

# Astrofísica Moderna

## Aula 3: A Esfera Celeste

*Prof. Aion Viana e Prof. Vitor de Souza*

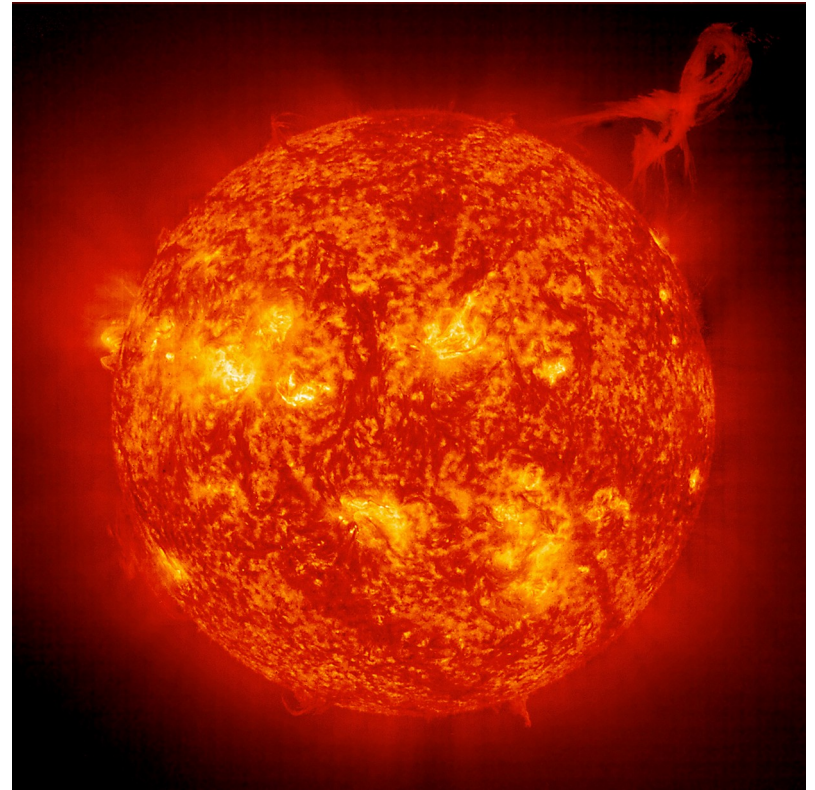
Referencias principais da aula:

“An introduction to modern astrophysics”, B.W.Carroll and D.A. Ostlie

“Astronomia e astrofísica”, K. de Souza Oliveira Filho e Maria de Fátima Oliveira Saraiva

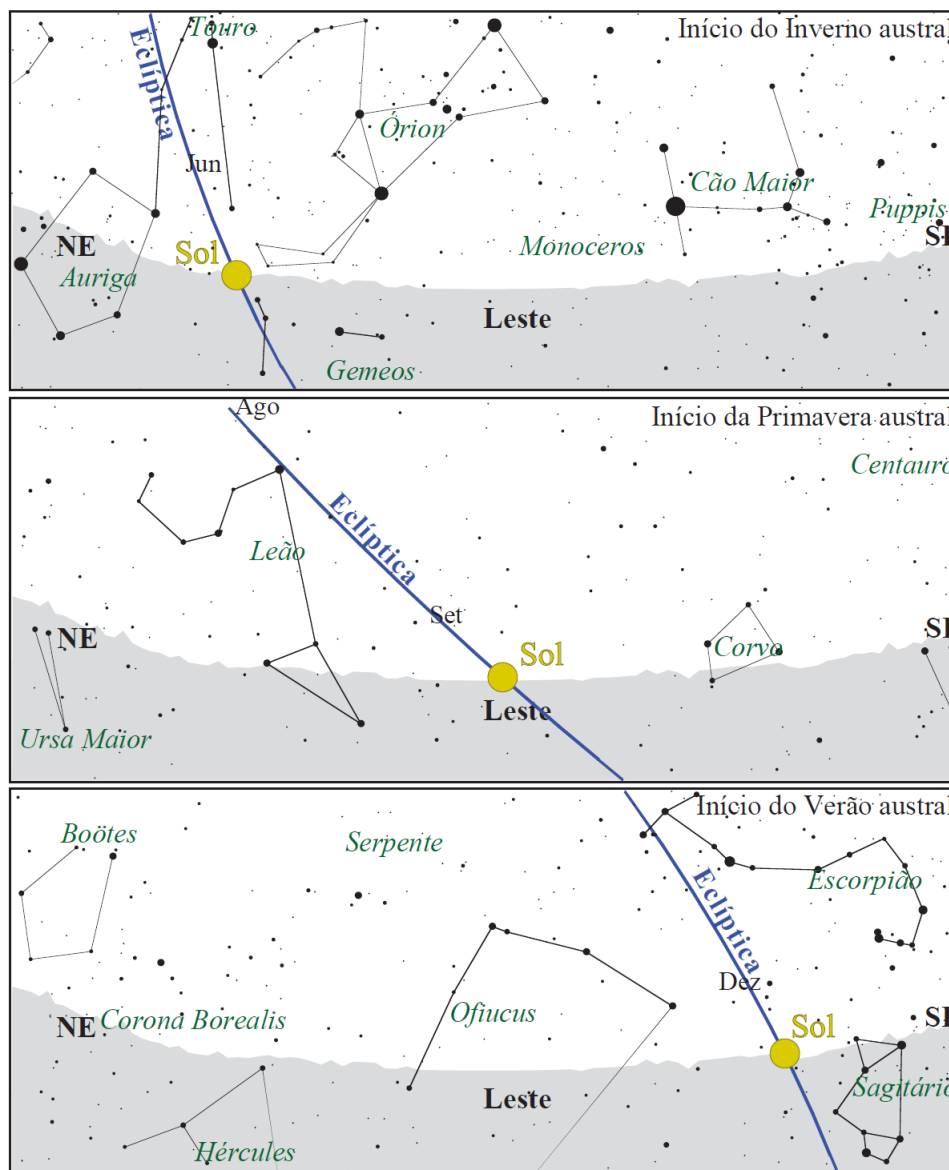
“Astronomia de Posição”, notas de aula do Prof. Gastão B. Lima Neto IAG/USP

# O Sol





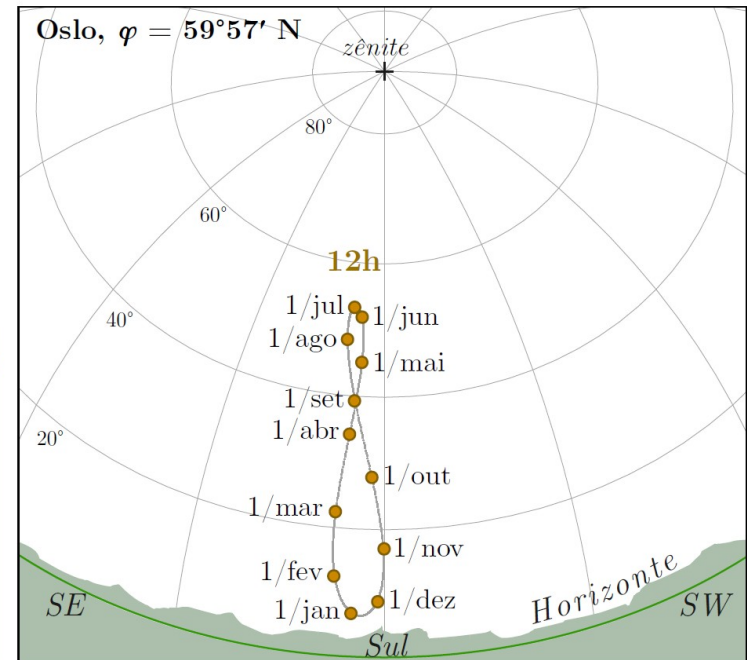
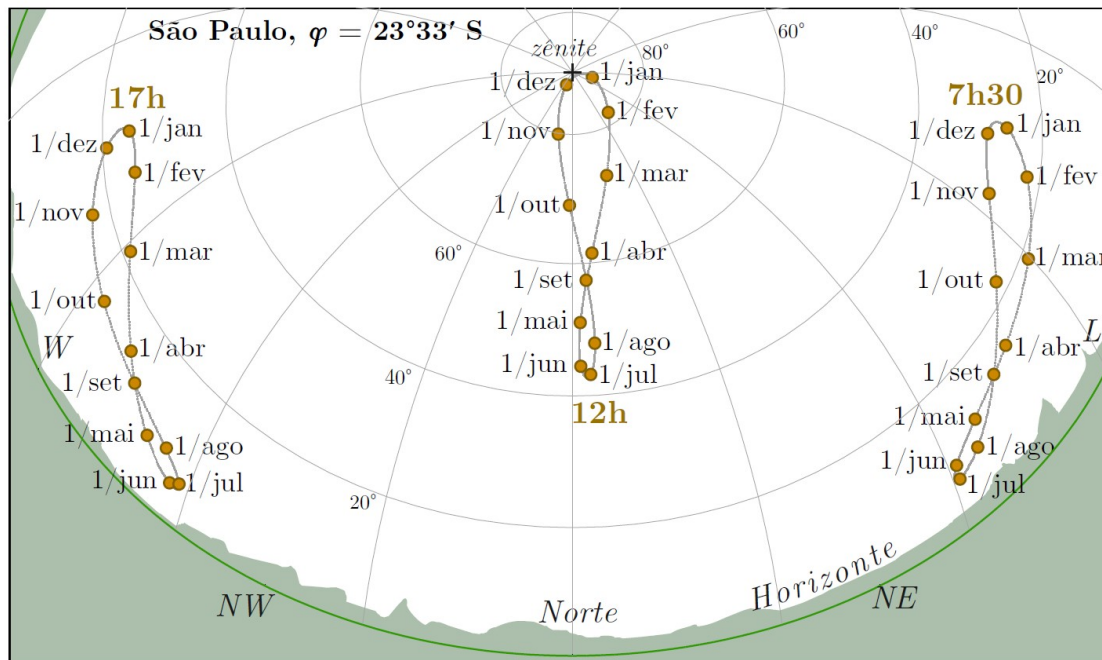
# Movimento aparente do Sol



São Paulo

# Movimento aparente do Sol

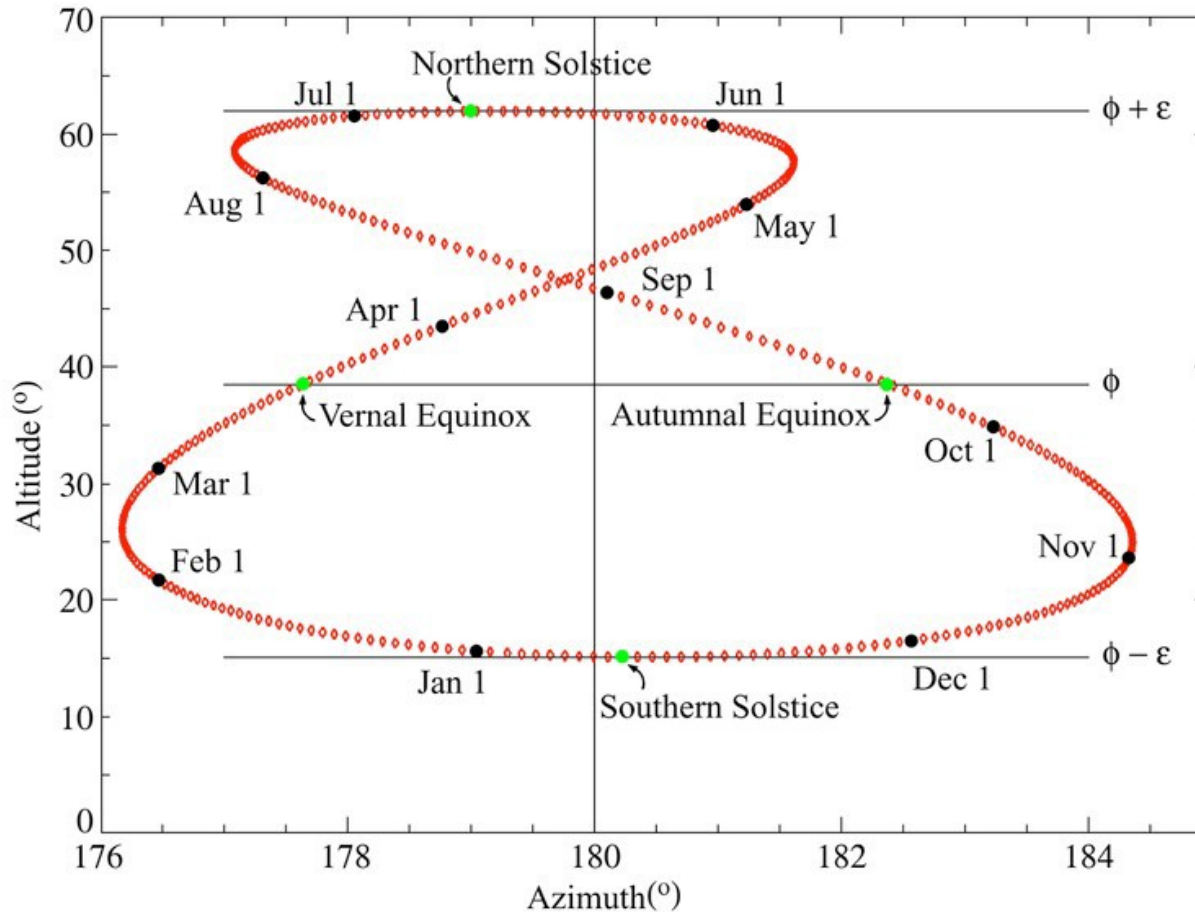
## Analema



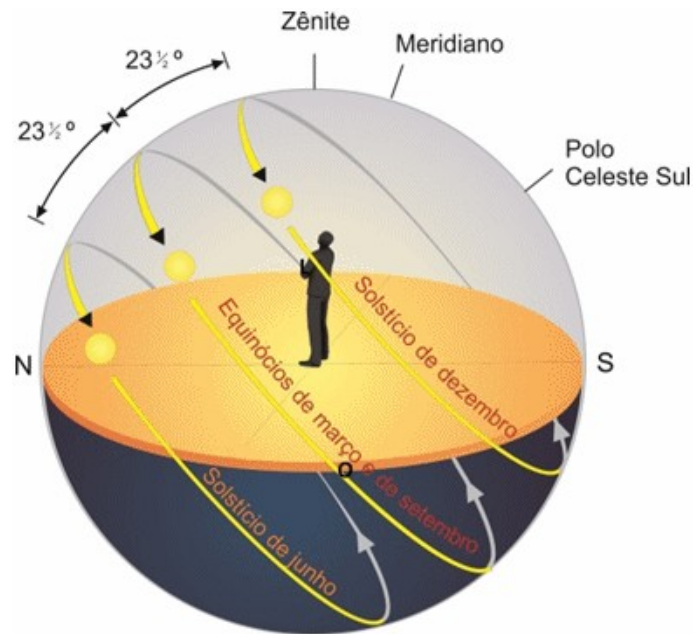


# Movimento aparente do Sol

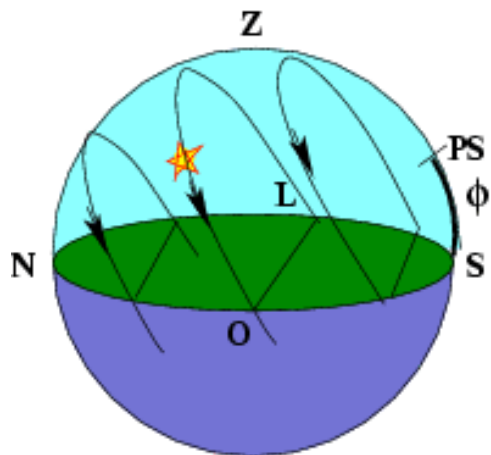
## Analema - Hemisfério Norte



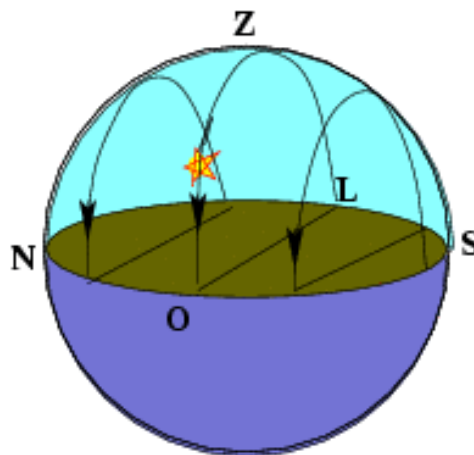
# Movimento aparente do Sol



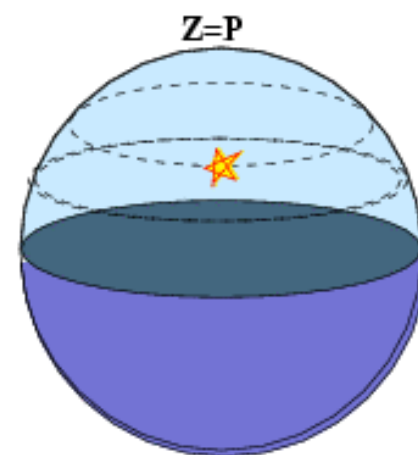
latitude =  $\phi$



latitude = 0



latitude = 90

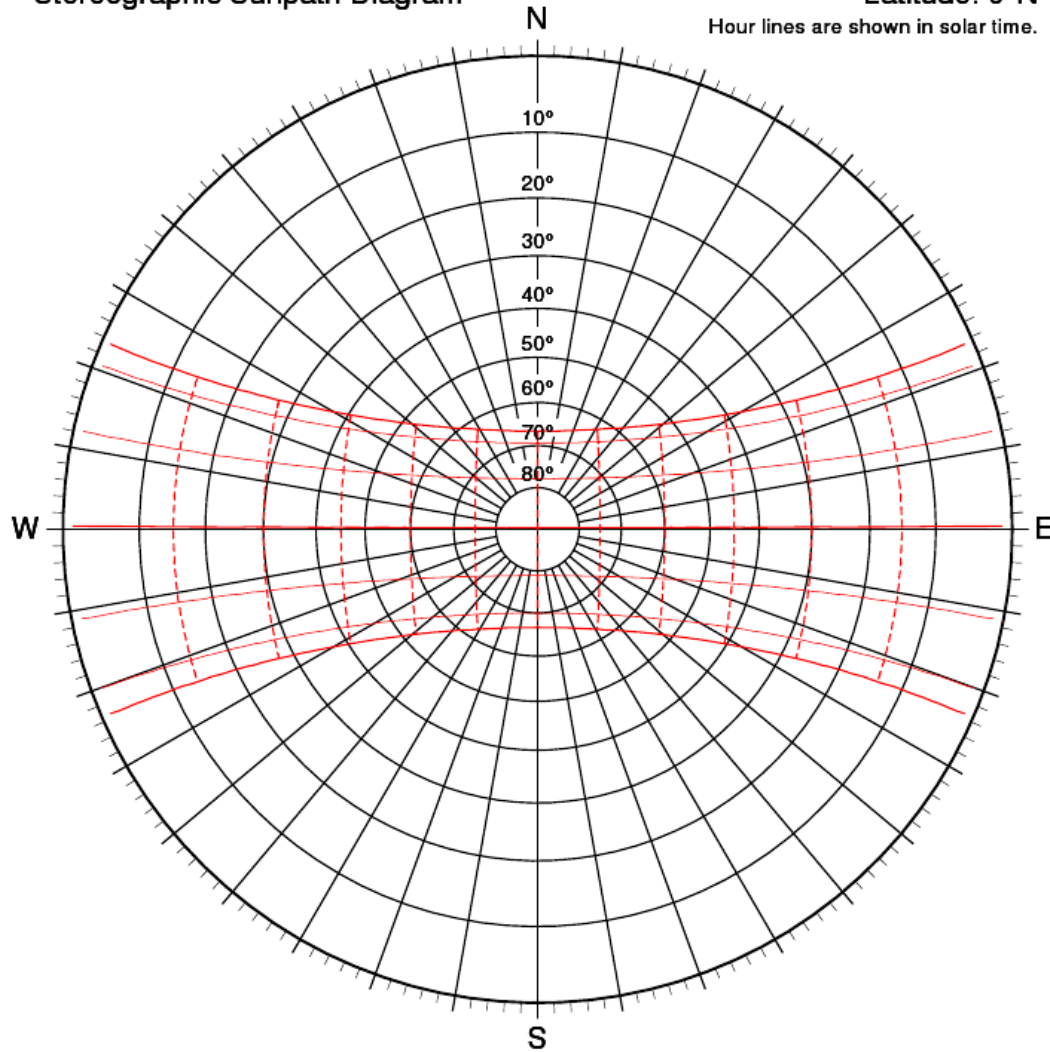


# Movimento aparente do Sol

Stereographic Sunpath Diagram

Latitude: 0°N

Hour lines are shown in solar time.



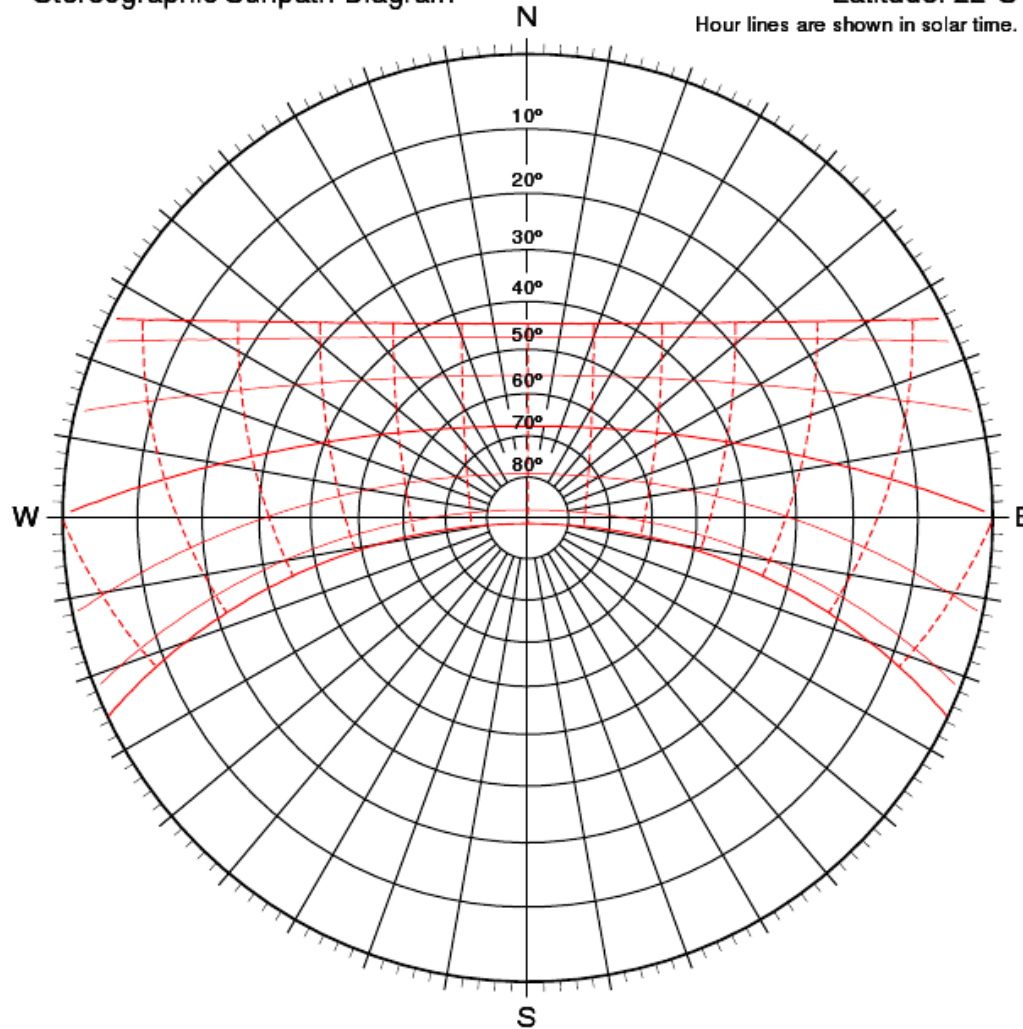


# Movimento aparente do Sol

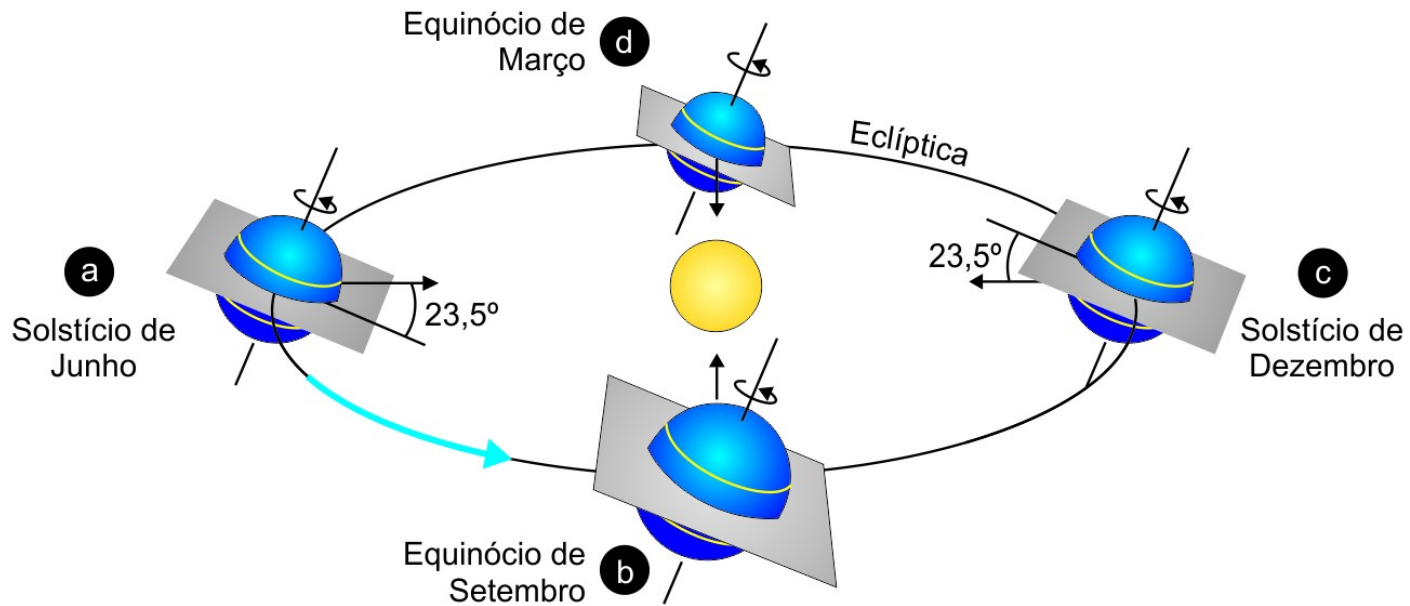
Stereographic Sunpath Diagram

Latitude: 22°S

Hour lines are shown in solar time.



# Translação da Terra e estações do ano



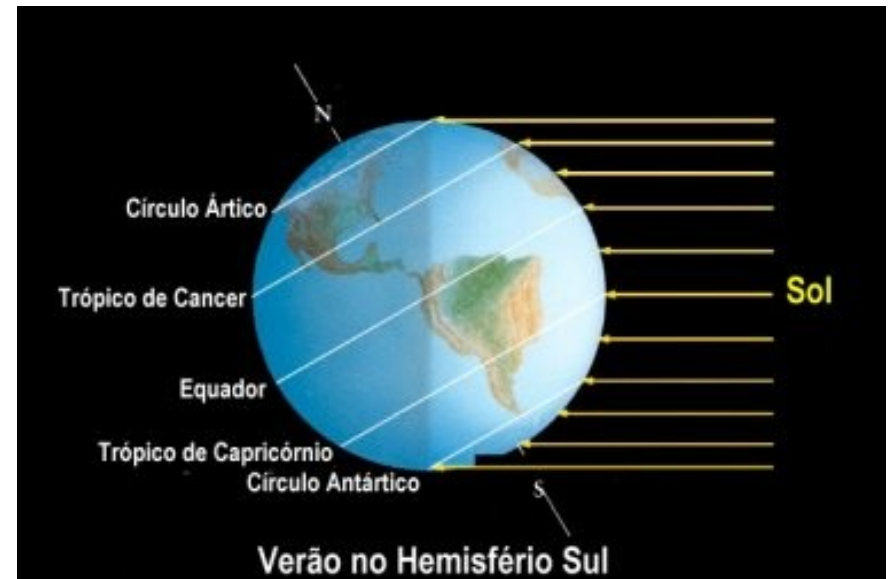
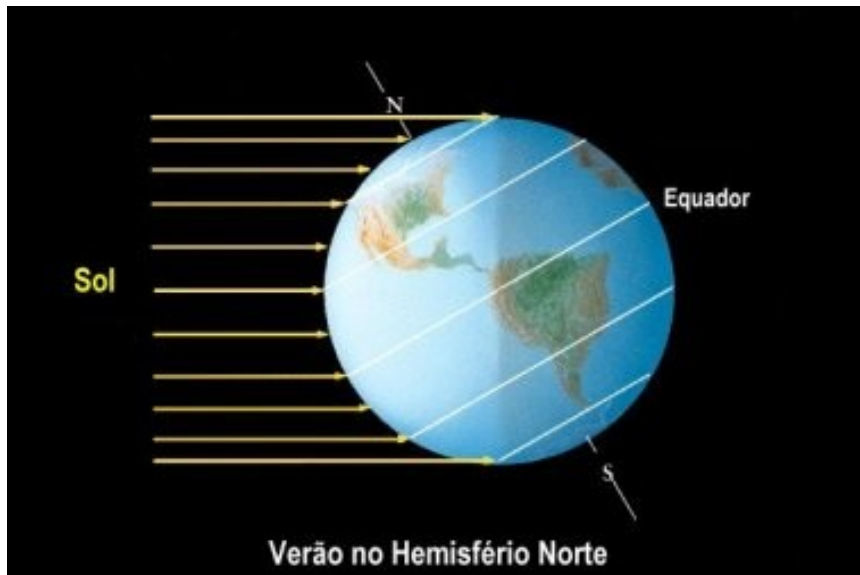
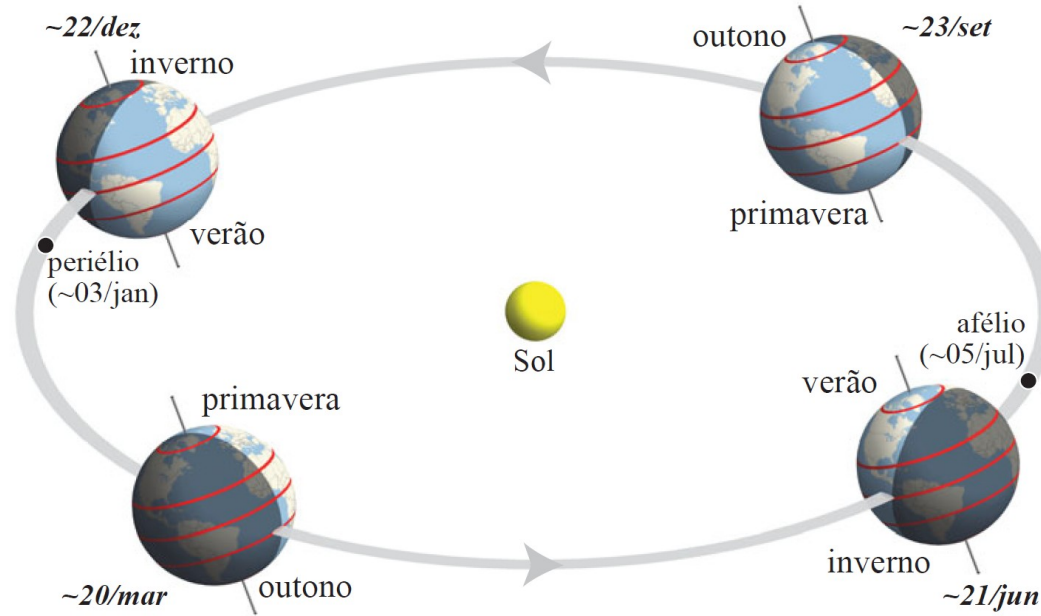
**a**  
Trópico de Câncer  
voltado para o Sol

**b**  
Equador voltado  
para o Sol.

**c**  
Trópico de Capricórnio  
voltado para o Sol.

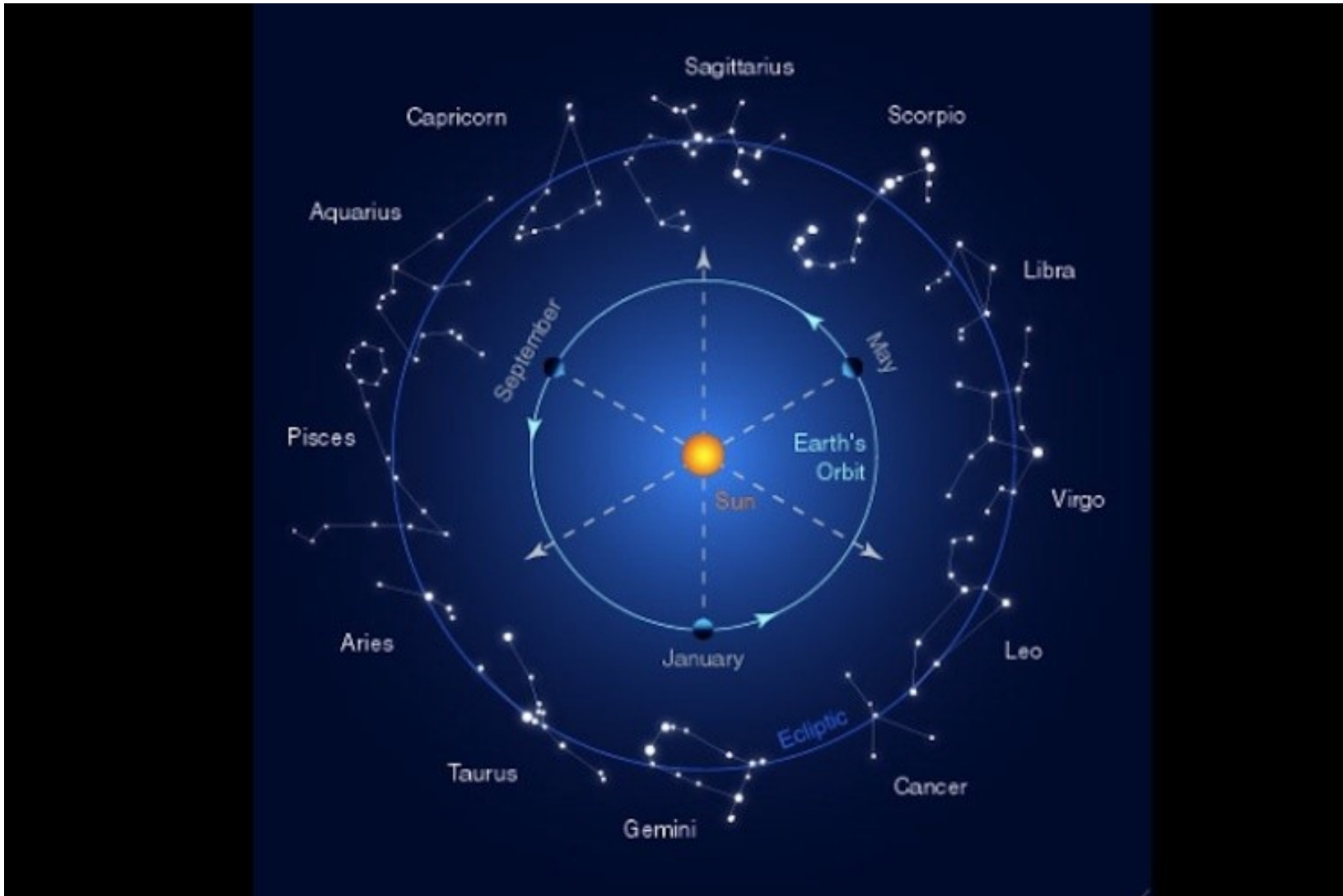
**d**  
Equador voltado  
para o Sol.

# Translação da Terra e estações do ano





# Movimento aparente do Sol



# Movimento aparente do Sol

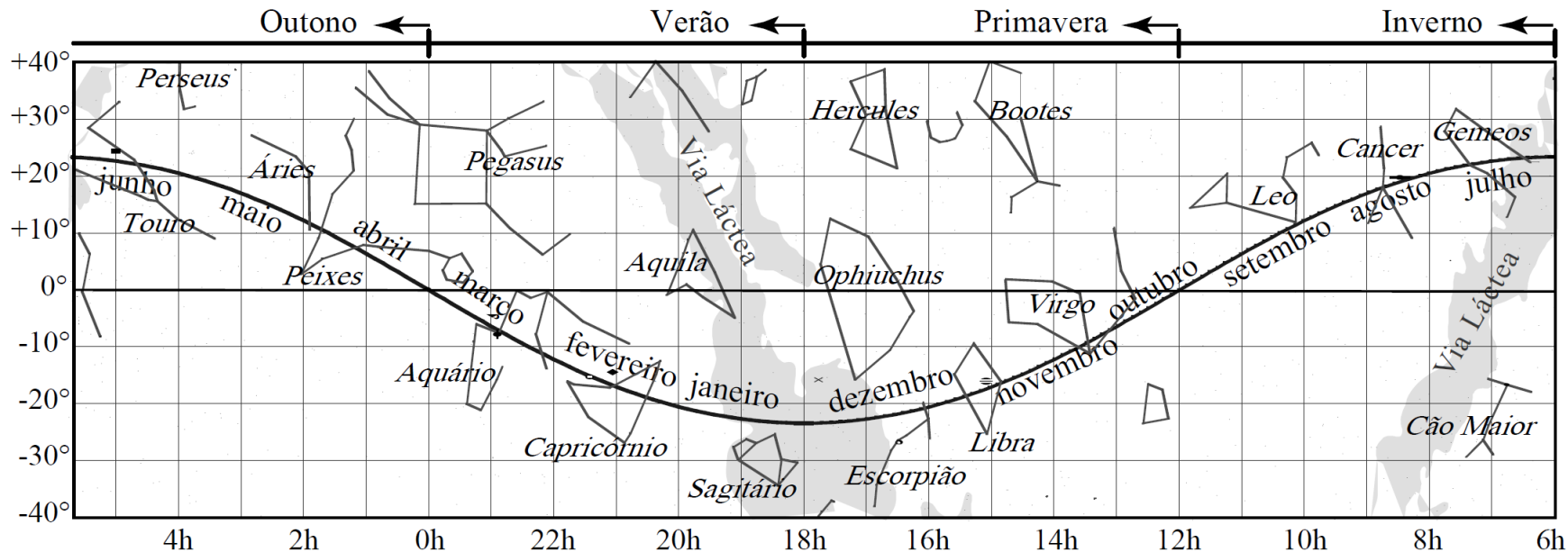
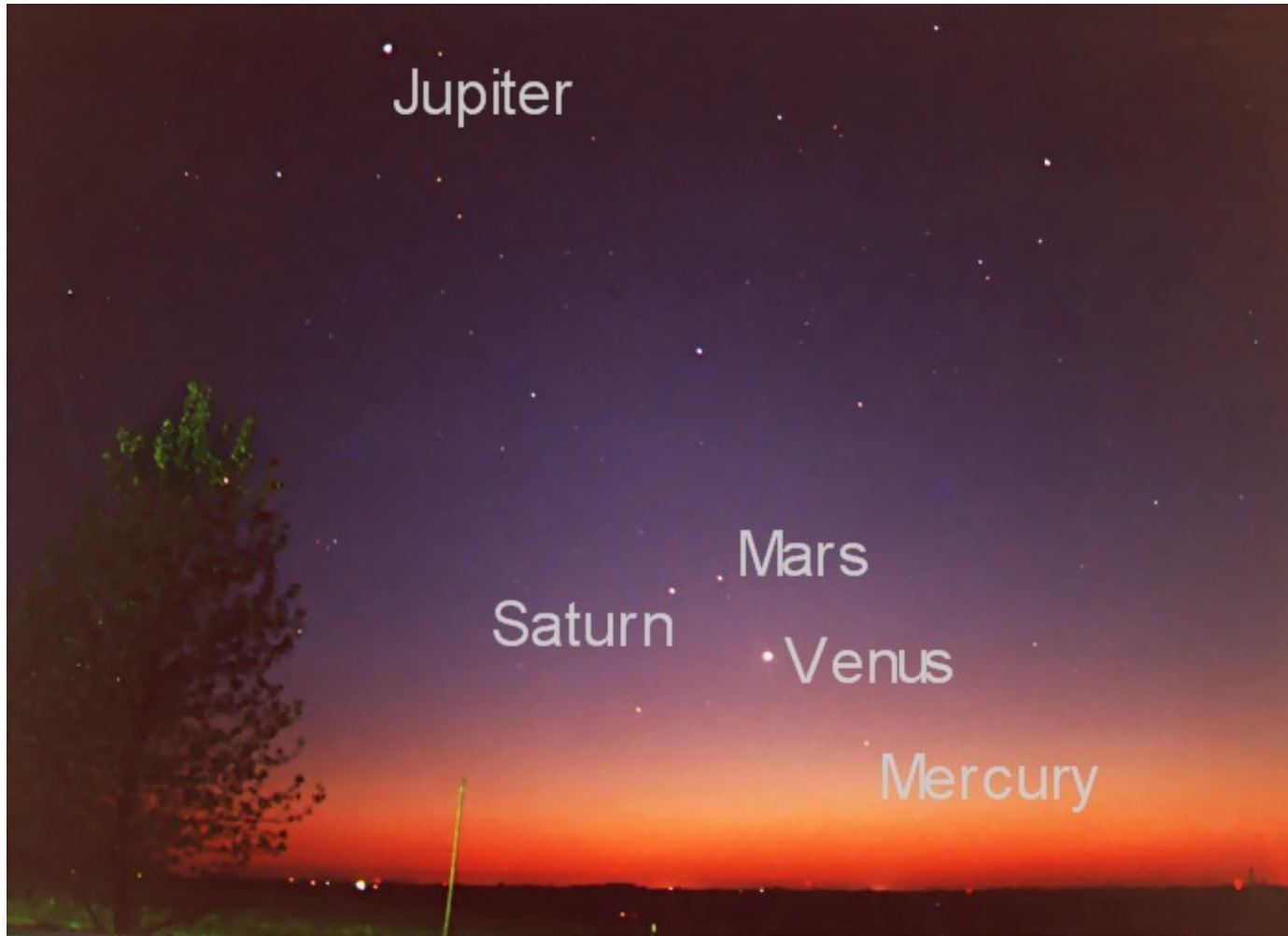


Figura 1.17: Detalhe da esfera celeste em coordenadas equatoriais mostrando a eclíptica com os meses que correspondem à posição do Sol. O início das estações para o hemisfério Sul está assinalado acima da figura

# Objetos celestes: de noite

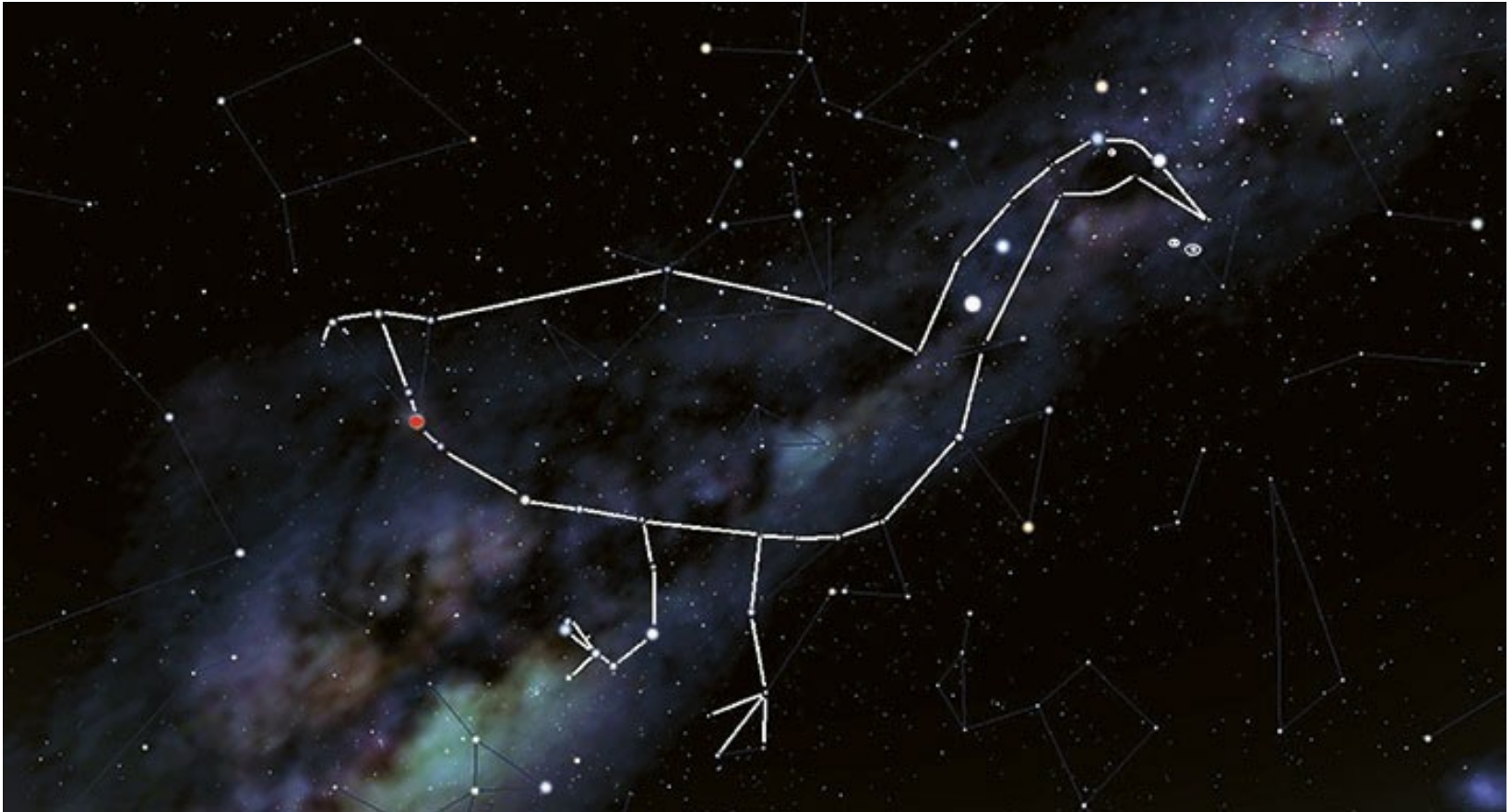
## Planetas





# Objetos celestes: de noite

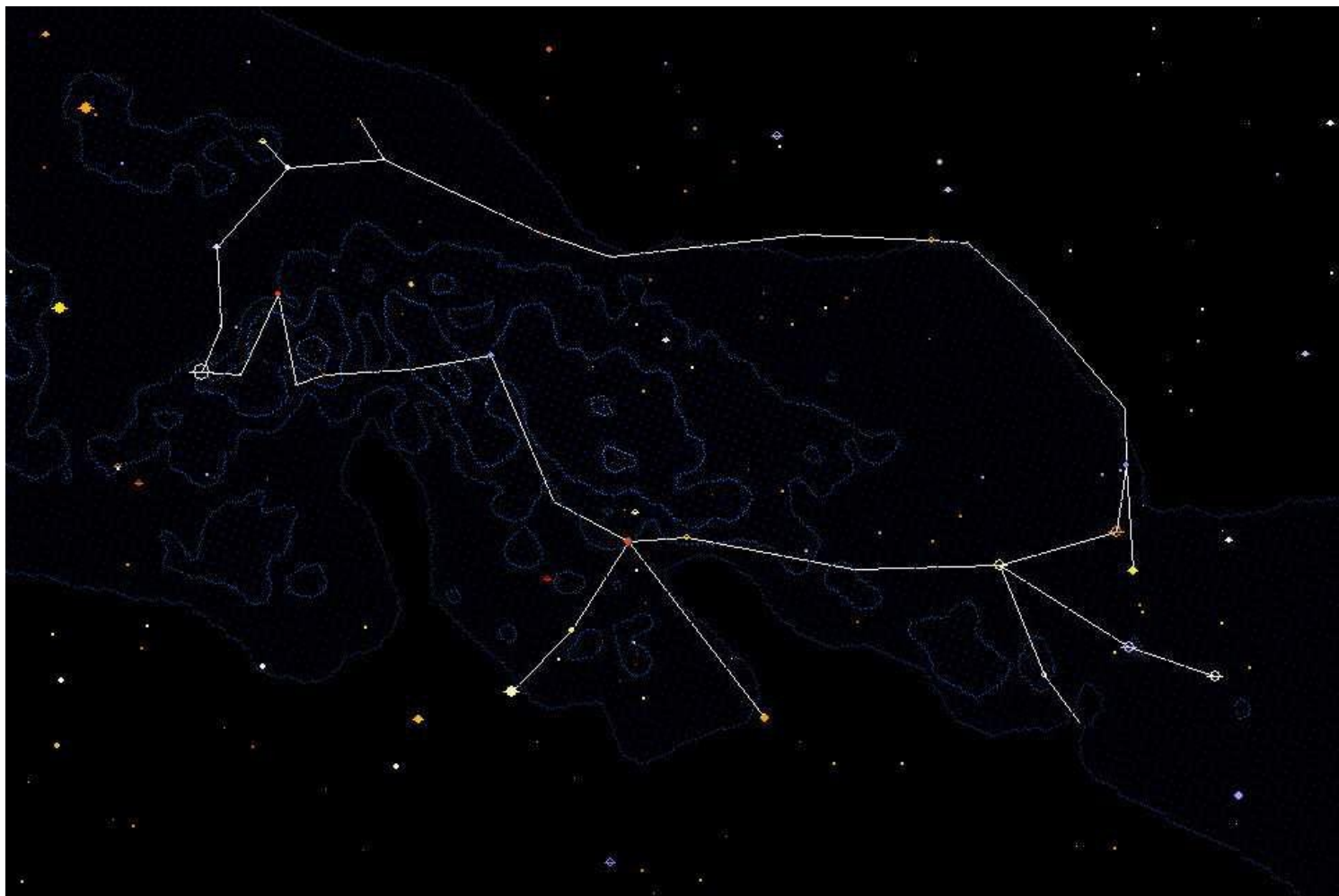
## Estrelas e constelações



*Constelação da Ema*

# Objetos celestes: de noite

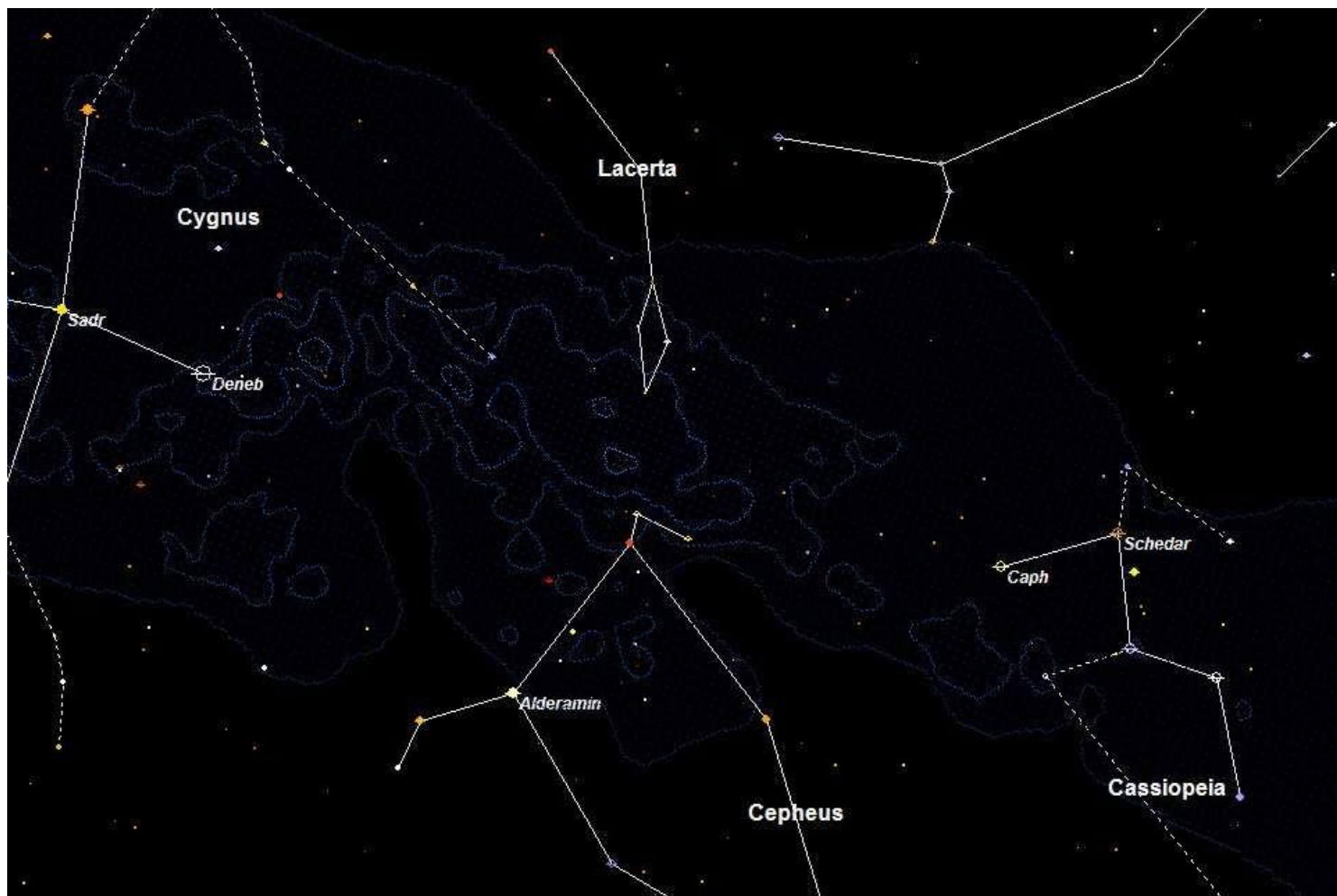
## Estrelas e constelações



*Constelação da Anta do Norte*

# Objetos celestes: de noite

## Estrelas e constelações



Constelação da Anta do Norte

# Objetos celestes: de noite

Asteróides (estrelas cadentes)



# Objetos celestes: de noite

## Cometas





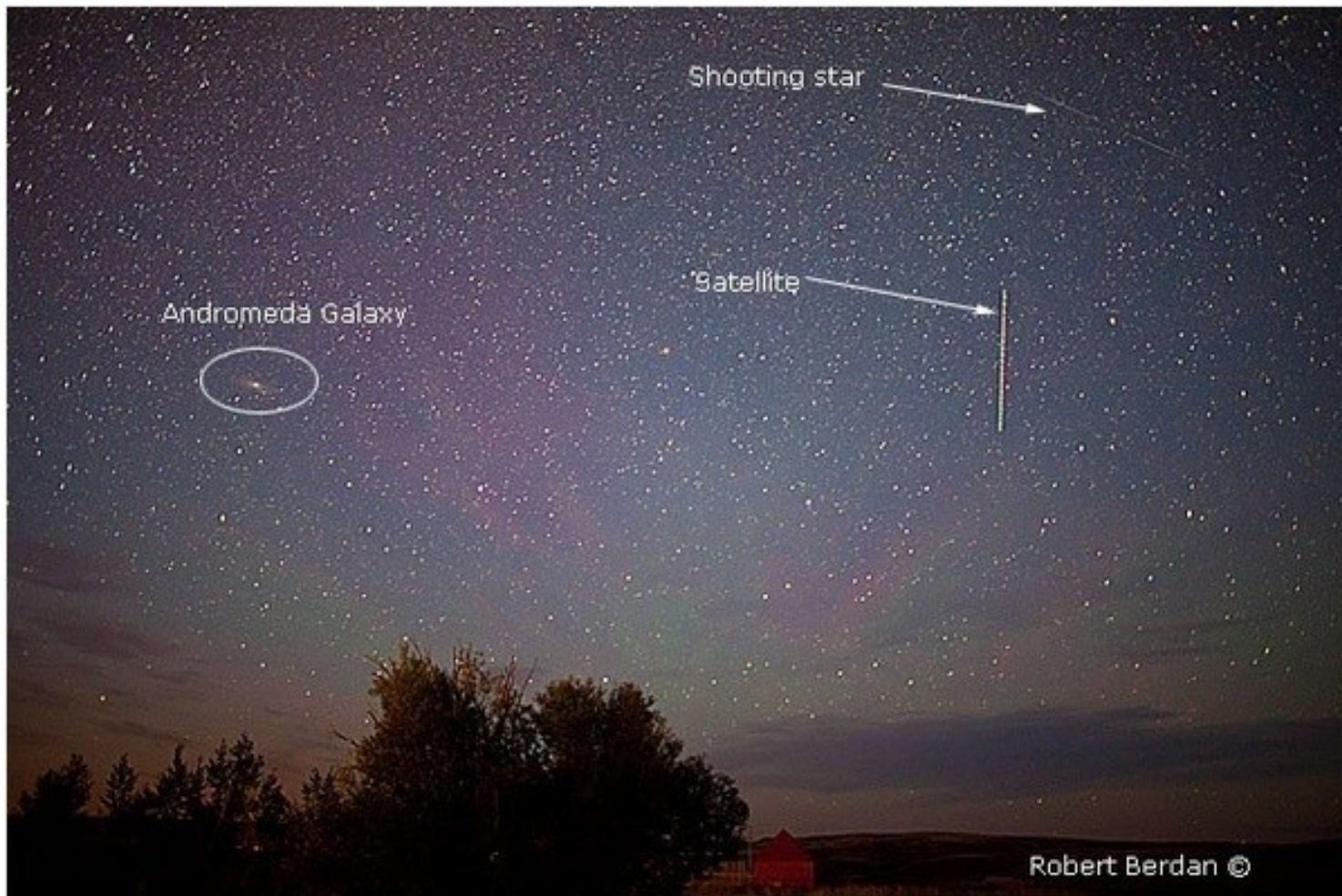
# Objetos celestes: de noite

## Via-Láctea



# Objetos celestes: de noite

## Outras galáxias: Andrômeda (M31)





# Objetos celestes: de noite

## Outras galáxias: Andrômeda



# Objetos celestes: de noite

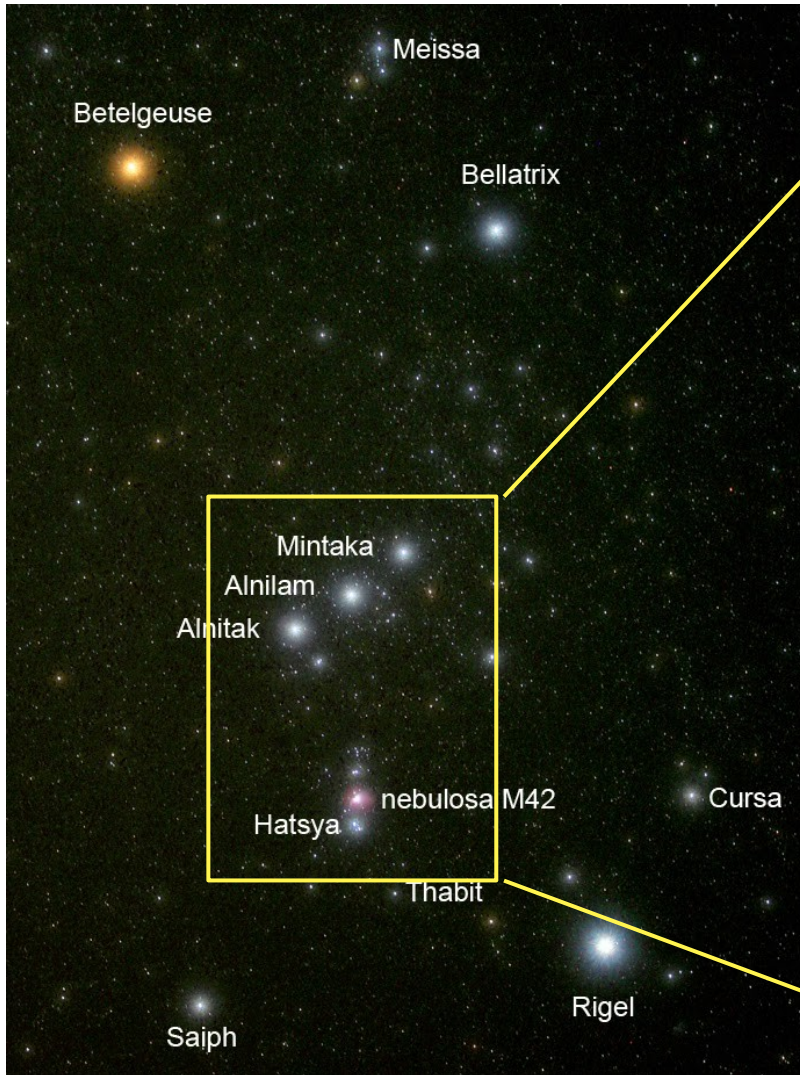
**Outras galáxias: Grande e Pequena Nuvens de Magalhães**





# Objetos celestes: de noite

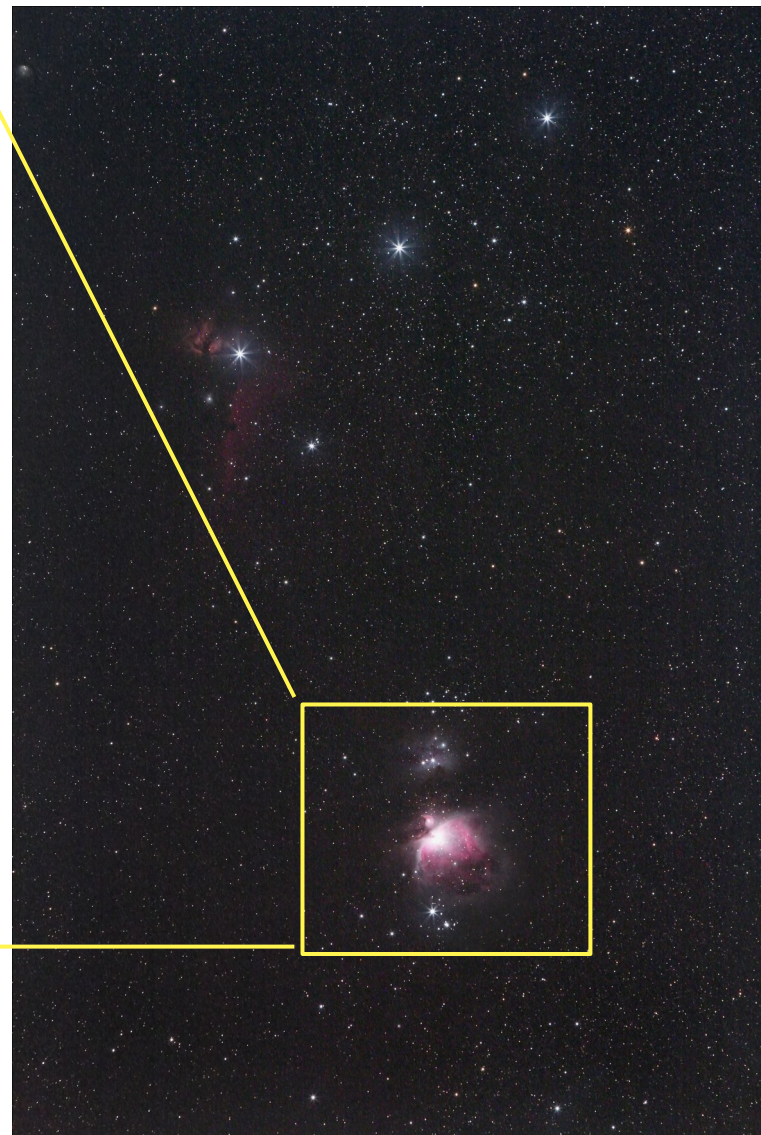
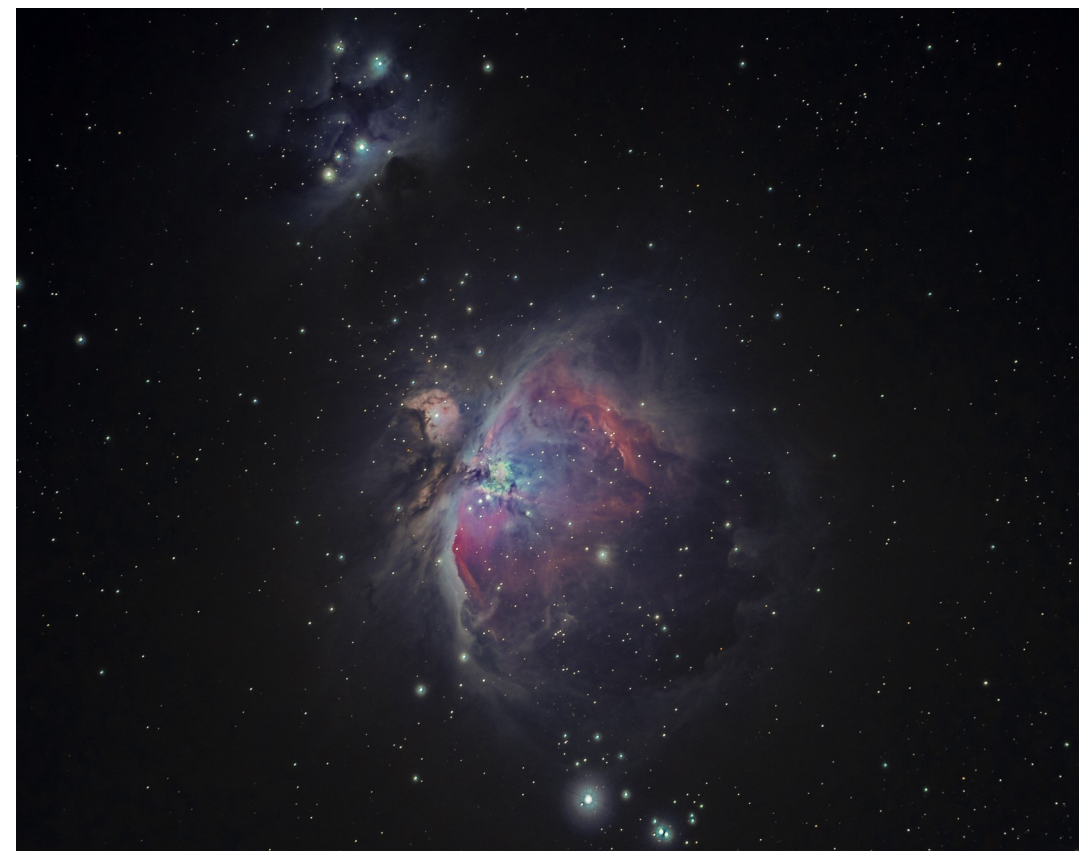
## Nebulosas e gás interestelar





# Objetos celestes: de noite

**Nebulosas e gás  
interestelar**



# Constelações da Bandeira do Brasil



# Constelações da Bandeira do Brasil

Lei 5.700 de 1 de setembro de 1971.

\* Artigo 3:

o § 1.º As constelações que figuram na Bandeira Nacional correspondem ao aspecto do céu, na cidade do Rio de Janeiro, às 8 horas e 30 minutos do dia 15 de novembro de 1889 (doze horas siderais) e devem ser consideradas como vistas por um observador situado fora da esfera celeste.

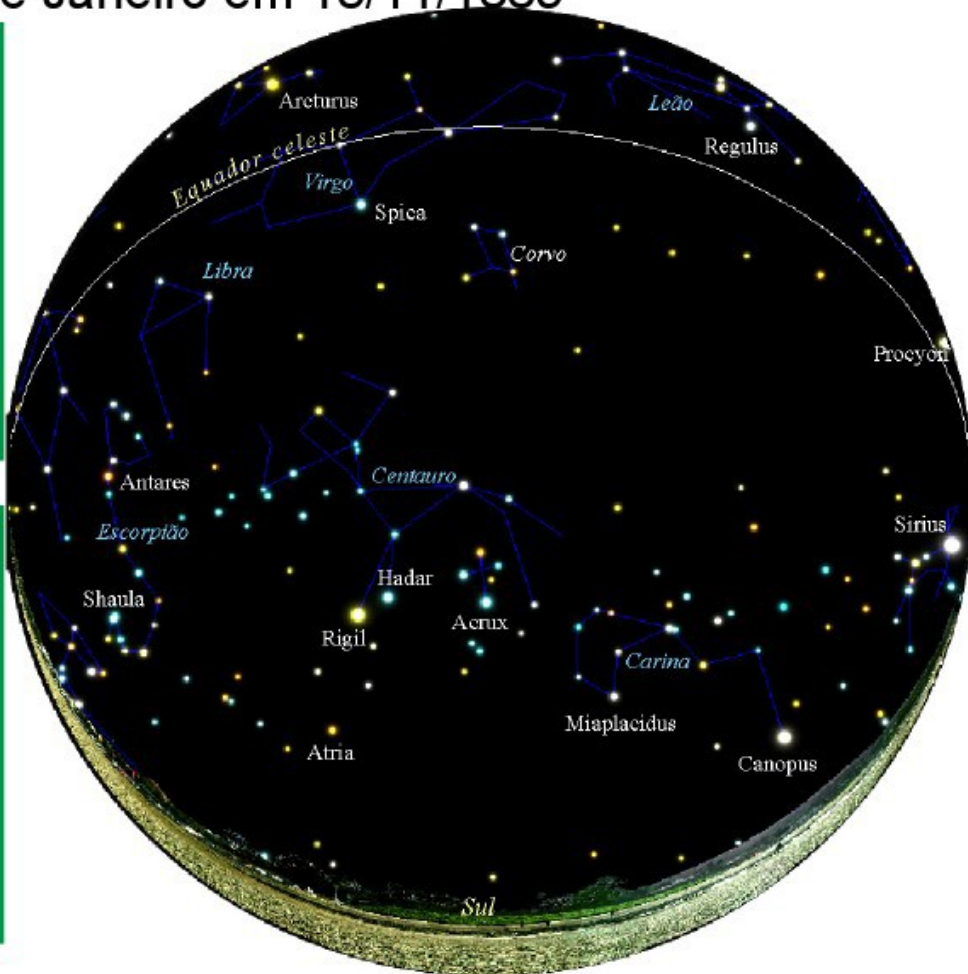
Lei 8.421 de 11 de Maio de 1992

\* Artigo 3:

o § 1.º As constelações que figuram na Bandeira Nacional correspondem ao aspecto do céu, na cidade do Rio de Janeiro, às 20 horas, 30 minutos do dia 15 de novembro de 1889 (doze horas siderais) e devem ser consideradas como vistas por um observador situado fora da esfera celeste.

# Constelações da Bandeira do Brasil

- Céu visto do Rio de Janeiro em 15/11/1889



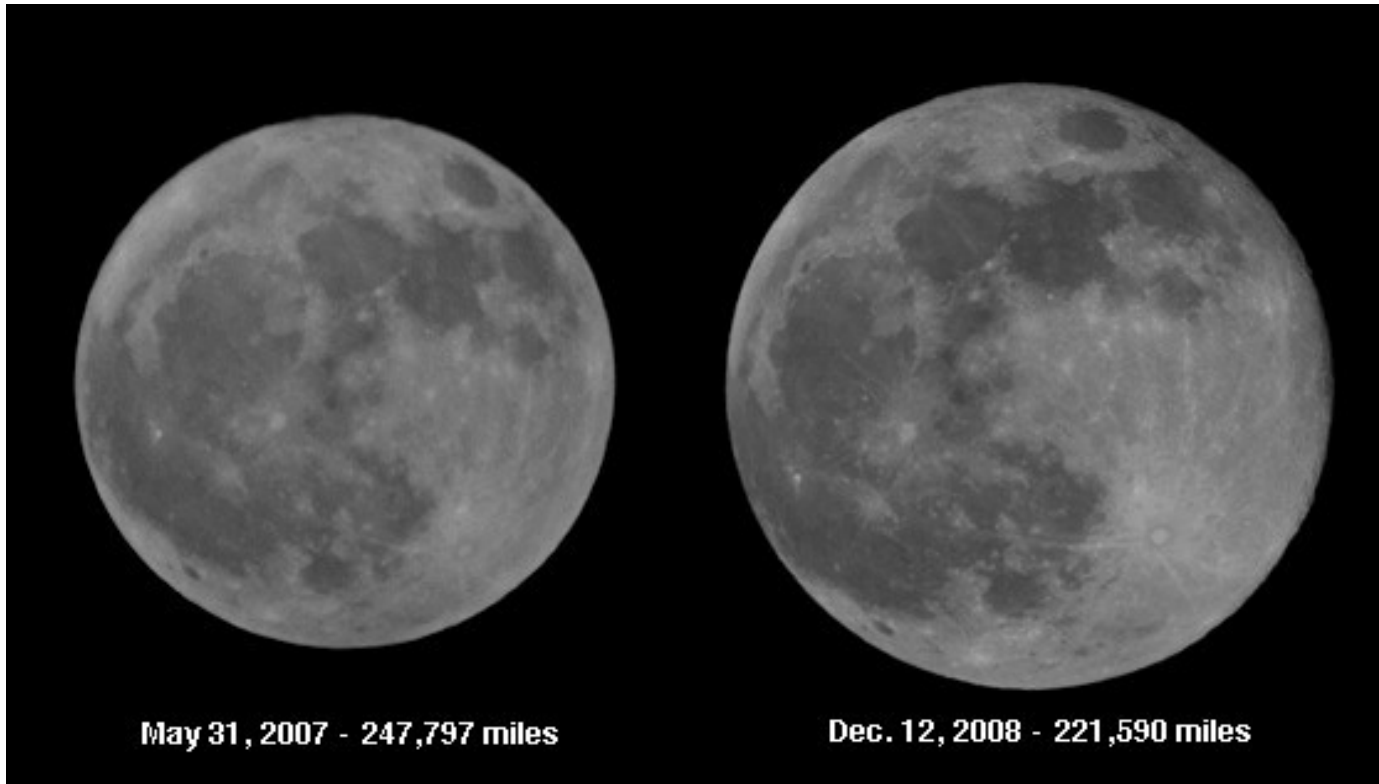


# A Lua

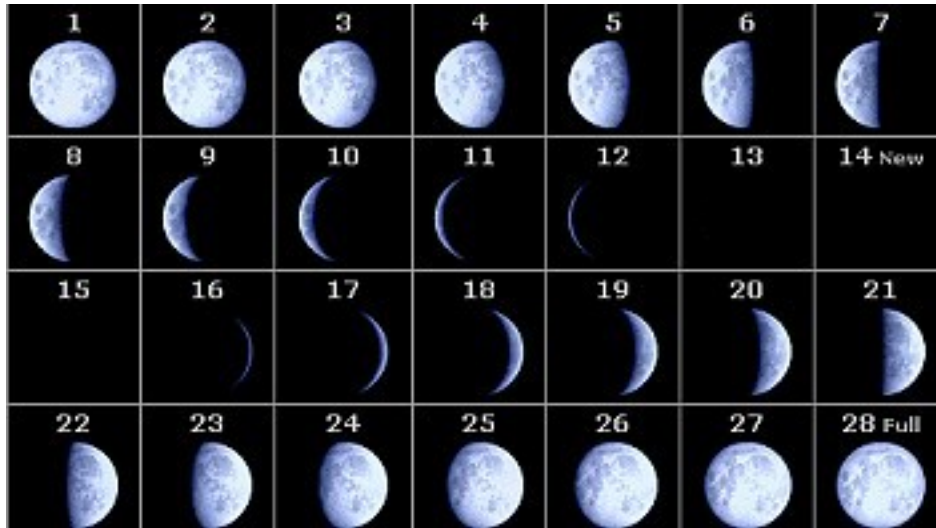




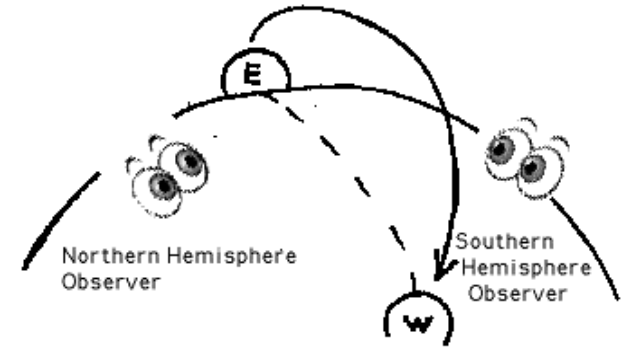
# A Lua



# A Lua



Nor  
te



S  
ul

# Movimento aparente da Lua

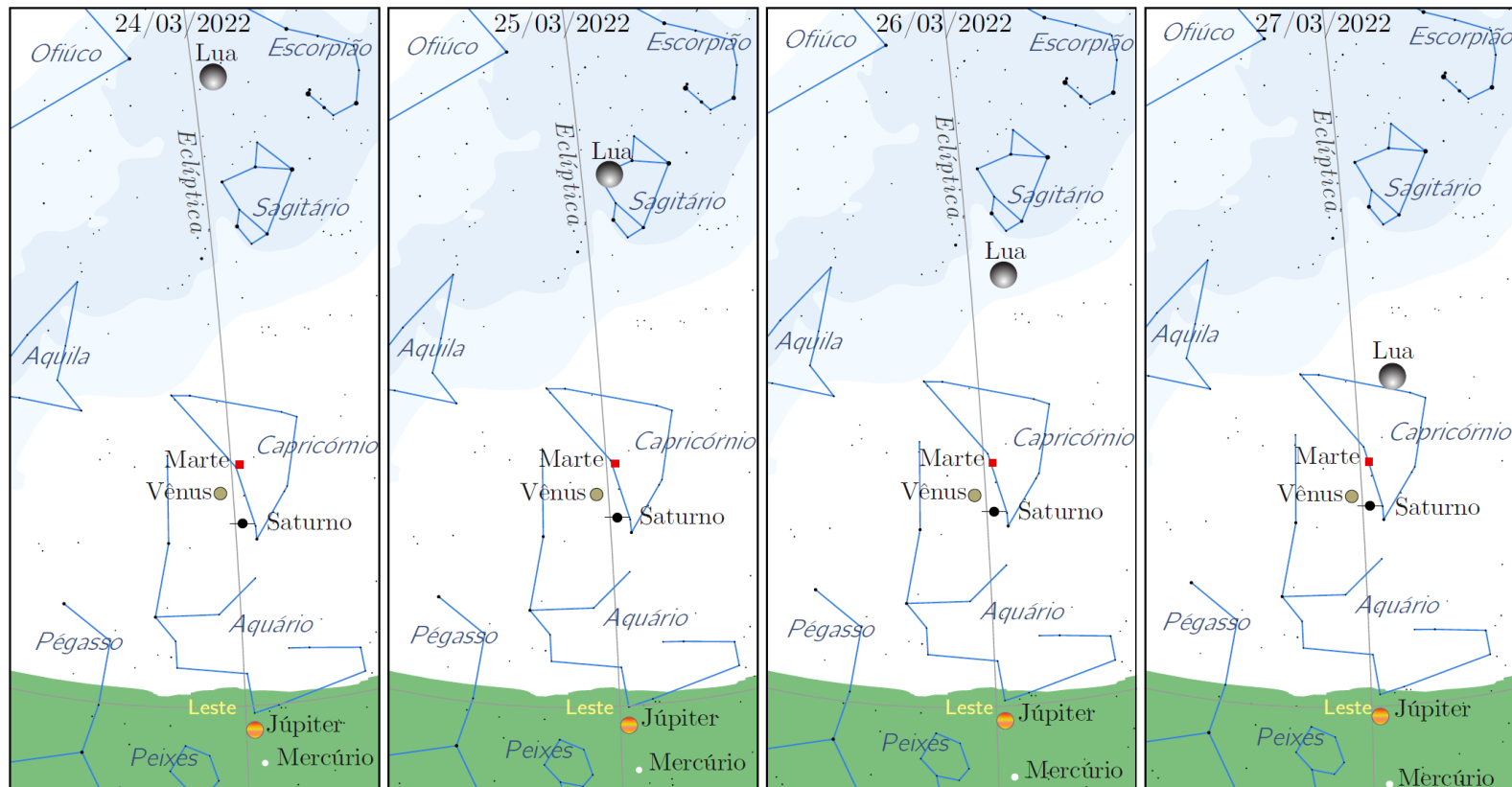


Figura 1.6: Movimentos aparentes na esfera celeste. O movimento aparente da Lua em relação às estrelas fixas pode ser notado comparando as imagens de observações em São Paulo em dias consecutivos feitas no mesmo horário (5h da manhã, hora local). A região verde representa o horizonte na direção Leste e as regiões cinzas representam a Via Láctea. Observe também que as estrelas também apresentam um movimento; a cada dia as estrelas se levantam cerca de 4 minutos mais cedo. Também podemos notar o movimento aparente de Vênus e Mercúrio (abaixo do horizonte, portanto não observável na realidade) em relação às estrelas “fixas”. Já o movimento próprio de Júpiter e Saturno são imperceptíveis em apenas 4 dias na escala desta figura.

# Movimento aparente da Lua

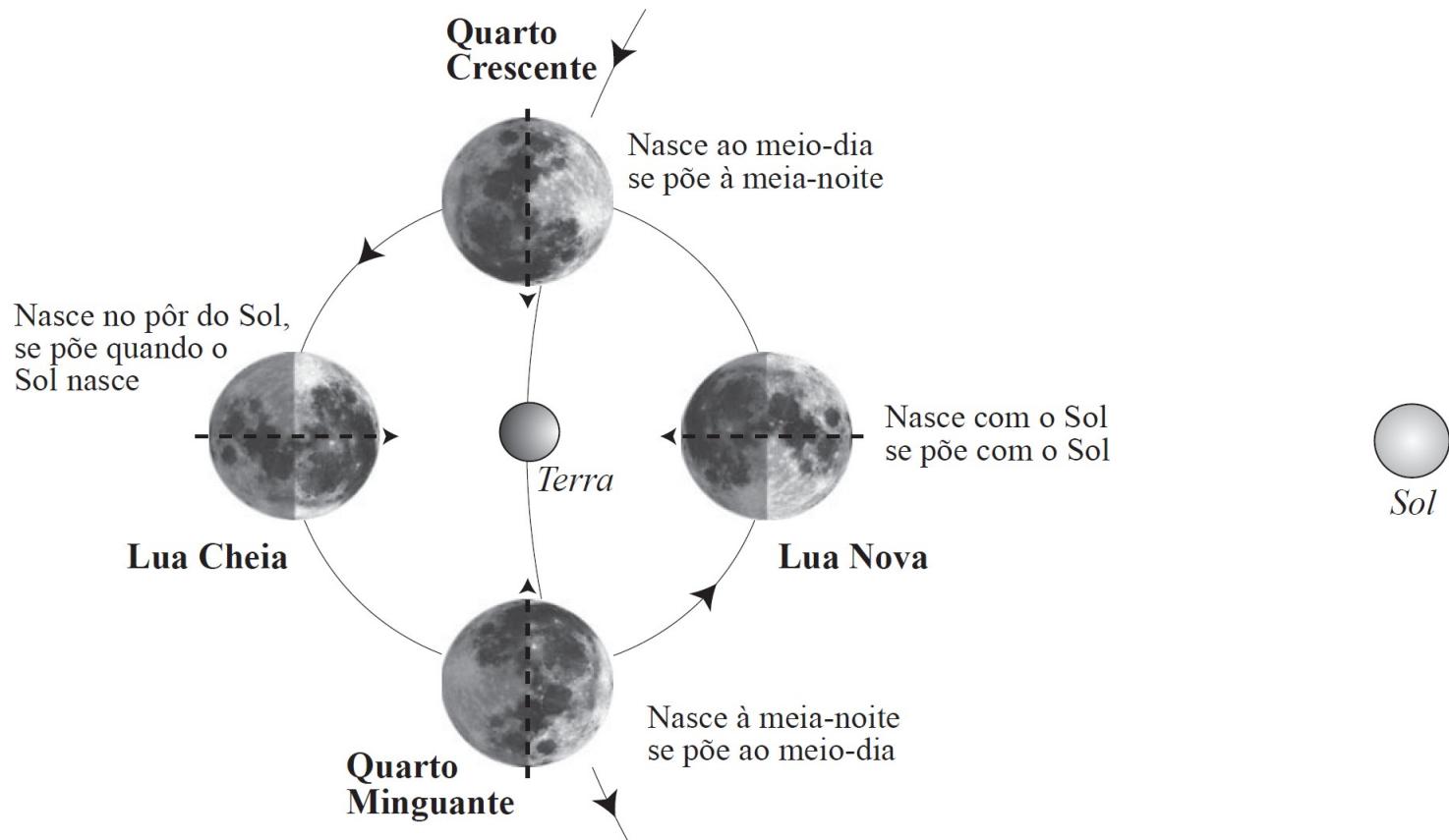


Figura 1.7: Movimento próprio da Lua em torno da Terra. Observe que a Lua apresenta sempre a mesma face voltada para Terra. A Lua gira em torno do seu próprio eixo com o mesmo período em que gira em torno da Terra.

# Órbita da Lua: inclinação

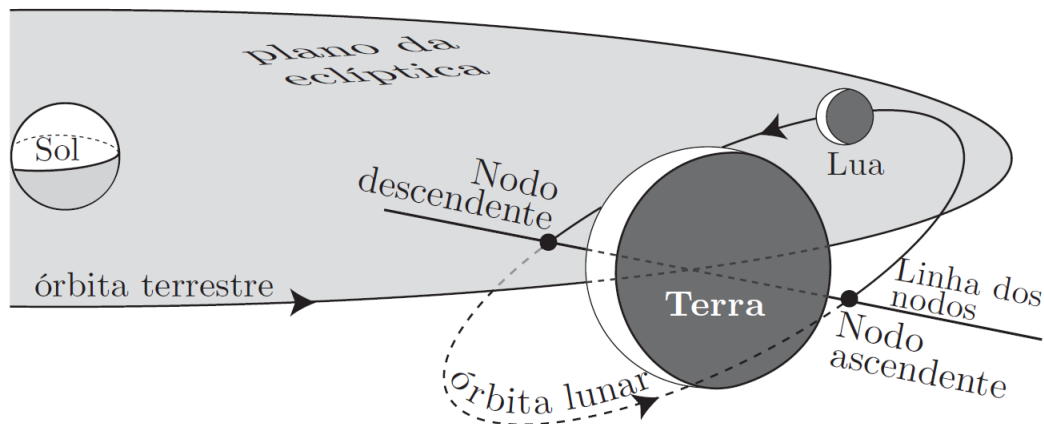
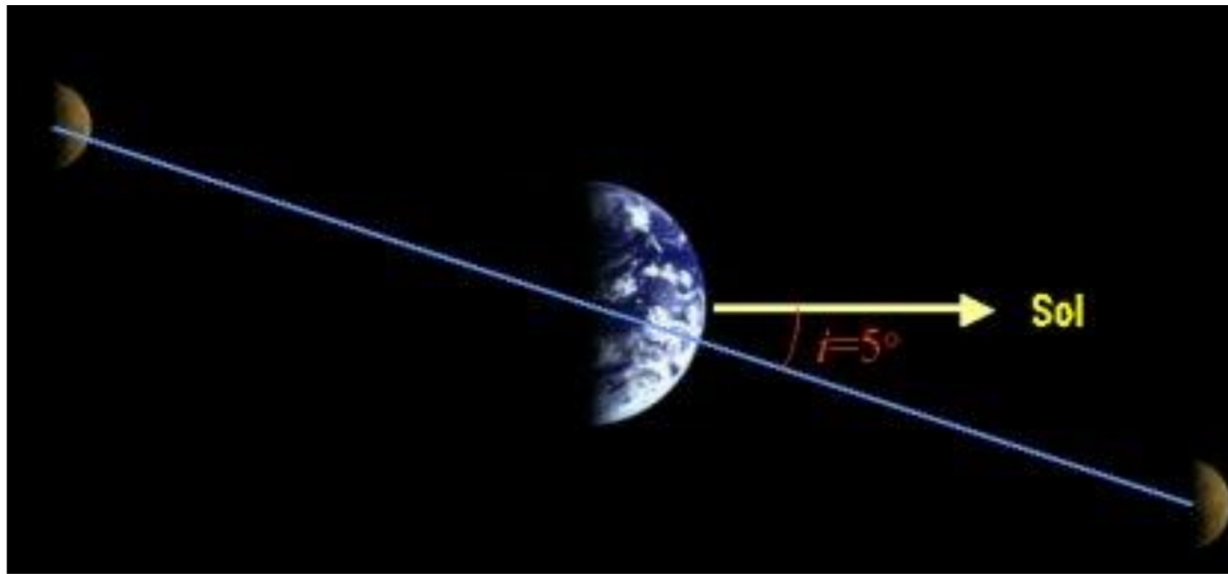


Figura 4.20: Geometria da órbita da Lua em relação à eclíptica. As órbitas não são coplanares e a reta da intersecção é chamada linha dos nodos onde se encontram os nodos ascendente e descendente. A inclinação da órbita da Lua em relação à eclíptica é de cerca de  $5,1^\circ$ .



# Órbita da Lua: precessão

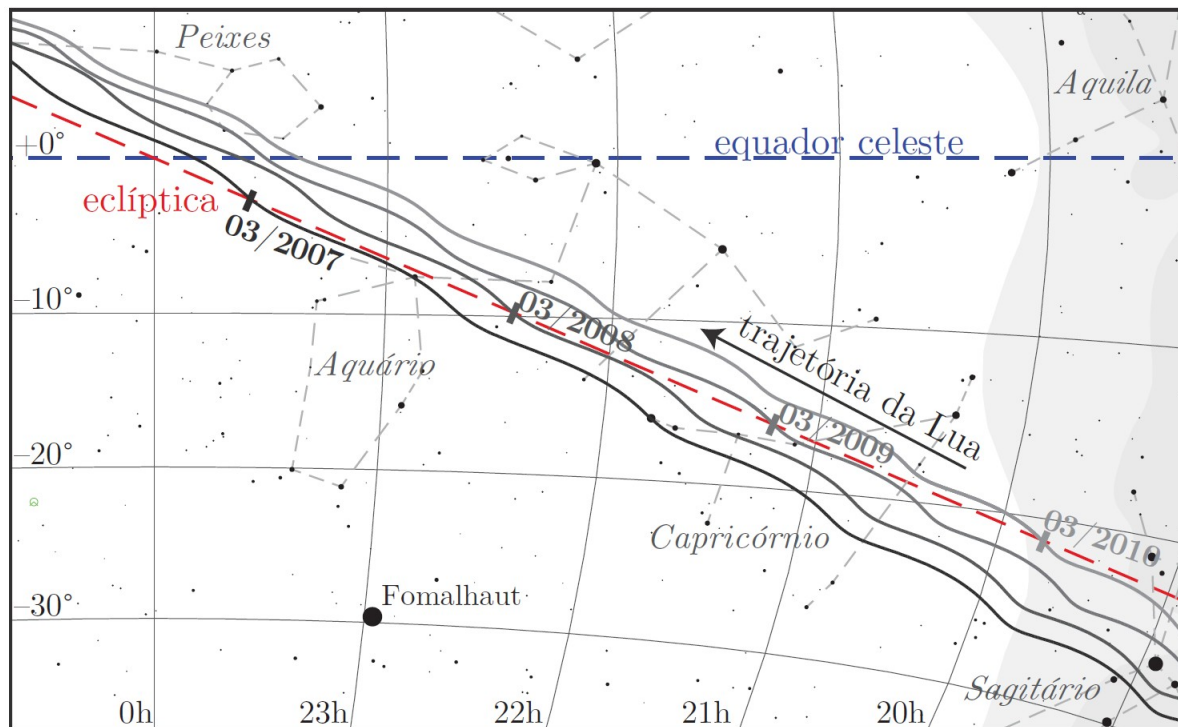


Figura 1.8: A órbita lunar é exibida em 4 momentos (linhas cinzas) separados por aproximadamente um ano cada um. A linha vermelha tracejada representa a eclíptica e a linha azul o equador celeste. Podemos ver que o nó da órbita retrocede, isto é, se movimenta no sentido oposto à Lua em sua órbita. Note também a inclinação da órbita lunar em relação à eclíptica.

# Movimento aparente dos astros





# Movimento aparente dos astros

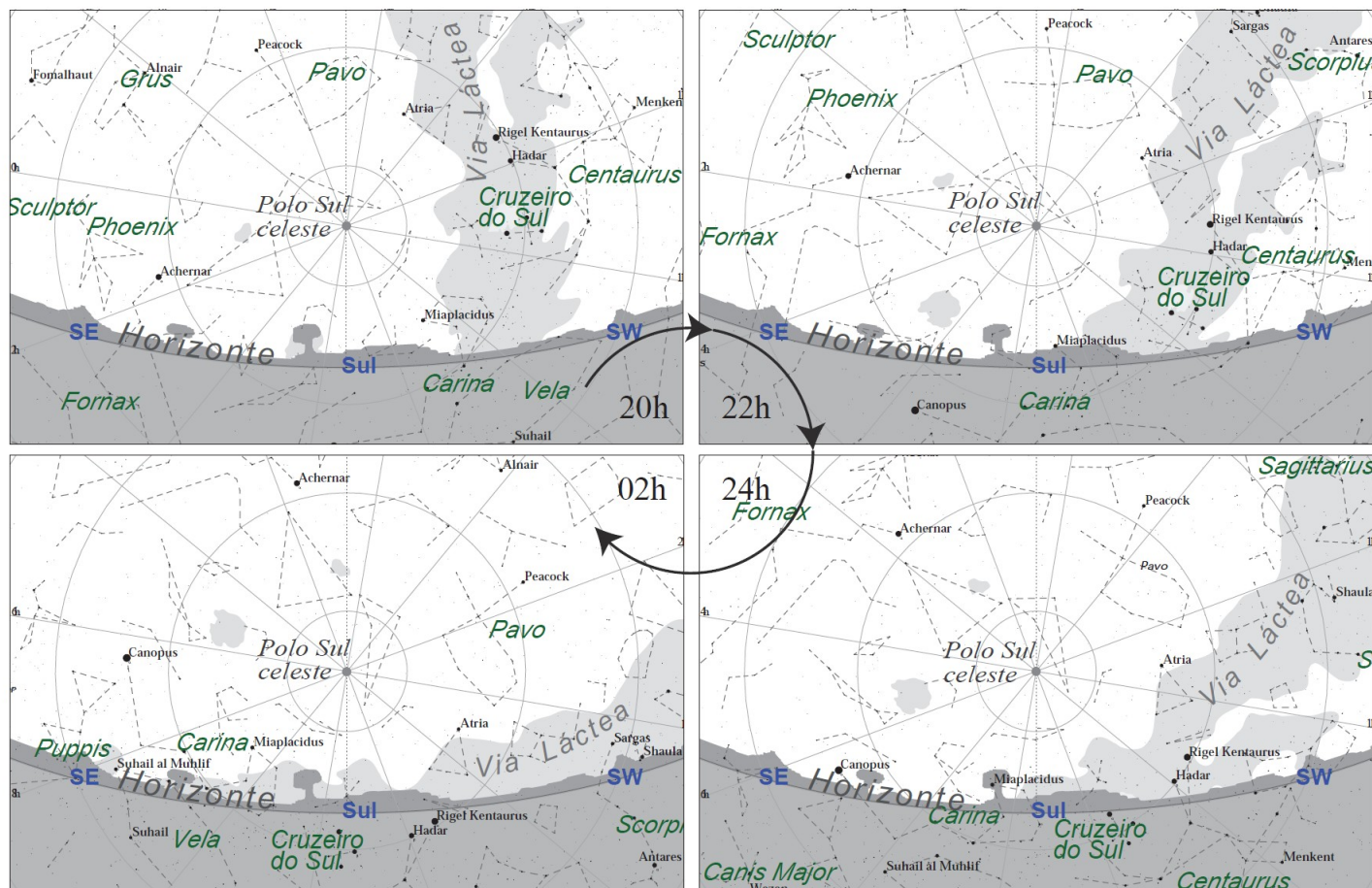
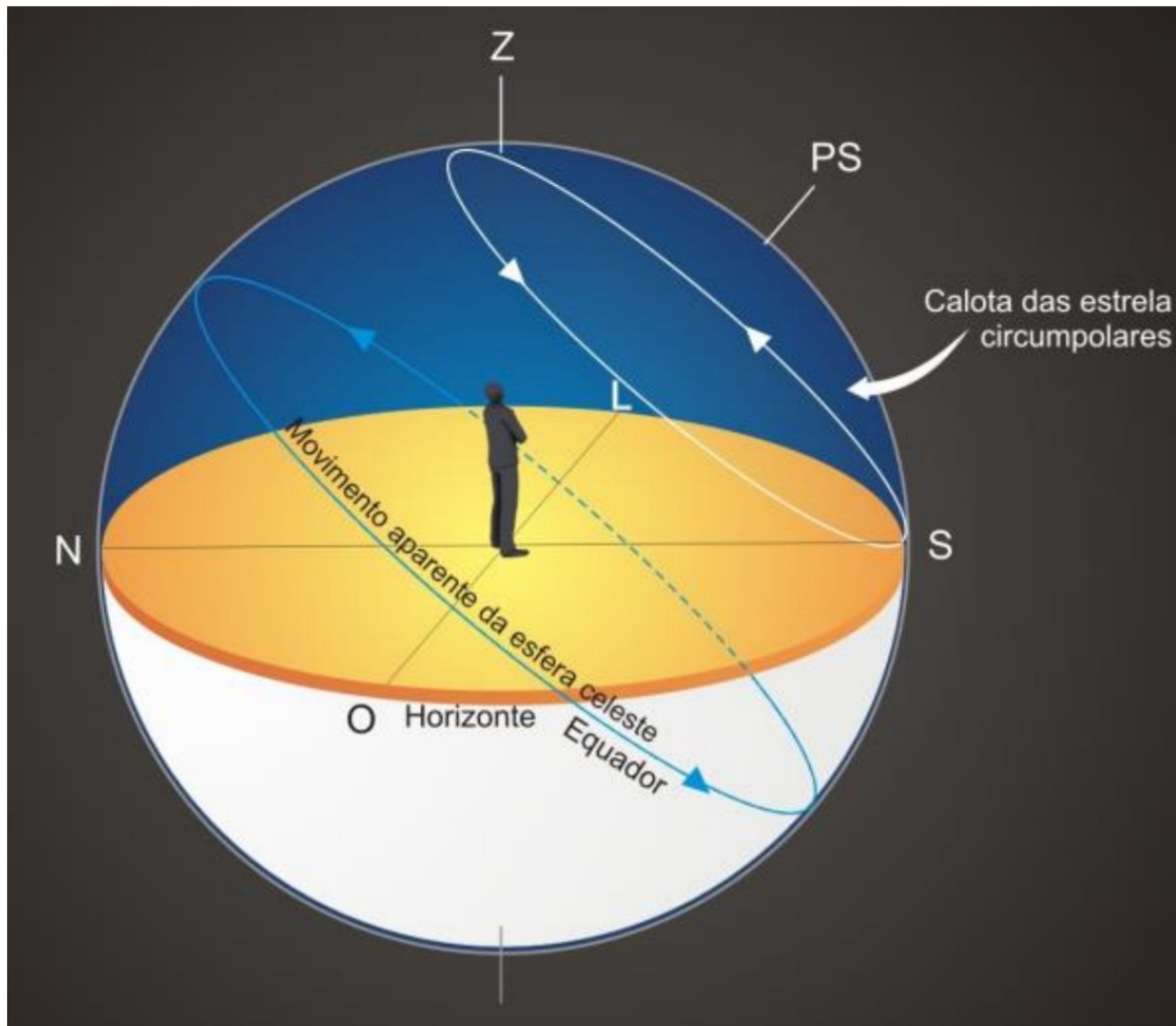


Figura 1.5: Polo celeste sul visto de São Paulo no início de Setembro em 4 instantes diferentes: às 20, 22, 24, e 2 horas. Os círculos representam as Declinações e as retas são as Ascensões Retas (este sistema de coordenadas será definido na seção 1.5.2). O tamanho das estrelas é proporcional ao brilho aparente (escala em magnitude). Estando no Hemisfério Sul e olhando para a direção sul, veremos os astros girando em torno do Polo Sul Celeste no *sentido horário*. No Hemisfério Norte, veríamos os astros girando em torno do Polo Norte Celeste no *sentido anti-horário*.

# Movimento aparente dos astros



# Movimento aparente do planetas

Planeta vem do grego: πλανήτης ('planētēs'  
«vagabundo, errante»)

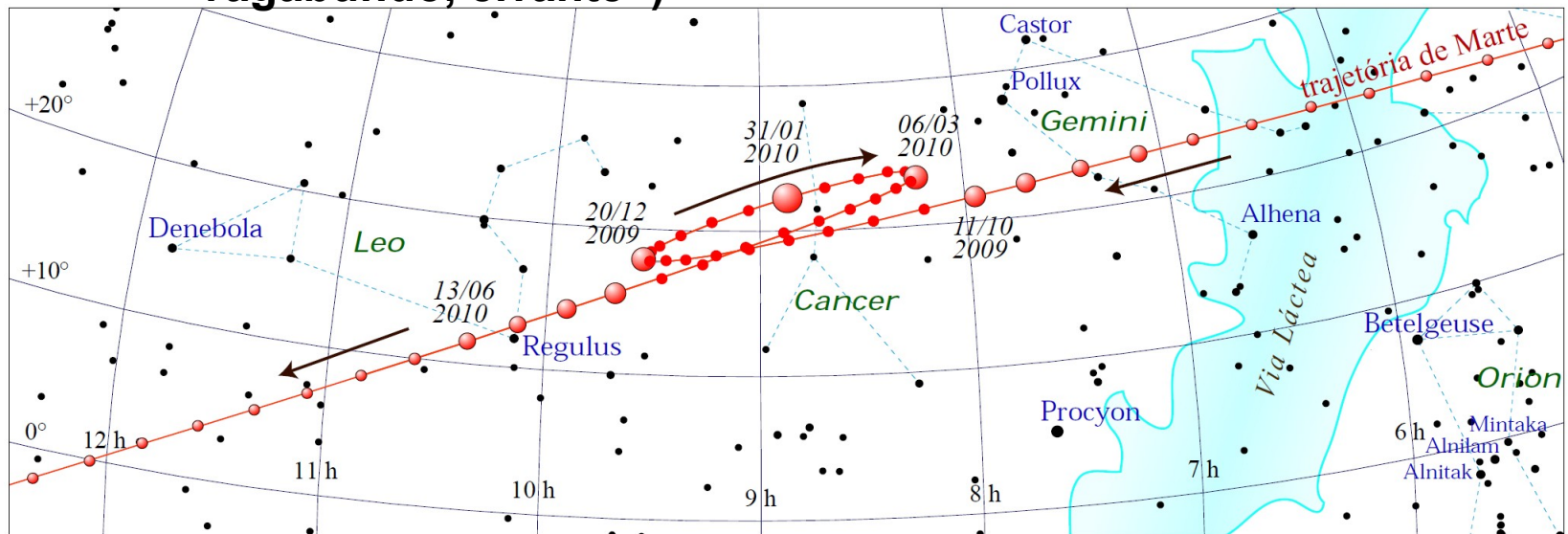


Figura 1.9: Movimento aparente de Marte na esfera celeste ilustrando o movimento retrógrado. O intervalo entre duas posições ao longo da trajetória corresponde a uma semana. O tamanho aparente de Marte está representado de forma aproximada (e fora de escala). O movimento retrógrado dos planetas externos ocorre quando o planeta passa pela conjunção (Fig 4.12 na seção 4.9). Também estão indicadas algumas estrelas brilhantes, constelações e as coordenadas equatoriais.



# Movimento aparente do planetas

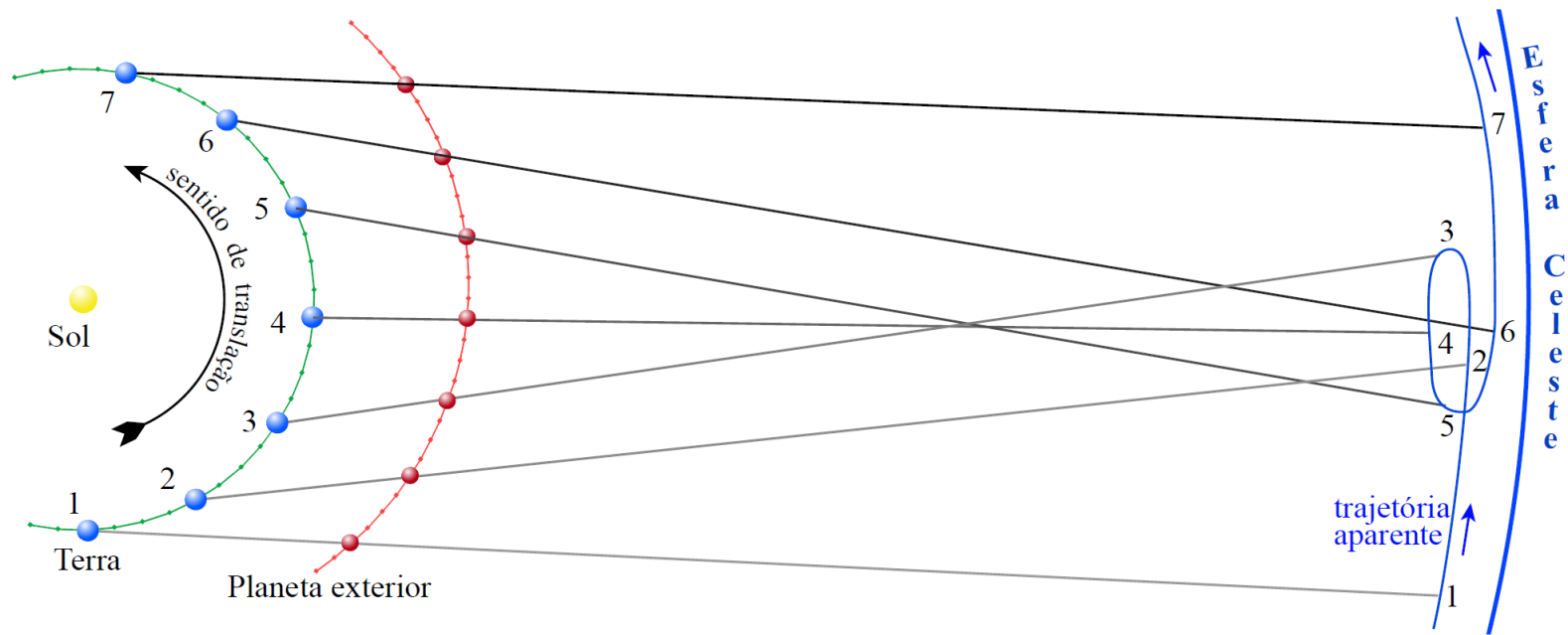
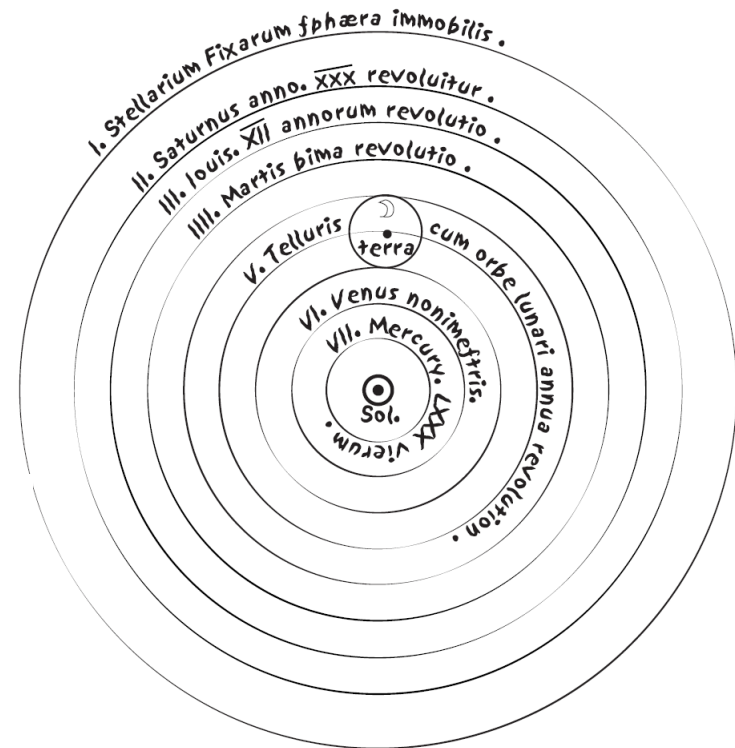


Figura 1.10: Posições da Terra e Marte em suas órbitas em torno do Sol no mesmo período do Fig. 1.9. Entre as posições marcadas 1 e 3, o movimento aparente de Marte é direto. Entre as posições 3 e 5, o movimento é retrógrado e, em seguida volta a ser direto. Em 4, Marte está em oposição. As posições nas órbitas correspondem a intervalos de 4 semanas.

# Nicolau Copérnico (1543)

- Sol no centro (baseando-se em Filolau, Heráclides e, principalmente, Aristarco de Samos);
- Terra gira em torno do próprio eixo e do Sol
- Planetas tem movimento circular e uniforme
- Ordem correta dos planetas: período proporcional a distância.
- Explica o movimento retrógrado.

Figura 4.8: O sistema solar segundo Copérnico. Os planetas se movem em órbitas circulares em torno do Sol. Para poder prever corretamente a posição dos planetas, Copérnico também precisou introduzir epiciclos em seu sistema Heliocêntrico.



# Movimento aparente do planetas

Planeta vem do grego: πλανήτης ('planētēs' «vagabundo, errante»)

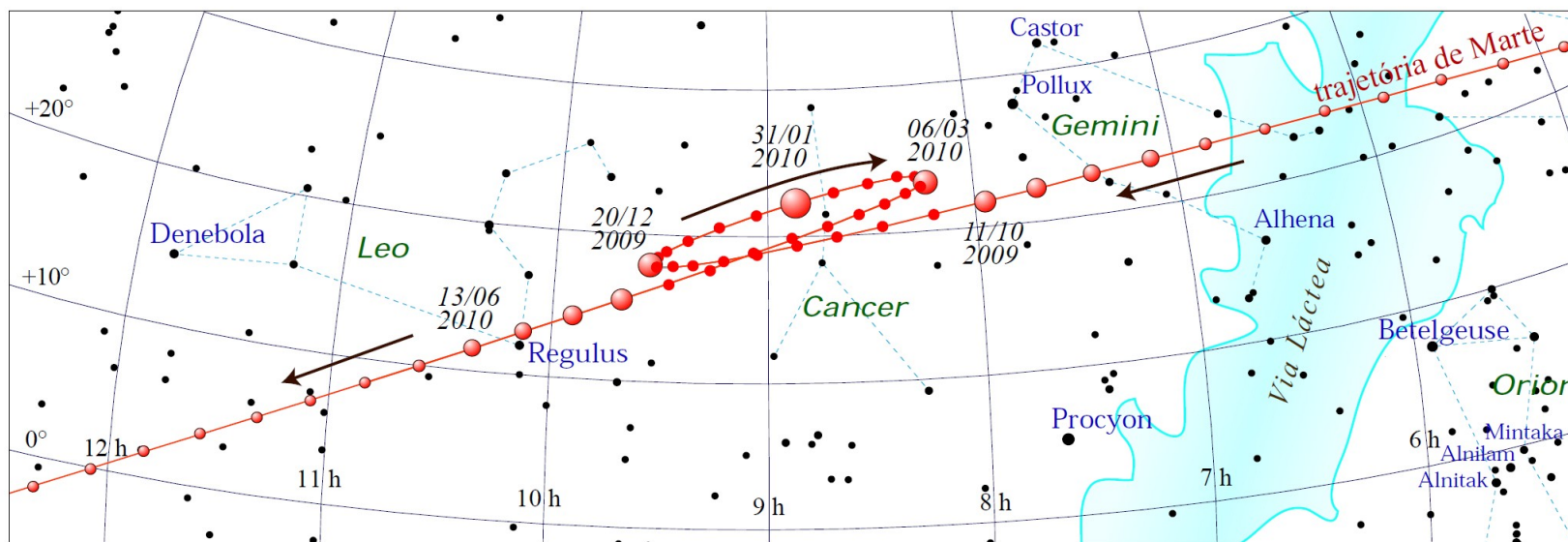


Figura 1.9: Movimento aparente de Marte na esfera celeste ilustrando o movimento retrógrado. O intervalo entre duas posições ao longo da trajetória corresponde a uma semana. O tamanho aparente de Marte está representado de forma aproximada (e fora de escala). O movimento retrógrado dos planetas externos ocorre quando o planeta passa pela conjunção (Fig 4.12 na seção 4.9). Também estão indicadas algumas estrelas brilhantes, constelações e as coordenadas equatoriais.

# Movimento aparente do planetas

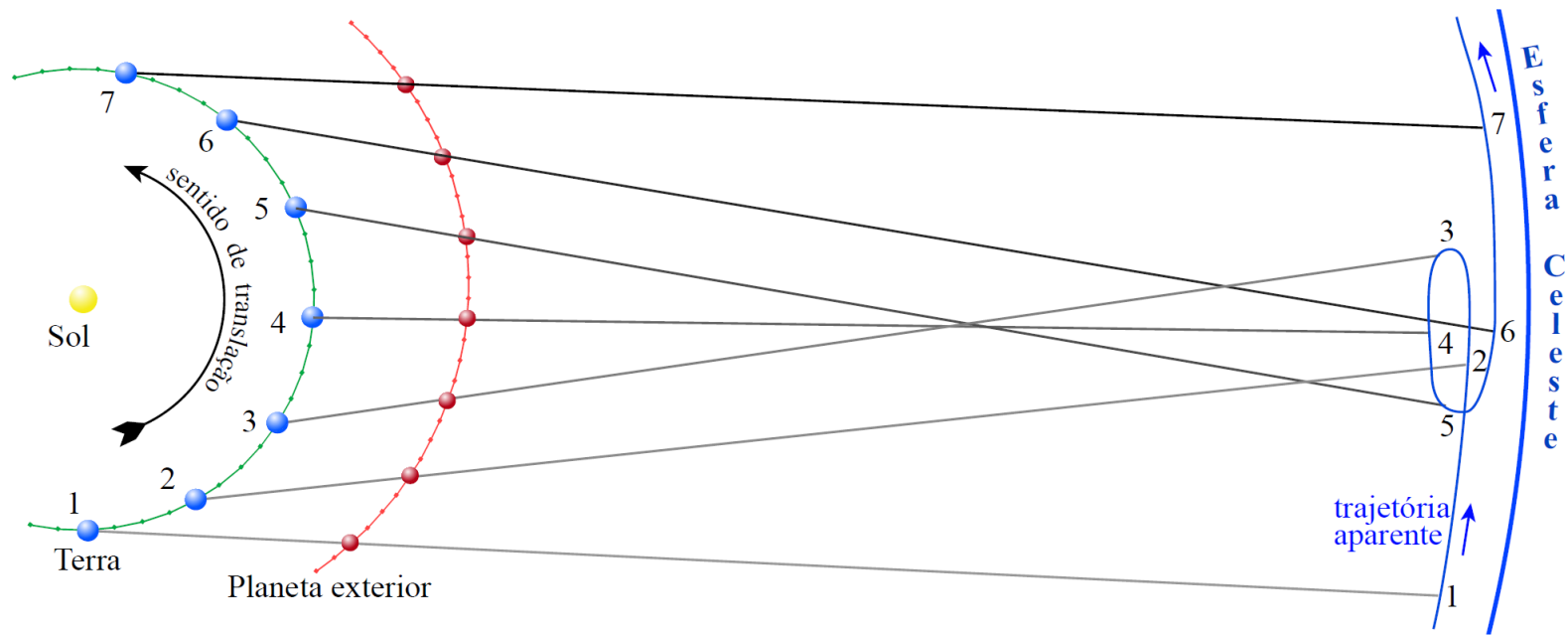
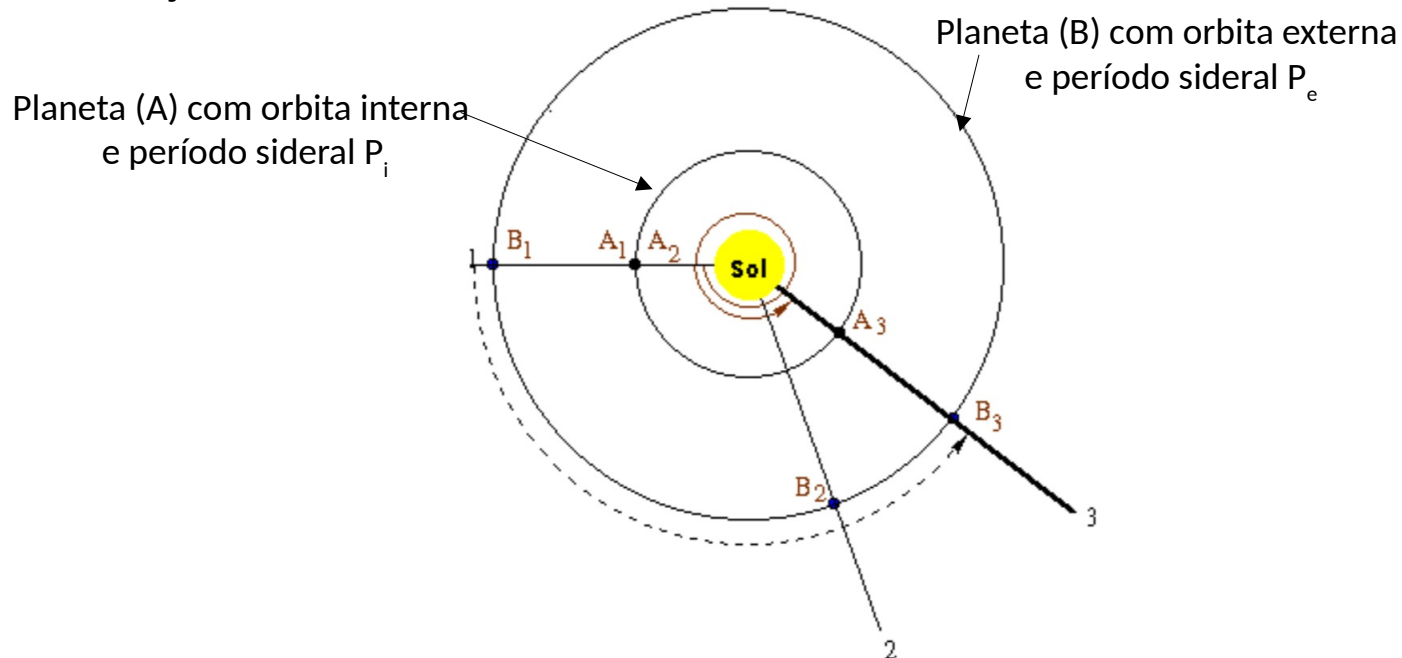


Figura 1.10: Posições da Terra e Marte em suas órbitas em torno do Sol no mesmo período do Fig. 1.9. Entre as posições marcadas 1 e 3, o movimento aparente de Marte é direto. Entre as posições 3 e 5, o movimento é retrógrado e, em seguida volta a ser direto. Em 4, Marte está em oposição. As posições nas órbitas correspondem a intervalos de 4 semanas.



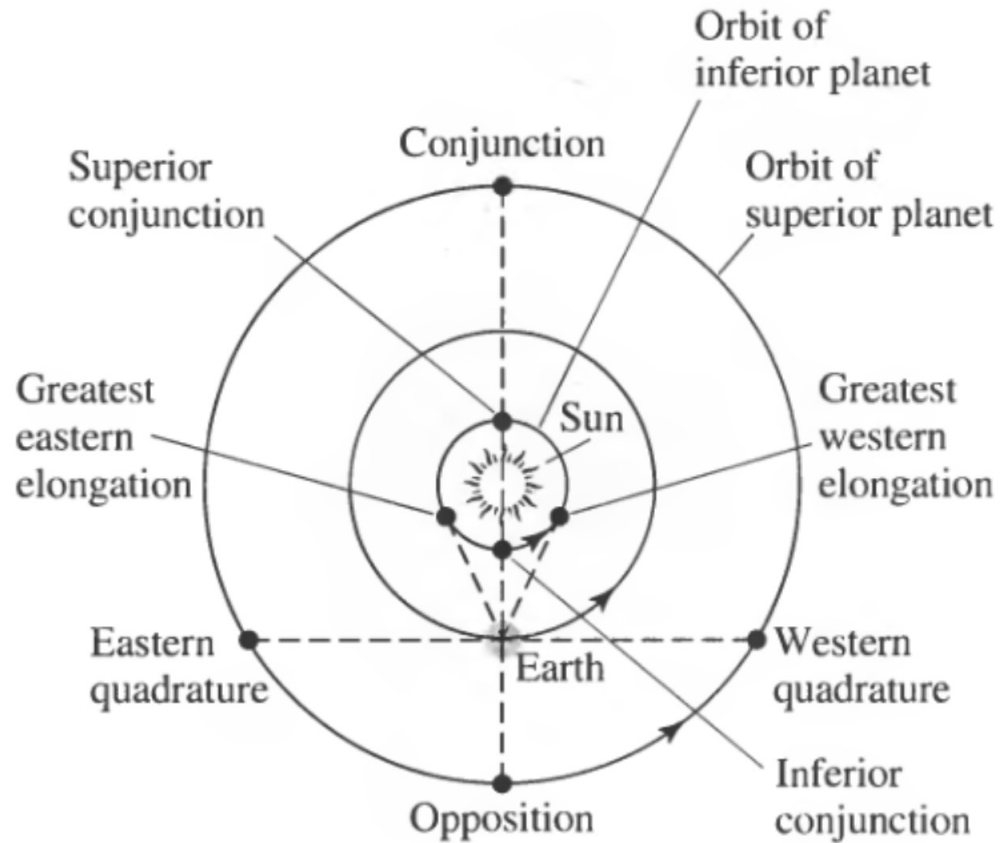
# Período Sinódico e Sideral dos Planetas

- **Período sinódico (S):** é o intervalo de tempo decorrido entre duas configurações planetárias idênticas consecutivas. Ex: duas oposições de Marte ou duas elongações ocidentais máximas de Vênus.
- **Período sideral (P):** é o período real de translação do planeta em torno do Sol, em relação a uma estrela fixa.

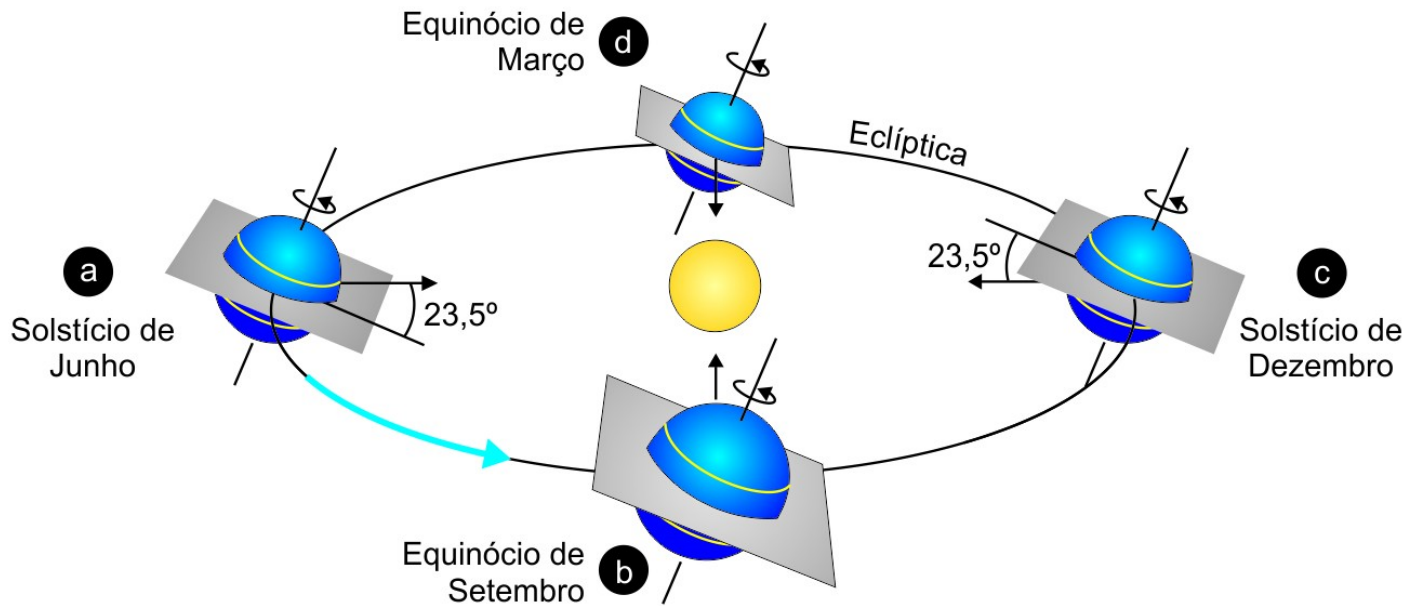


$$\frac{1}{S} = \left( \frac{1}{P_i} - \frac{1}{P_e} \right)$$

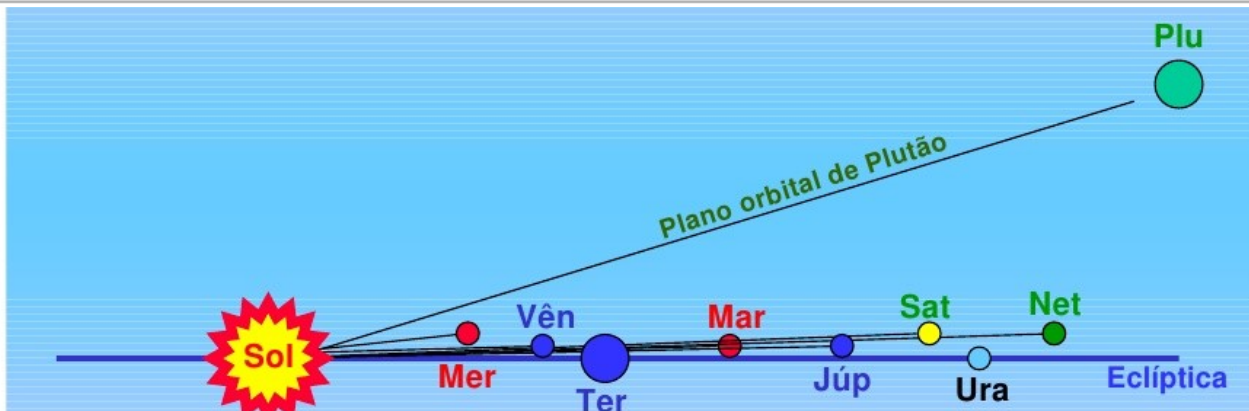
# Configurações planetárias



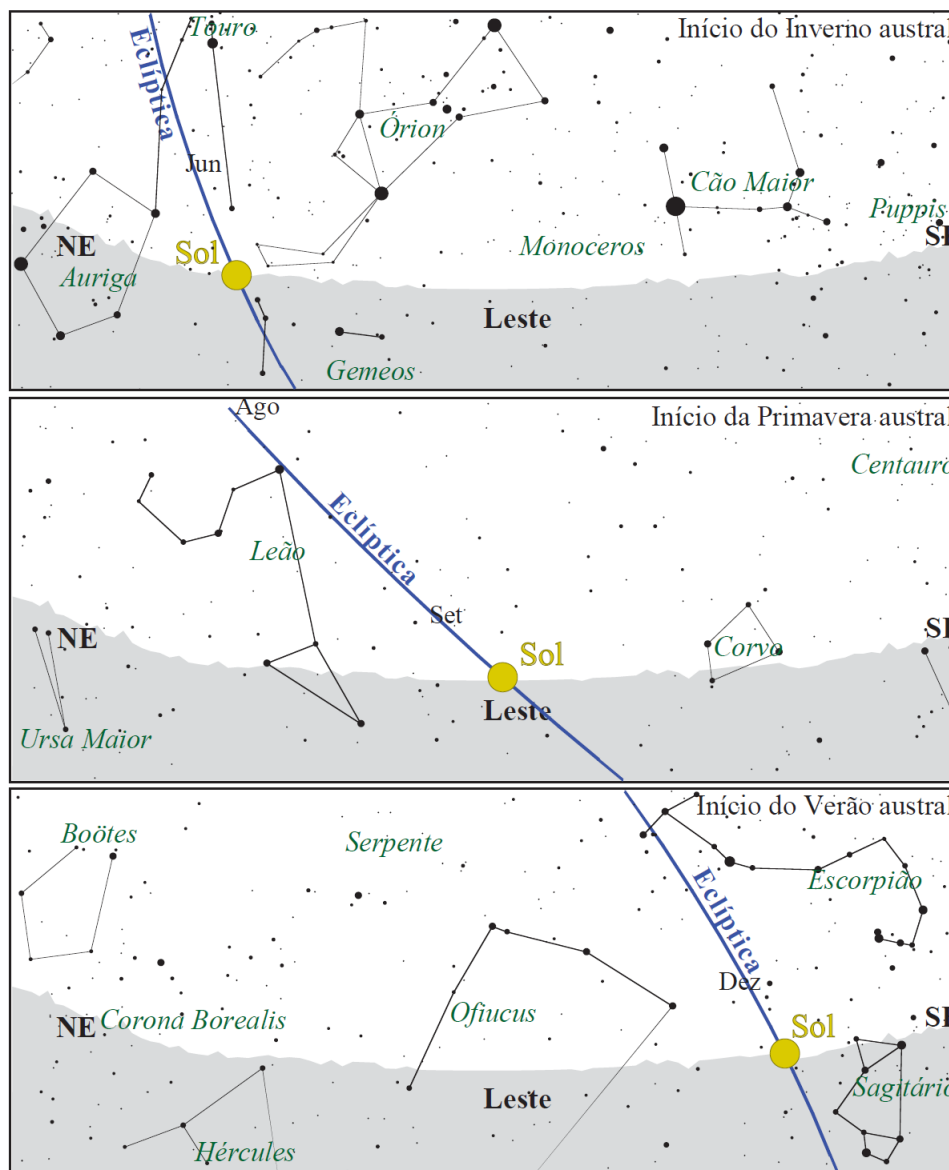
# Modelo heliocêntrico moderno



a	b	c	d
Trópico de Câncer voltado para o Sol	Equador voltado para o Sol.	Trópico de Capricórnio voltado para o Sol.	Equador voltado para o Sol.



# Movimento aparente do Sol

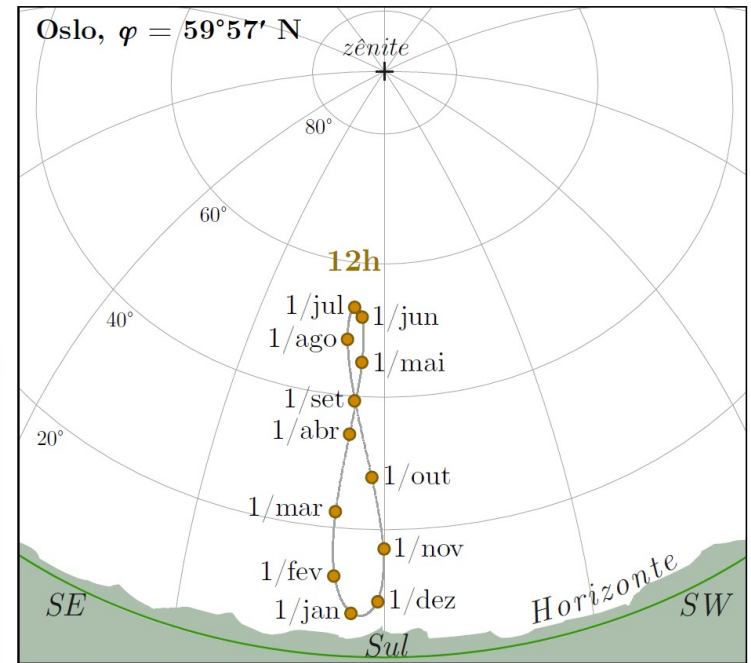
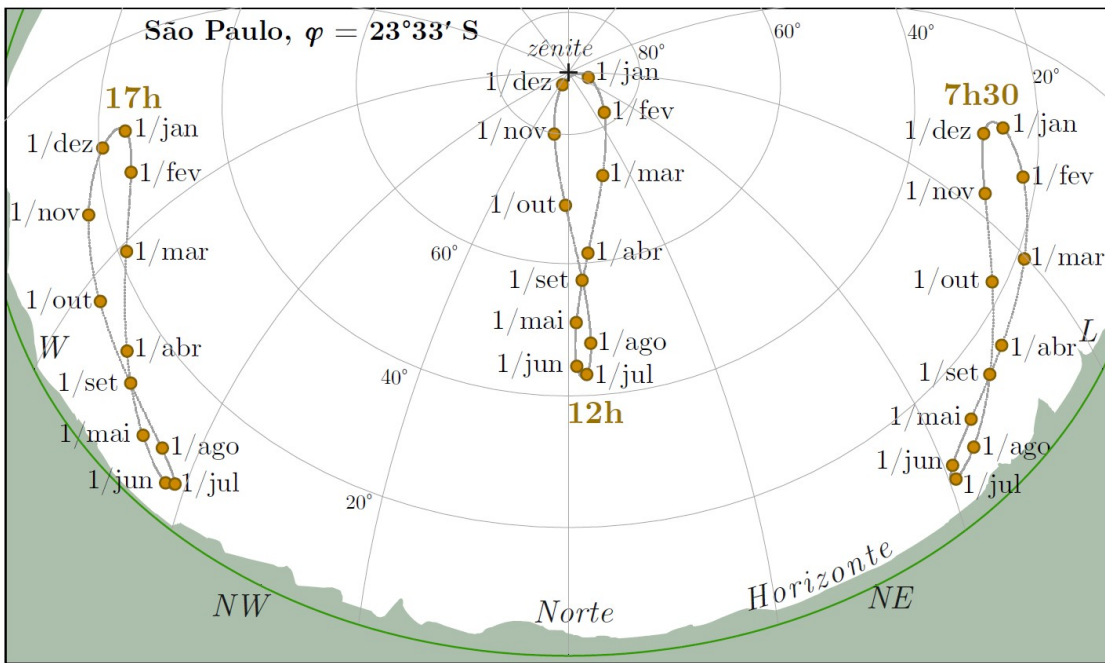


São Paulo

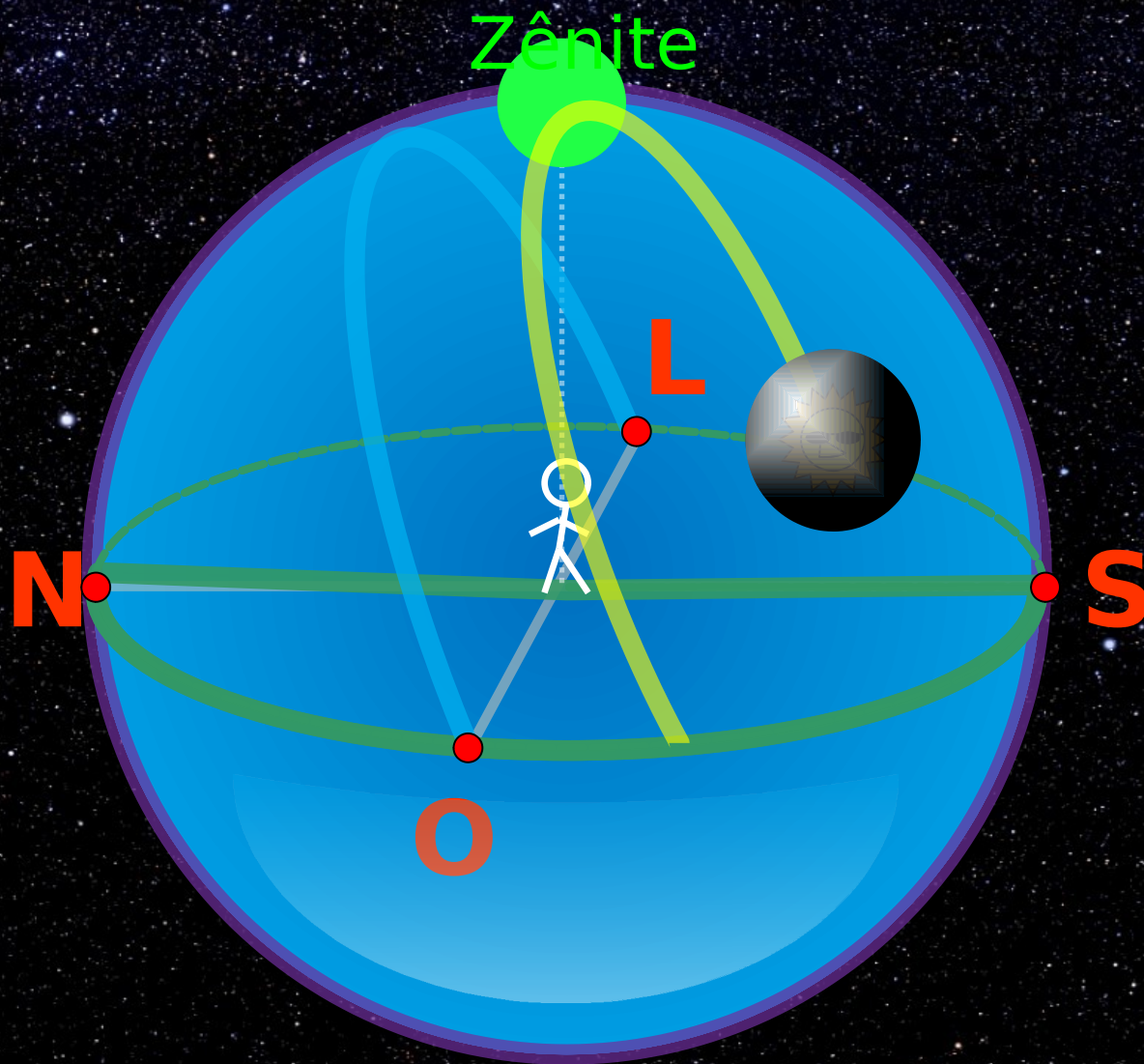


# Movimento aparente do Sol

## Analema

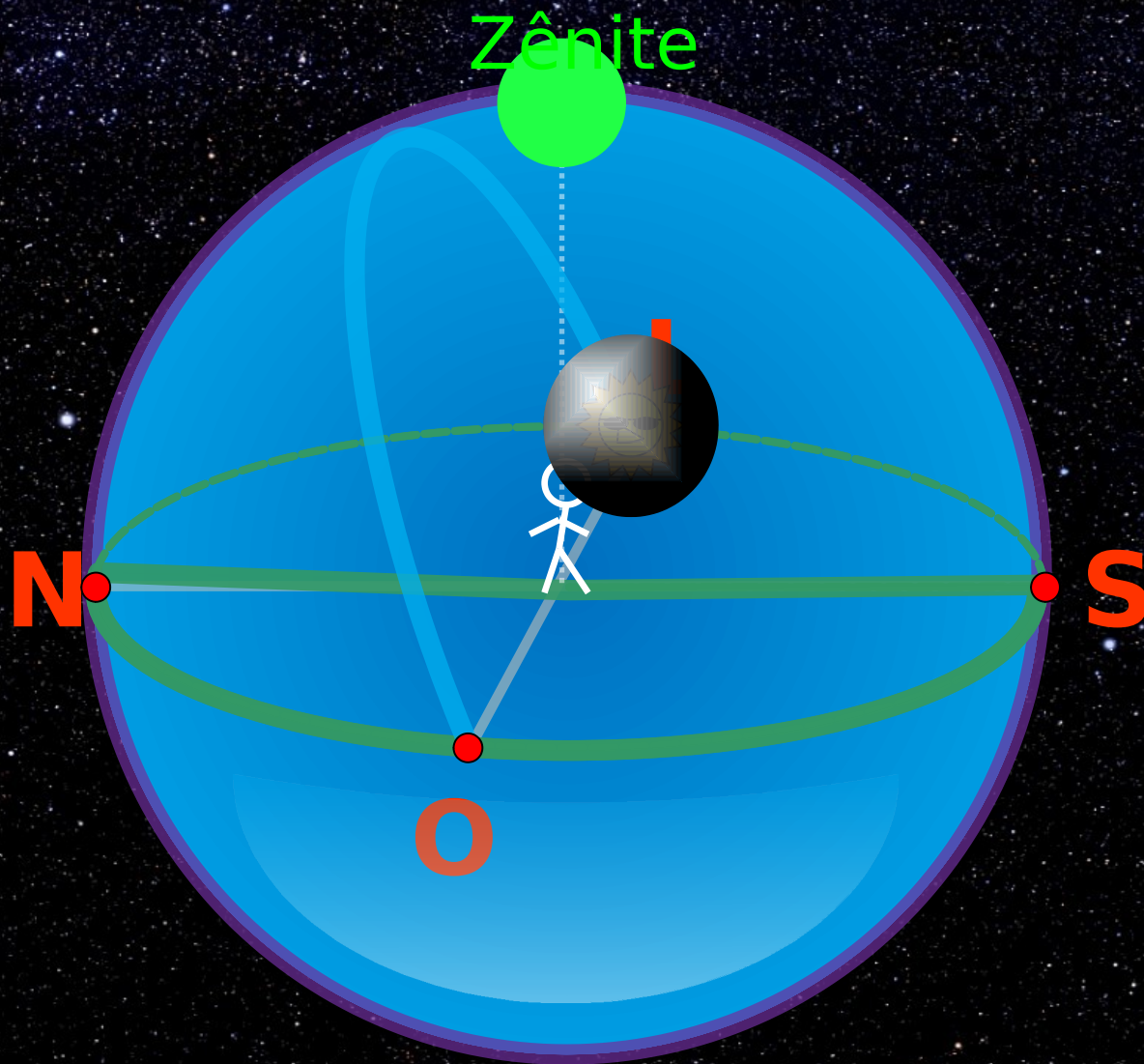


# Trajetória diurna do Sol no Solstício de Verão do HS



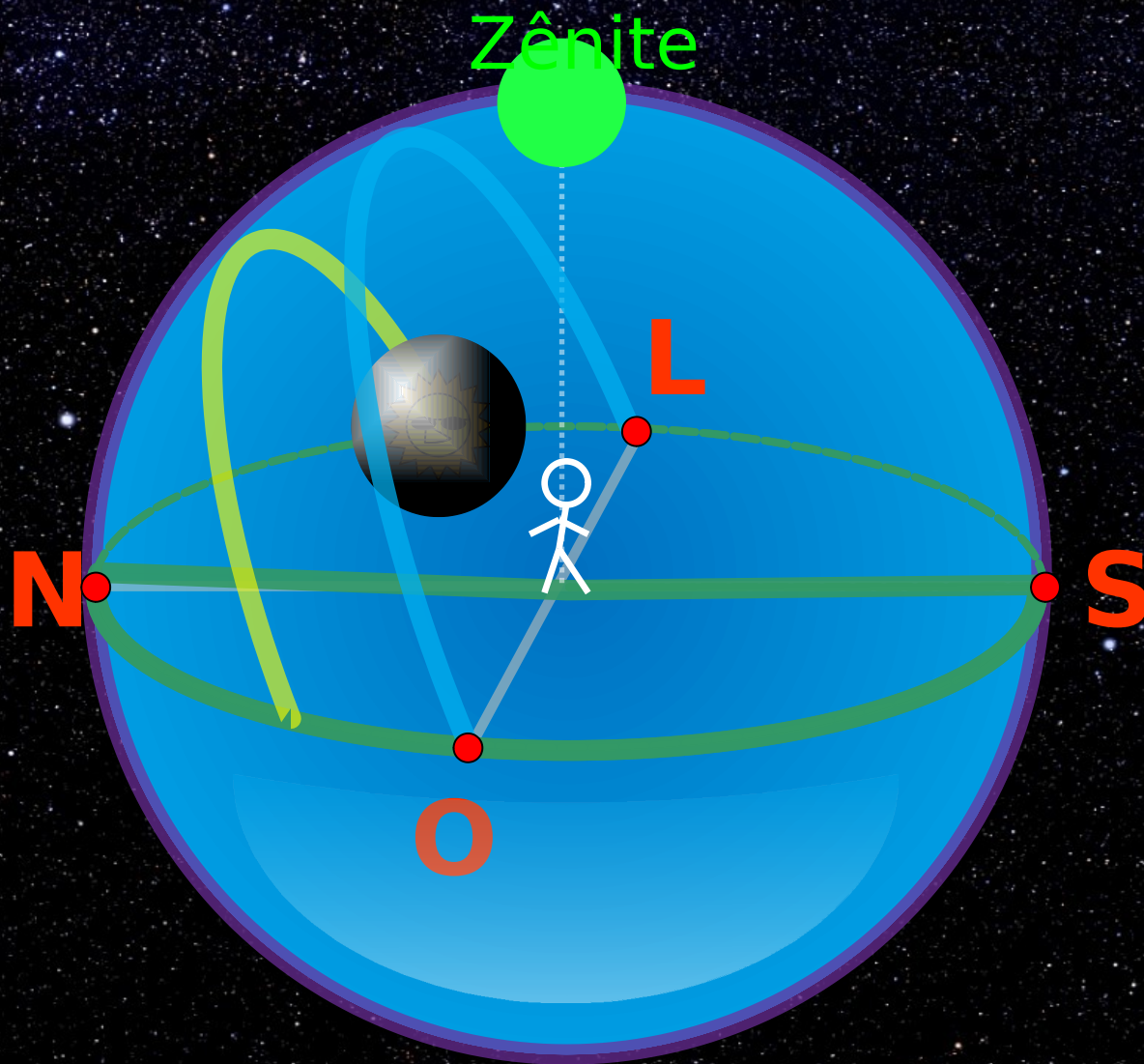


# Trajetória diurna do Sol nos equinócios



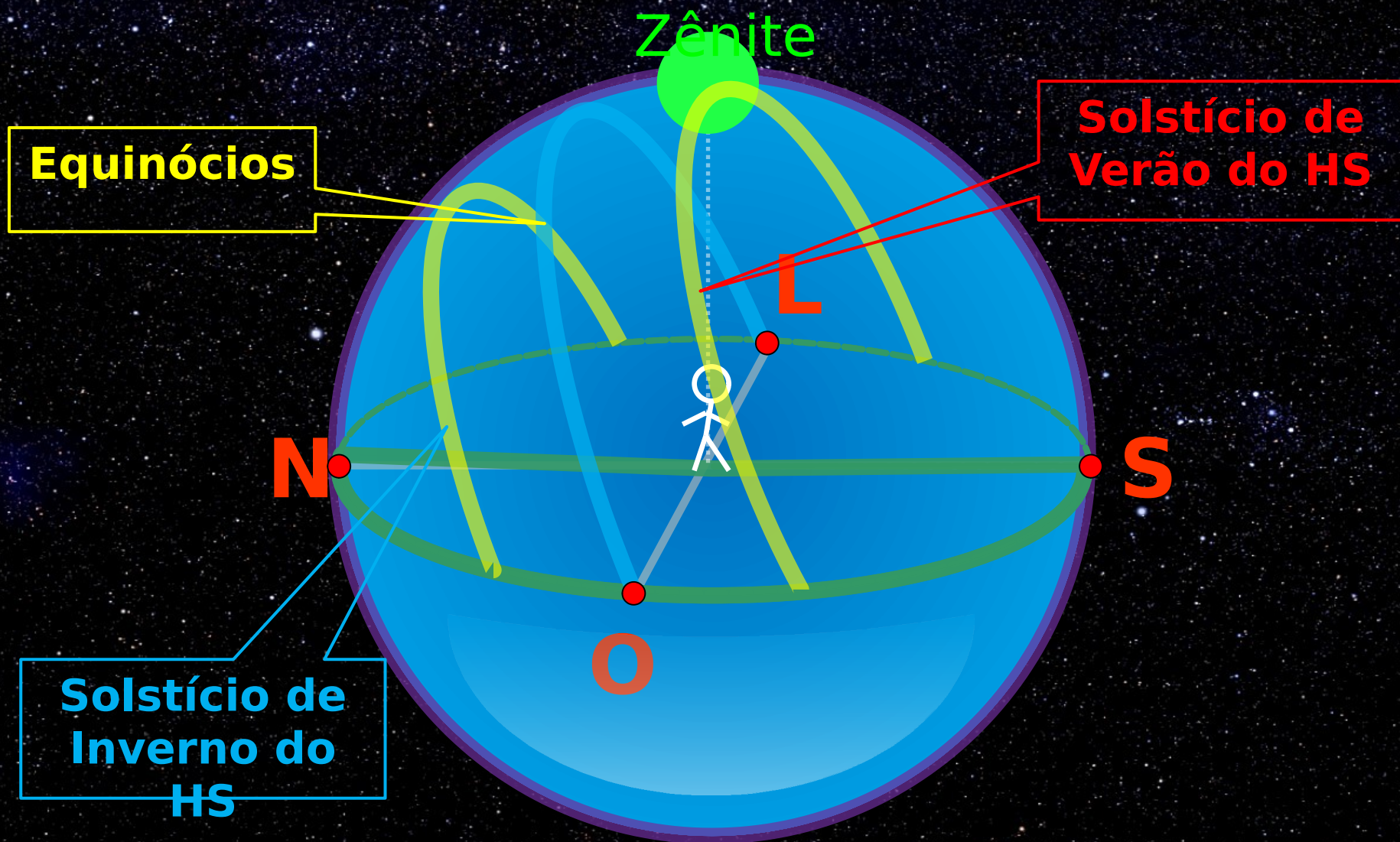


# Trajetória diurna do Sol no Solstício de Inverno do HS





# As trajetórias do Sol nos equinócios e nos solstícios

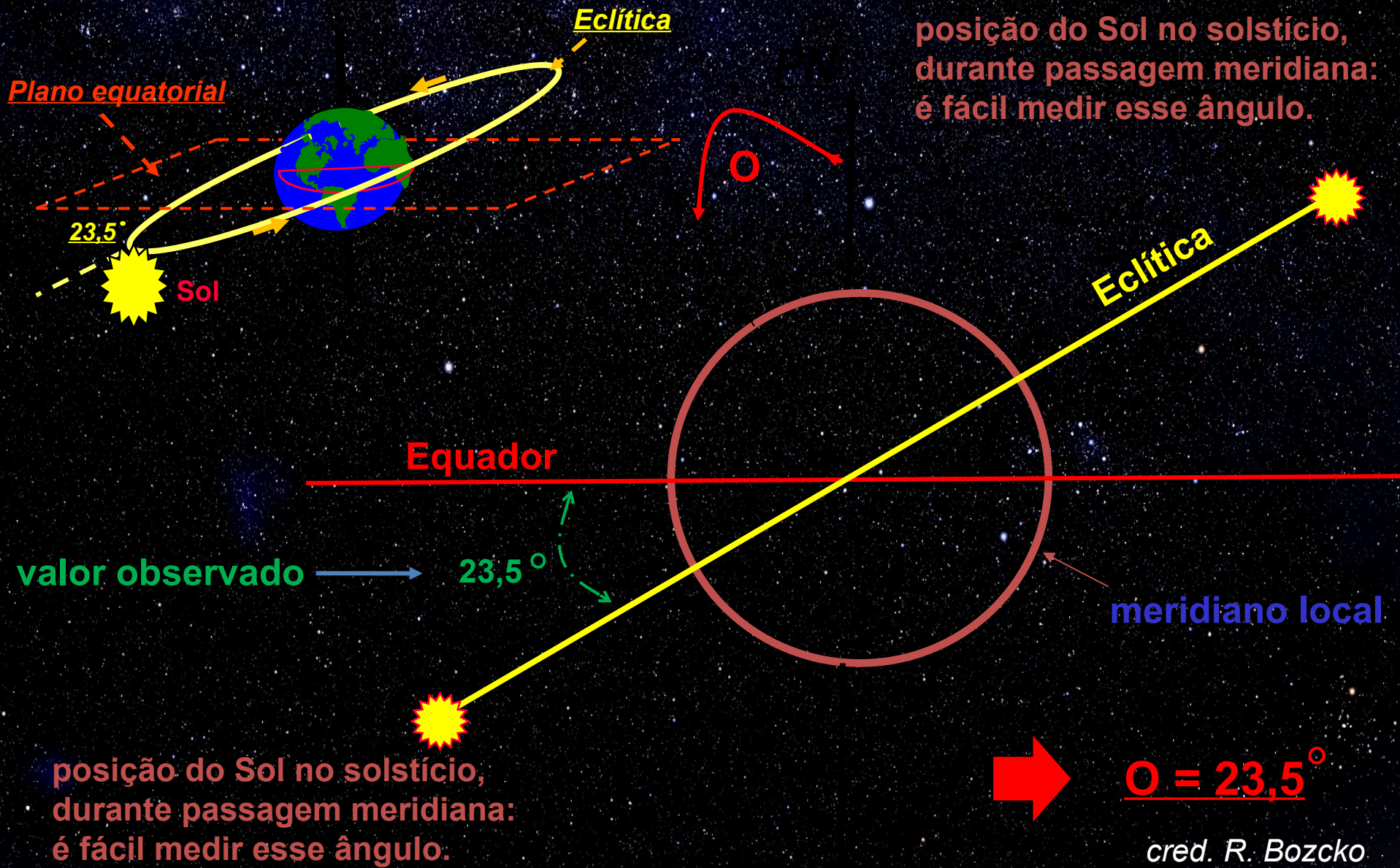




- **Solstício de Inverno: maior noite do ano**
- **Solstício de Verão: menor noite do ano**
- **SC e região:**
  - **solstícios-equinócios – diferença de 1h20min**
  - **diferenças entre solstícios: chega a quase 3h**

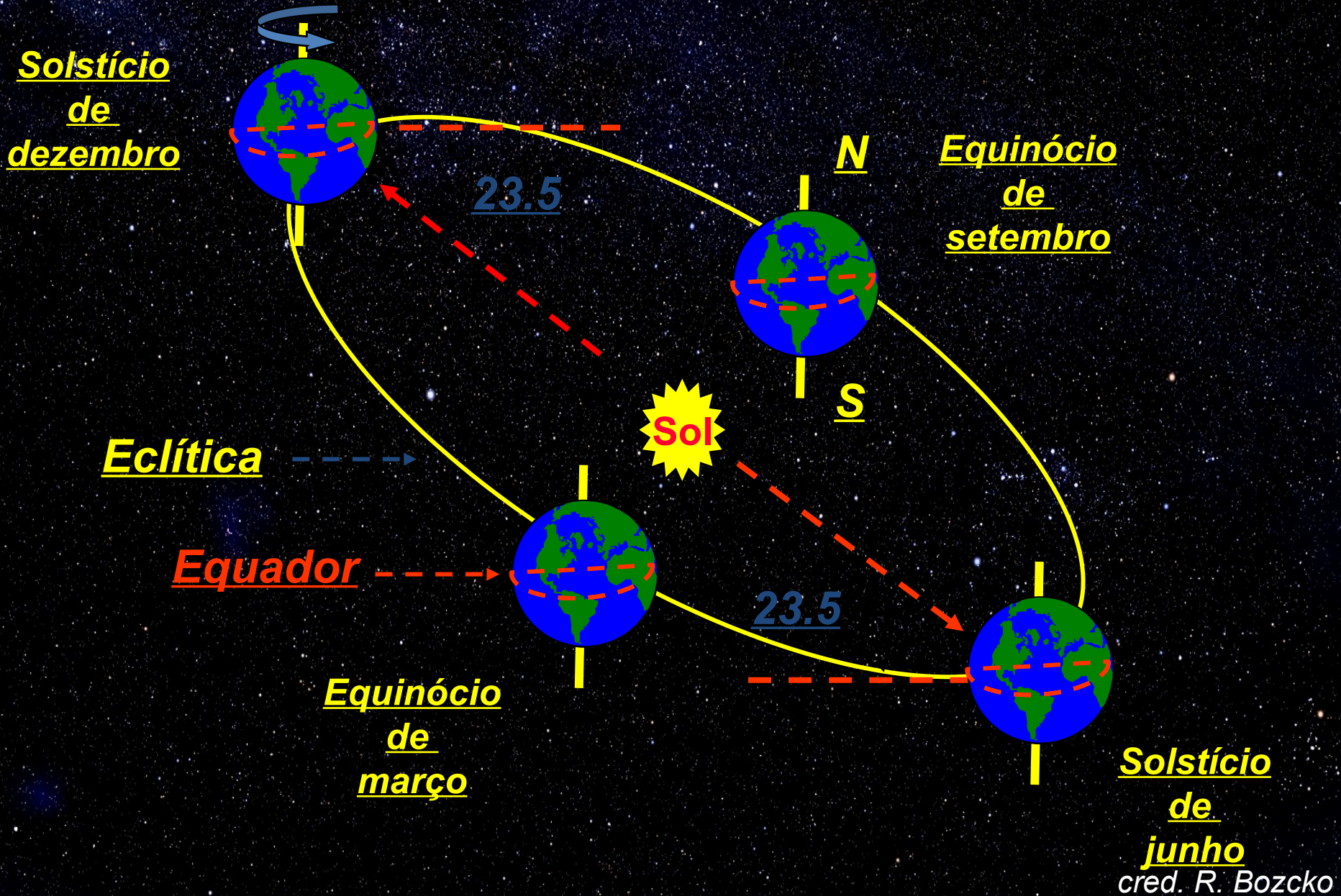


# Obliquidade da Eclíptica



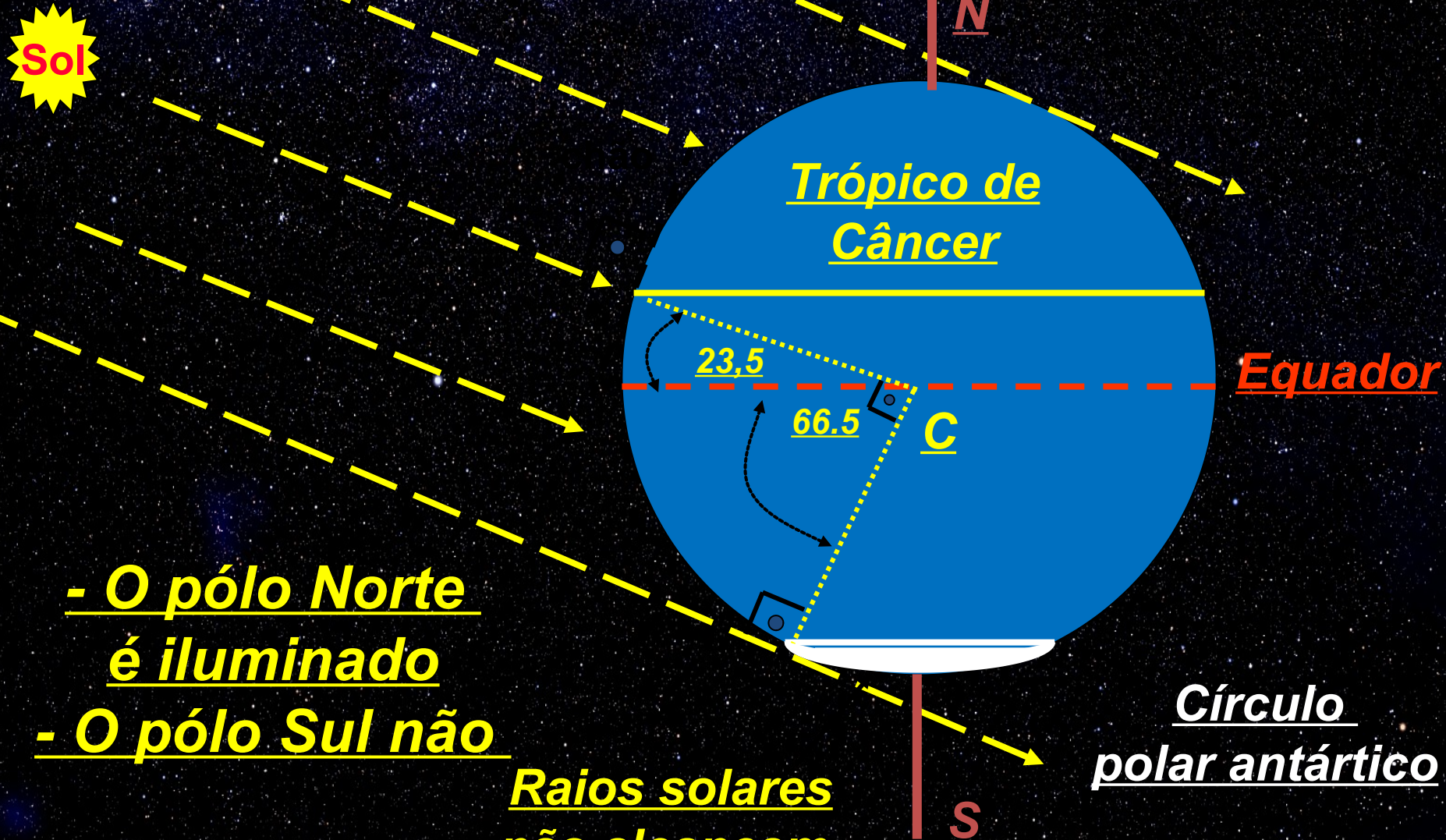


# Visão heliocêntrica





# Solstício de junho



- O pólo Norte é iluminado

- O pólo Sul não

Raios solares não alcançam esta região polar

Círculo polar antártico



# Solstício de dezembro

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

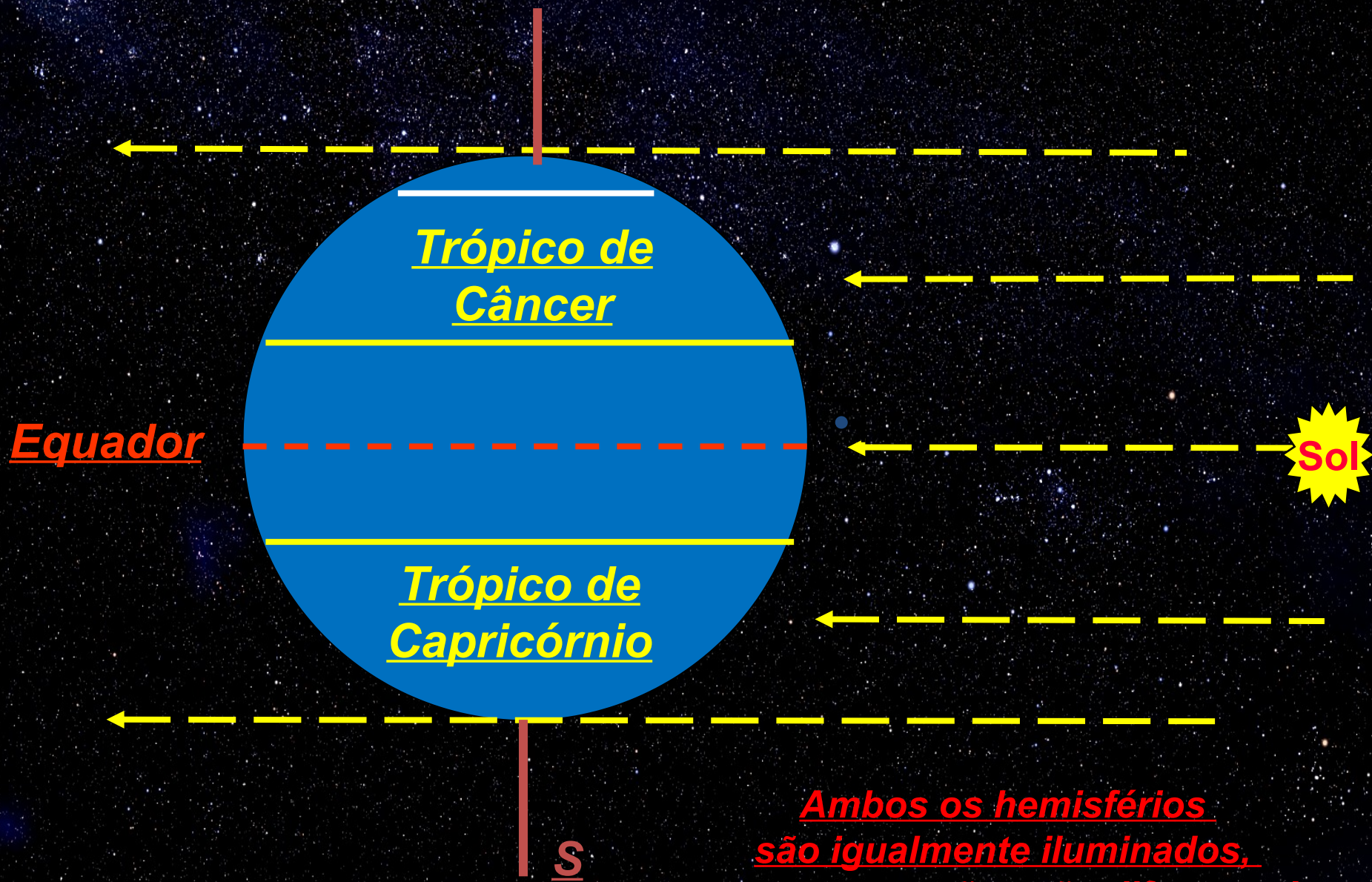
Sol

- O pólo Norte não





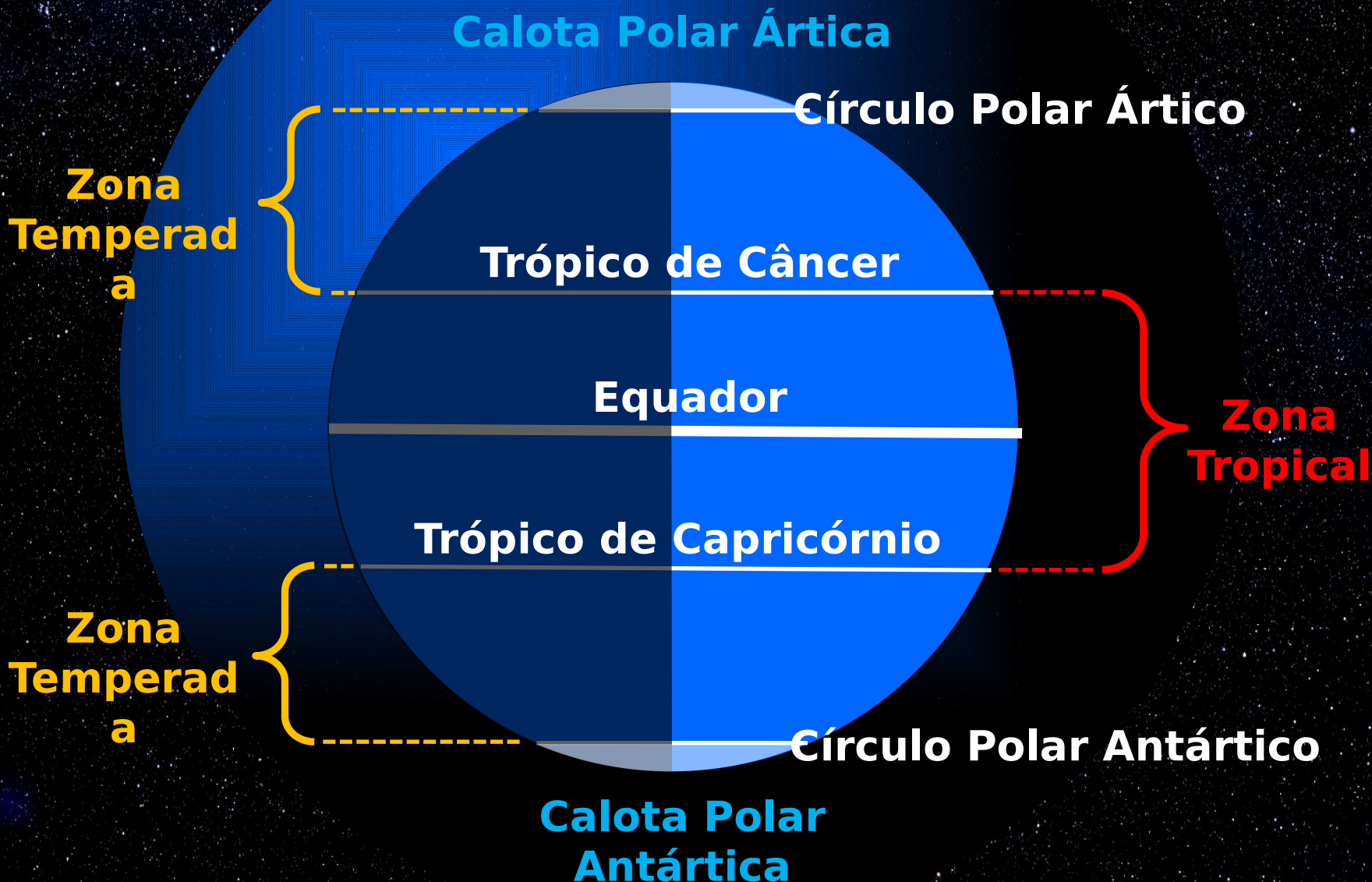
# Equinócios: março ou setembro



Ambos os hemisférios  
são igualmente iluminados,  
mas as estações são diferentes!



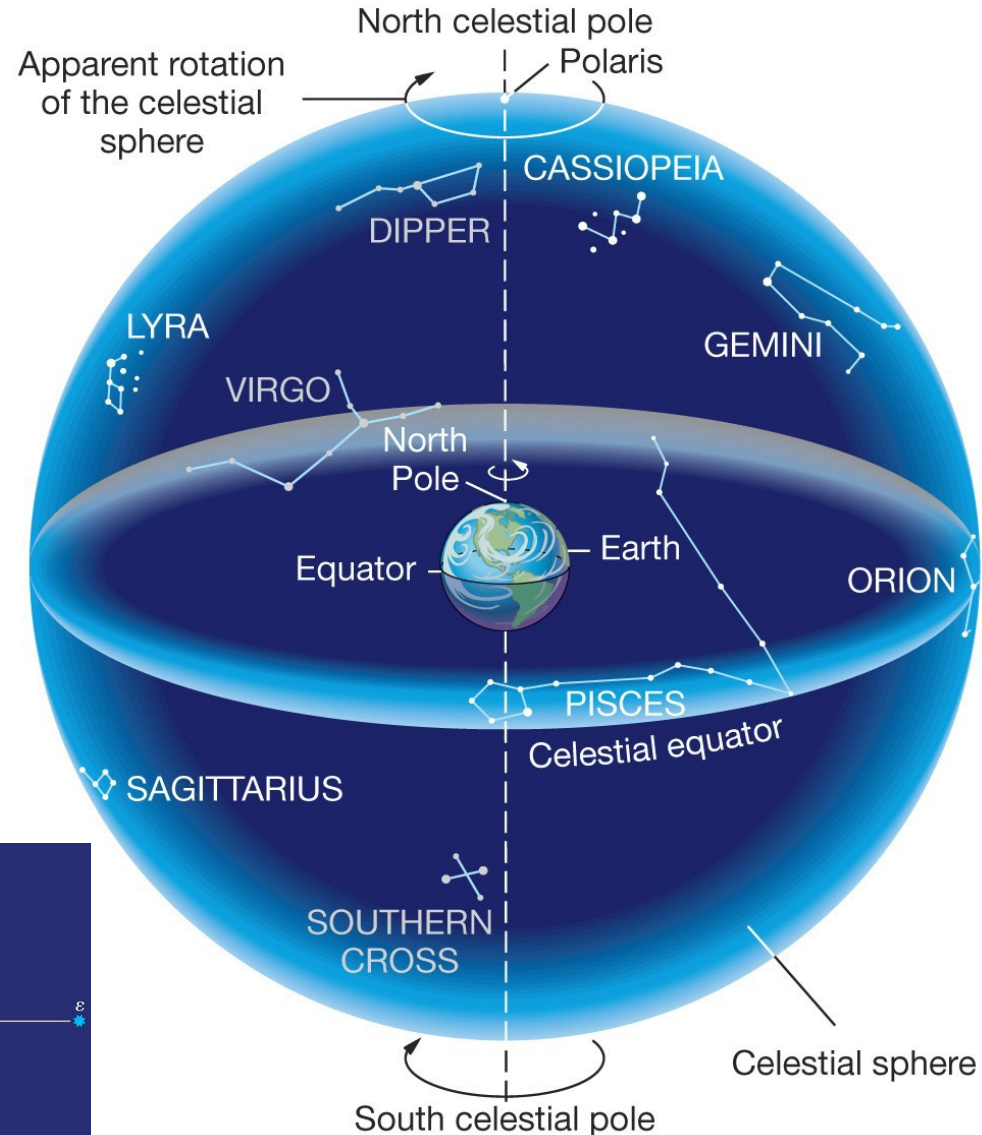
# Zonas climáticas da Terra



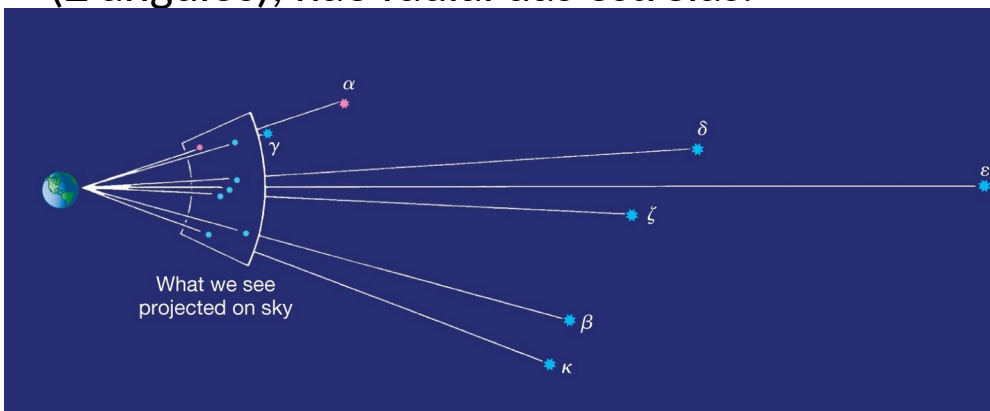


# A esfera celeste

- 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.



Copyright © 2007 Pearson Prentice Hall, Inc.



# Coordenadas geográficas

Longitude geográfica  $\lambda$

Referência: meridiano de Greenwich

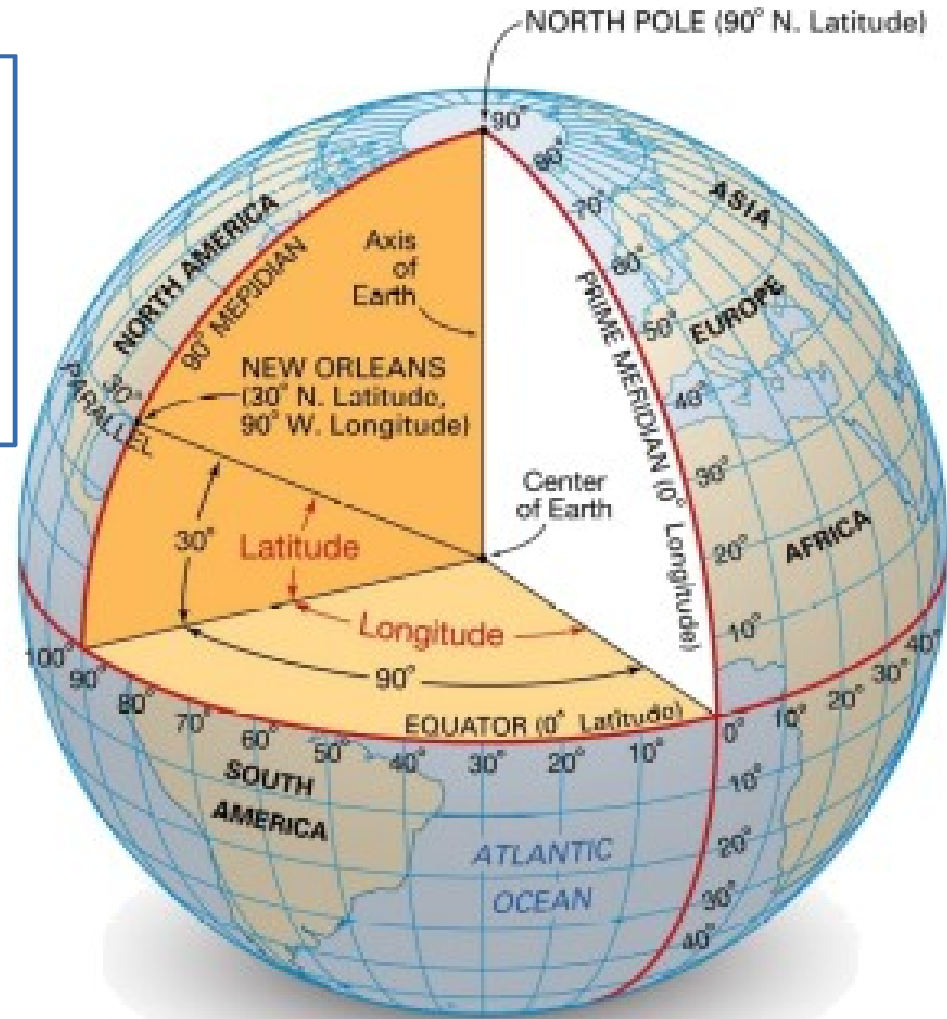
$$-180^\circ < \lambda < 180^\circ$$

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

Latitude geográfica  $\phi$

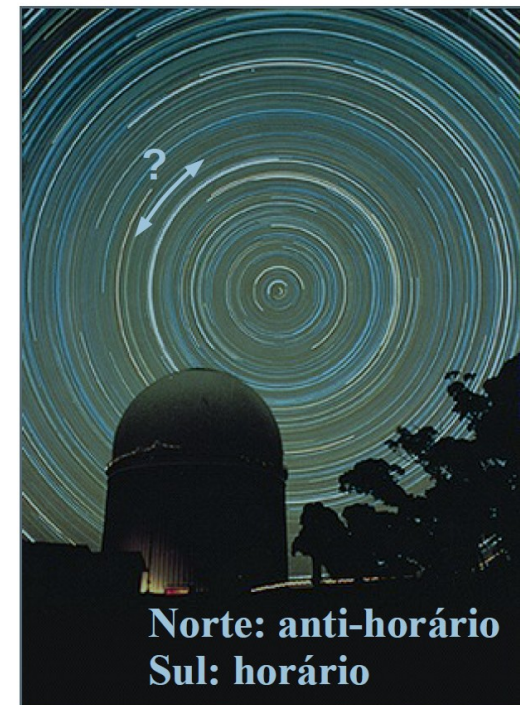
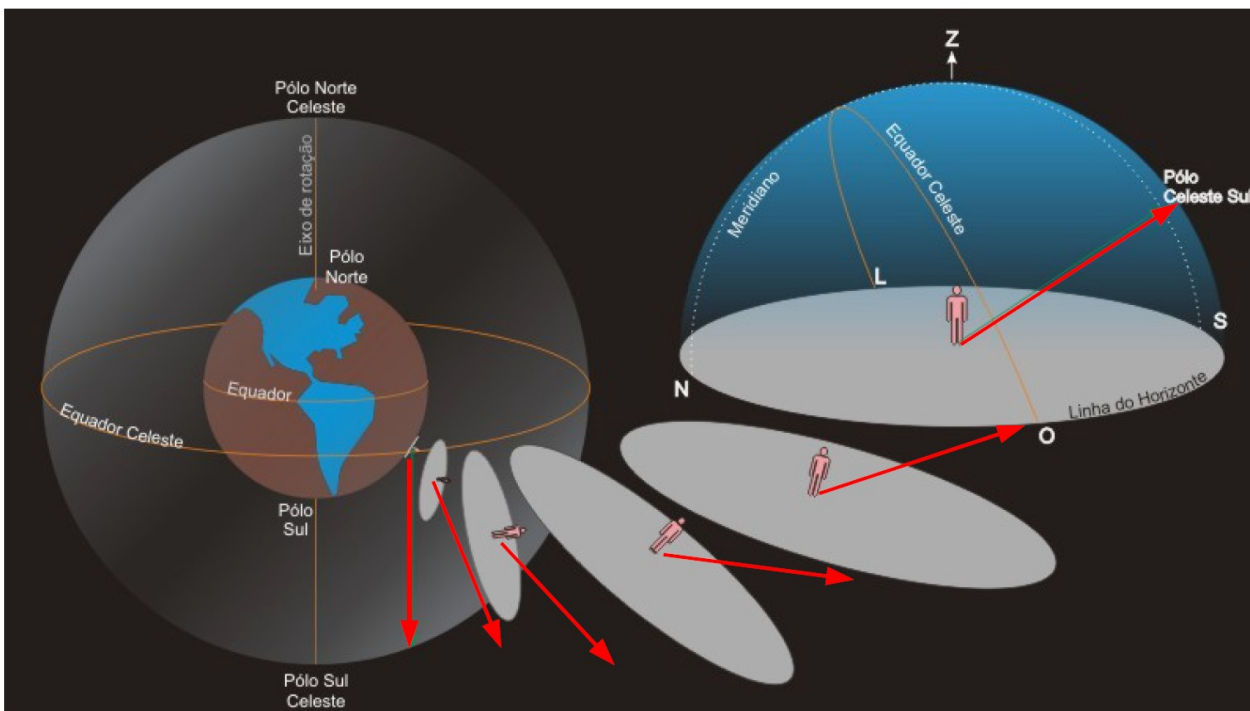
Referência: Equador

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



# A esfera celeste pelo observador terrestre

- Rotação da Terra (de Oeste para Leste) → movimento aparente dos astros (movimento diurno dos astros).
- Se o astro está “fixo” na esfera celeste → trajetória é um arco de circunferência centrado na projeção de um dos pólos celestes. O sentido da trajetória é de Leste para Oeste.





# Movimento aparente das estrelas no equador





# Movimento aparente das estrelas no equador





# Definições

Zênite (local):

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

Equador celeste: projeção do Equador terrestre na esfera celeste

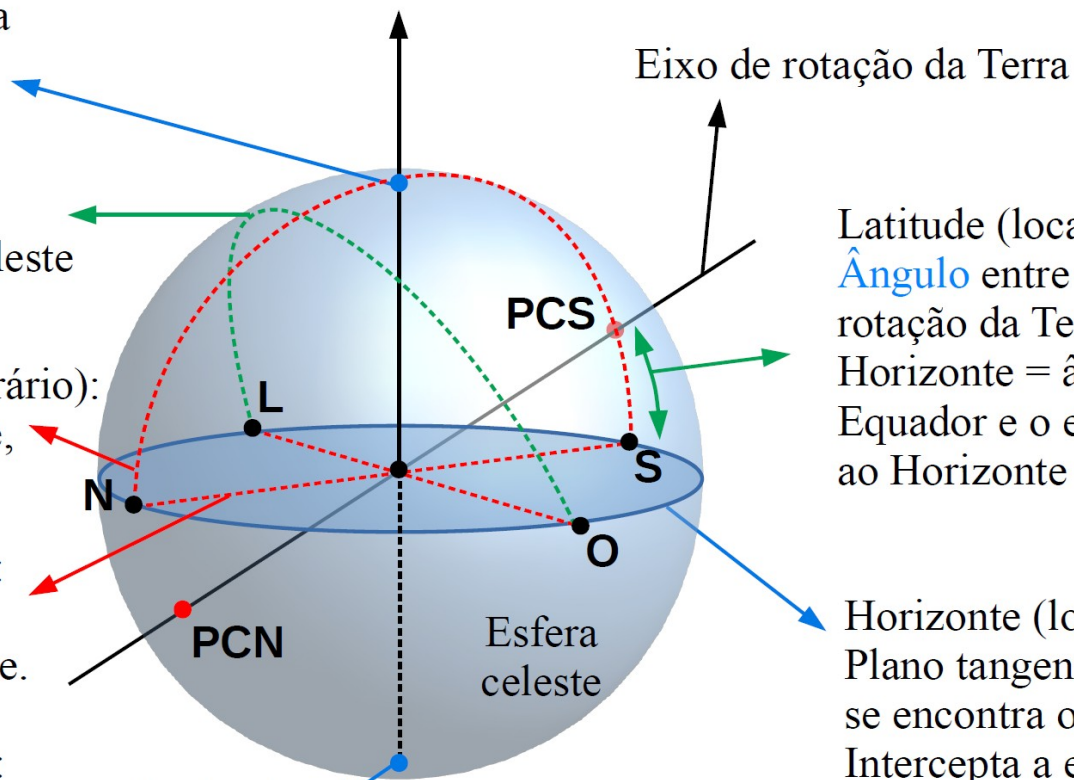
Meridiano local (ou círculo horário): **meridiano** que contém o Zênite, o ponto N e o Polo Celeste

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.



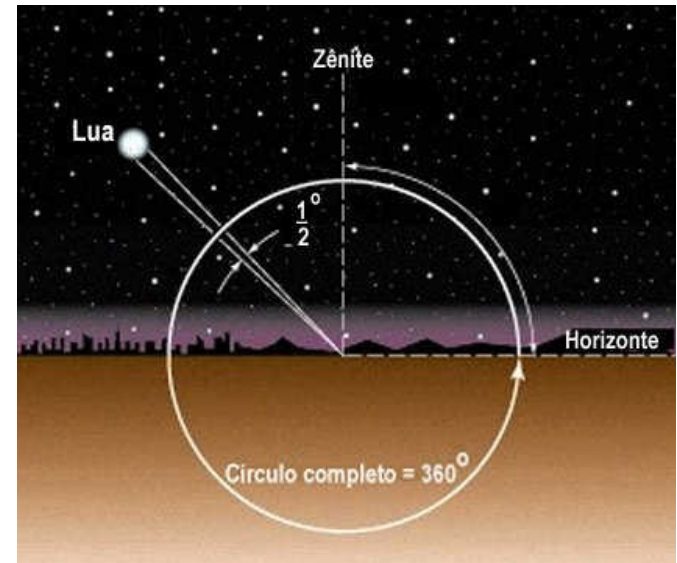
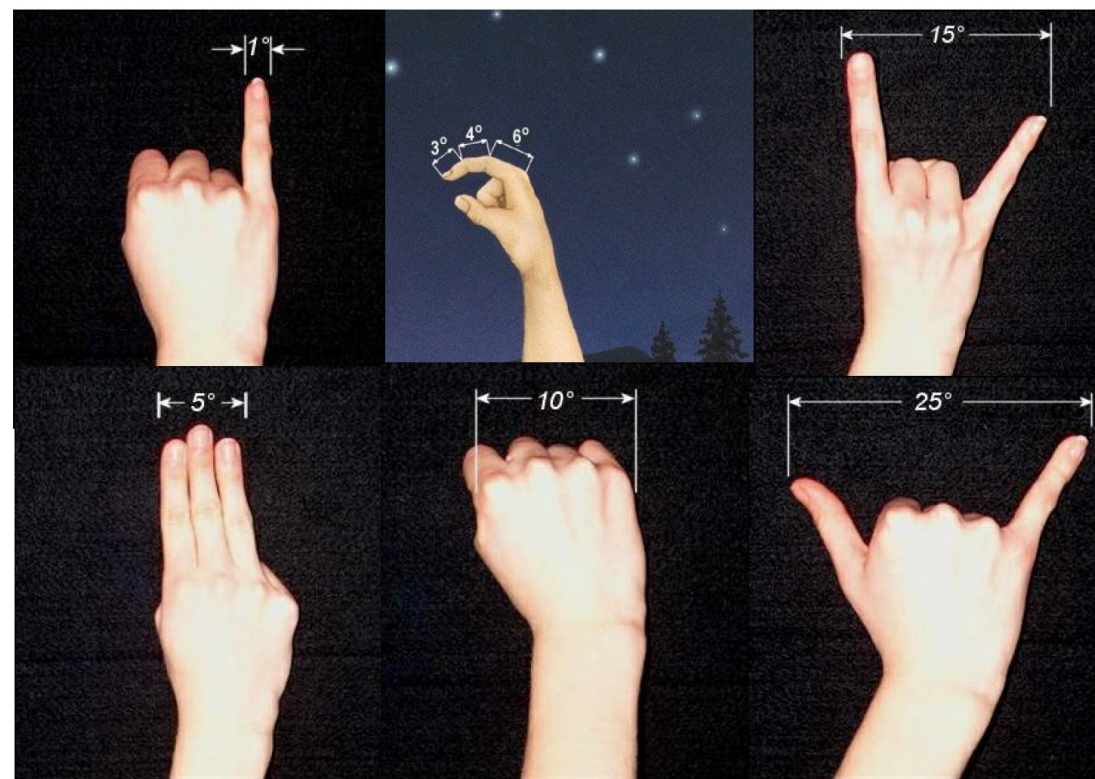
Latitude (local):

**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**.

# 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,

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

$\Rightarrow$

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

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

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



# Determinação do meridiano

Sombra mínima

Gnômon  
( Relógio de Sol )

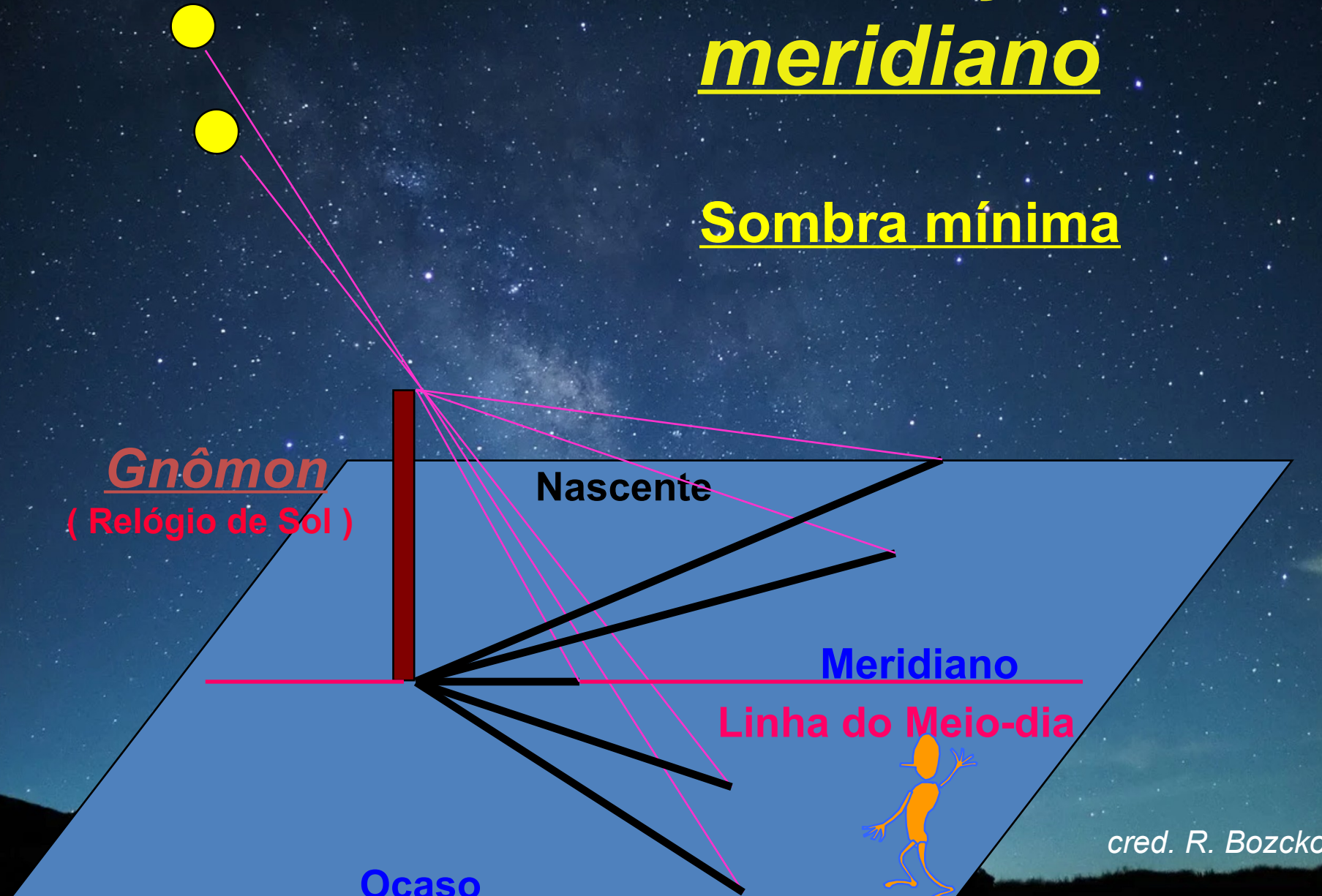
Nascente

Meridiano

Linha do Meio-dia

Ocaso

cred. R. Bozcko



# Meridiano Local

(círculo meridiano)

Zênite

Ponto Leste

Nascente

Ponto Norte

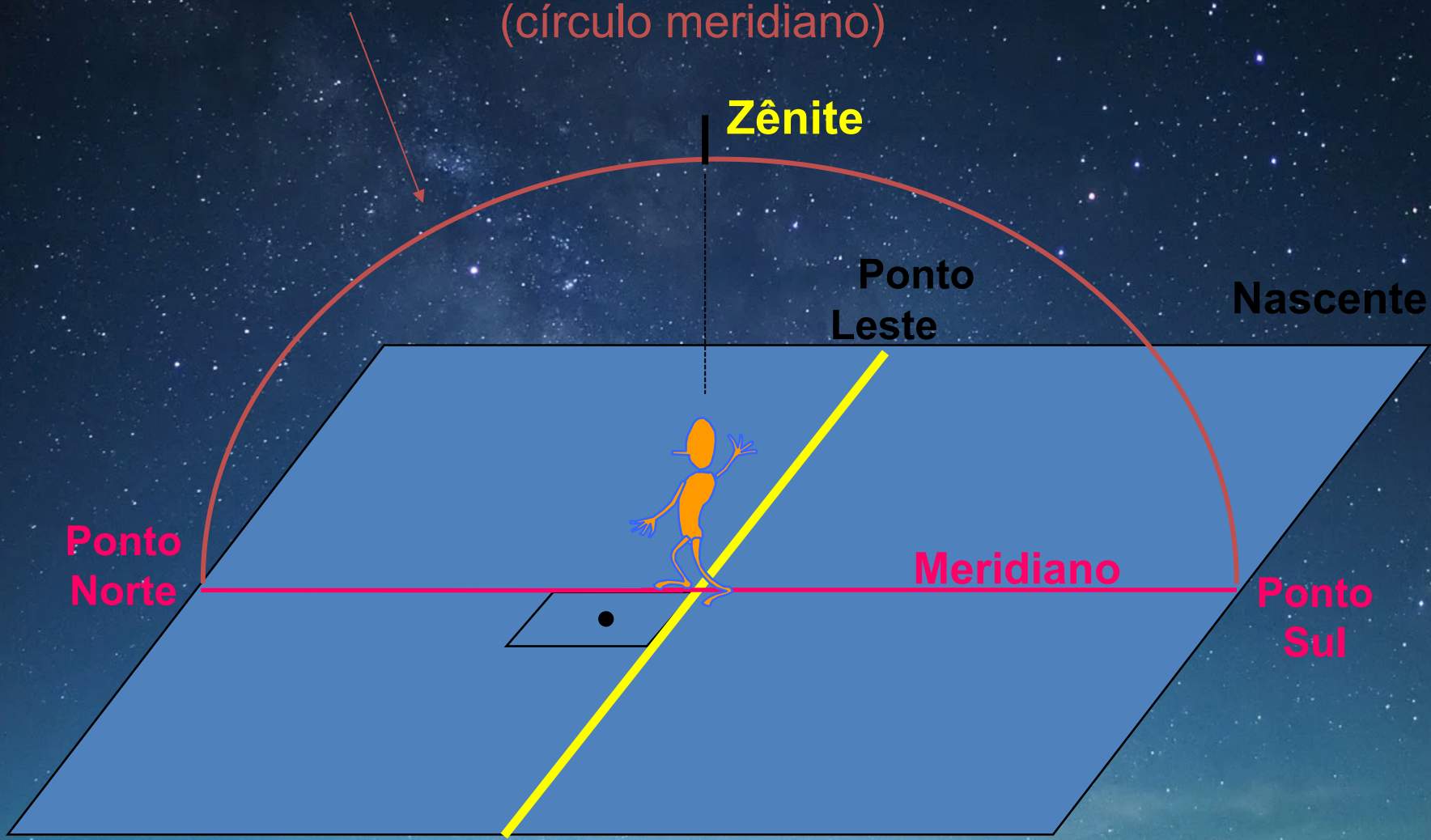
Meridiano

Ponto Sul

Ponto Oeste

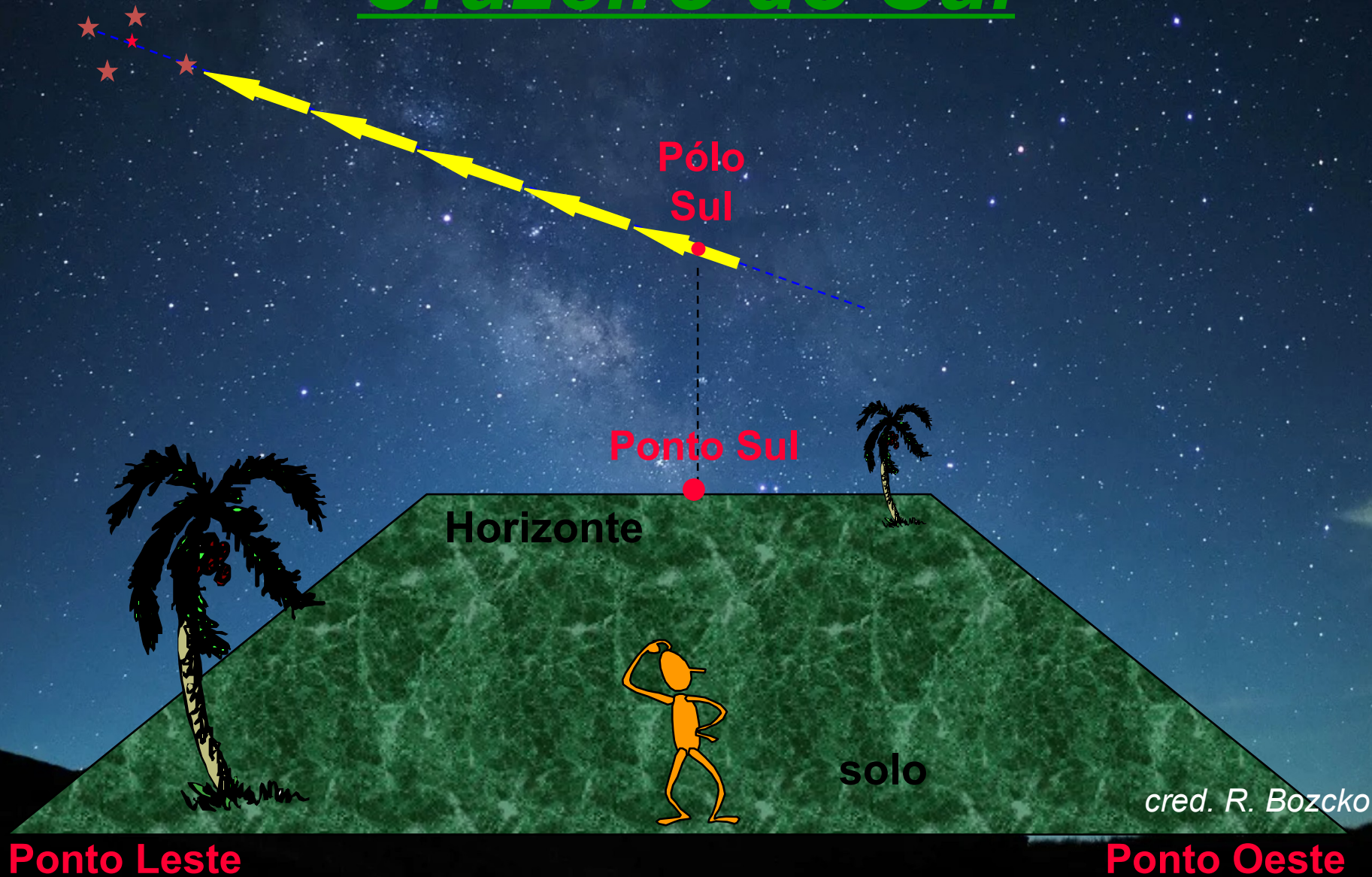
Ocaso

cred. R. Bozcko





# Pontos cardeais a partir do Cruzeiro do Sul

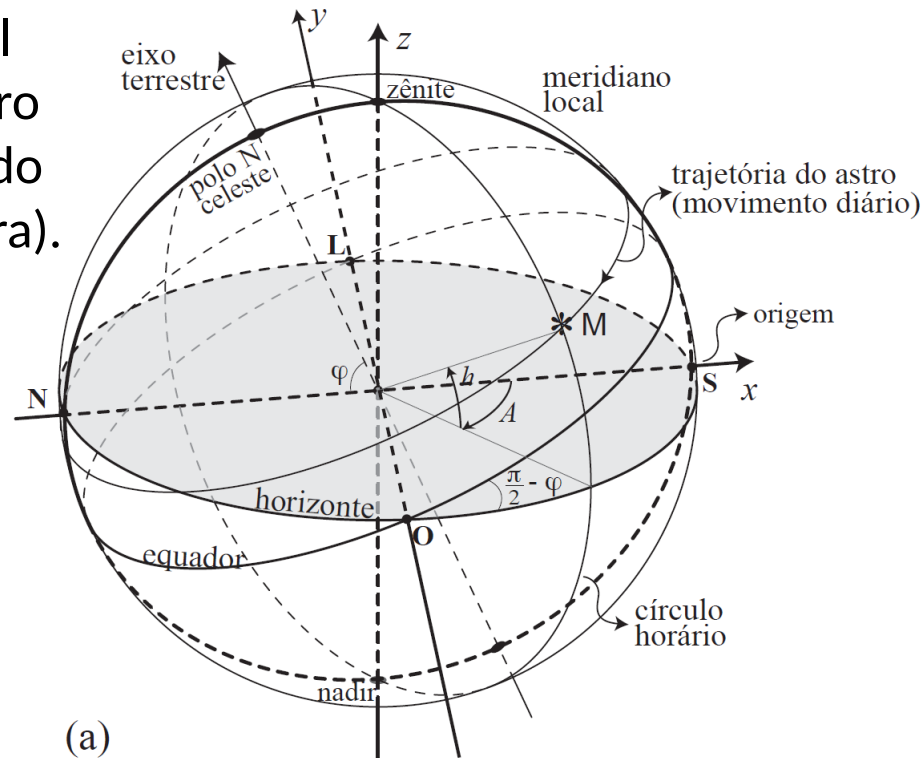
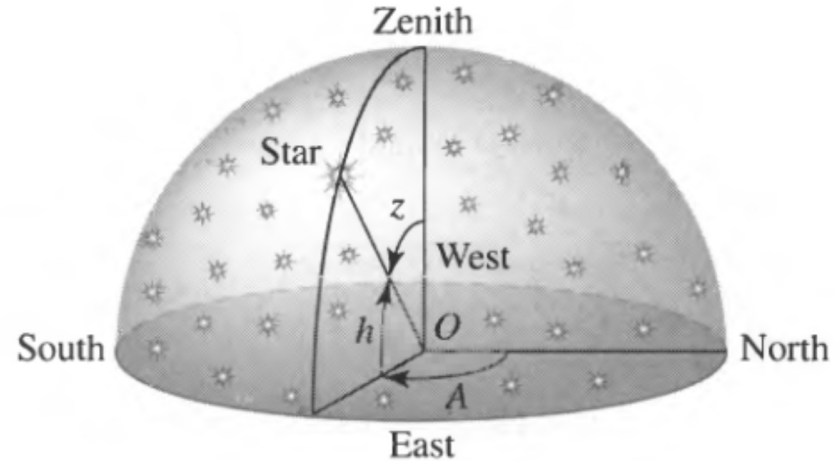


cred. R. Bozcko



# Sistema de coordenadas horizontais

- Posição de um astro definida por dois ângulos: Altura ( $h$ ) e Azimute ( $A$ )
- Ângulo zenital :  $z = 90^\circ - h$
- 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).



# Sistema de coordenadas equatorial

- Ascensão reta ( $\alpha$ ) é medida a partir do ponto vernal, onde o plano equatorial cruza o plano da eclíptica. Quando o sol está nesse ponto temos o equinócio vernal (março).
- A declinação ( $\delta$ ) é medida a partir do equador celeste até o meridiano que passa no ponto. É positivo para o norte e negativo para o sul celeste. ( $-90^\circ < \delta < +90^\circ$ )
- A ascensão reta é medida em horas, minutos e segundos como o tempo (ao invés de graus, minutos e segundos de arco). A relação é simplesmente  $1\text{h} = 15^\circ$
- A ascensão reta e a declinação de uma estrela não se alteram devido ao movimento diurno de rotação da Terra.
- Mas elas podem se alterar bem lentamente no tempo...

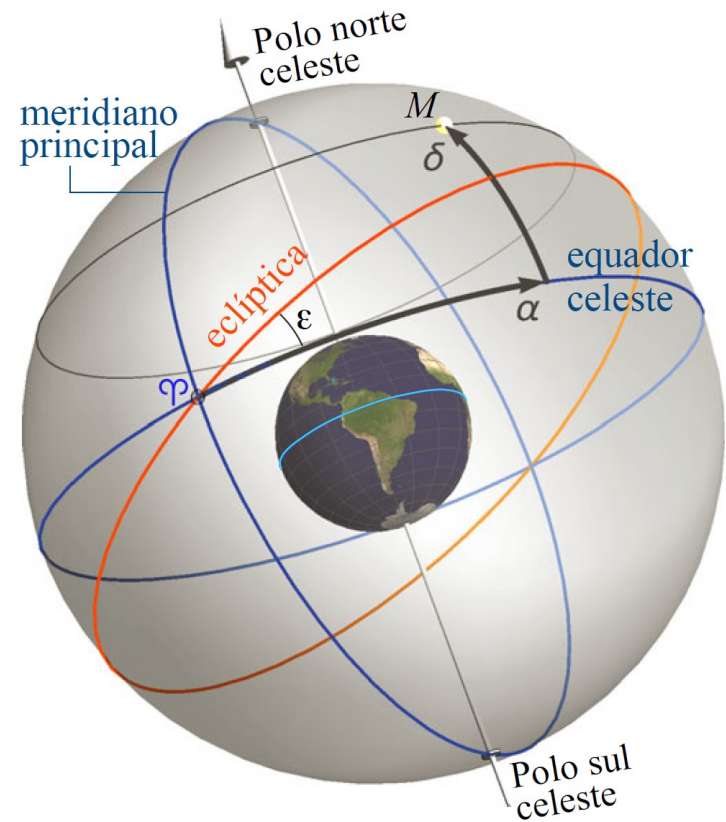
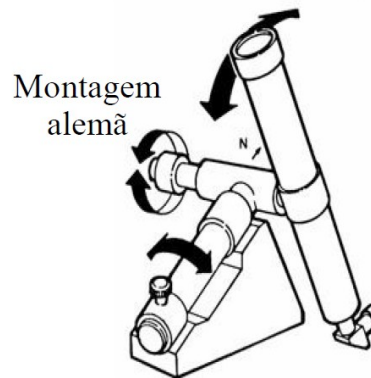
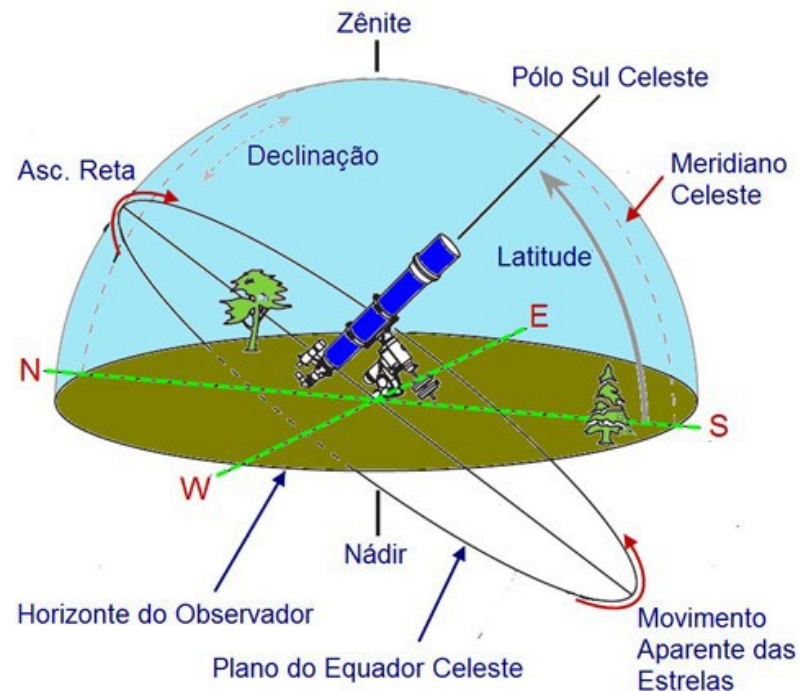
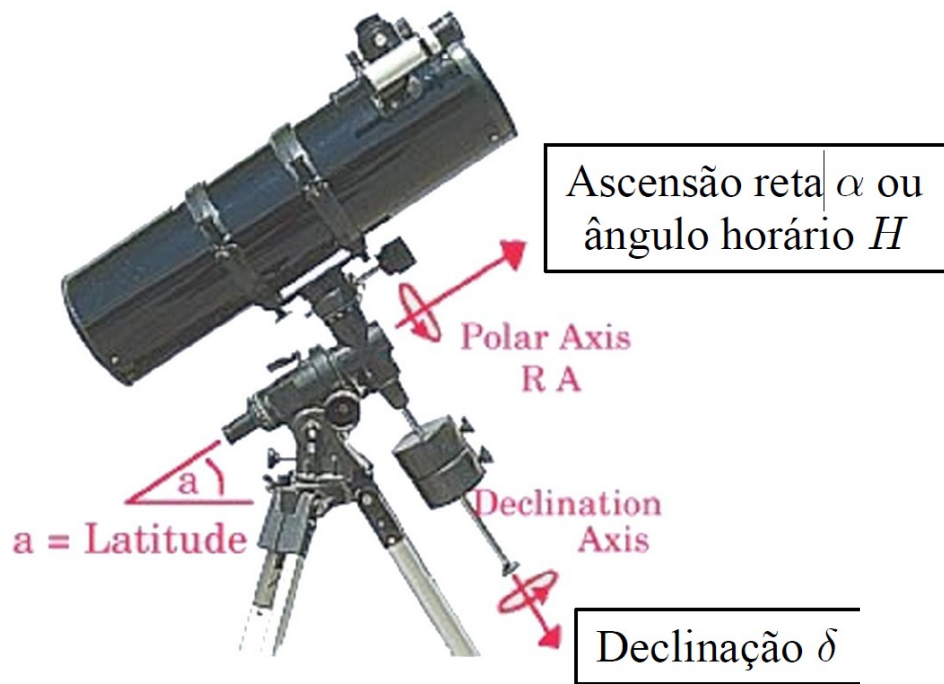


Figura 1.16: Sistema de coordenadas equatorial. O astro  $M$  tem coordenadas ascensão reta ( $\alpha$ , medida a partir do ponto vernal,  $\gamma$ ) e declinação ( $\delta$ ). Atualmente, a inclinação do equador celeste em relação à eclíptica,  $\epsilon$ , é de aproximadamente  $23^\circ 26' 21,45''$  no início do ano 2000.

# Montagem equatorial



Compatível com os sistemas de coordenadas equatorial celeste e horário

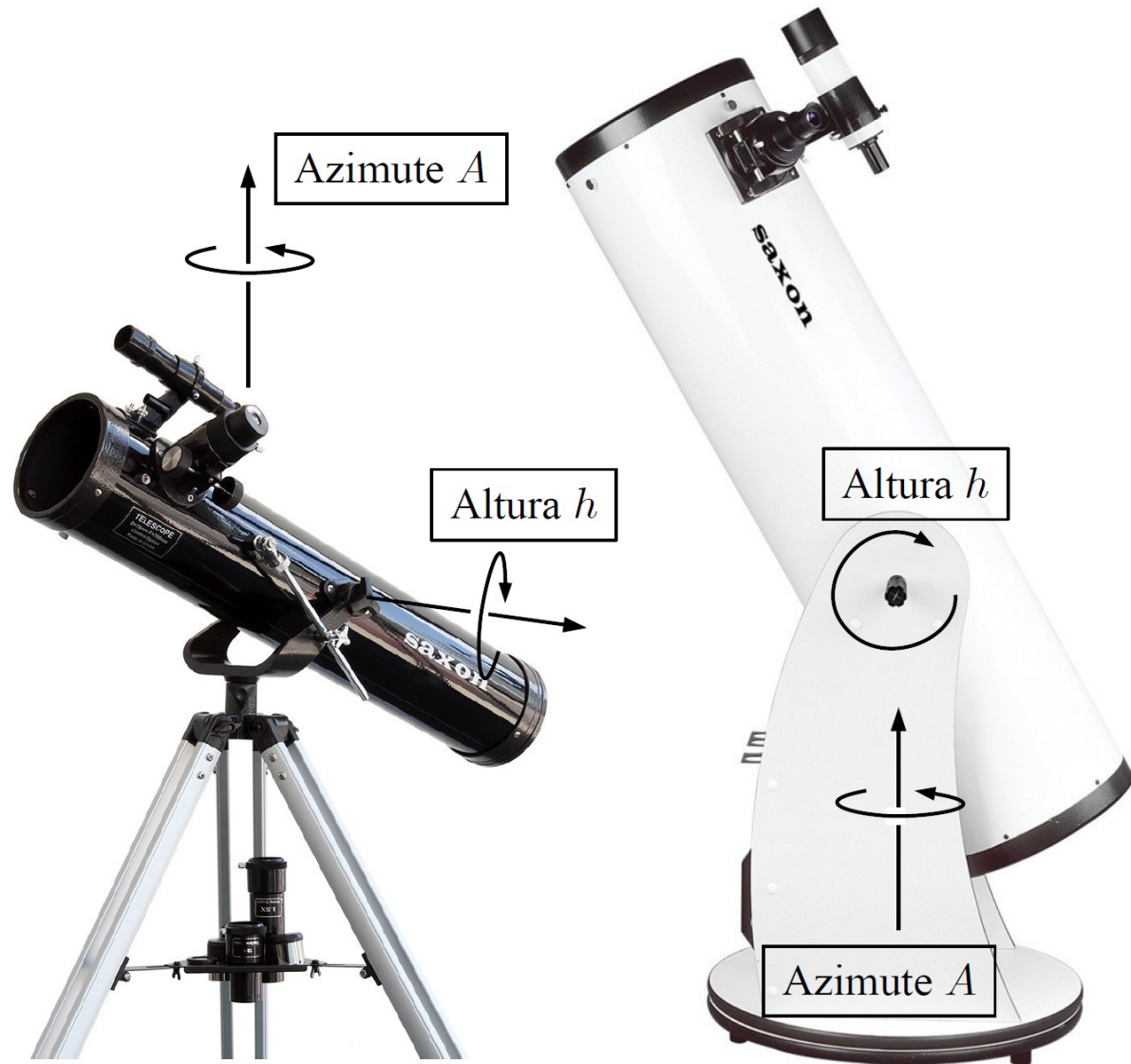
Conveniente para astrofotografia



# Montagem azimutal

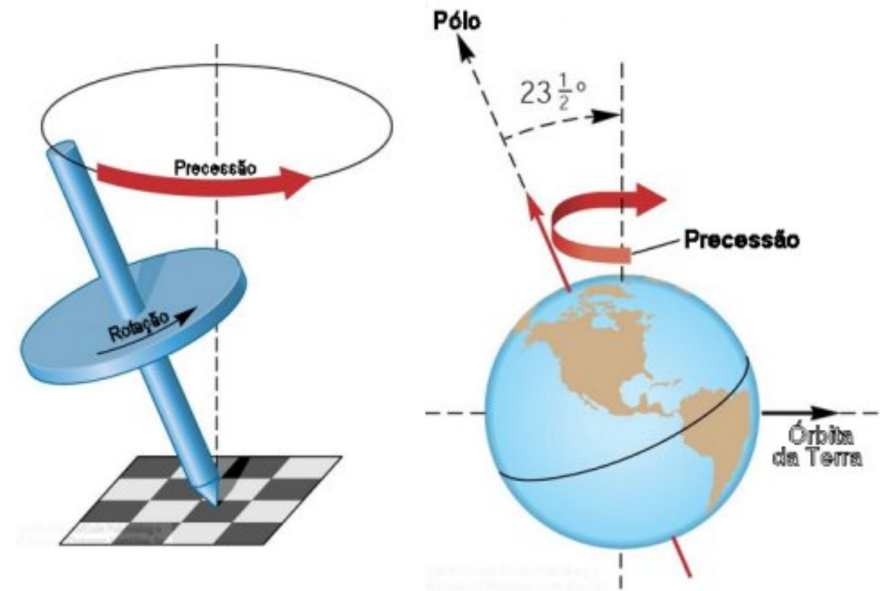
Compatível com o sistema de coordenadas horizontal

Simples, portátil e barata



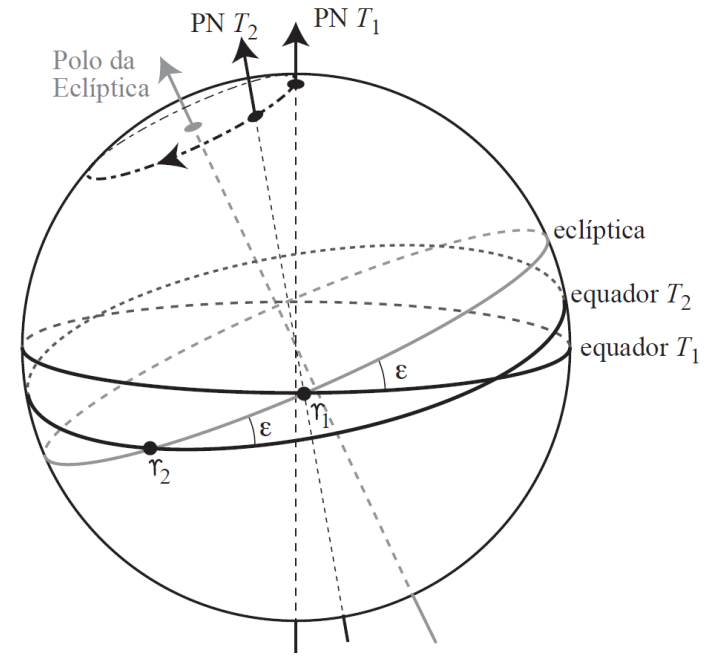
# Precessão do eixo de rotação da terra

- A precessão do eixo de rotação é causada pela não esfericidade da Terra
- O eixo de rotação da Terra tem um período de precessão de aproximadamente 25.700 anos



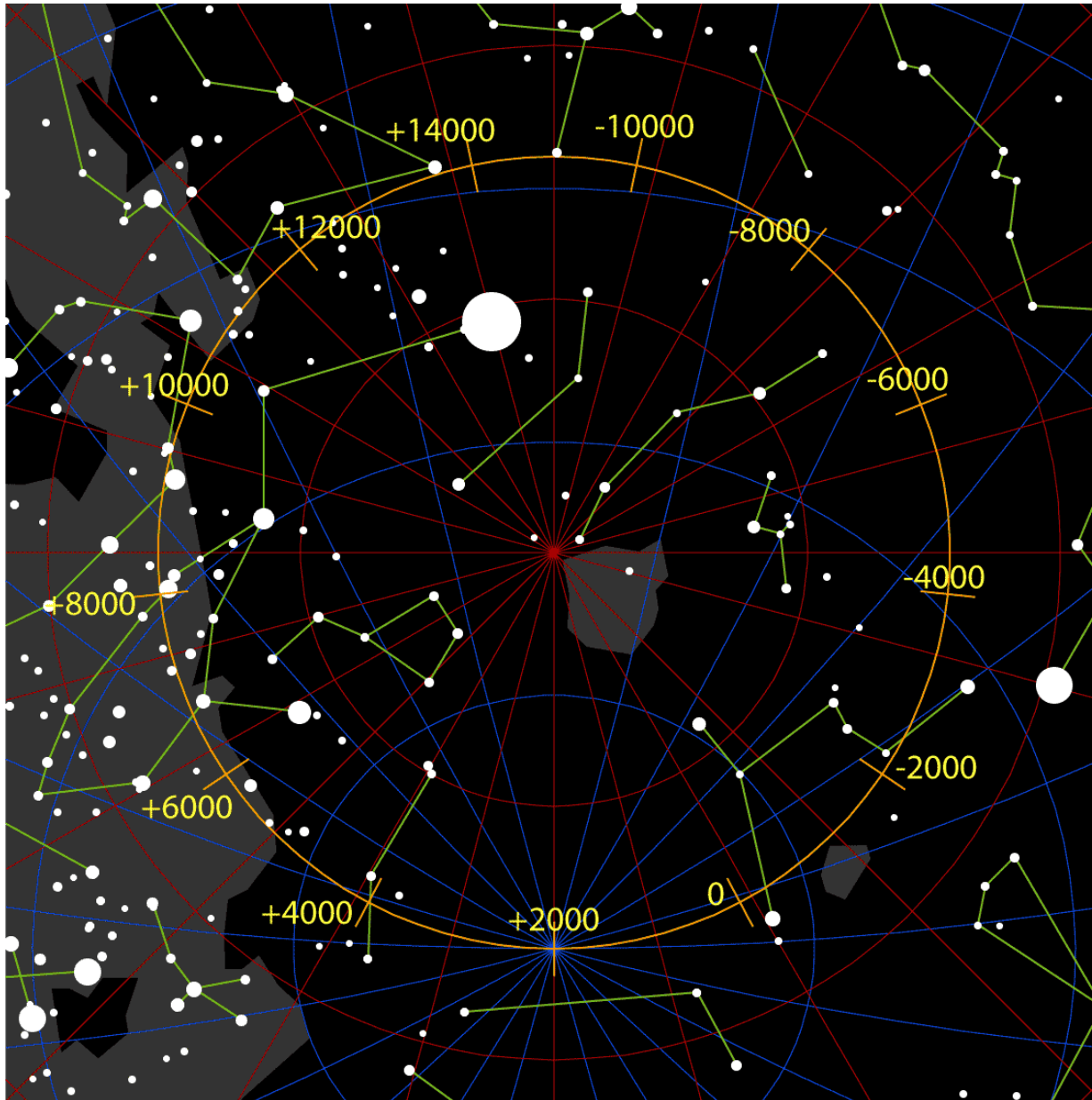
# Precessão do eixo de rotação da terra

- A precessão do eixo de rotação é causada pela não esfericidade da Terra
- O eixo de rotação da Terra tem um período de precessão de aproximadamente 25.700 anos
- Causa mudança nas coordenadas equatorial: deslocamento retrógrado do ponto vernal  $50,4''$  por ano na eclíptica, deslocamento dos pólos celestes



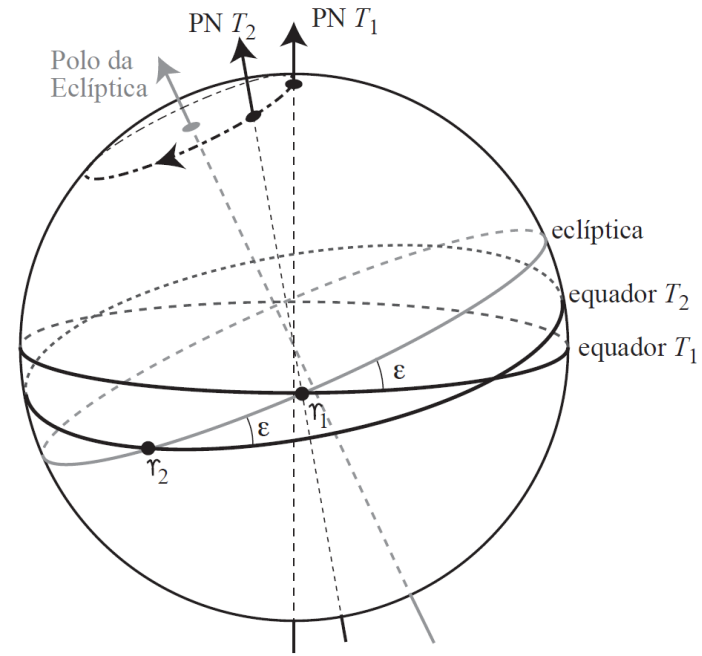


# Precessão do eixo de rotação da terra



# Precessão do eixo de rotação da terra

- A precessão do eixo de rotação é causada pela não esfericidade da Terra
- O eixo de rotação da Terra tem um período de precessão de aproximadamente 25.700 anos
- Causa mudança nas coordenadas equatorial: deslocamento retrógrado do ponto vernal  $50,4''$  por ano na eclíptica, deslocamento dos pólos celestes
- 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):



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

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

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

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

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

# Sistema de coordenadas eclípticas

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

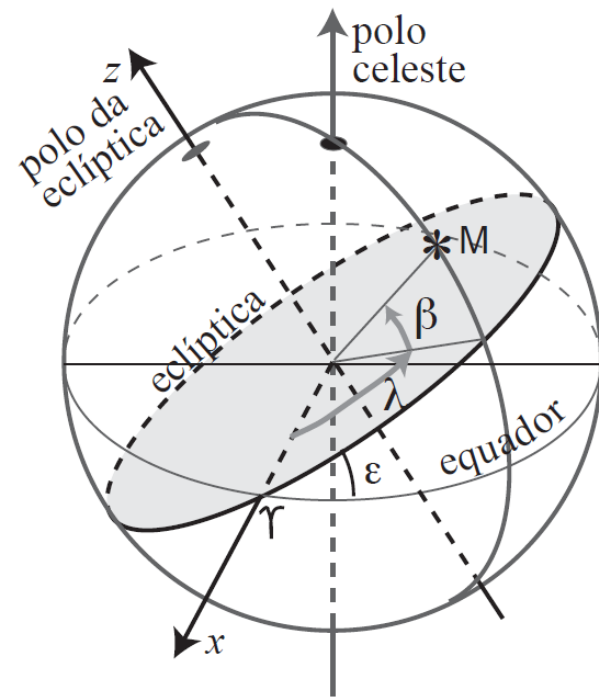


Figura 1.21: Sistema de coordenadas eclípticas. O astro  $M$  tem coordenadas longitude eclíptica ( $\lambda$ ) e latitude ( $\beta$ ). A inclinação da eclíptica em relação ao equador celeste é  $\epsilon$  que vale aproximadamente  $23^{\circ}26'21''$ .



# 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:  $62^{\circ},872$

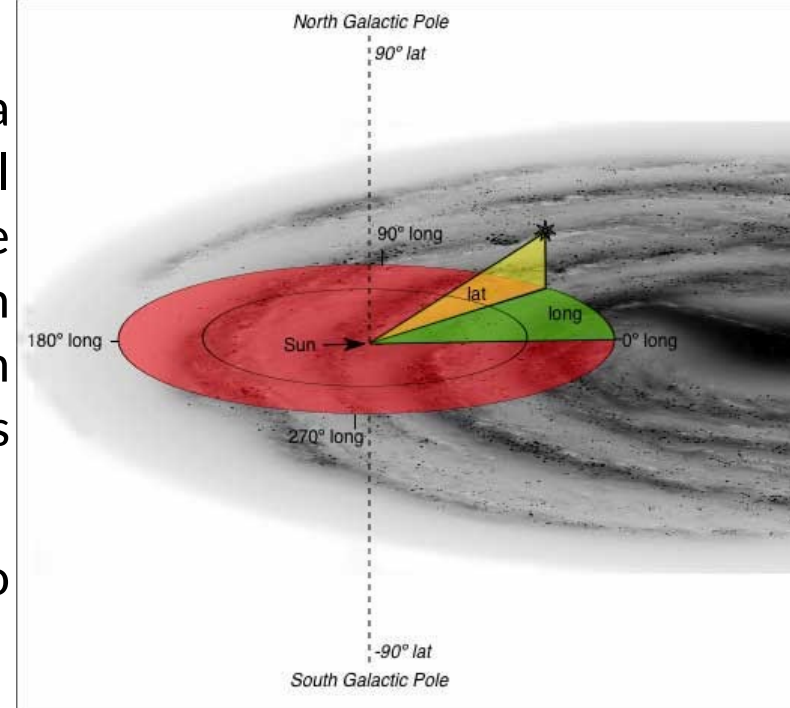
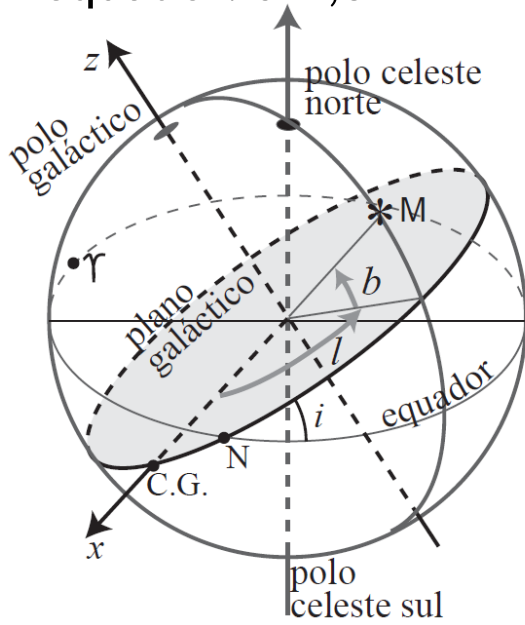
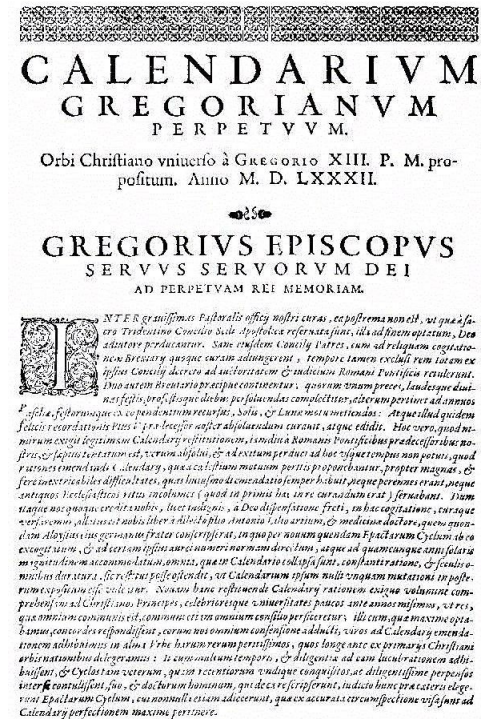


Figura 1.22: Sistema de coordenadas galácticas. O astro M tem coordenadas longitude galáctica ( $l$ ) e latitude ( $b$ ). O ponto N é a intersecção do plano galáctico com o equador celeste (o nodo), C.G. é o direção do centro da Galáxia (que fica na constelação de Sagitário) e  $i$  é a inclinação do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

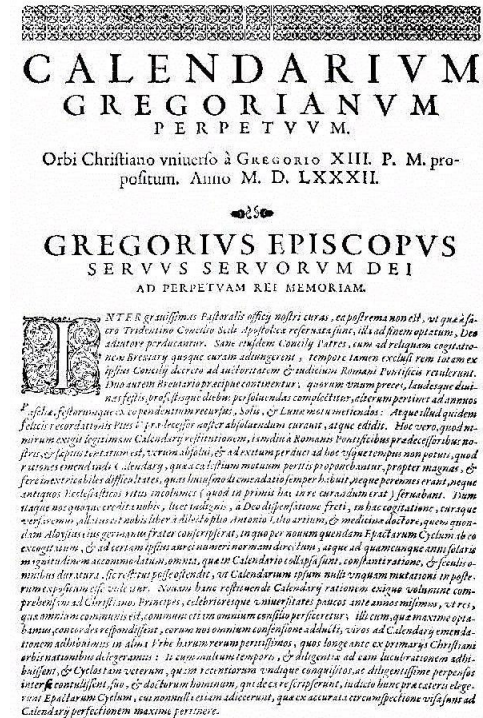
# Medida de tempo em astronomia

- 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)



# 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



$$T = (JD - 2451545.0)/36525$$