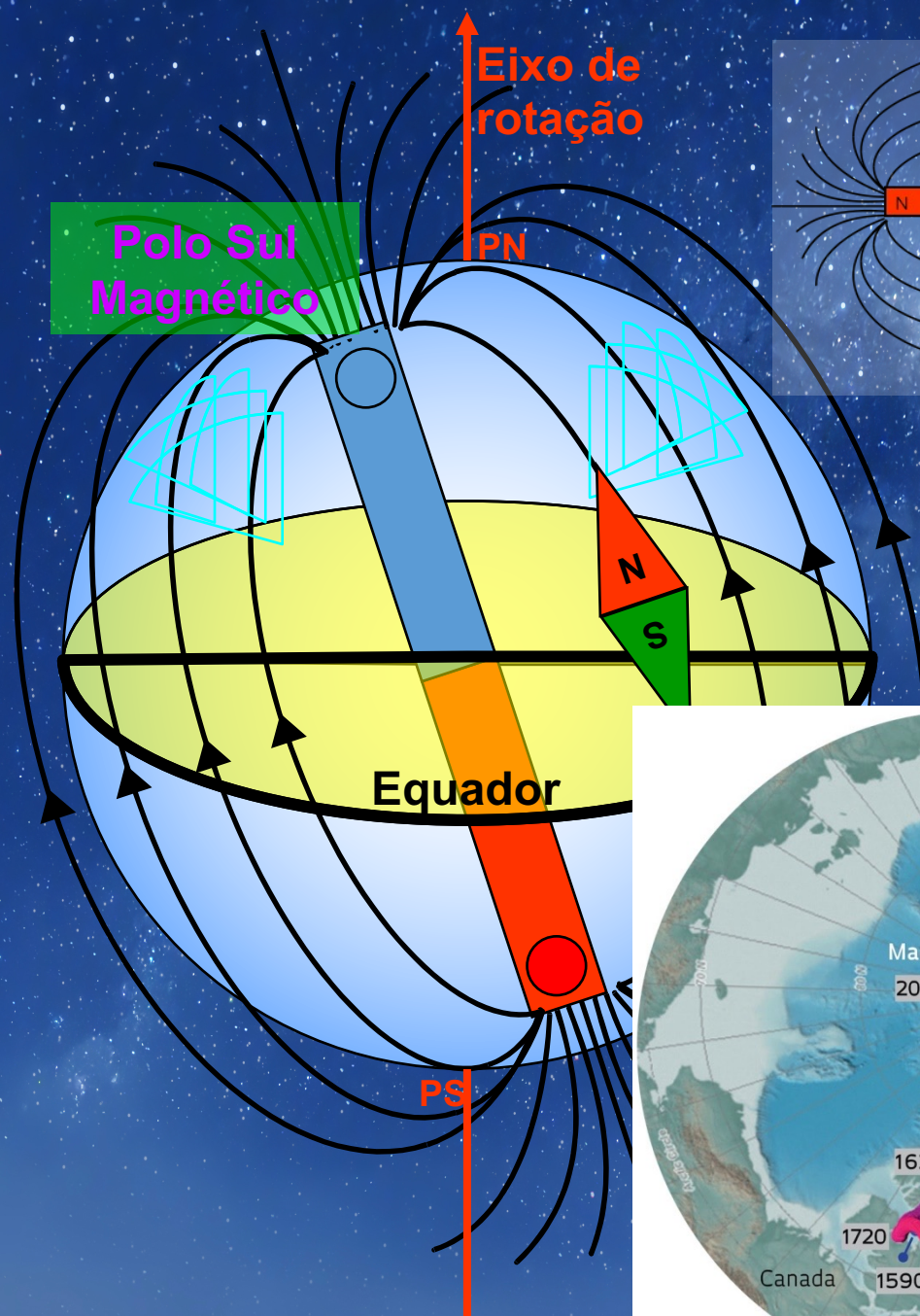
2000

Declination (degrees east)



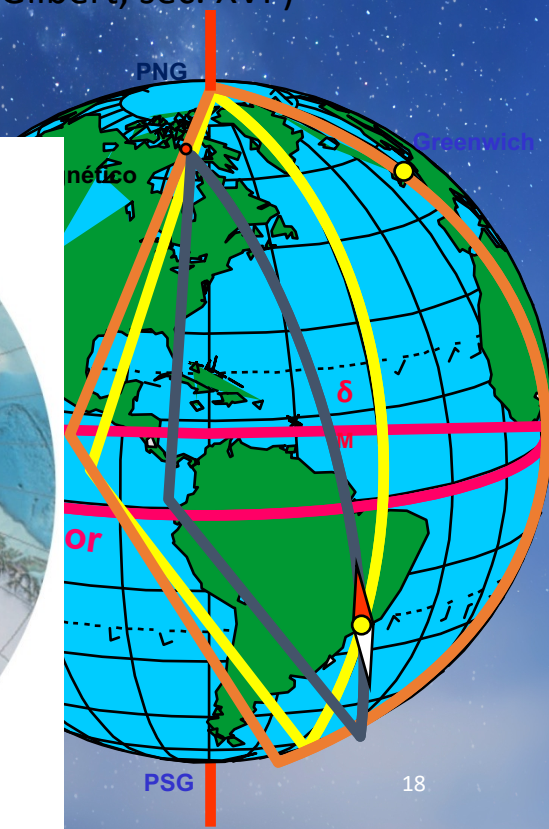
<http://geomag.usgs.gov>

International Geomagnetic Reference Field (IGRF)



Ímã Terra

(W. Gilbert, séc. XVI)



Pólos geográficos e magnéticos

Em 2018, o polo N geomag. está localizado em latitude 80,5 N e longitude 73,0 O, enquanto o polo S geomag. está localizado em latitude 80,5 S e longitude 107,0 L.

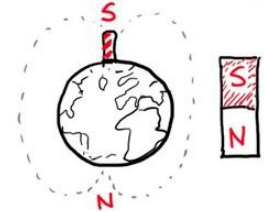
8 FACTS ABOUT THE MAGNETIC NORTH POLE



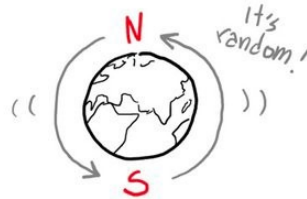
It TILTS 11 degrees OFF the Spin axis of the EARTH.



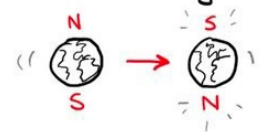
The **NORTH** POLE is actually the **MAGNETIC SOUTH**



The **NORTH** and **SOUTH** poles **REVERSE** every 0.1-50 Million Years



The **LAST** time the poles flipped was **780,000** years ago.



The direction is determined by the **MOTION** of the Earth's molten **CORE**



The **NORTH** POLE is slowly **DRIFTING** towards **SIBERIA** ...



JORGE CHAM © 2019

And it's getting weaker. It was twice as strong in **ROMAN TIMES** than it is today.

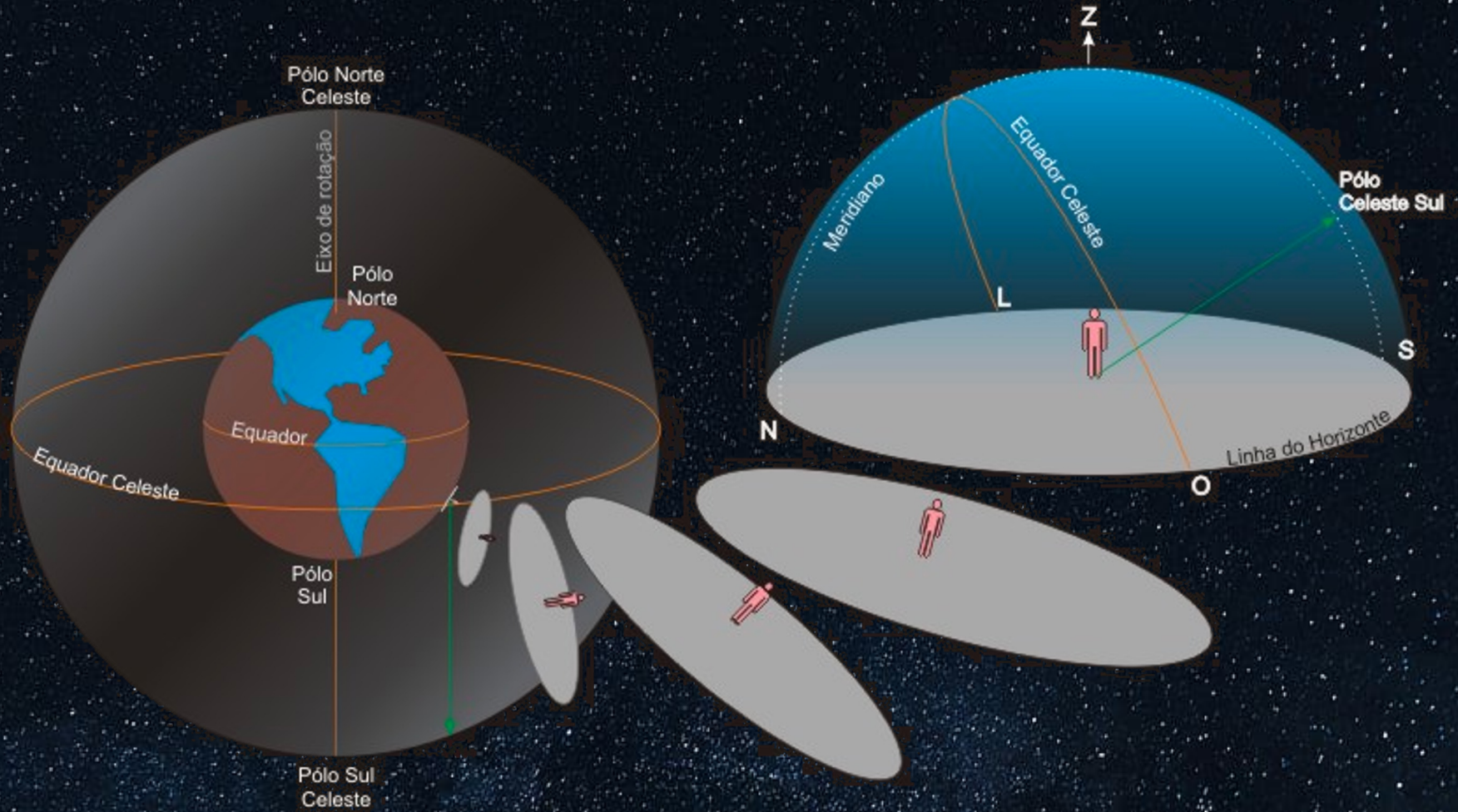


Not all planets have a magnetic field. Ours may one day **DISAPPEAR**.



Sistemas de Coordenadas Horizontal (Altazimutal)

Sistemas de Coordenadas Horizontal



Sistema topocêntrico

Definições

Zênite (local):

Ponto de interseção entre a normal ao Horizonte e a esfera celeste.

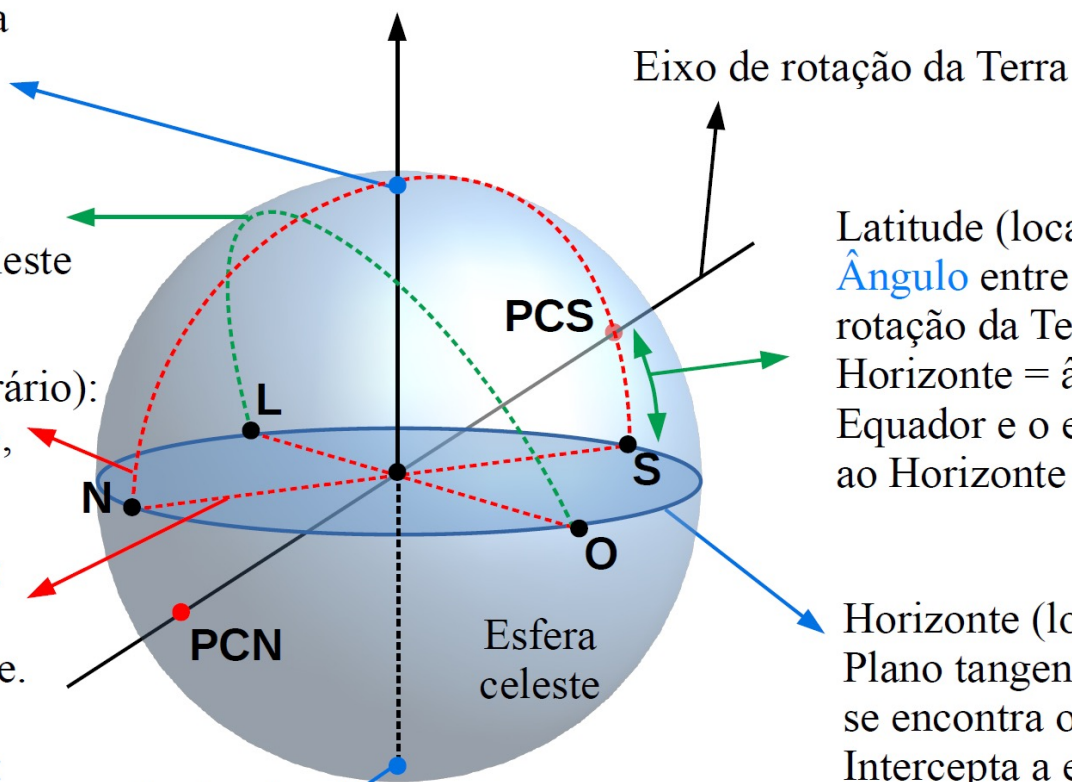
Equador celeste: projeção do Equador terrestre na esfera celeste

Meridiano local (ou círculo horário): **meridiano** que contém o Zênite, o ponto N e o Polo Celeste

Pontos cardeais (locais) N e S: Pontos de interseção entre o Meridiano local e o Horizonte.

Pontos cardeais (locais) L e O: Interseção entre o Equador celeste e o Horizonte

Nadir (local): **Ponto** diametralmente oposto ao Zênite.



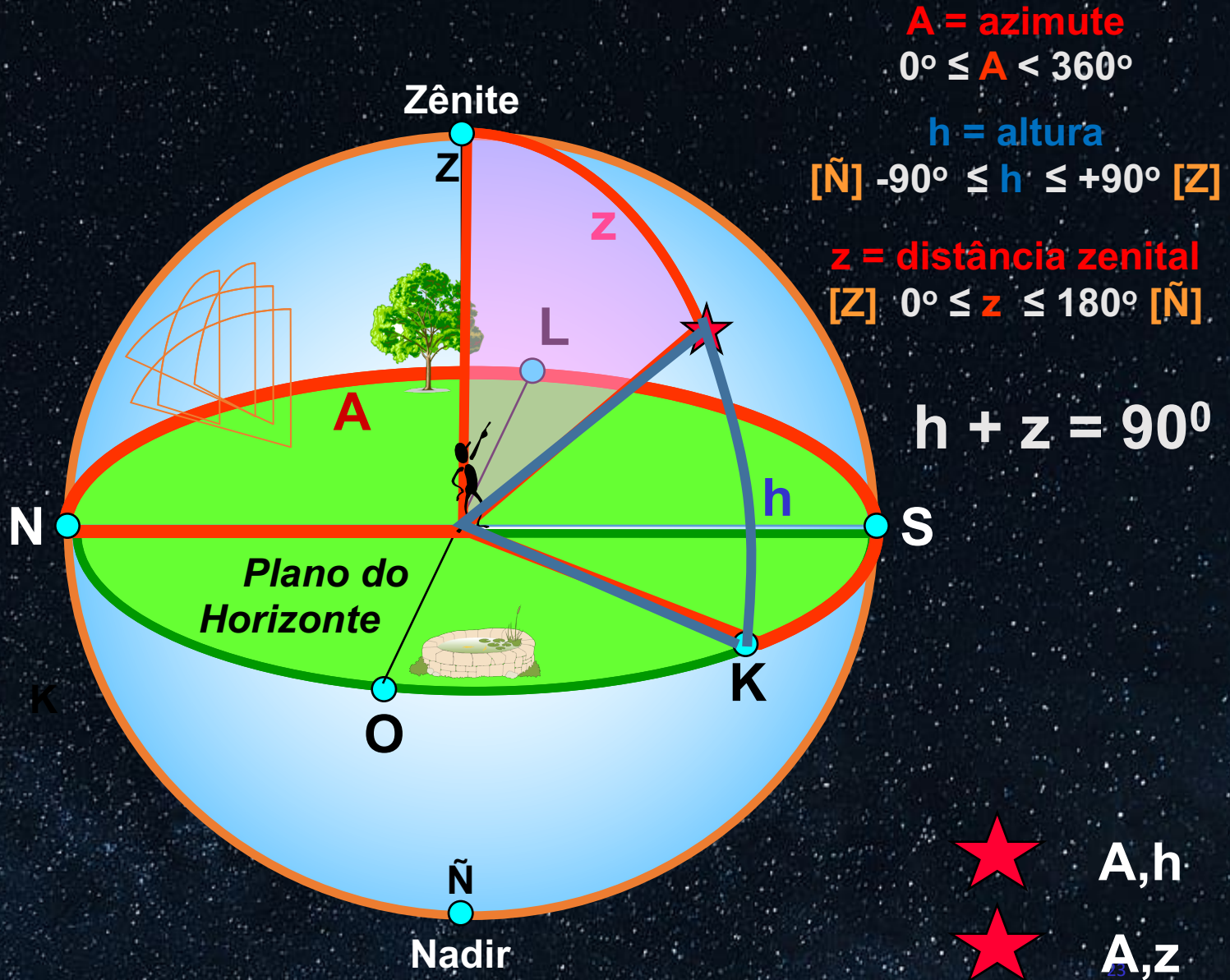
Latitude (local):

Ângulo entre o eixo de rotação da Terra e o Horizonte = ângulo entre o Equador e o eixo vertical ao Horizonte

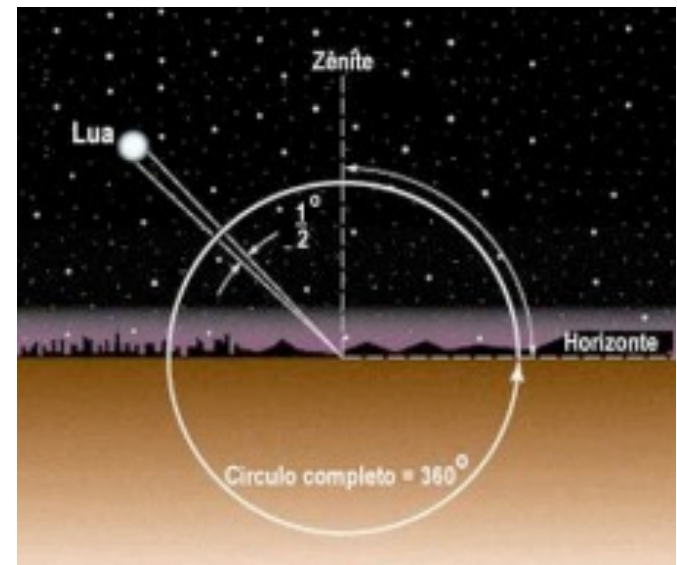
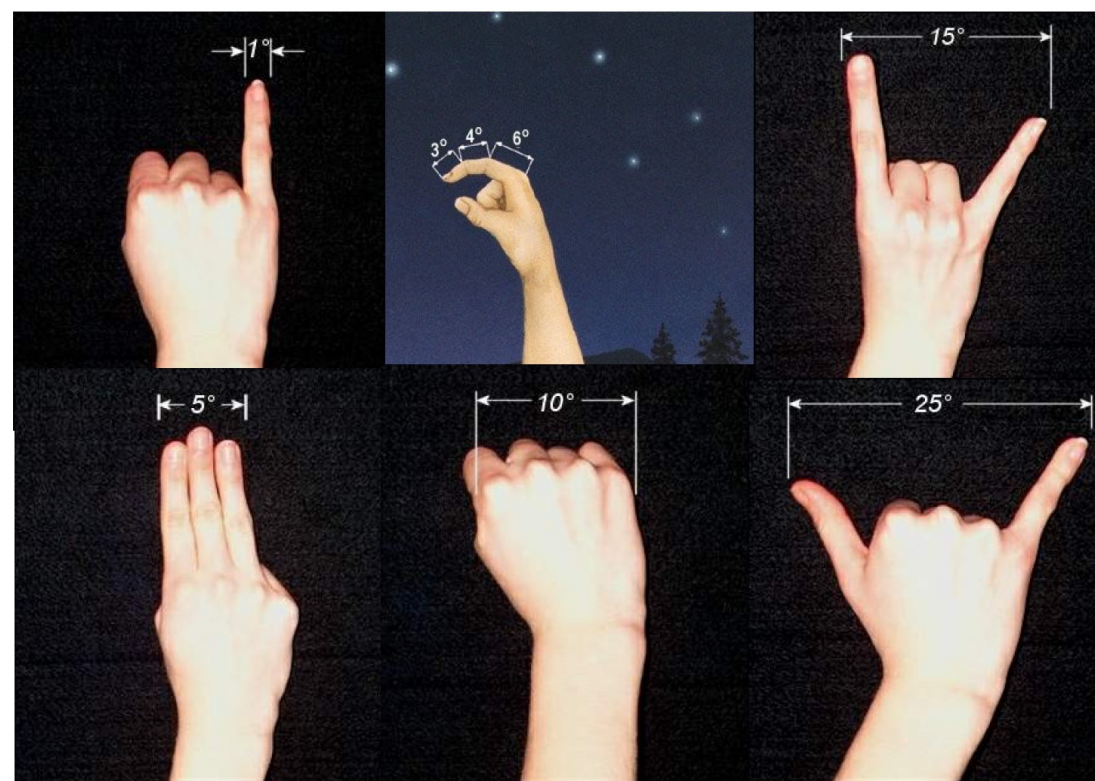
Horizonte (local):

Plano tangente à Terra onde se encontra o observador. Intercepta a esfera celeste (linha do horizonte) em um **círculo maior**.

Coordenadas Horizontais



Ângulos e intervalos de tempo



Ângulos: $\pi = 180^\circ$
 $1^\circ = 60' = 3600''$

Tempo: $1 \text{ h} = 60 \text{ min} = 3600 \text{ s}$

Por que a Terra gira em 24 horas,

$\Rightarrow 24 \text{ h} \leftrightarrow 360^\circ$

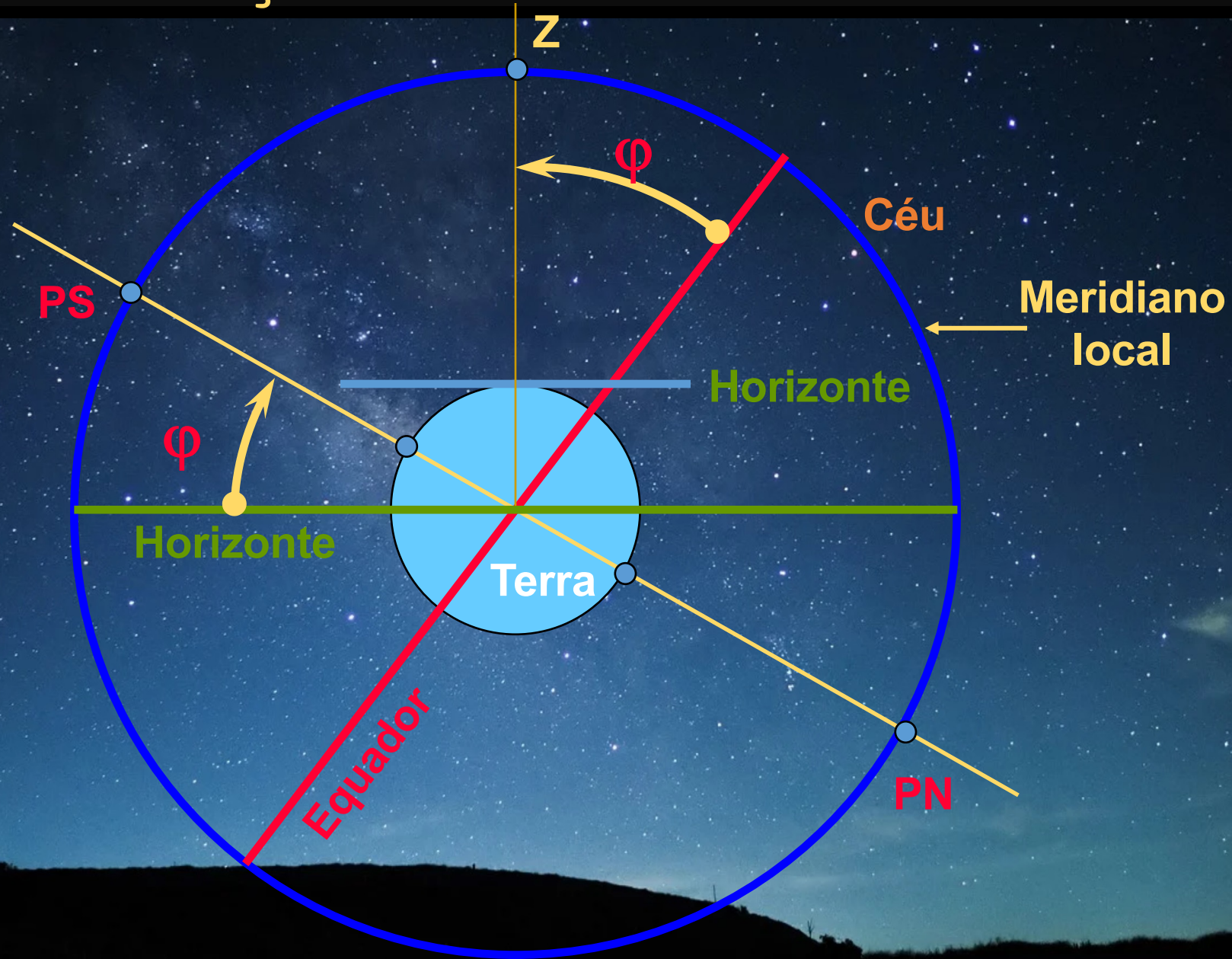
\Rightarrow

$1 \text{ h} \leftrightarrow 15^\circ$

$1 \text{ min} \leftrightarrow 15'$

$1 \text{ s} \leftrightarrow 15''$

Relação Altura-Latitude



Determinação do meridiano

Sombra mínima

Gnômon
(Relógio de Sol)

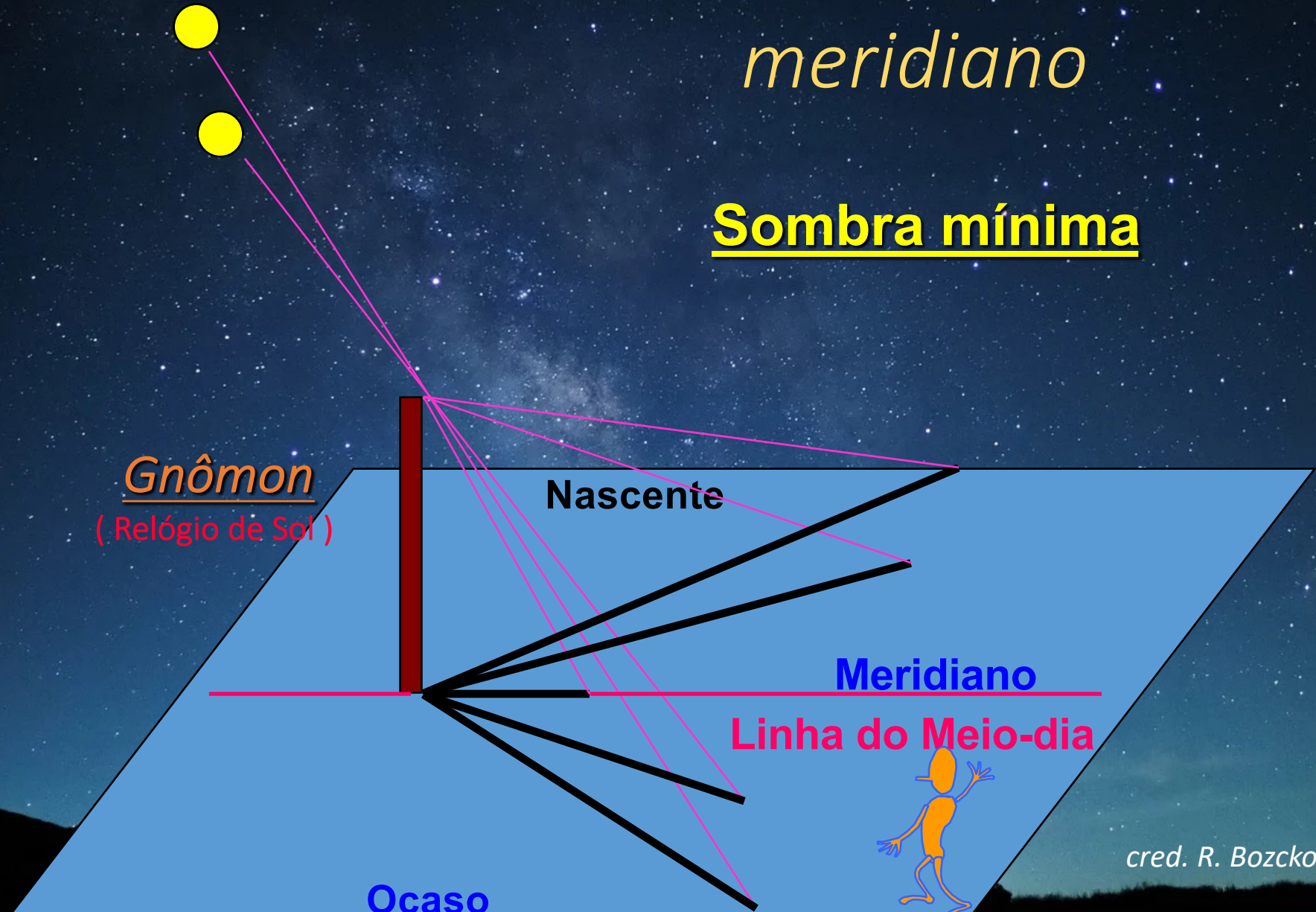
Nascente

Meridiano

Linha do Meio-dia

Ocaso

cred. R. Bozcko



Meridiano Local

(círculo meridiano)

Zênite

Ponto Leste

Nascente

Ponto Norte

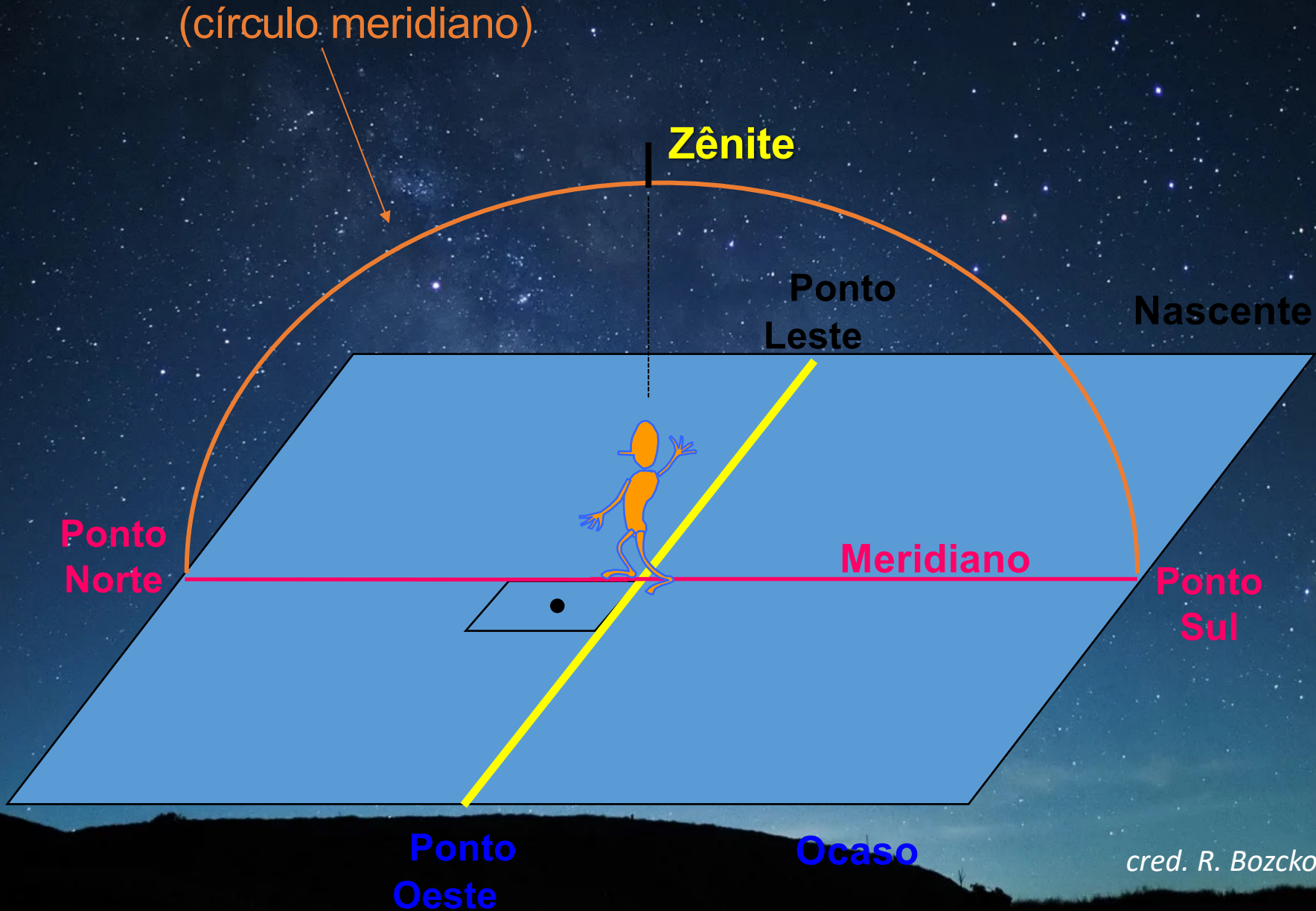
Meridiano

Ponto Sul

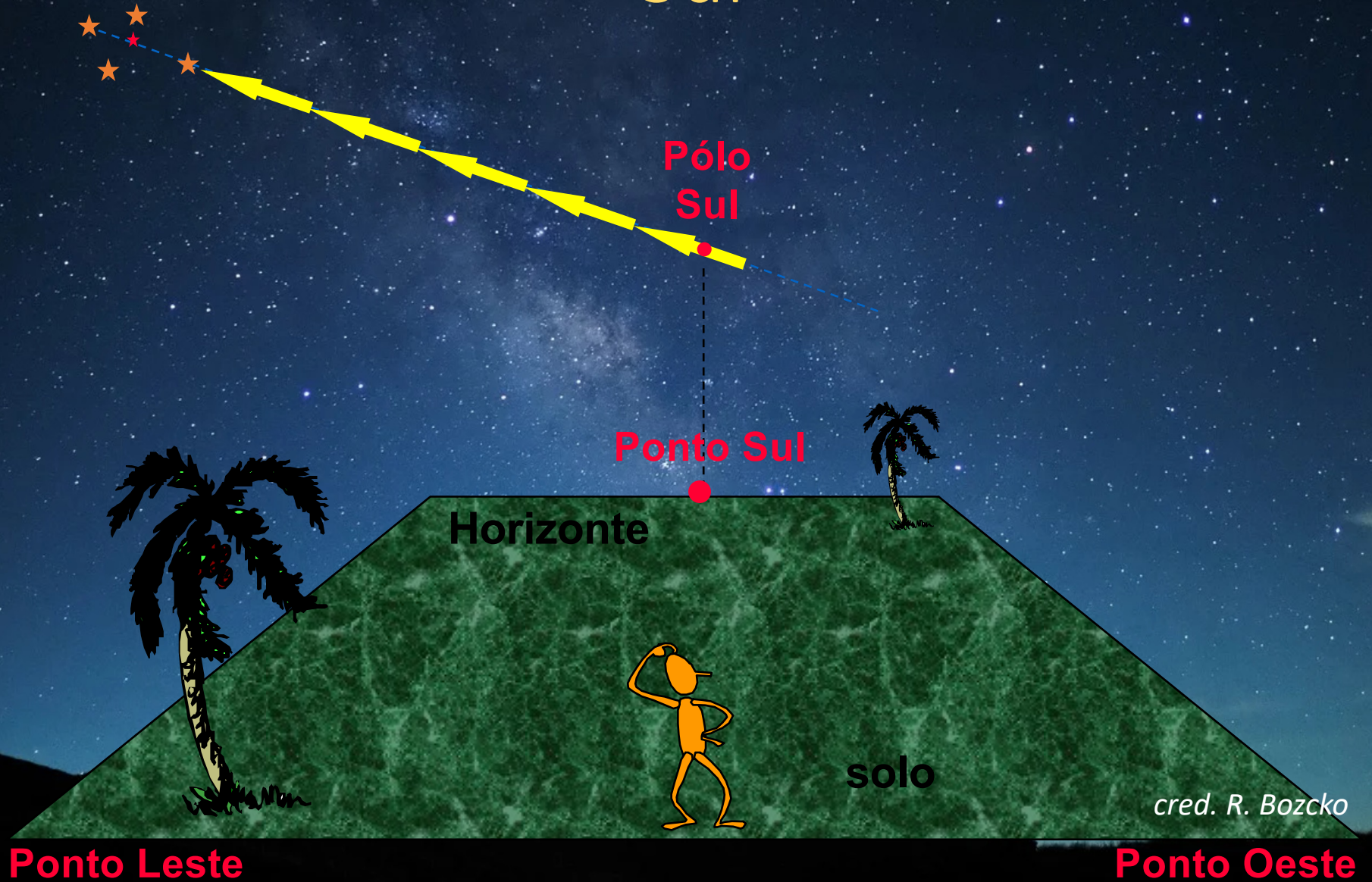
Ponto Oeste

Ocaso

cred. R. Bozcko

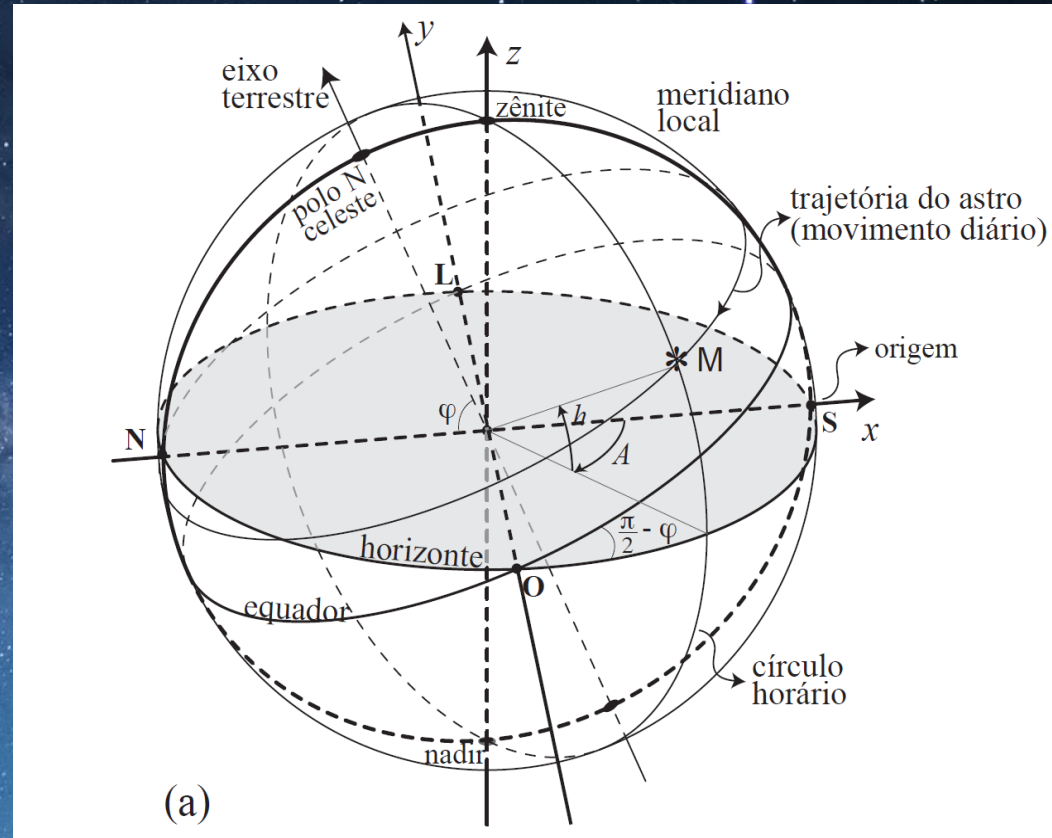


Pontos cardeais a partir do Cruzeiro do Sul



Algumas considerações

- Azimute pode ser definido partindo do sul ou do norte: questão de convenção
- Simples de ser definido, mas de difícil utilização: as coordenadas de um astro variam com o tempo devido sobretudo ao movimento diário (rotação da Terra).



Sistemas de Coordenadas Equatoriais

Sistema Equatorial de Coordenadas

O ponto γ é a referência para se medir a ascensão reta α

$$0^{\circ} \leq \alpha < 360^{\circ}$$

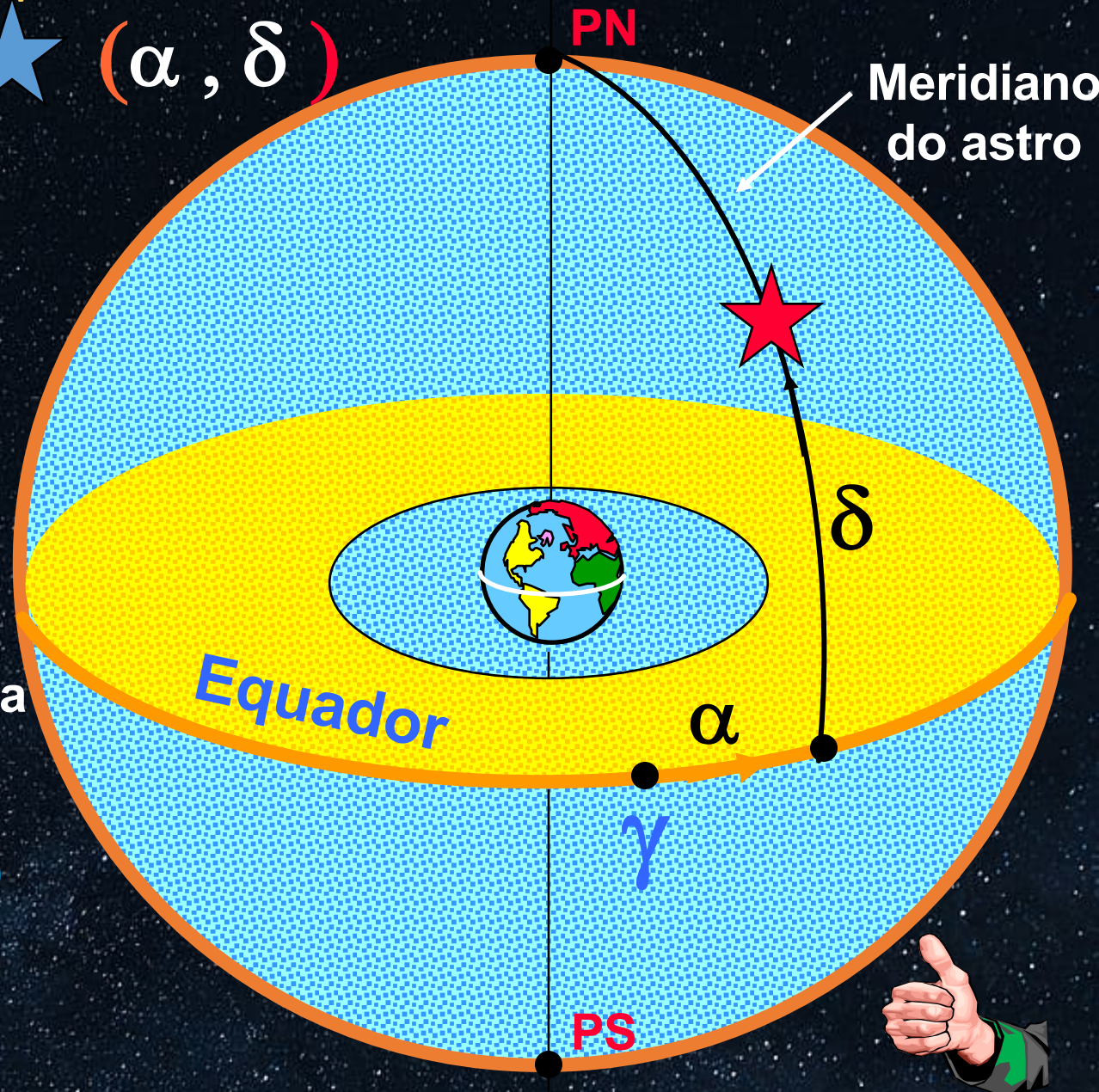
$$0^{\text{h}} \leq \alpha < 24^{\text{h}} \quad (1 \text{ h} \equiv 15^{\circ})$$

A declinação δ é medida a partir do Equador Celeste

$$(S) -90^{\circ} \leq \delta \leq +90^{\circ} (N)$$

Onde está o ponto γ ?

★ (α, δ)



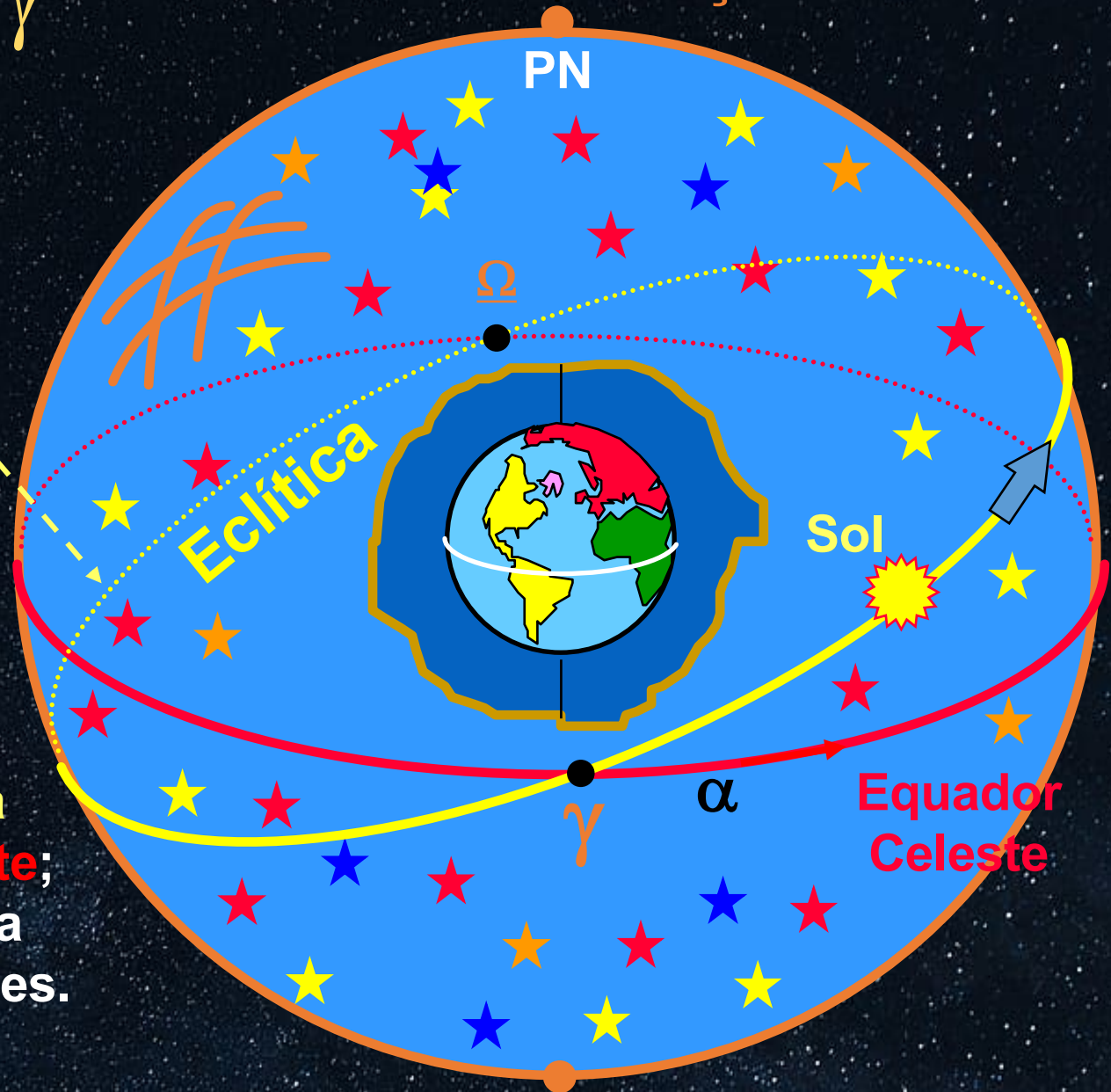
O ponto γ

Eixo de rotação

PN

Eclíptica:
trajetória anual
aparente
do Sol

O ponto γ é o
cruzamento dos
planos da **eclíptica**
e do **equador celeste**;
atualmente está na
constelação de peixes.



Quiz

1) Quanto vale:

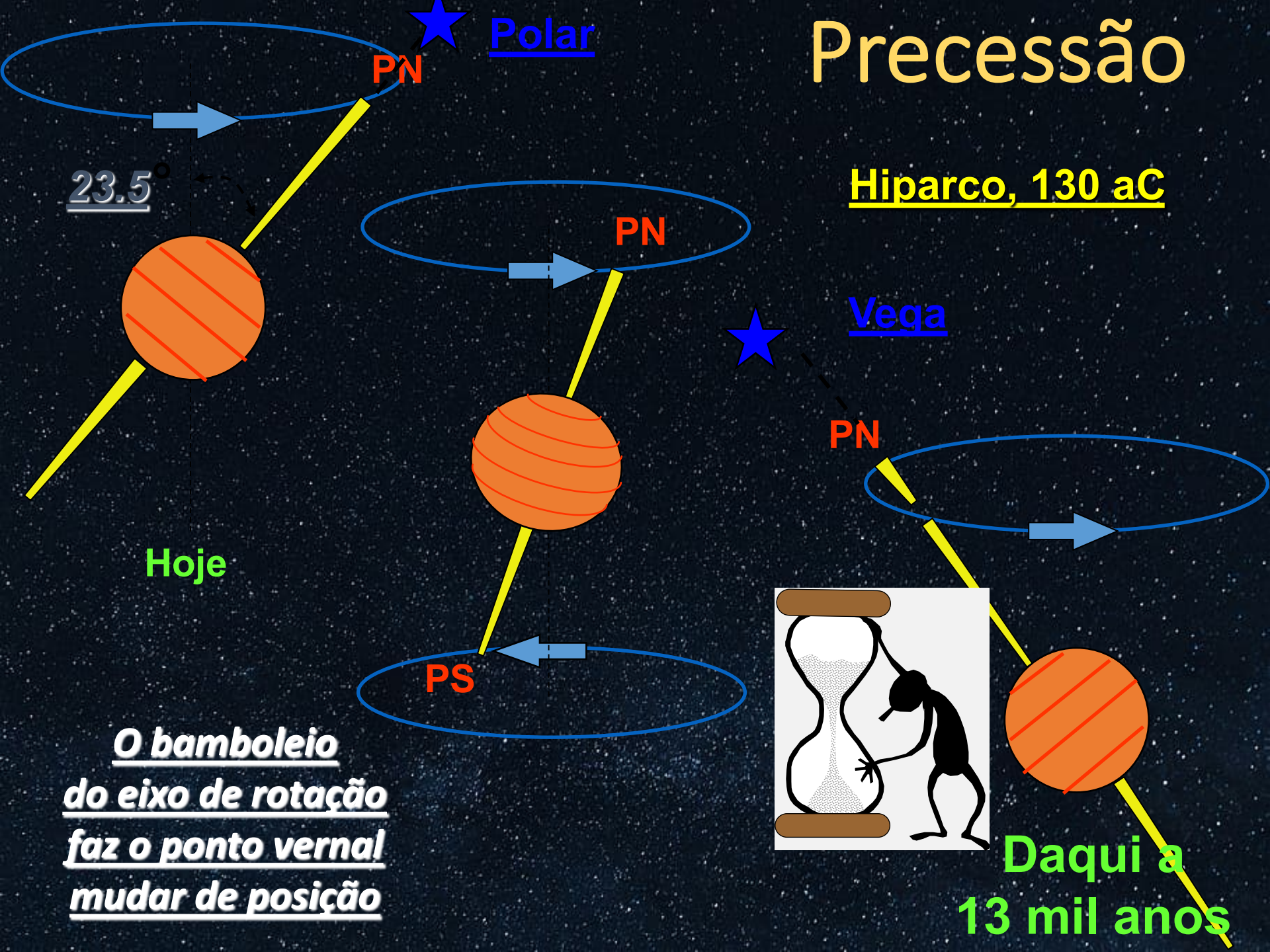
- A declinação do equador ?
- A declinação do pólo norte celeste ?

2) Quantas vezes por ano o Sol passa pelo Zênite da cidade de São Carlos, sendo sua latitude de aproximadamente 22 graus sul?

Precessão

Hiparco, 130 aC

Vega



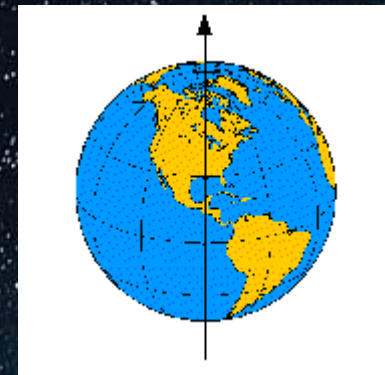
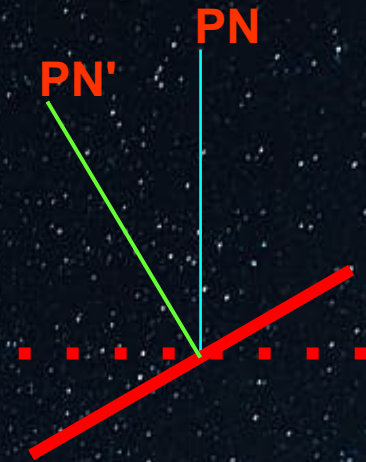
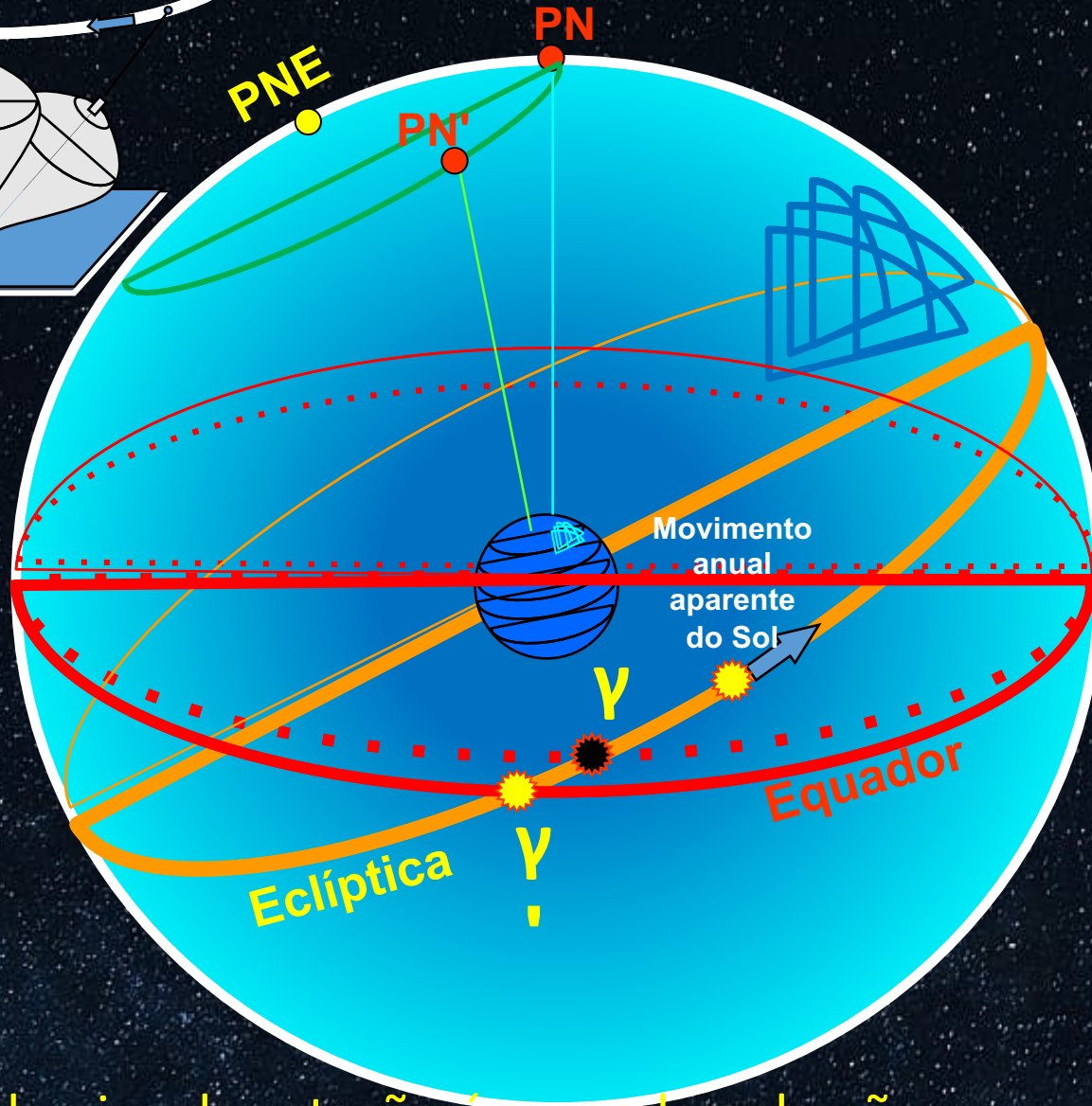
23.5

Hoje

O bamboleio do eixo de rotação faz o ponto vernal mudar de posição

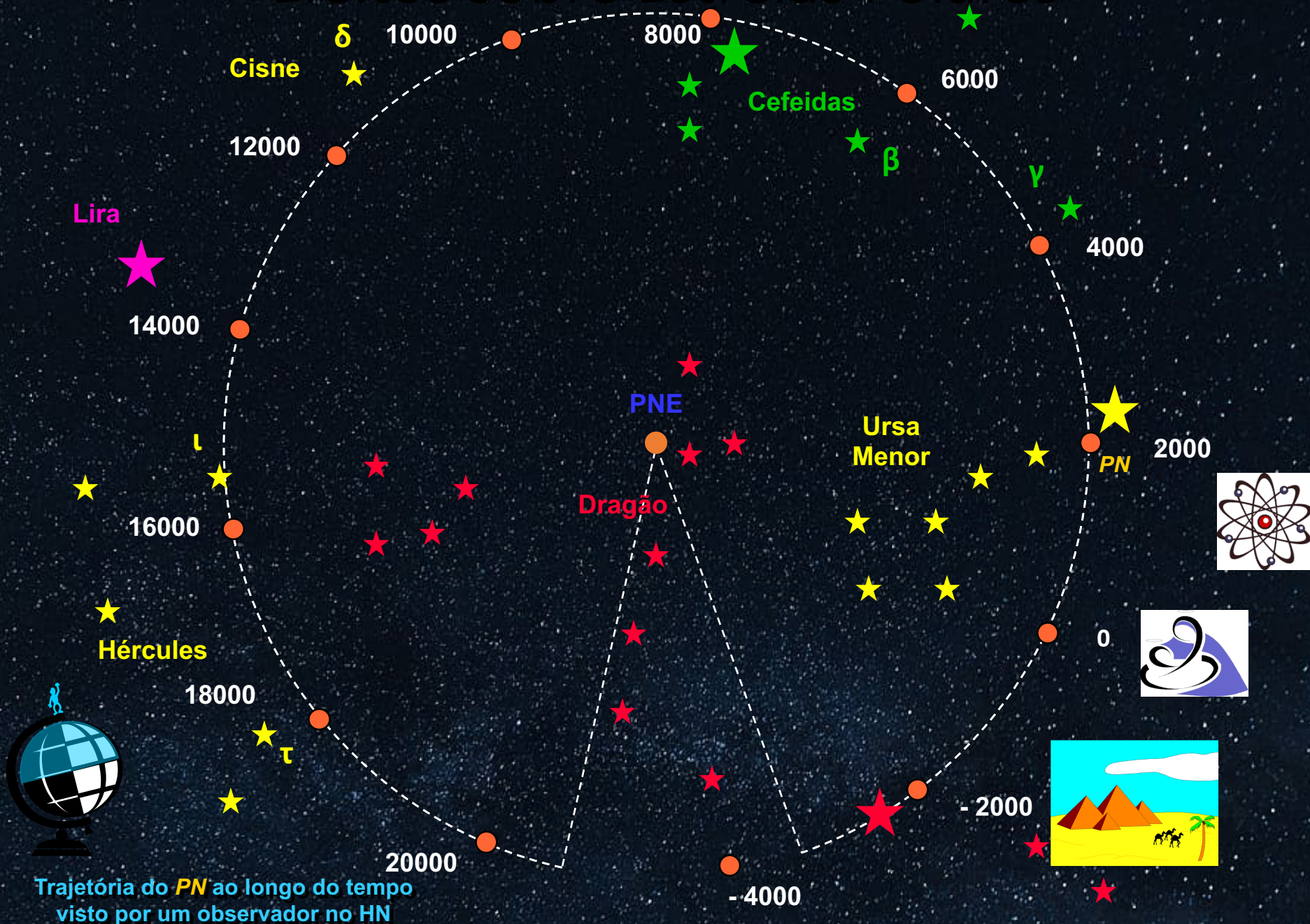
Daqui a 13 mil anos

Precessão dos equinócios



A precessão do eixo de rotação é causada pela não esfericidade da Terra

Efeitos sobre Estrelas Polares



Precessão: a medida

$$\text{Período: } 25.770 \text{ anos} \rightarrow \frac{360^\circ}{25.770} = 50,29 \text{ "/ano}$$

- pequeno, mas percebido por Hiparco 129 aC:
- Ele media que a estrela Spica estava a 6 graus do ponto vernal, mas Timocharis havia medido 8 graus em 273 aC.
- Assim, o ponto vernal tinha se deslocado 2 graus em 144 anos, logo,

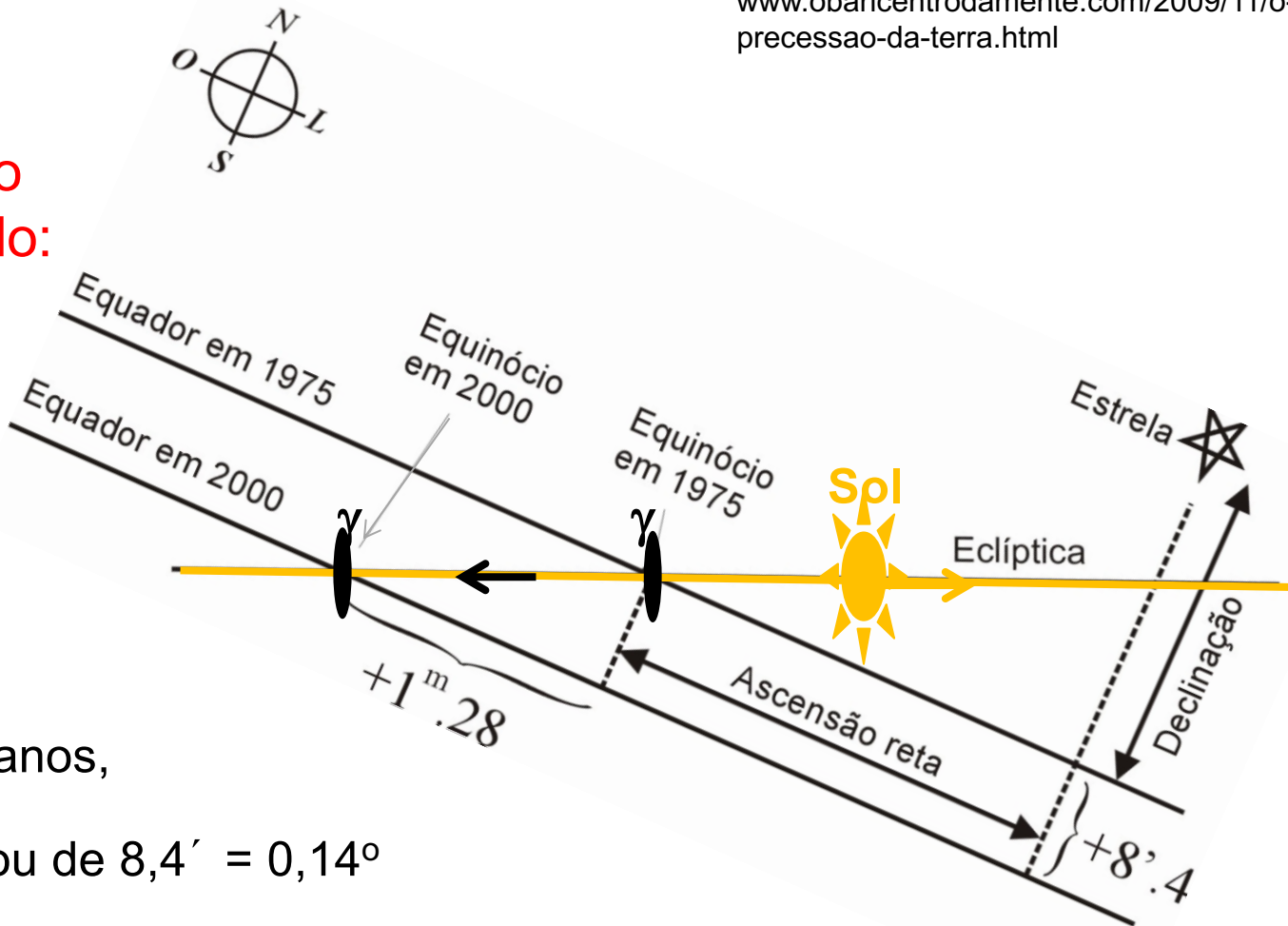
$$\begin{array}{l} 2^\circ \longrightarrow 144 \\ 360^\circ \longrightarrow \Omega \end{array} \longrightarrow \Omega = 25.920 \text{ anos}$$

Pto Vernal (pto gama, ou ponto de Áries): cruzamento do Equador com a Eclítica, escolhido como referência para se medir ângulo (ascensão reta) sobre o Equador. É o ponto dos Equinócios (hoje em Peixes), daí também o termo **precessão dos Equinócios.**

A Precessão é retrógrada

www.obaricentrodamente.com/2009/11/o-movimento-de-precessao-da-terra.html

Um cálculo aproximado:



Em 25 anos,

δ aumentou de $8,4' = 0,14^\circ$

α aumentou de $1,28\text{min} = 0.0213\text{hora} = 0,32^\circ$

Então, 360° corresponderá ao período de precessão $\rightarrow \sim 25.770$ anos

Precessão

Em (1), o Sol está no ponto γ .

Ano sideral: tempo para o Sol voltar na mesma estrela em E_1 , $365\text{d } 6\text{h } 9' 10''$.

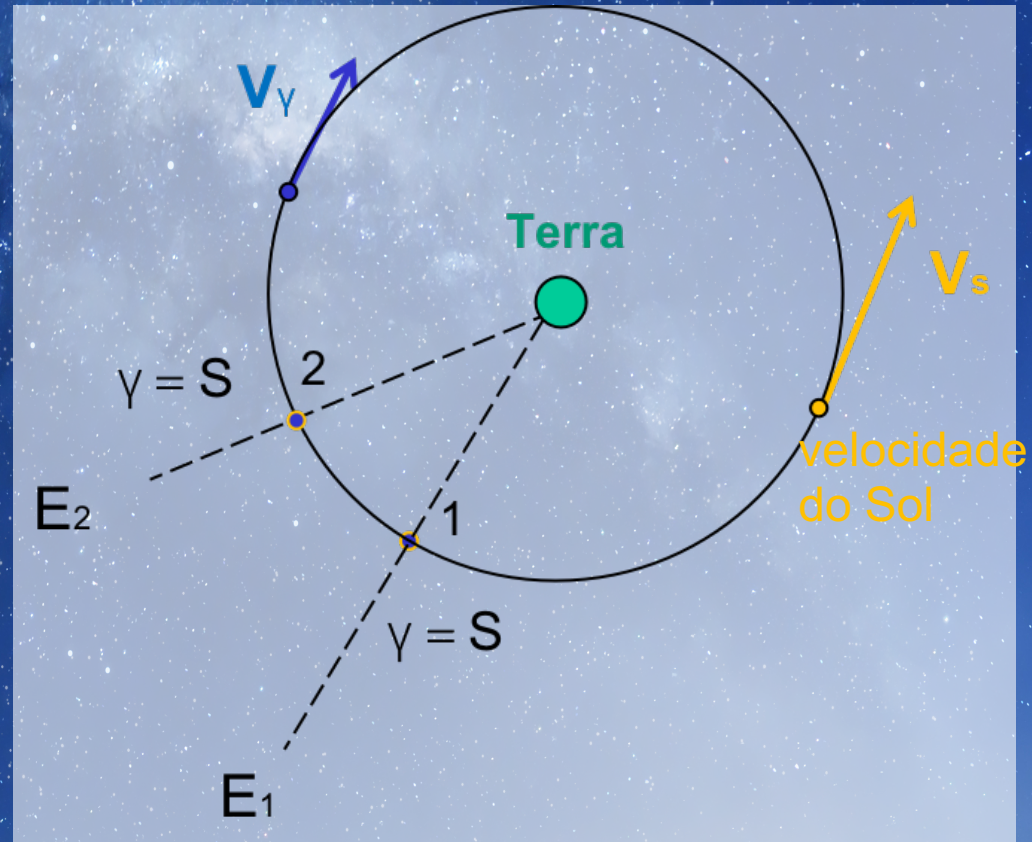
O ponto γ retrocede $50''$ /ano
-> antecipação dos equinócios,
logo, o Sol encontra γ em E_2 .

Ano trópico: tempo para o Sol voltar no ponto γ , que estará em (2), $365\text{d } 5\text{h } 48' 46''$.

Logo, o ano trópico é mais curto que o sideral:

$50'' \rightarrow 0,0139^\circ$

$360^\circ \rightarrow 365,2564$ dias



$50'' \rightarrow 20$ min $\rightarrow A_{\text{trópico}} = A_{\text{sideral}} - 20$ min

Conclusão

- Causa mudança nas coordenadas equatorial: deslocamento retrógrado do ponto vernal 50,4" por ano na eclíptica, passando por constelações:

<u>Constelação</u>	<u>ano de entrada</u>	<u>ano de saída</u>
<i>Taurus</i>	4500 a.C.	2000 a.C.
<i>Aries</i>	2000 a.C.	100 a.C.
<i>Pisces</i>	100 a.C.	2700 d.C.

- Por isso as coordenadas equatoriais são sempre definidas em uma data específica. Atualmente é comumente usado a data Juliana 2000.0 (J2000.0): meio-dia no meridiano de Greenwich do dia 1 de Janeiro de 2000
- Mudança das coordenadas equatoriais (t em frações de um ano):

$$\Delta\alpha = M + N \sin \alpha \tan \delta$$

$$\Delta\delta = N \cos \alpha,$$

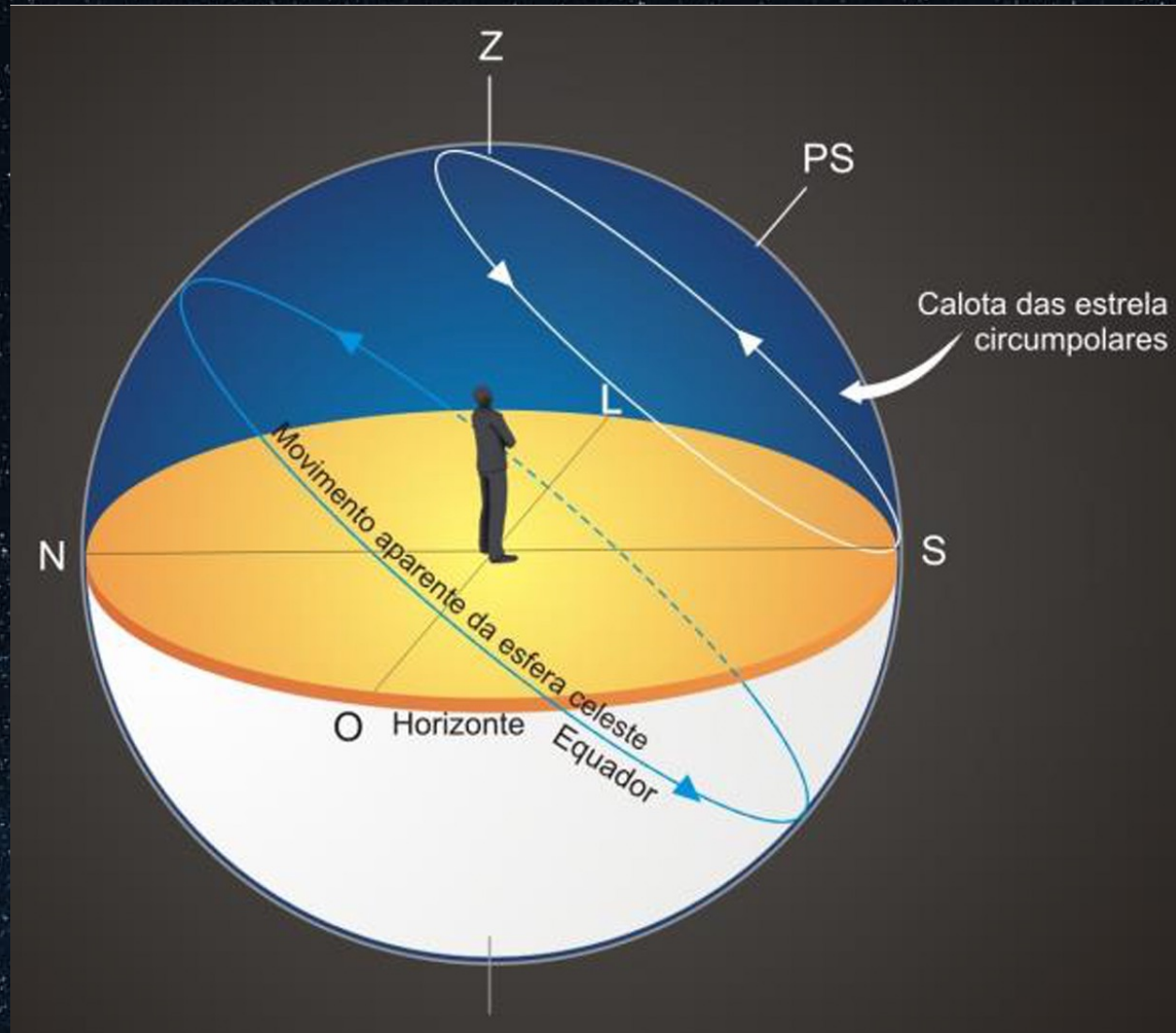
$$M = 1^{\circ}2812323T + 0^{\circ}.0003879T^2 + 0^{\circ}.0000101T^3$$

$$N = 0^{\circ}.5567530T - 0^{\circ}.0001185T^2 - 0^{\circ}.0000116T^3$$

$$T = (t - 2000.0)/100$$

Estrelas circumpolares

Estrelas circumpolares são aquelas que não têm nascer nem ocaso, descrevendo seu círculo diurno completo acima do horizonte.

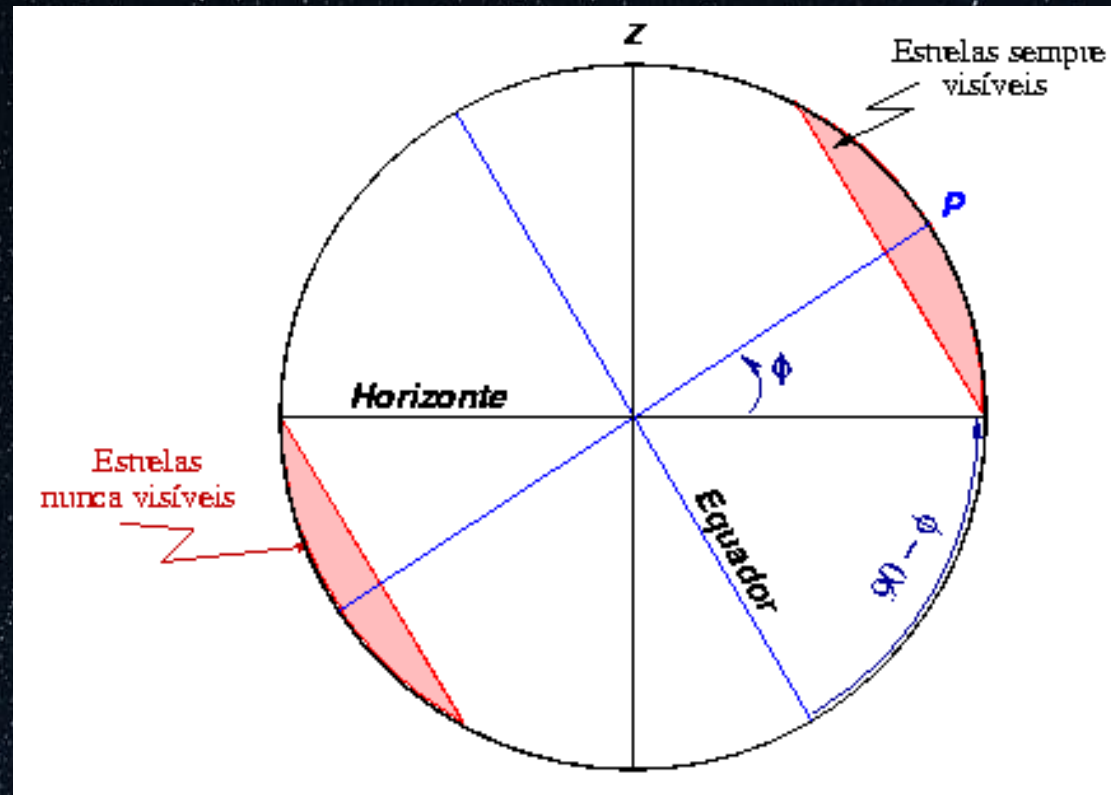


Estrelas circumpolares

Para uma certa estrela com declinação δ ser circumpolar em um lugar de latitude Φ deve se cumprir a relação:

$$|\delta| = 90^\circ - |\Phi|$$

com δ e Φ de mesmo sinal



Sistemas de Coordenadas Equatorial Horário

Sistema Equatorial Horário

Plano Fundamental: o Equador Celeste (cuidado!...é a linha verde)

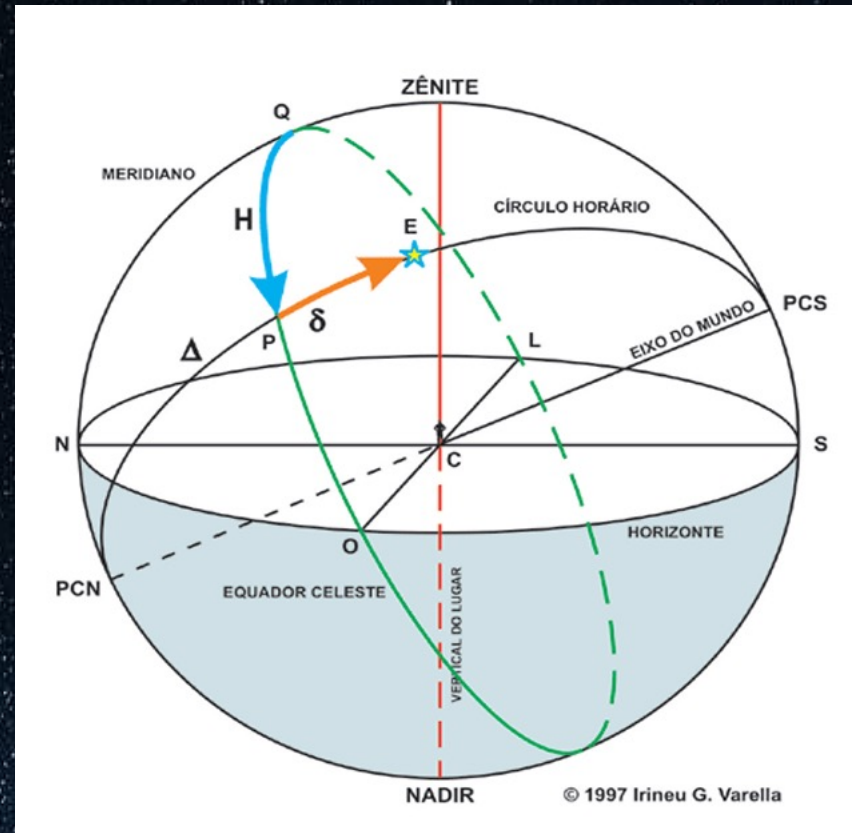
Coordenadas – 2 ângulos: Declinação (δ) e Ângulo Horário (H)

Declinação (δ) ($-90^\circ \leq \delta \leq +90^\circ$)

Ângulo medido sobre o Meridiano do Astro (perpendicular ao equador), c/ origem no equador e extremidade no astro.

Ângulo Horário (H) ($-12h \leq H \leq +12h$) Ângulo medido sobre o equador (linha verde), com origem no meridiano local (linha que passa p/ PCN, PCS e passa pelo Zênite) e extremidade no meridiano do astro, contado a Oeste.

- Sinal negativo (leste do meridiano)
- Sinal positivo (oeste do meridiano)



Atenção: algumas vezes o ângulo horário é definido:
 $0h \leq H \leq 24h$

Quiz

1) Quanto vale:

- A declinação do equador ?
- A declinação do pólo norte celeste ?

2) Num lugar da Terra cuja latitude é 25°S , o sol passa no zênite:

- A. todos os dias, ao meio-dia
- B. todos os dias, mas não exatamente ao meio-dia
- C. apenas durante o verão
- D. apenas duas vêzes por ano
- E. nunca

3) A faixa de latitudes que inclui apenas as regiões da Terra onde o Sol passa a pino (no zênite) alguma vez durante o ano é:

- A. de 30°N a 30°S
- B. de 20°N a 20°S
- C. de $23,5^{\circ}\text{N}$ a $23,5^{\circ}\text{S}$
- D. de $23,5^{\circ}\text{N}$ a 90°N
- E. de $23,5^{\circ}\text{S}$ a 90°S

Intervalos de tempo

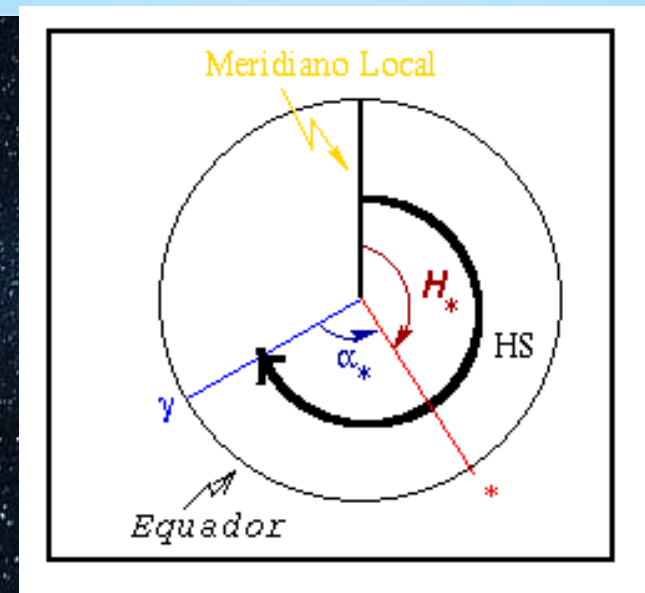
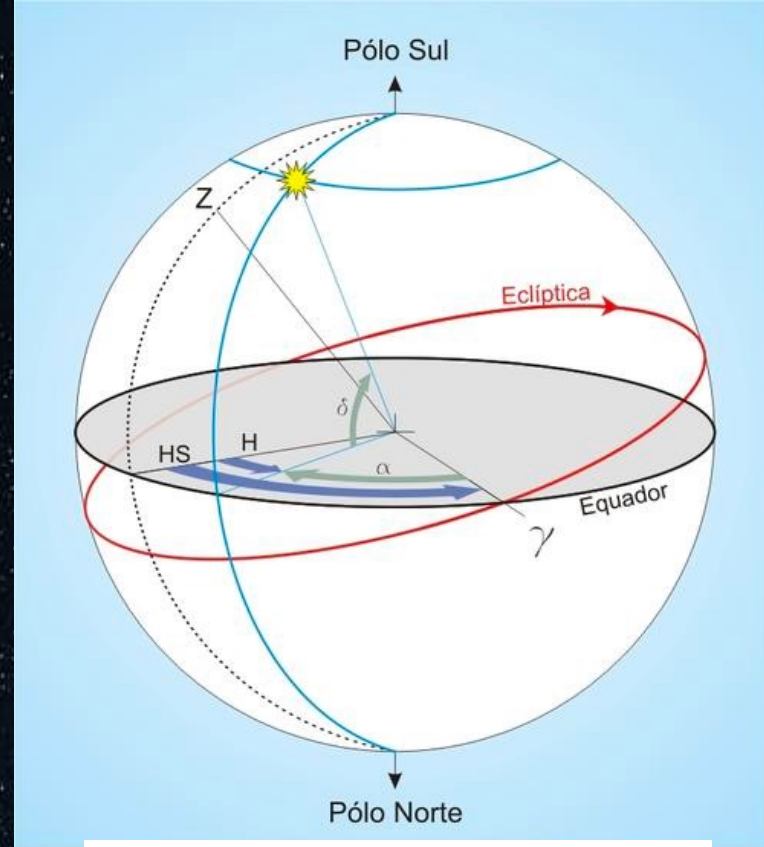
Tempo sideral

O sistema equatorial celeste e o sistema equatorial horário, juntos, definem o conceito de **tempo sideral**.

- **Hora sideral (HS)**: ângulo horário do ponto Áries. Pode ser medida a partir de qualquer estrela, pela relação:

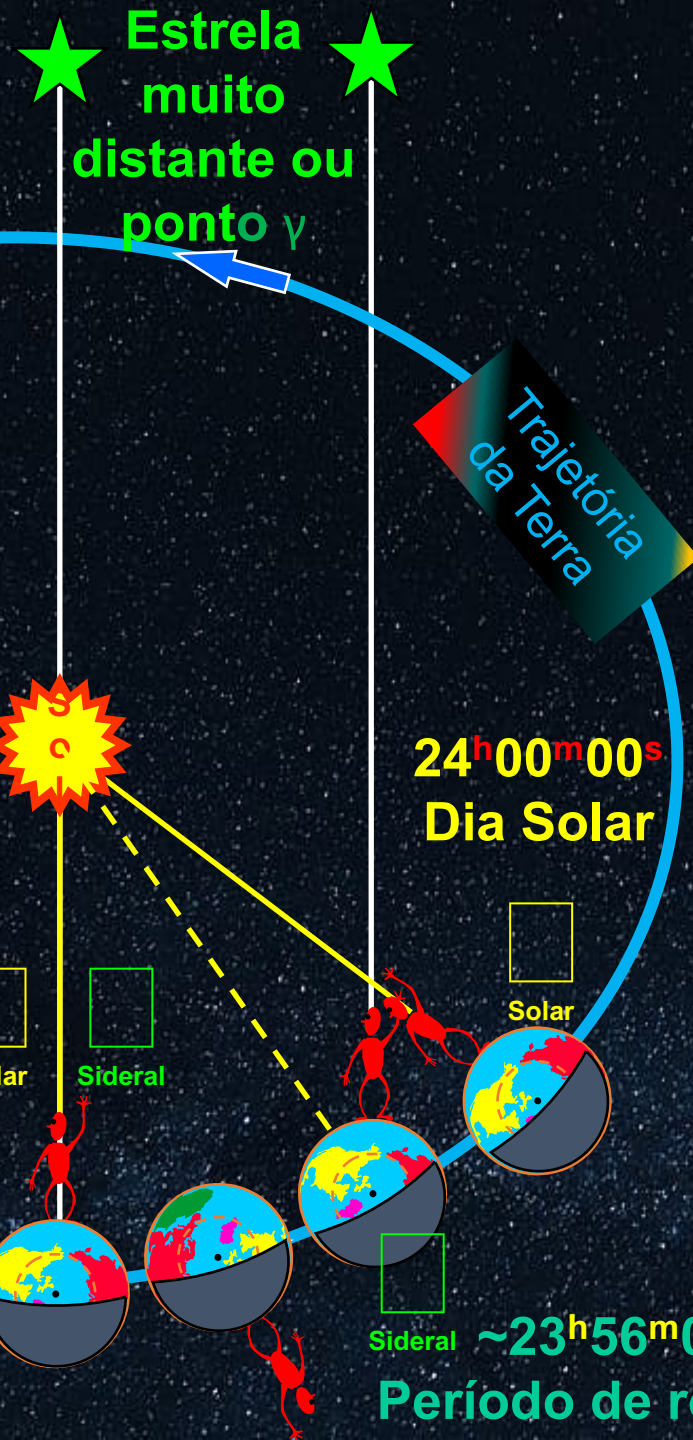
$$HS = H_* + \alpha_*$$

- **Dia Sideral**: é o intervalo de tempo decorrido entre duas passagens sucessivas do ponto γ pelo meridiano do lugar (Sul-Zênite-Norte).



Dia Solar e Dia sideral

Dia sideral é o intervalo de tempo para que a Terra complete uma volta em torno de seu eixo com relação às **estrelas** muito distantes.

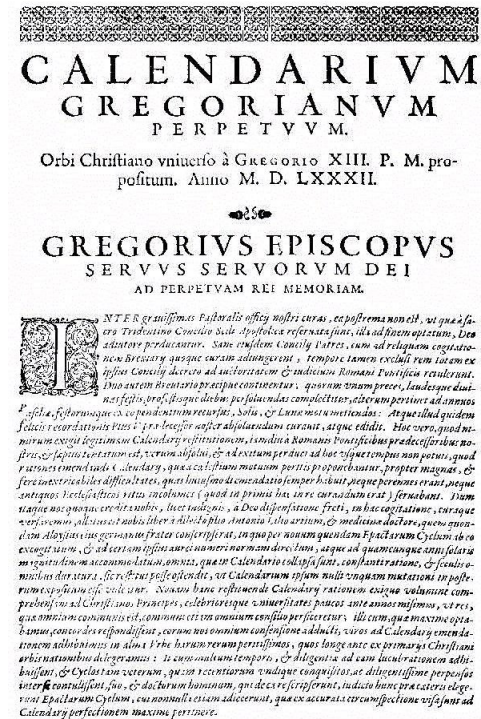


A duração do dia solar é consequência da rotação e da translação da Terra

Dia Solar: é o intervalo de tempo decorrido entre duas passagens sucessivas do Sol pelo meridiano do lugar.

Medida de tempo em astronomia

- No ocidente se utiliza o Calendário Gregoriano: anos de 365 dias + anos bissextos (múltiplos de 4 são bissextos mas os anos que são múltiplos de 100 e não são múltiplos de 400, não são bissextos. Assim, por exemplo, os anos 1980, 1996, 2000 são bissextos, mas 1700, 1800 e 1900 não o são)



Defasagem entre o Ano Juliano e as Estações do Ano



Primavera

Verão

Outono

Inverno

Ano Trópico $\cong 365,242.199^d \cong 365^d 05^h 48^m$

$\sim 0,007.801$ dias $\cong 11^m 14^s$

Ano Juliano Médio $\equiv 365,250.000^d \equiv 365^d 06^h 00^m 00^s$

Papado de Gregório XIII (1582)

Concílio de Nicéa (325 E.C.)

$(1582 - 325) * 0,007.801 \sim 10$ dias

21 mar

21 mar

365,25

365,25

365,25

365,25

10 dias

Reforma Gregoriana ¹⁵⁸²

(Acerto da duração do Ano Gregoriano)



Ano Trópico $\cong 365,242.199^d \cong 365^d 05^h 48^m 46^s$



Primavera

Verão

Outono

Inverno



Ano Juliano Médio $\equiv 365,250.000^d \equiv 365^d 06^h 00^m 00^s$

$\sim 11^m 14^s$

Ano Gregoriano Médio $\equiv 365,242500^d \cong 365^d 05^h 49^m 12^s$

$\sim 26^s$

Decompondo:

- 365,2425 dias
- $365 + 0,2425$
- $365 + (0,2400) + 0,0025$
- $365 + (0,25 - 0,01) + 0,0025$
- $365 + \frac{1}{4} - \frac{1}{100} + \frac{1}{400}$

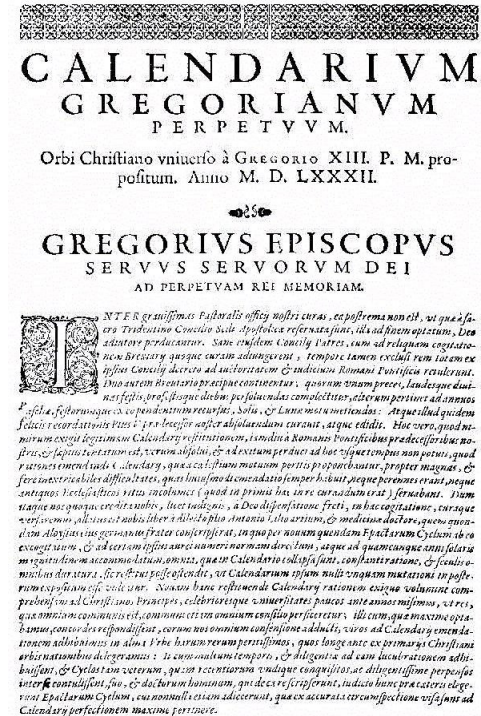
O Ano Gregoriano acarretará um desvio de $(365,2425 - 365,242199) = 0.000301d/ano$, ou seja
1 dia a cada cerca de 3.300 anos

Correção no ano de:
 $1.582 + 3.300 = 4.882$

Bissexto: A cada 4 anos Não múltiplo de 100 Sim múltiplo de 400

Medida de tempo em astronomia

- No ocidente se utiliza o Calendário Gregoriano: anos de 365 dias + anos bissextos (múltiplos de 4 são bissextos mas os anos que são múltiplos de 100 e não são múltiplos de 400, não são bissextos. Assim, por exemplo, os anos 1980, 1996, 2000 são bissextos, mas 1700, 1800 e 1900 não o são)
- Em astronomia preferimos utilizar o tempo decorrido a partir de uma data: meio dia da segunda-feira de 1º de janeiro de 4713 a.C. -> dia Juliano 0.0 (JD 0.0)
- A data J2000.0 corresponde a JD2451545.0



$$T = (\text{JD} - 2451545.0) / 36525$$

Extras

Sistema de coordenadas eclípticas

- Sistema útil para o estudo dos objetos do Sistema Solar: órbitas quase coplanares

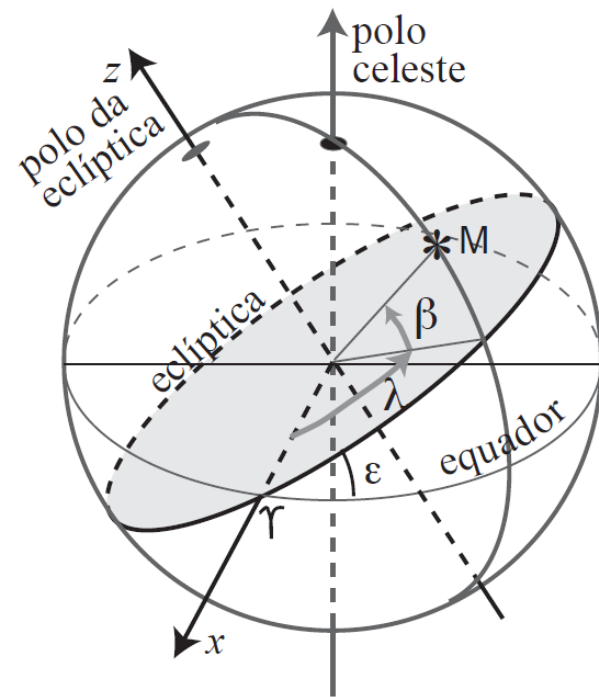
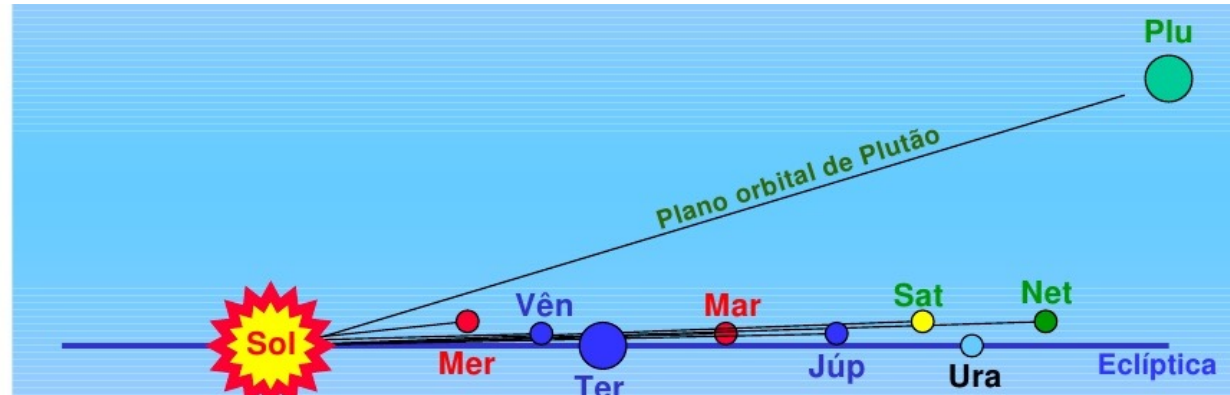


Figura 1.21: Sistema de coordenadas eclípticas. O astro M tem coordenadas longitude eclíptica (λ) e latitude (β). A inclinação da eclíptica em relação ao equador celeste é ϵ que vale aproximadamente $23^{\circ}26'21''$.

Sistema de coordenadas galácticas

- Sistema útil principalmente em astronomia extragaláctica (como o estudo do Grupo Local de galáxias, no qual a Via Láctea e a galáxia de Andrômeda são os principais membros) ou em problemas ligados à nossa galáxia como um todo (por exemplo, o movimento das estrelas do disco da Via Láctea)
- Inclinação do plano galáctico em relação ao equador: $62^{\circ},872$

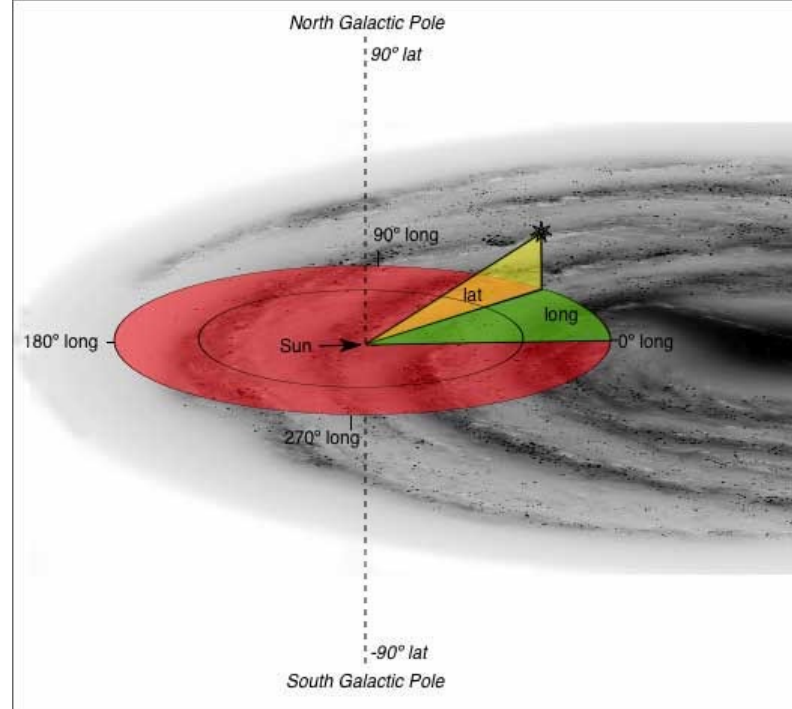
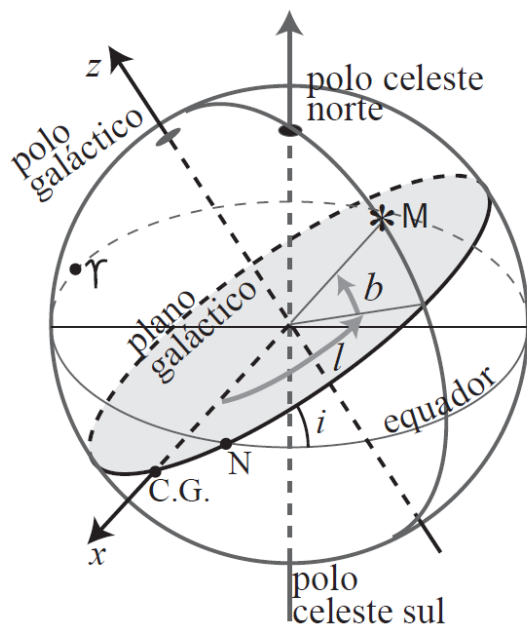


Figura 1.22: Sistema de coordenadas galácticas. O astro M tem coordenadas longitude galáctica (l) e latitude (b). O ponto N é a intersecção do plano galáctico com o equador celeste (o nodo), C.G. é o direção do centro da Galáxia (que fica na constelação de Sagitário) e i é a inclinação do plano galáctico em relação ao equador celeste.