

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



Astronomia - Licenciatura

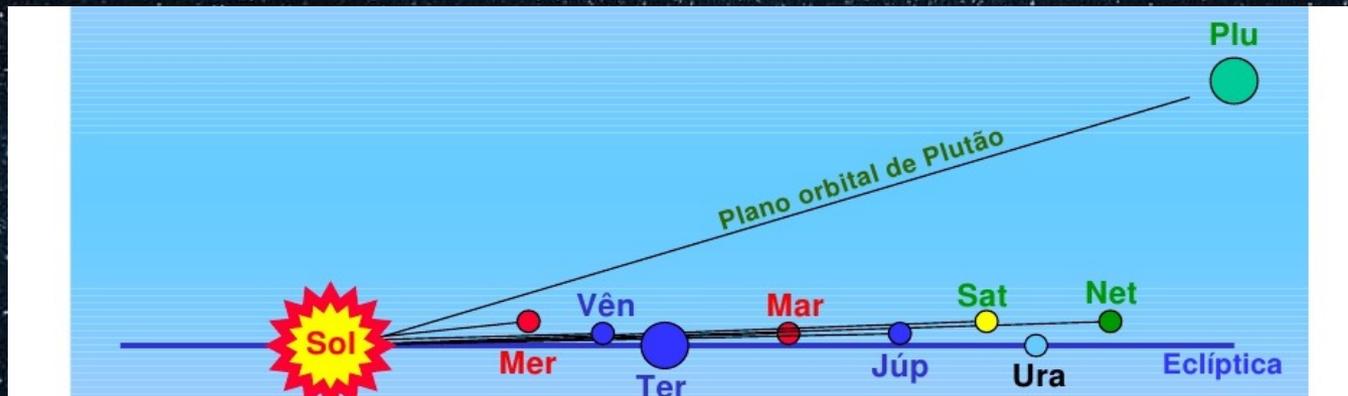
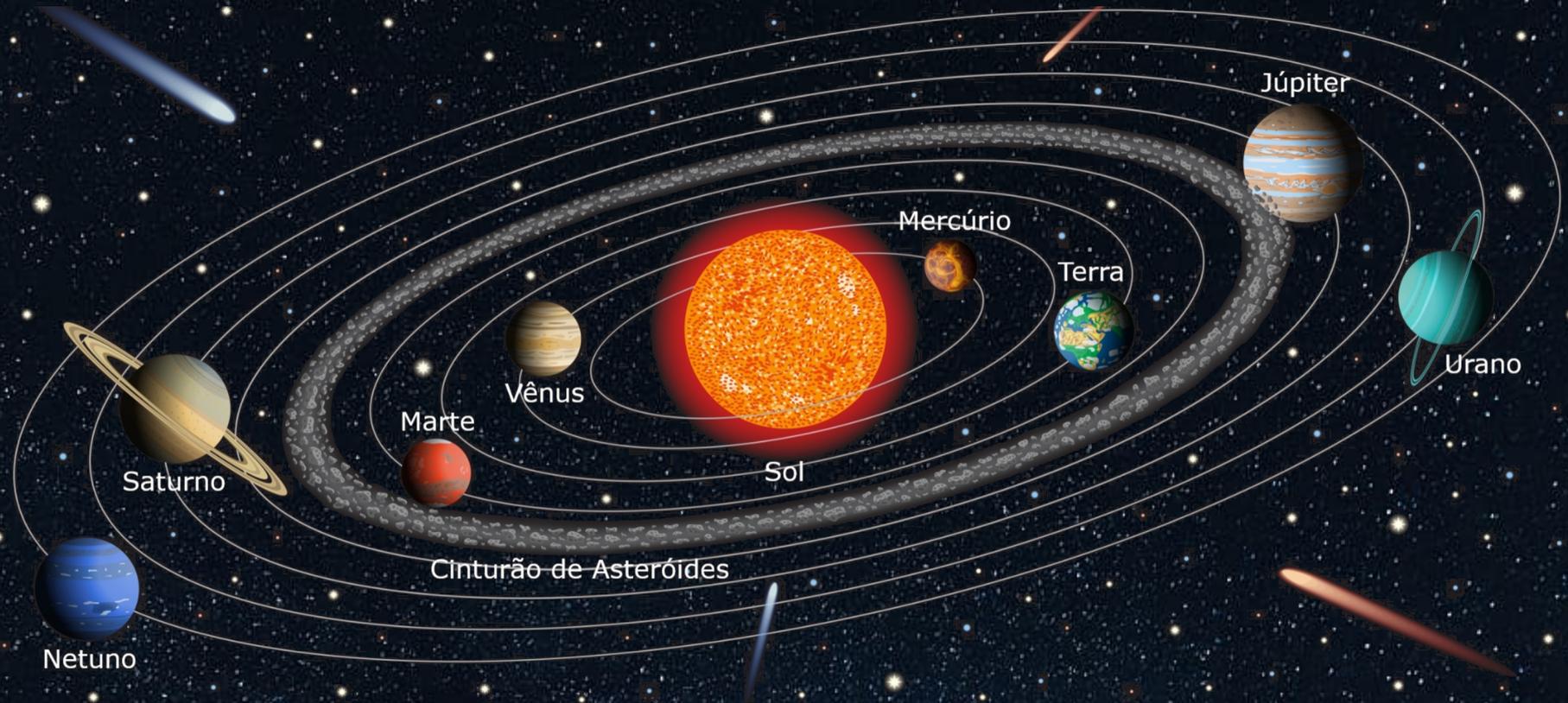
Aula 2 - Sistema Sol-Terra-Lua

Prof. Aion Viana

Plano da aula:

1. Pontos cardeais
2. Revolução da Terra
3. Rotação da Terra
4. Movimento aparente do Sol
5. Estações do ano
6. Fases da Lua
7. Eclipses lunar e solar
8. Marés
9. Períodos

Modelo heliocêntrico moderno



Pontos Cardeais

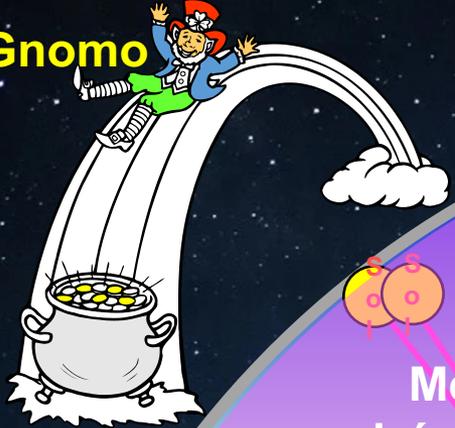
Nascer do Sol

Movimento pendular



**O Sol
não nasce
sempre no
Leste !**

Gnomo



Z

Meridiano e pontos cardeais

Meridiano

Meridiano local é o semicírculo vertical que passa pelos pontos zênite, norte e sul.



Ponto Leste

Nascente

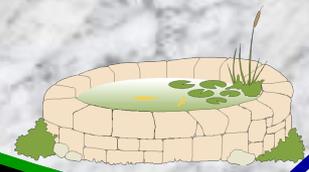
Gnômon

Ponto Norte

Linha do Meio-dia

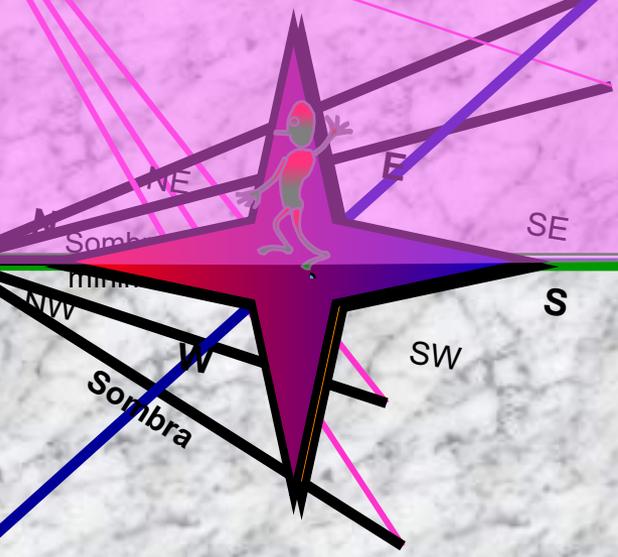
Meridiano

Ponto Sul

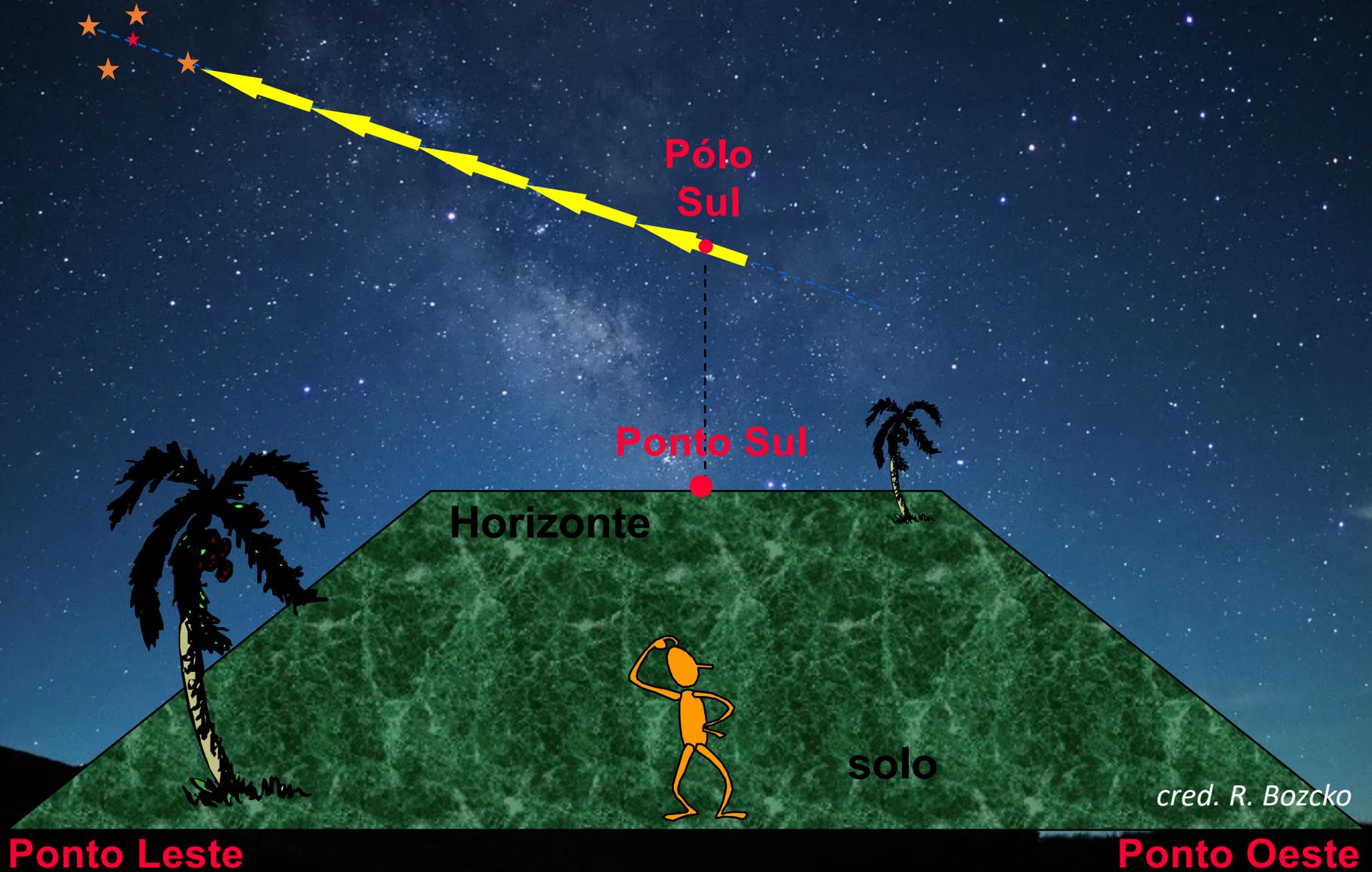


Ponto Oeste

Ocas



Pontos cardeais a partir do Cruzeiro do Sul

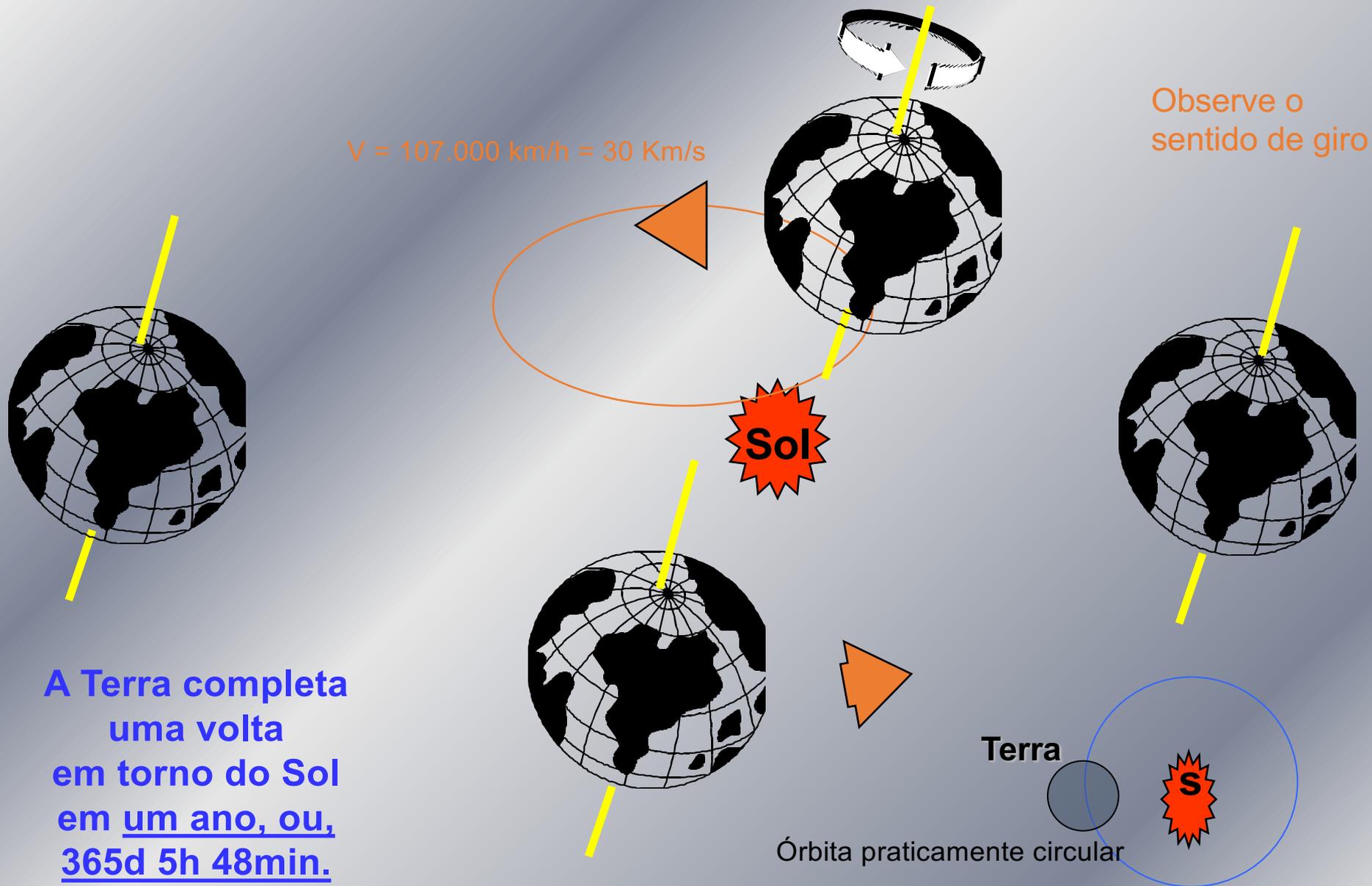


Movimentos da Terra

Revolução e Rotação

<http://www.planetariodorio.com.br/movimentos-da-terra/>

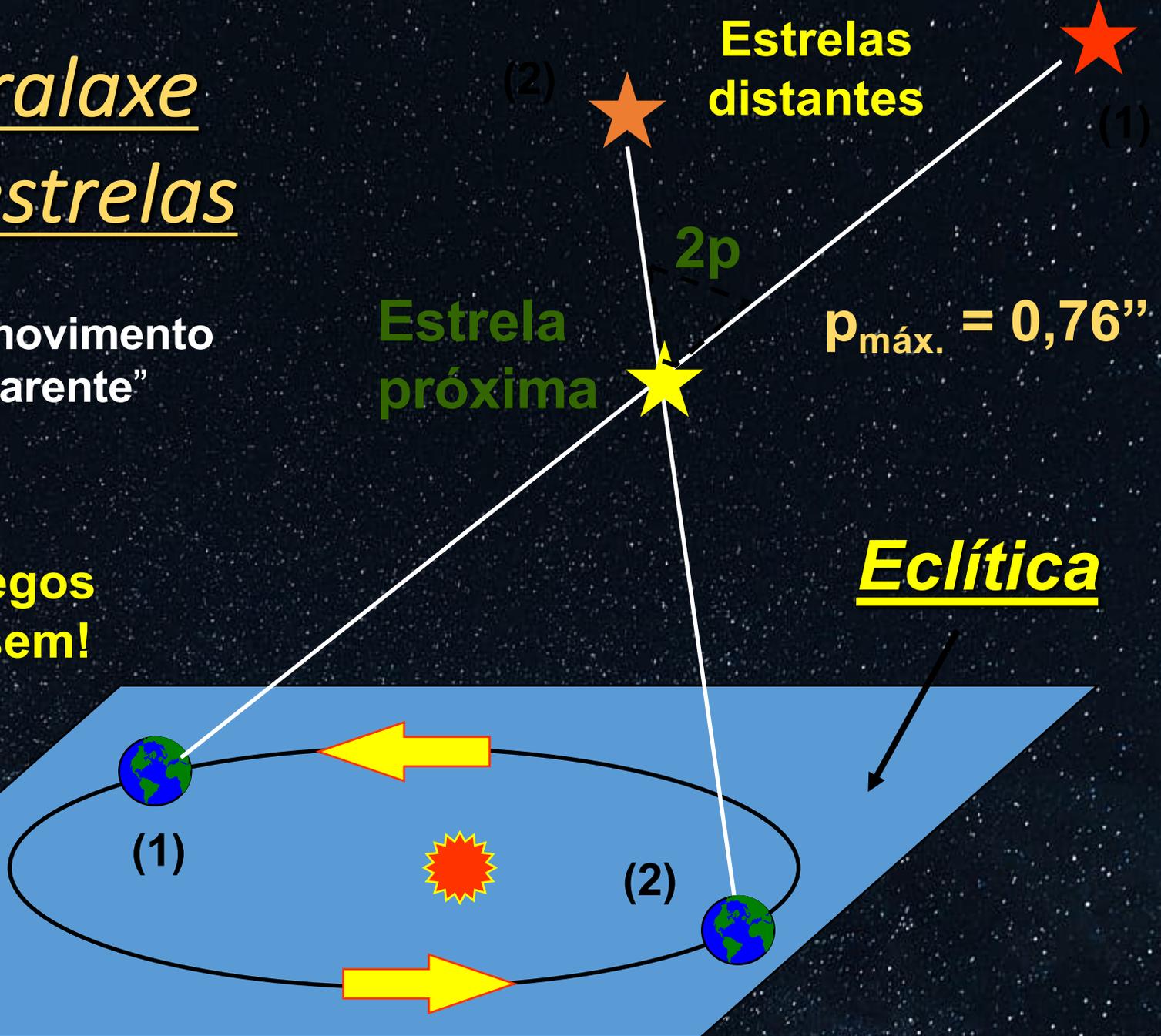
Movimento de Revolução



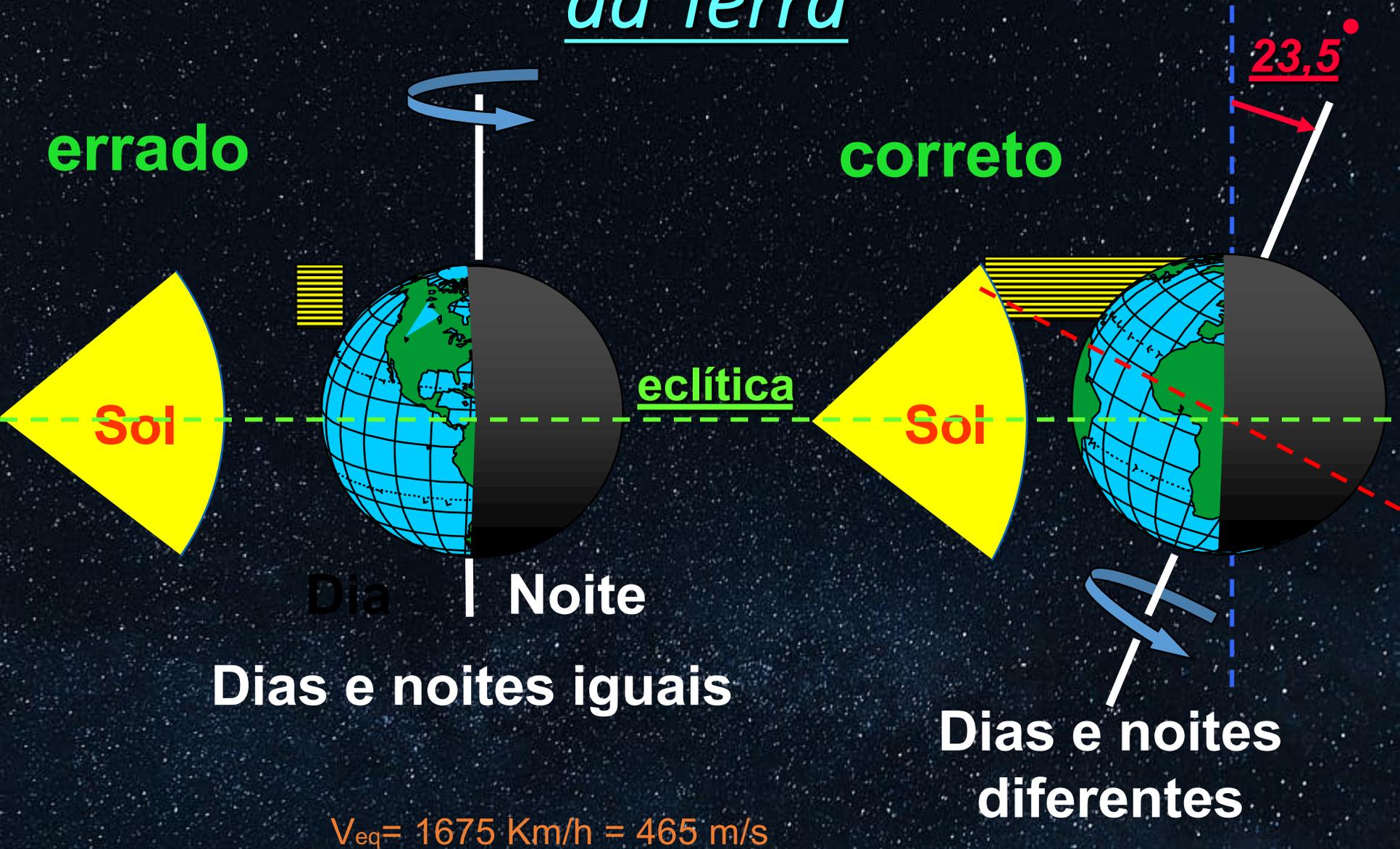
Paralaxe de estrelas

“um movimento aparente”

Se os gregos soubessem!



Movimento de Rotação da Terra



Movimento noturno parente do Cruzeiro do Sul



Cruzeiro do Sul

20 horas
numa dada
data

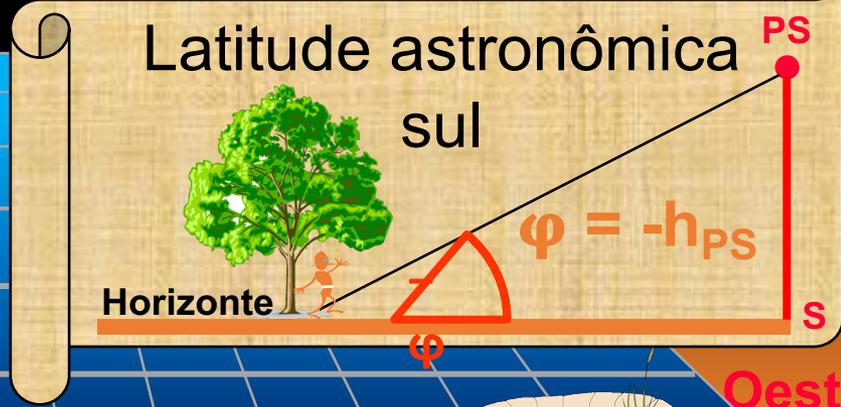
24 horas

22 horas

O braço maior da
Cruz aponta
aproximadamente
para o
Polo Celeste Sul

Polo Sul

Sul

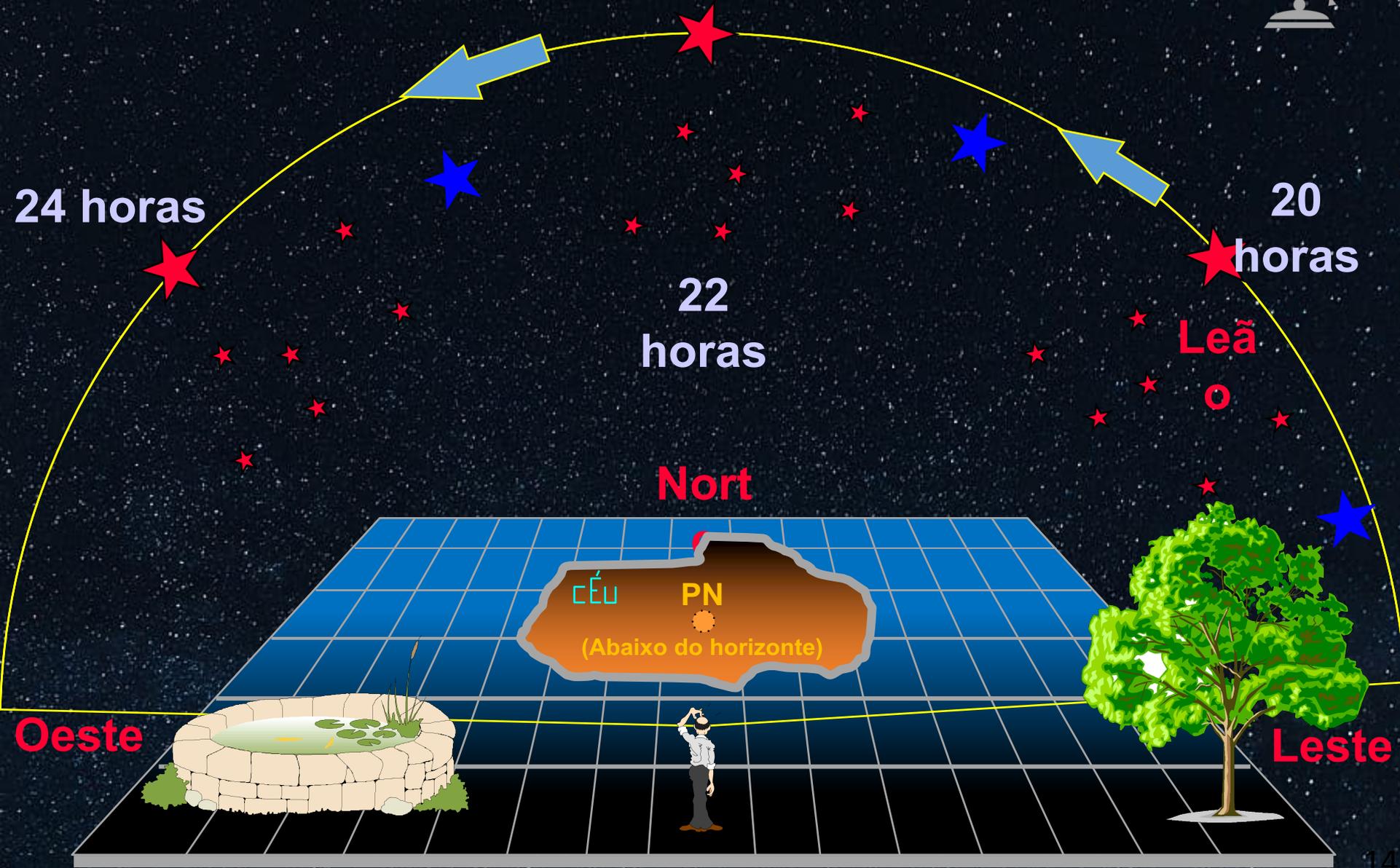


Leste

Oeste



Movimento noturno aparente olhando Norte desde o HS



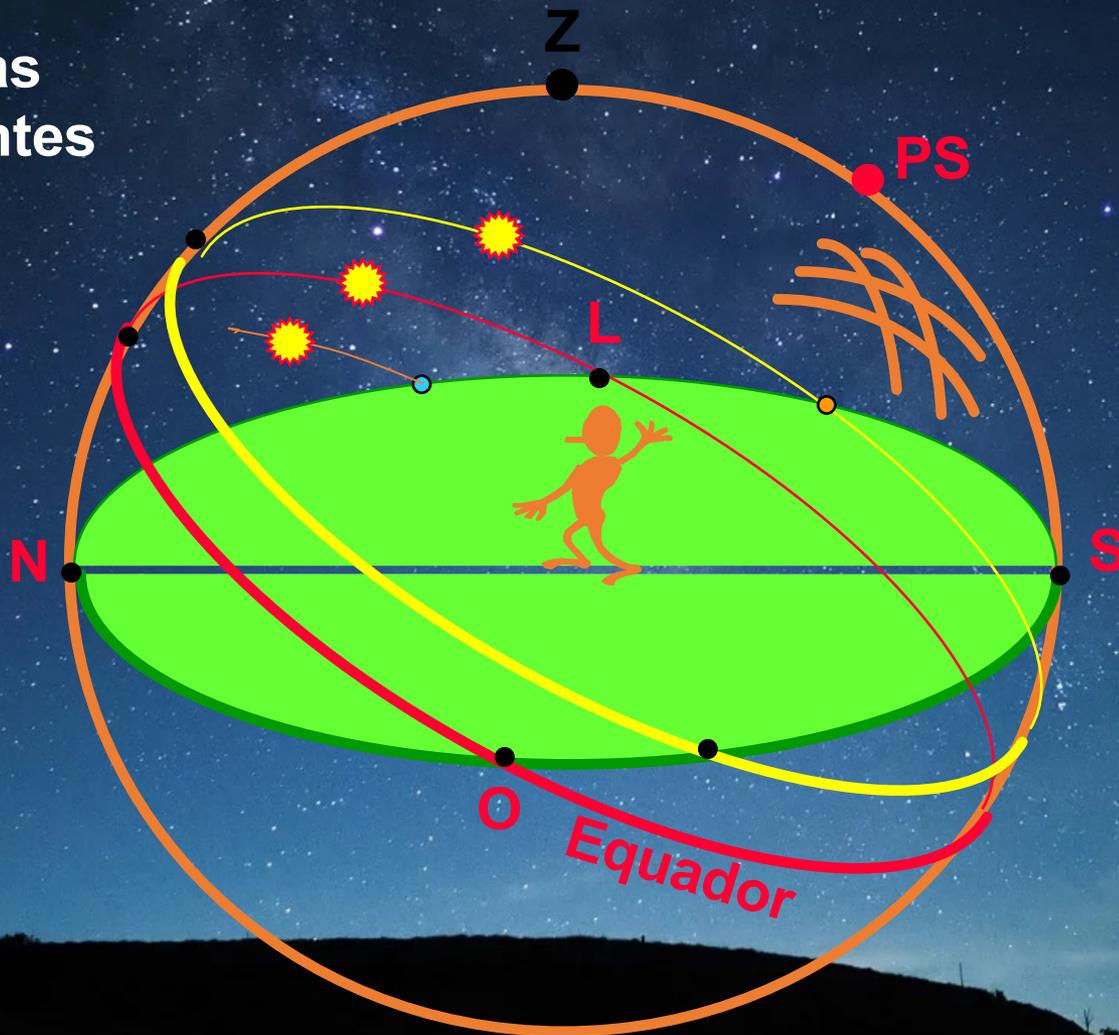
Movimento diurno aparente do Sol

Ver sol da meia noite em:

http://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/mov_apar_astro.htm

Movimento diurno no hemisfério Sul

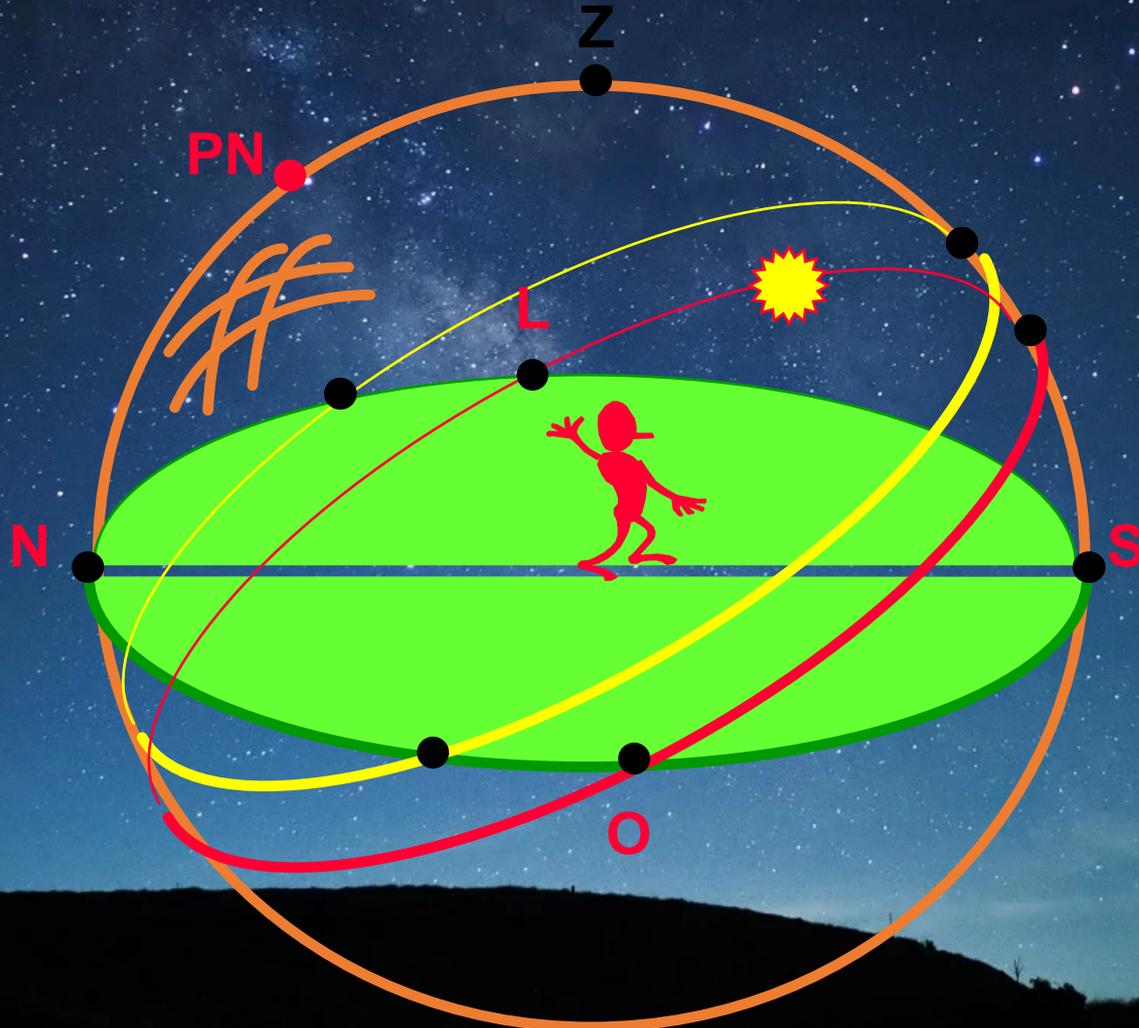
Em dias diferentes



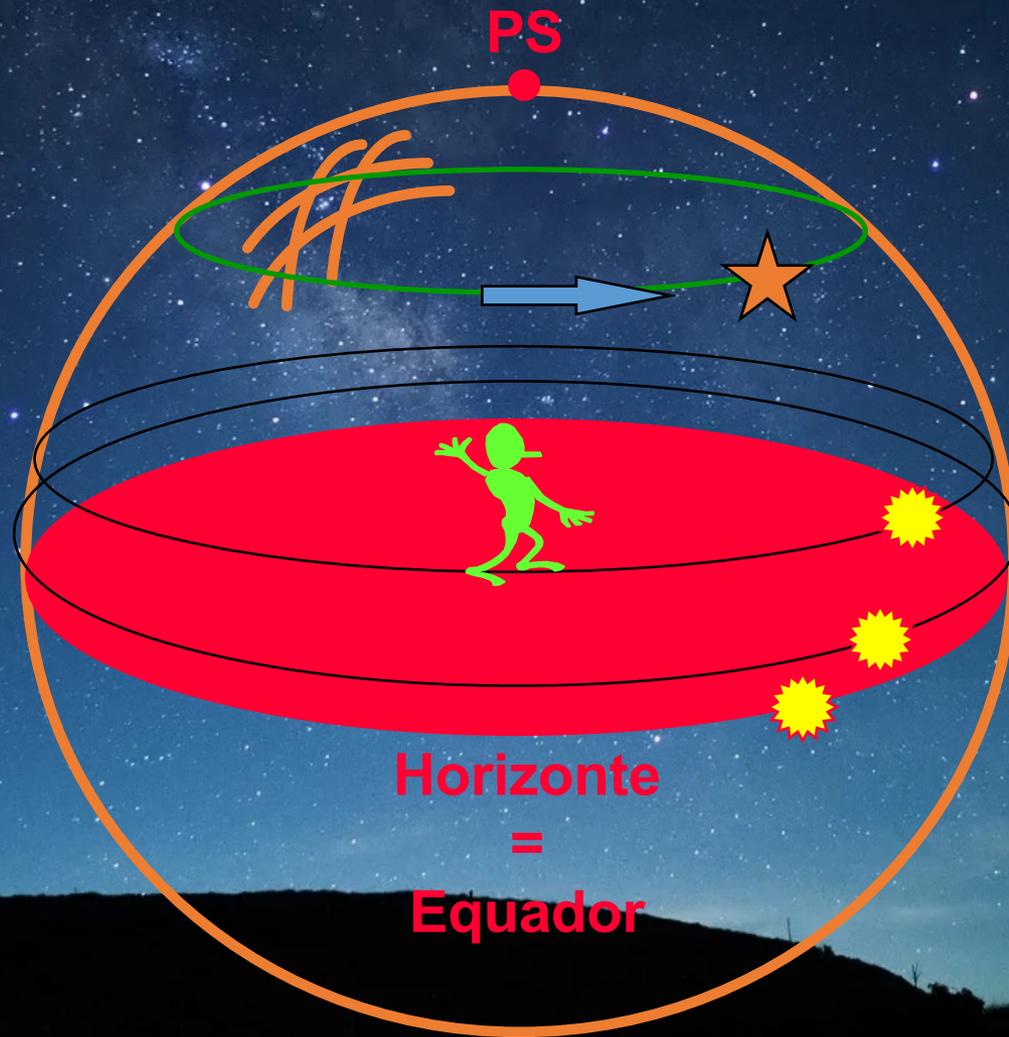
O ângulo de 'subida' do Sol depende da localização.

Observe o movimento pendular do Sol.

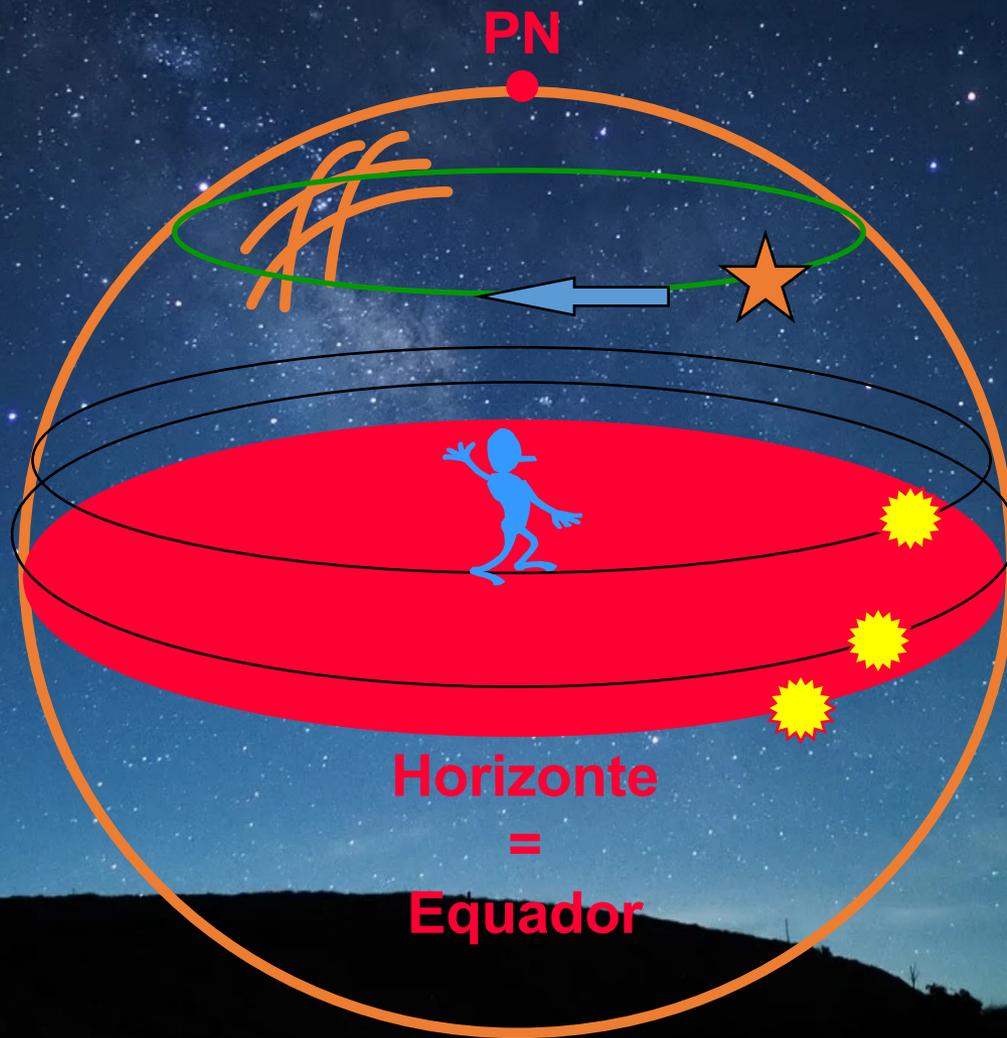
Movimento diurno no hemisfério Norte



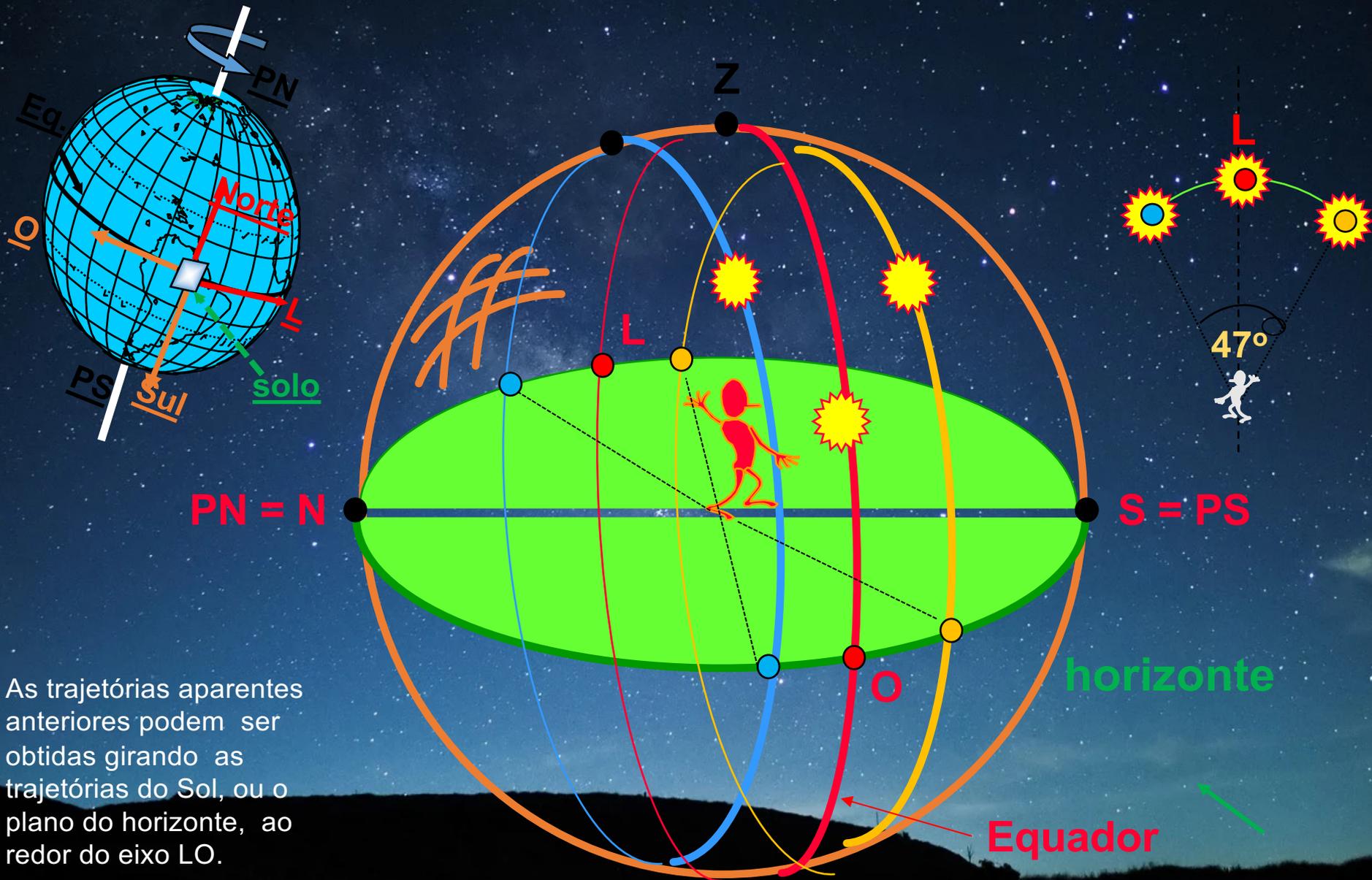
Movimento diurno aparente no Pólo Sul



Movimento diurno aparente no Pólo Norte

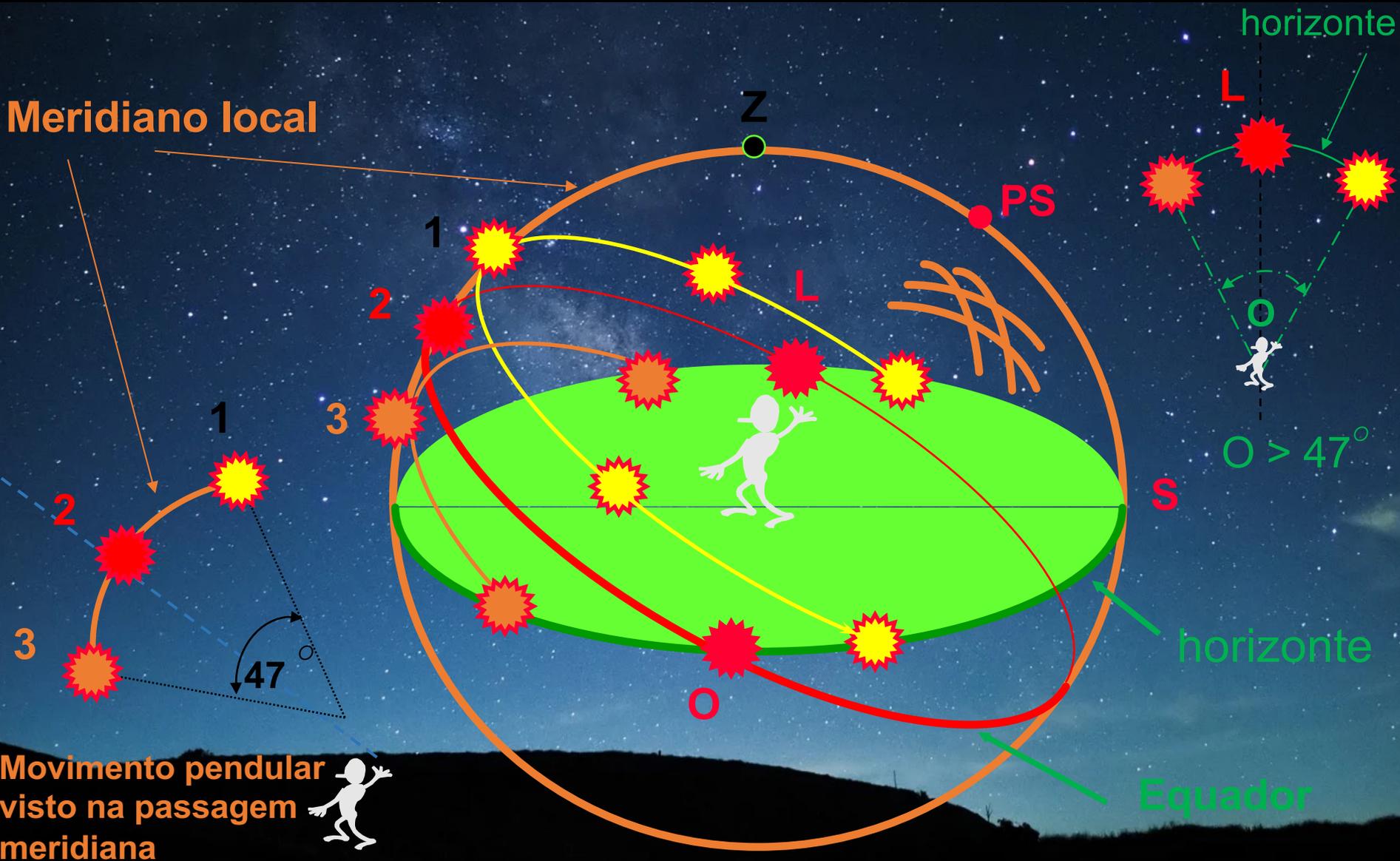


Movimento diurno no Equador



As trajetórias aparentes anteriores podem ser obtidas girando as trajetórias do Sol, ou o plano do horizonte, ao redor do eixo LO.

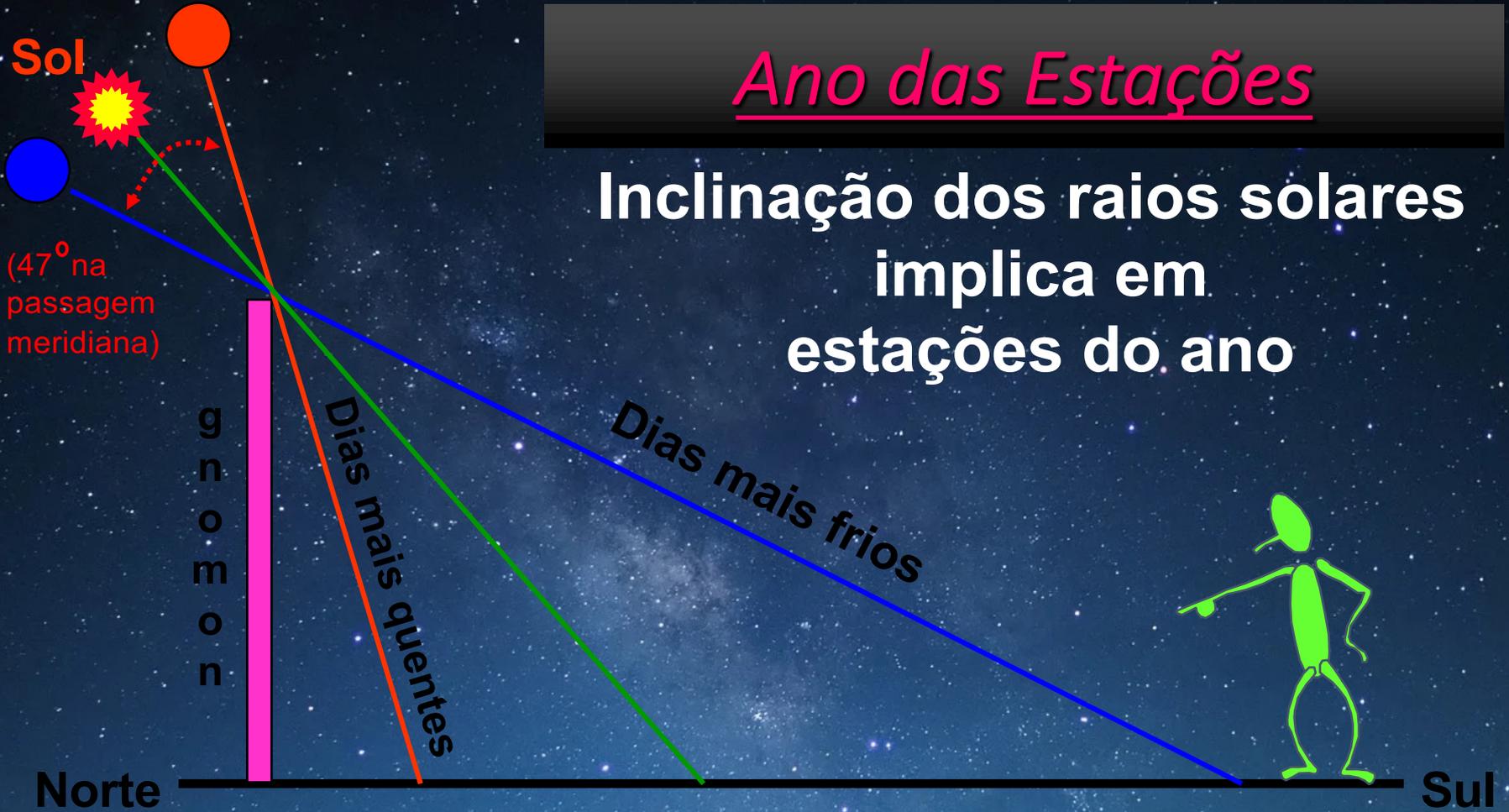
Movimento diurno aparente do Sol em diferentes dias do ano



Estações do Ano

Ano das Estações

Inclinação dos raios solares
implica em
estações do ano

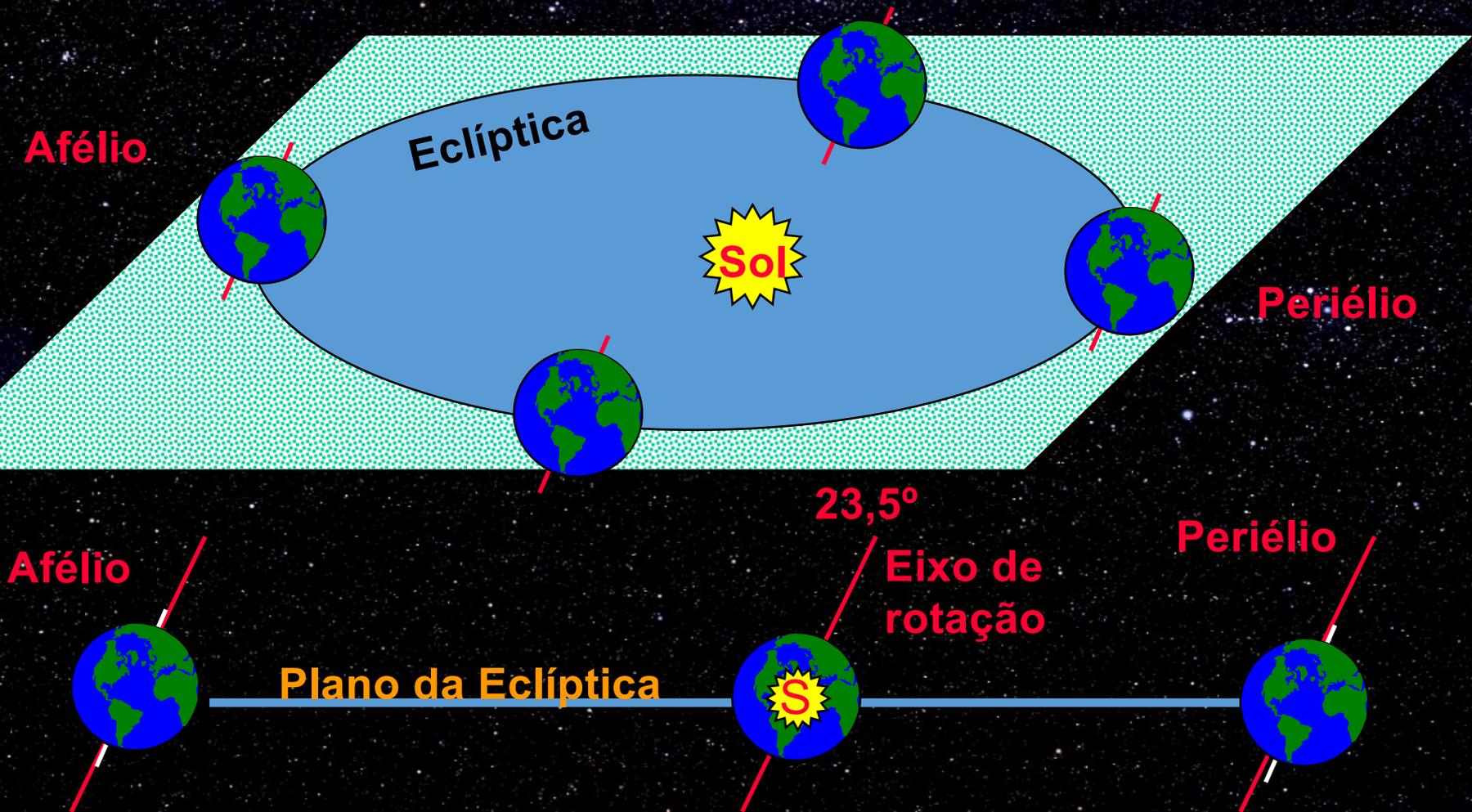


Ano das Estações ~ 365 dias

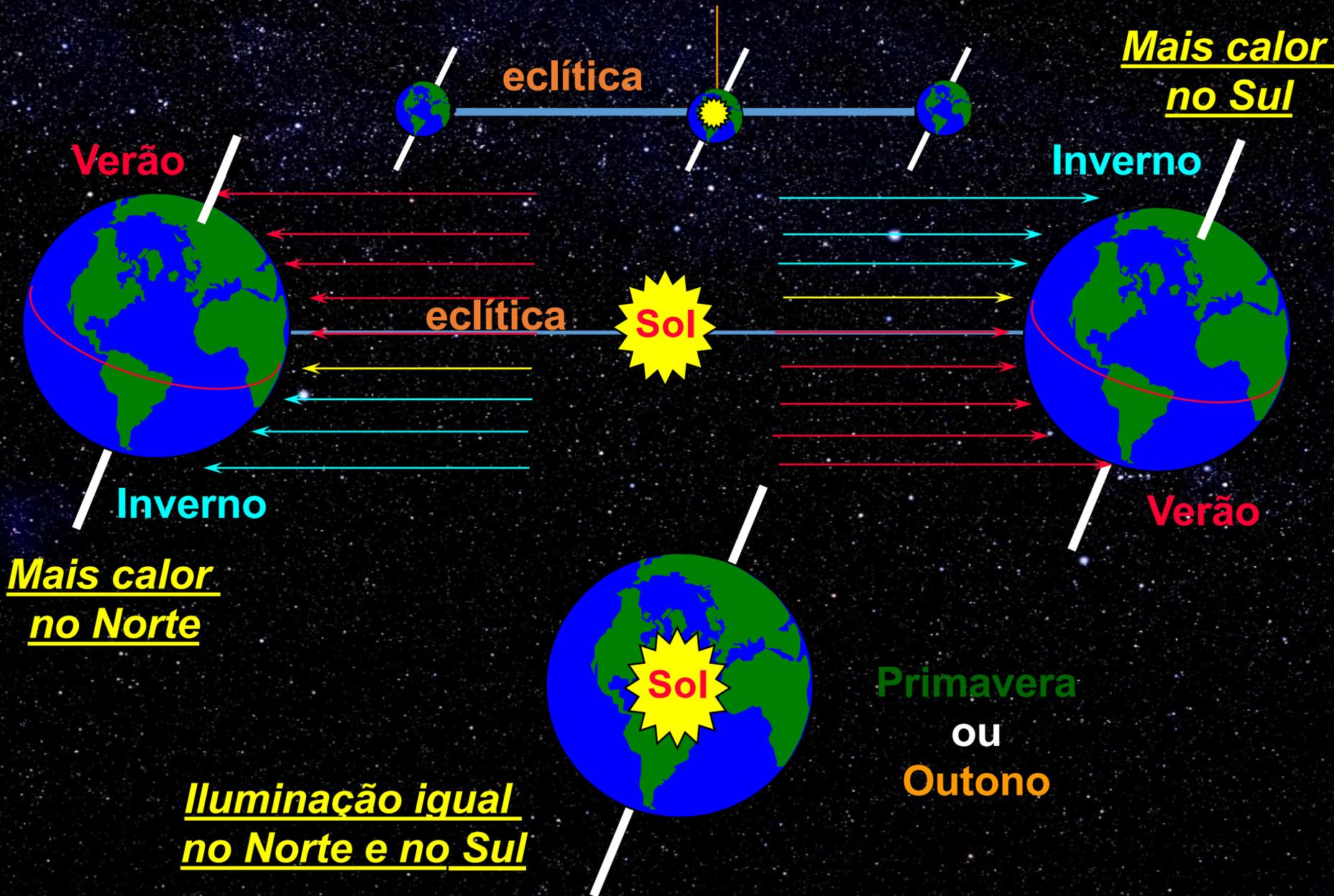
Estações versus Hemisférios



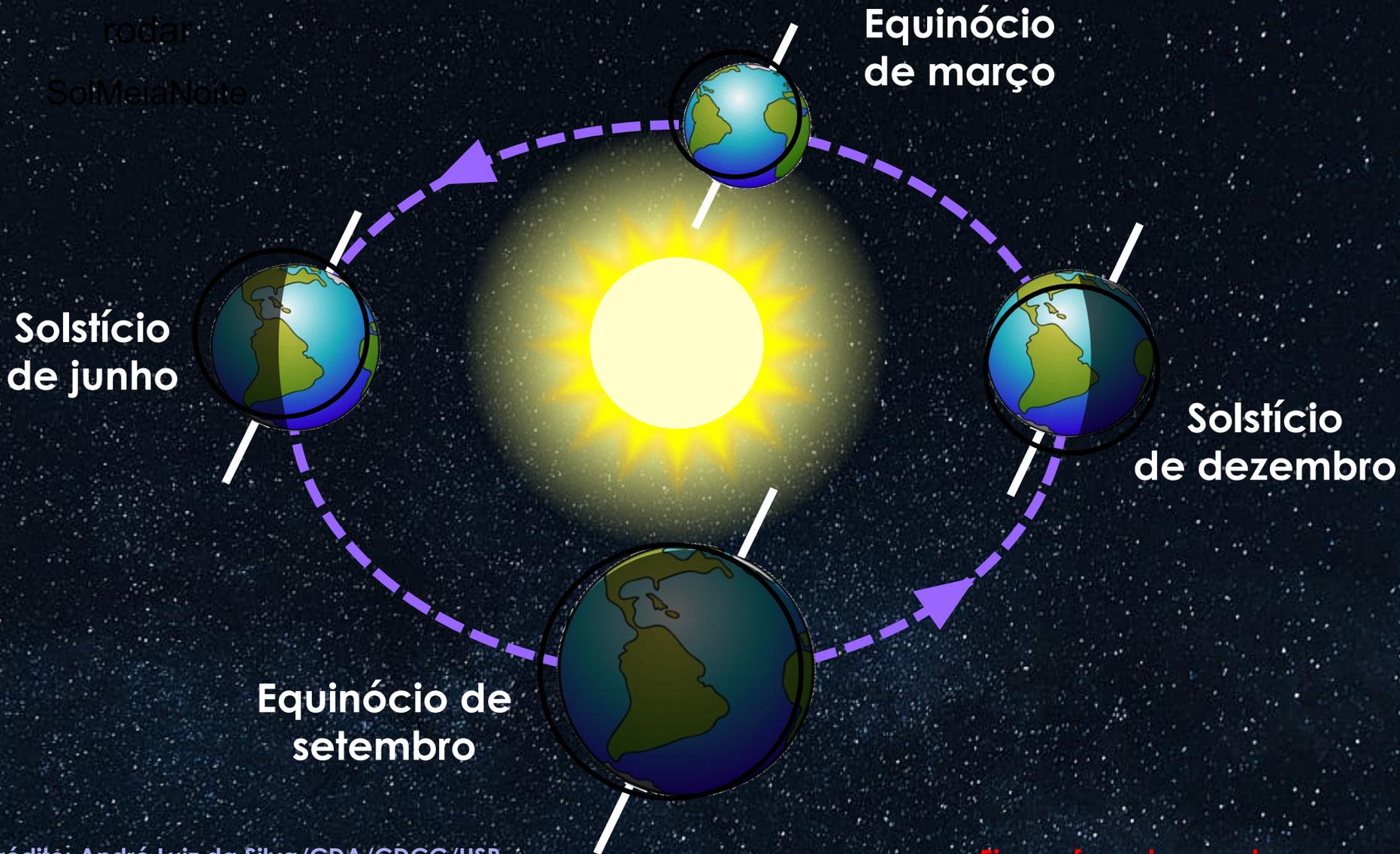
Órbita da Terra em torno do Sol



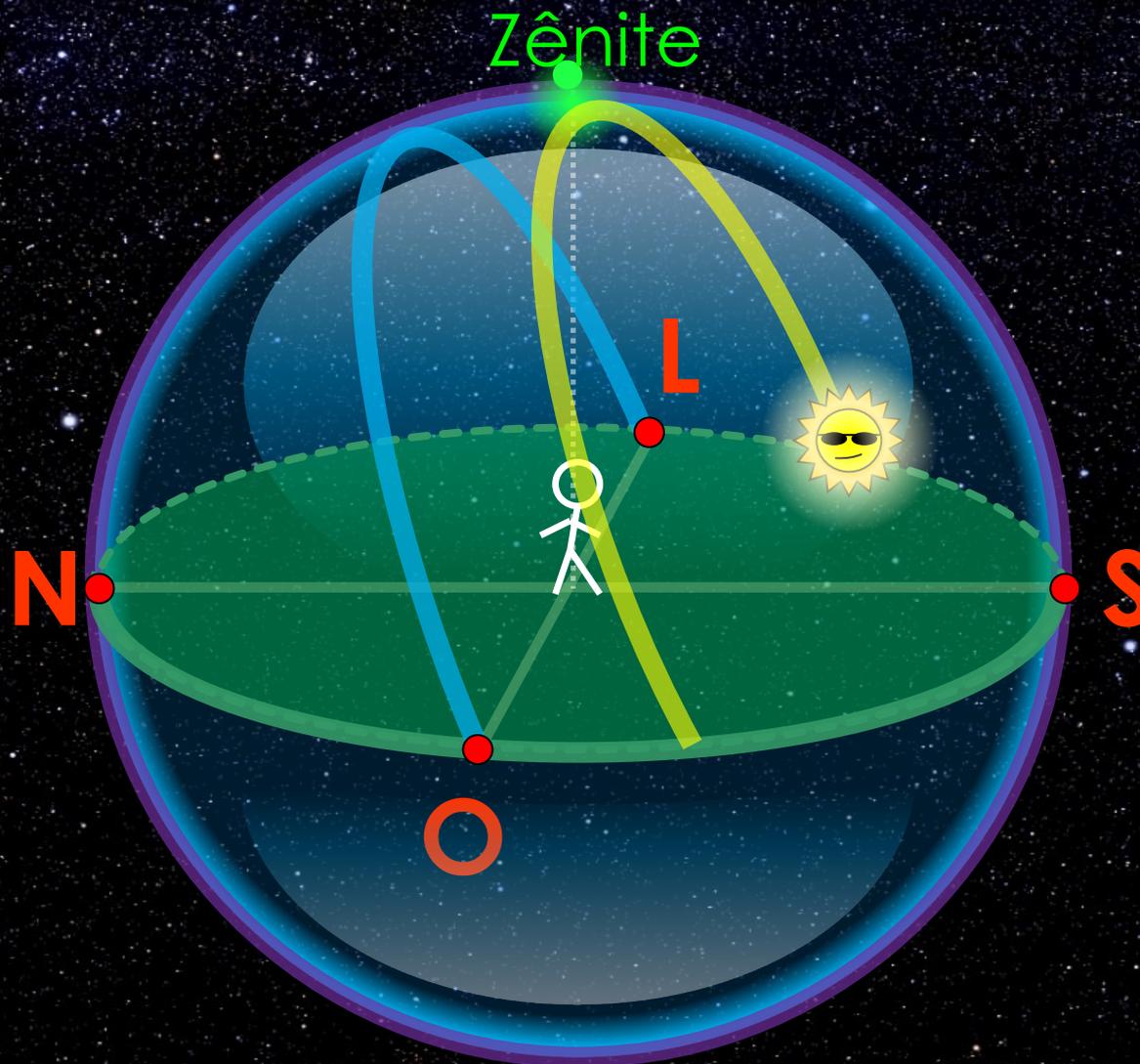
Motivo das Estações



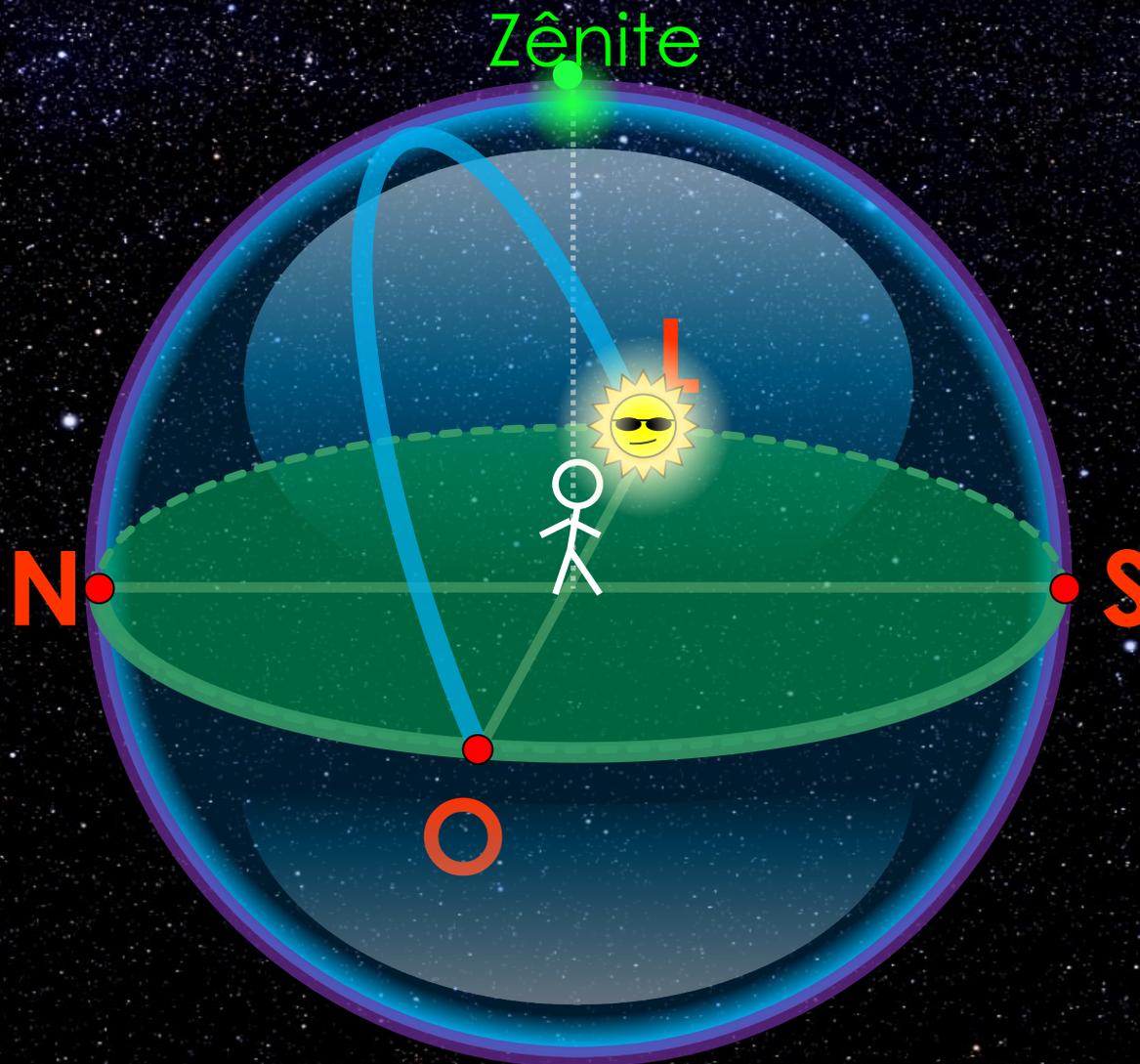
Movimentos combinados



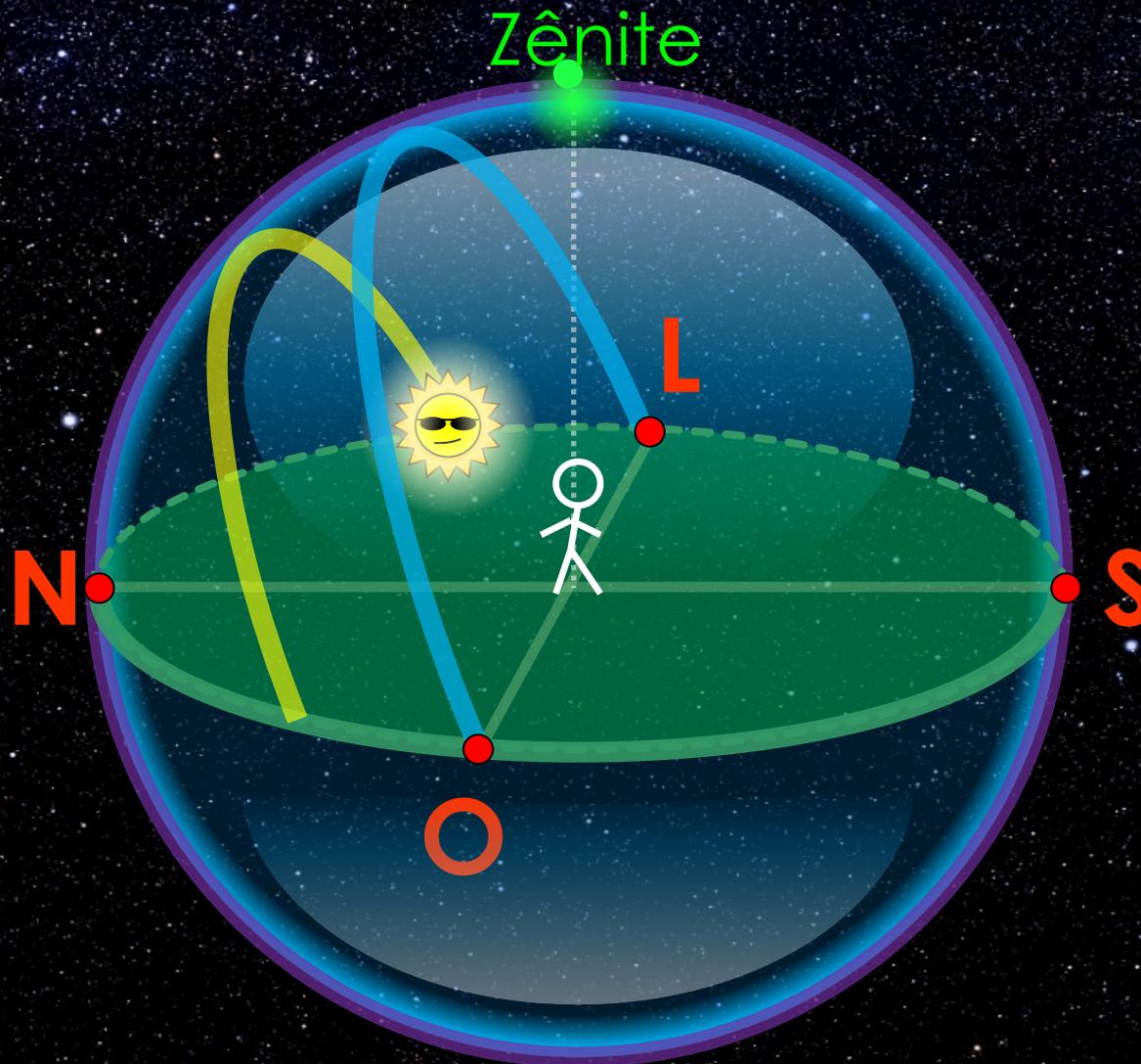
Trajetória diurna do Sol no Solstício de Verão do HS



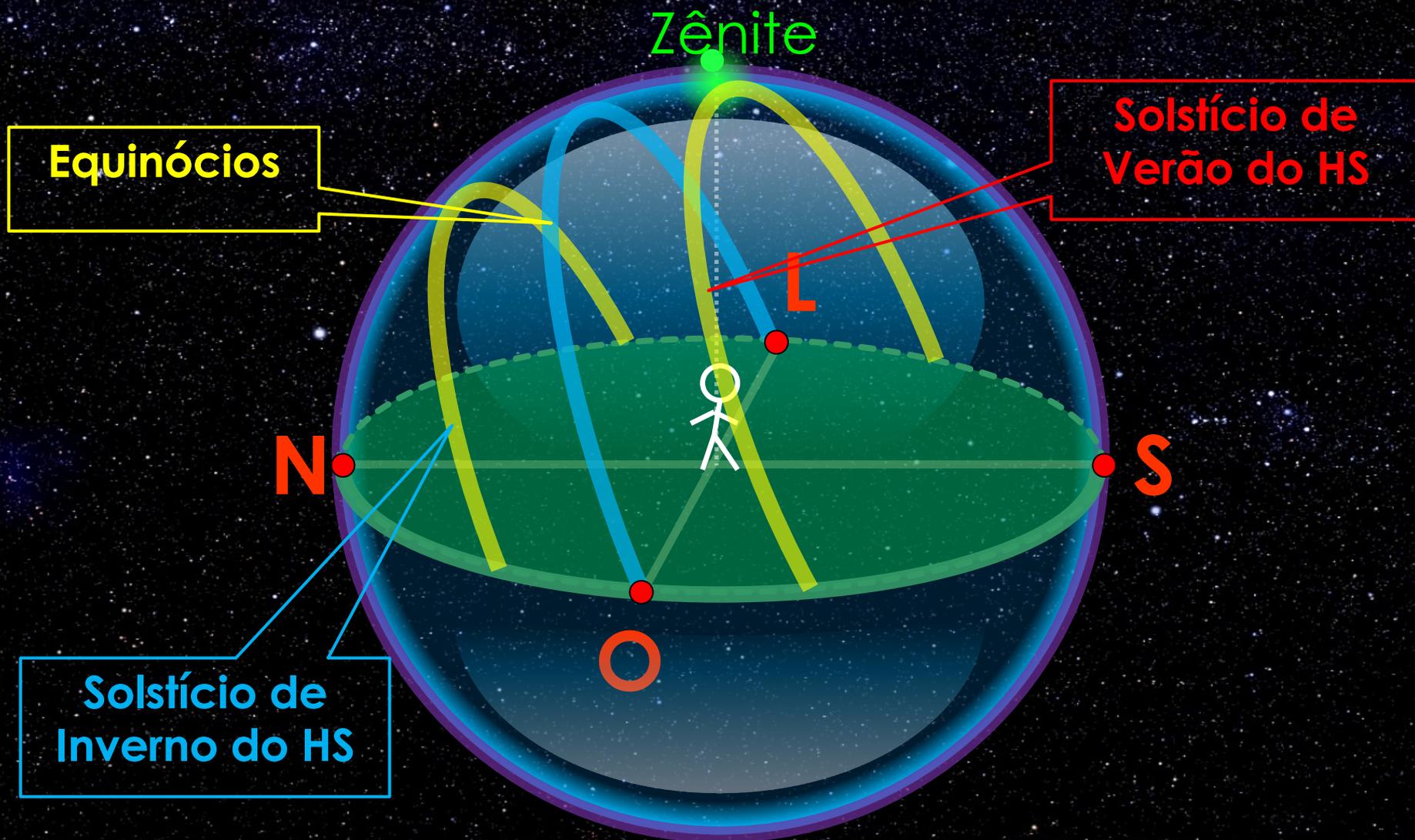
Trajetória diurna do Sol nos equinócios



Trajetória diurna do Sol no Solstício de Inverno do HS

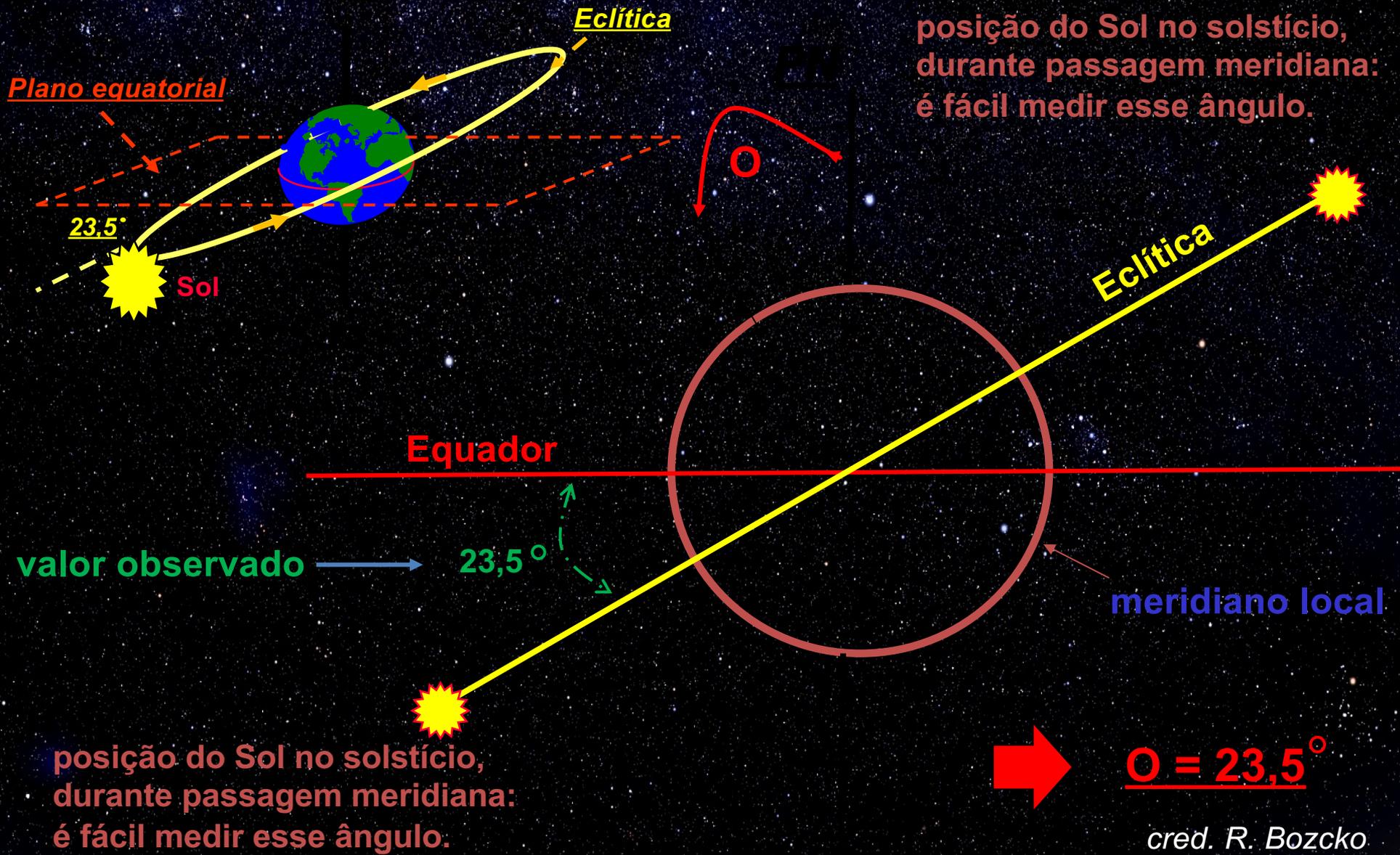


As trajetórias do Sol nos equinócios e nos solstícios

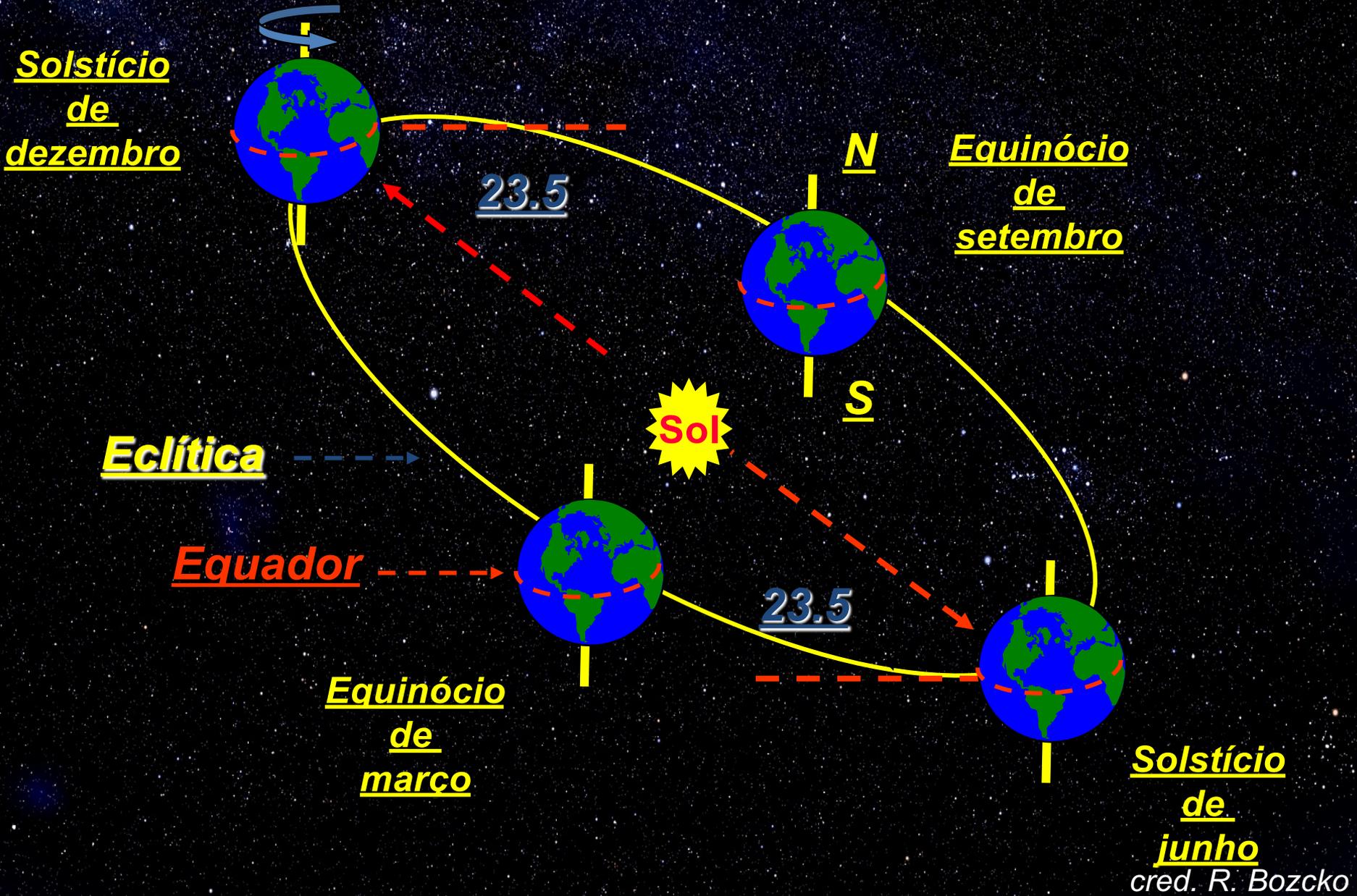


- **Solstício de Inverno: maior noite do ano**
- **Solstício de Verão: menor noite do ano**
- **SC e região:**
 - **solstícios-equinócios – diferença de 1h20min**
 - **diferenças entre solstícios: chega a quase 3h**

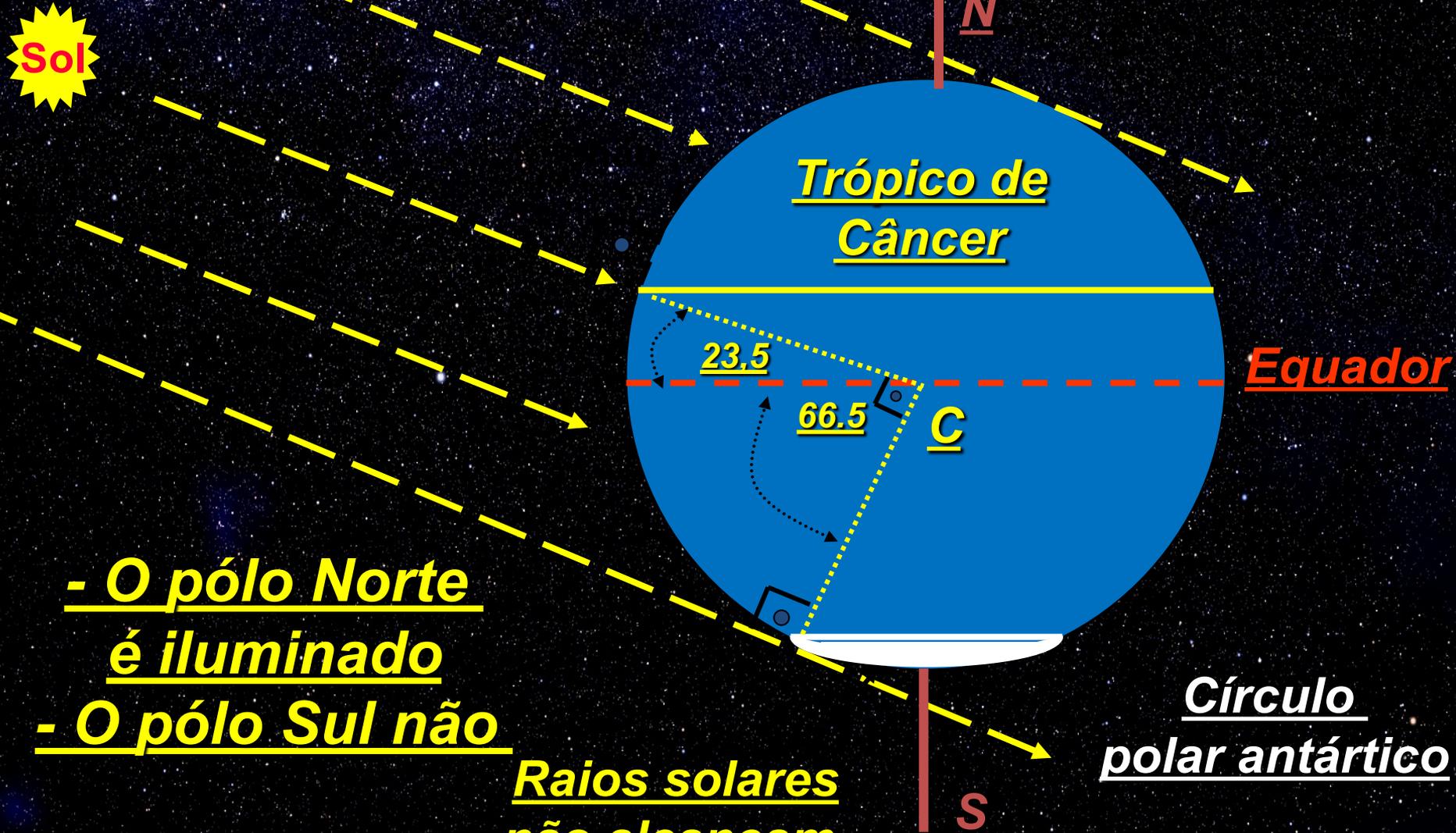
Obliquidade da Eclíptica



Visão heliocêntrica



Solstício de junho



- O pólo Norte é iluminado
- O pólo Sul não

Raios solares não alcançam esta região polar

Solstício de dezembro

Círculo polar ártico

Equador

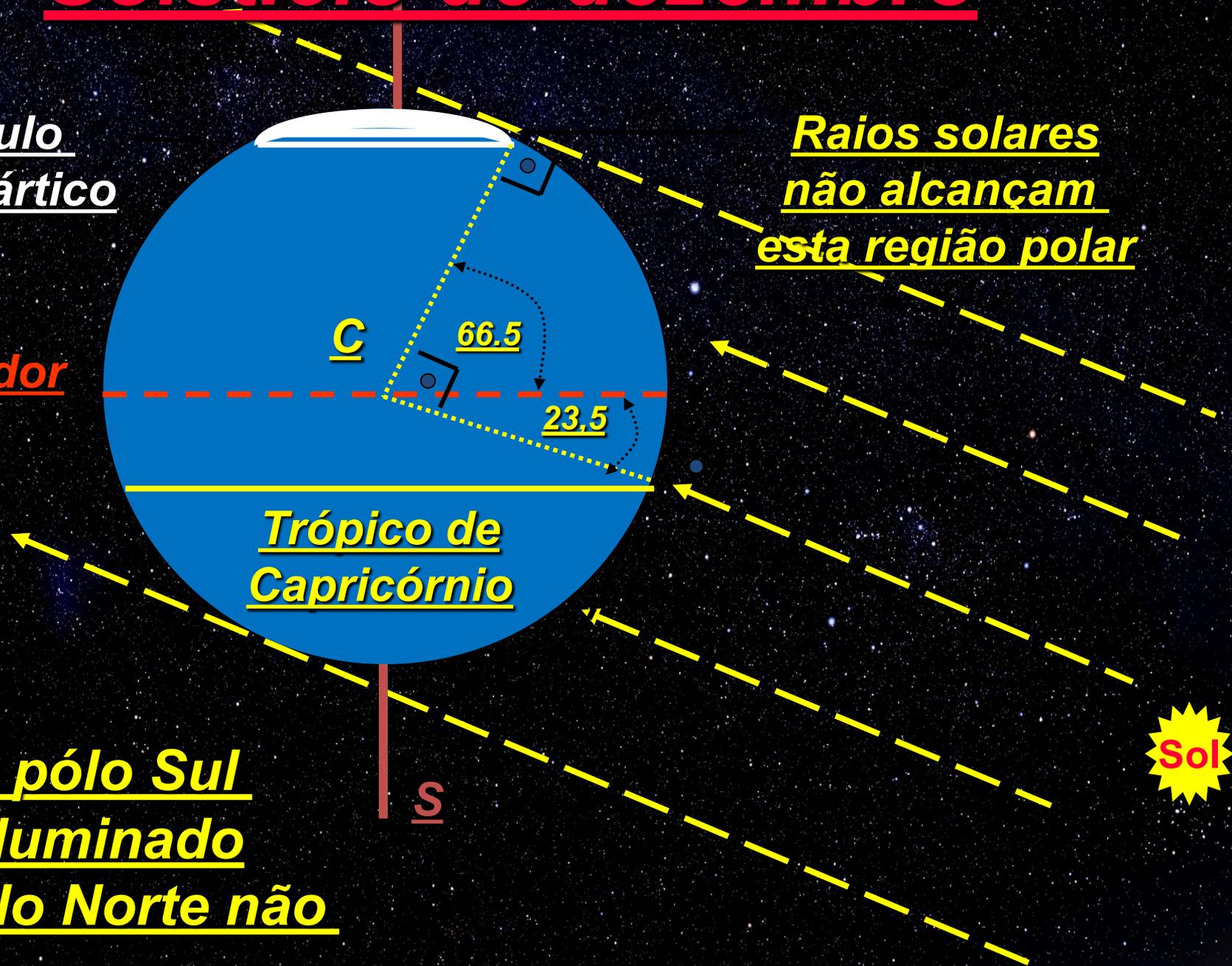
Trópico de Capricórnio

Raios solares não alcançam esta região polar

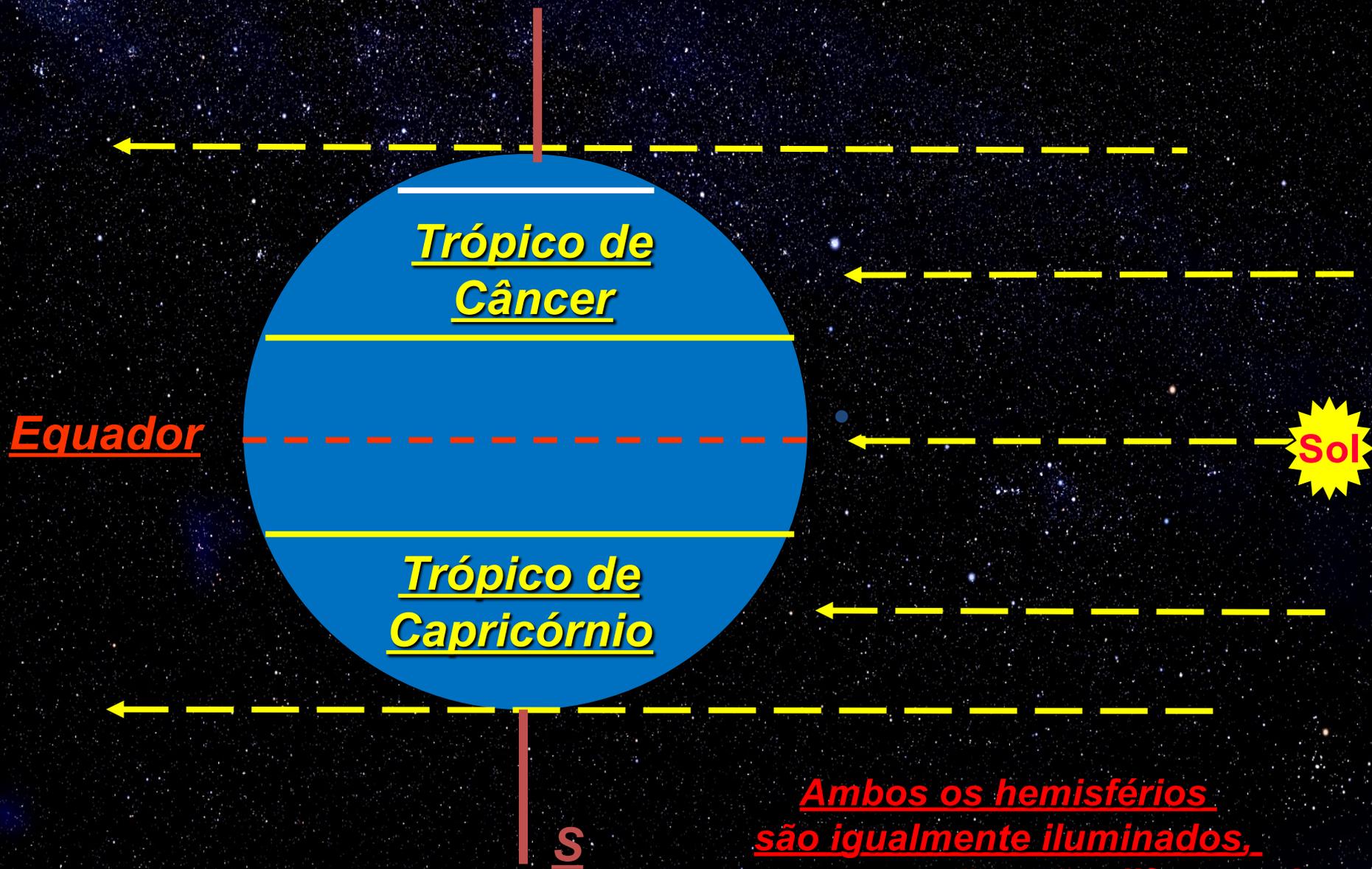
Sol

- O pólo Sul é iluminado

- O pólo Norte não

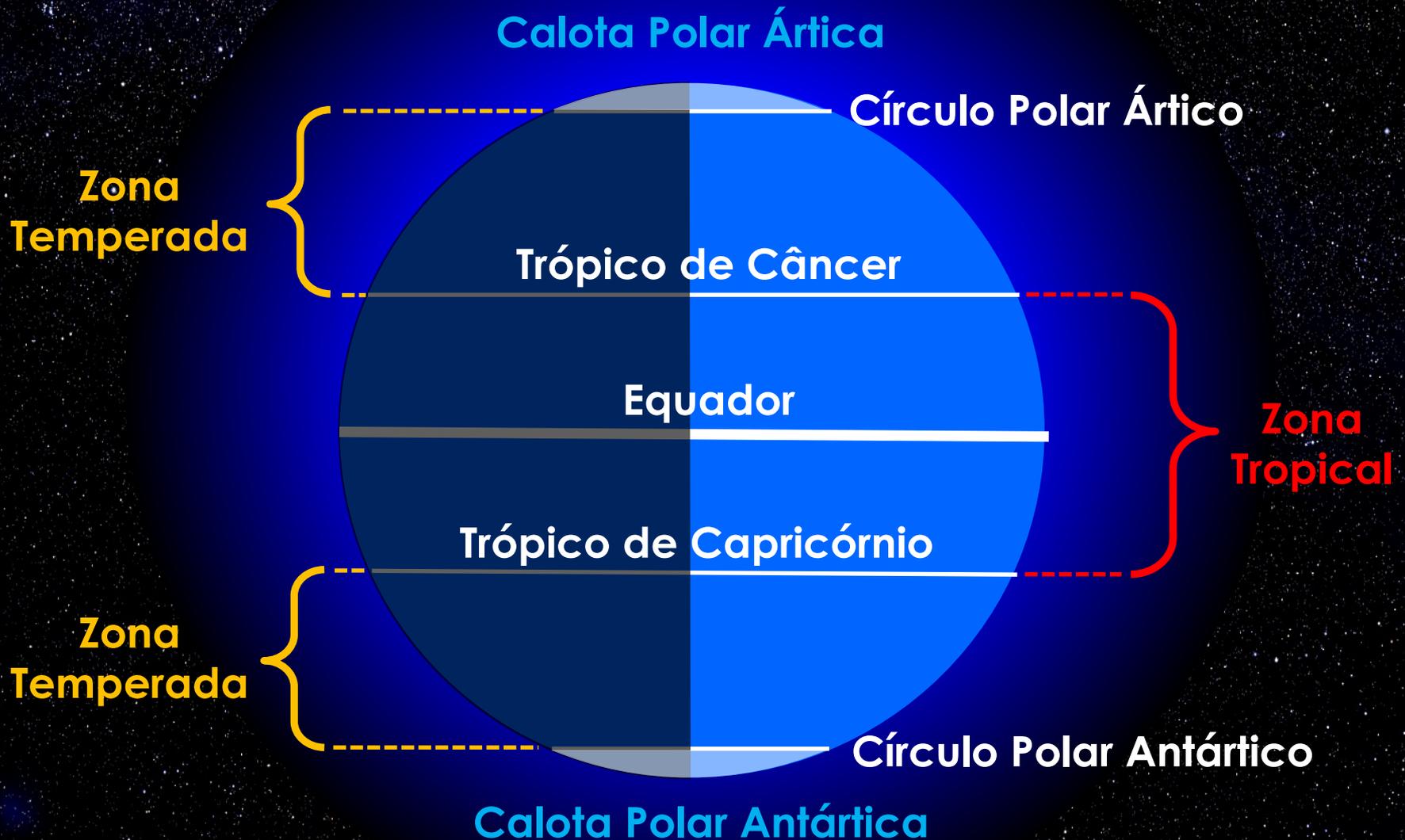


Equinócios: março ou setembro



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

Zonas climáticas da Terra



Olhando a Lua



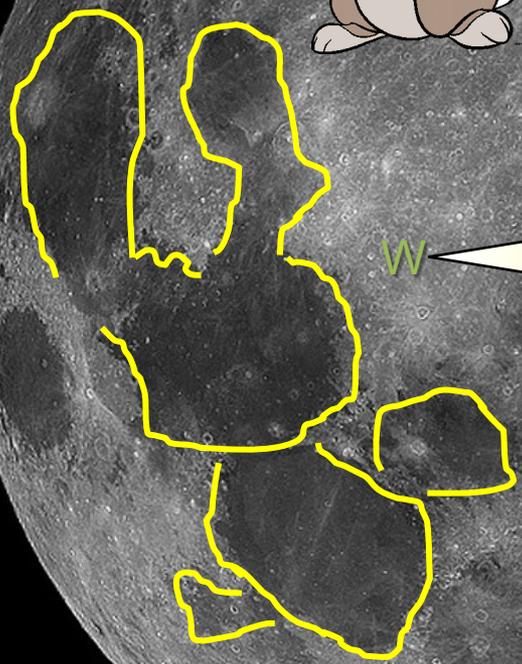
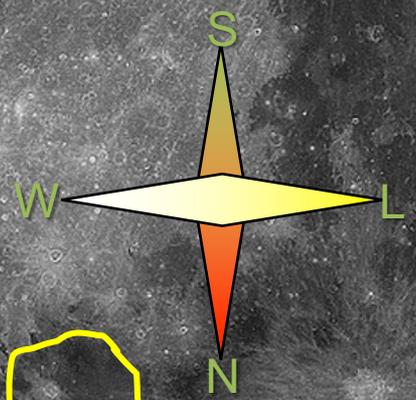
Lua Cheia

Sul



O
e
s
t
e

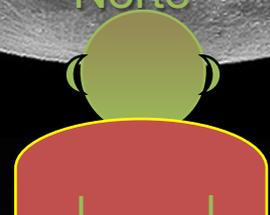
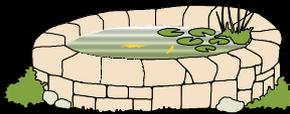
L
e
s
t
e



Poente

Nascente

Norte



Lua nascente: parece grande!

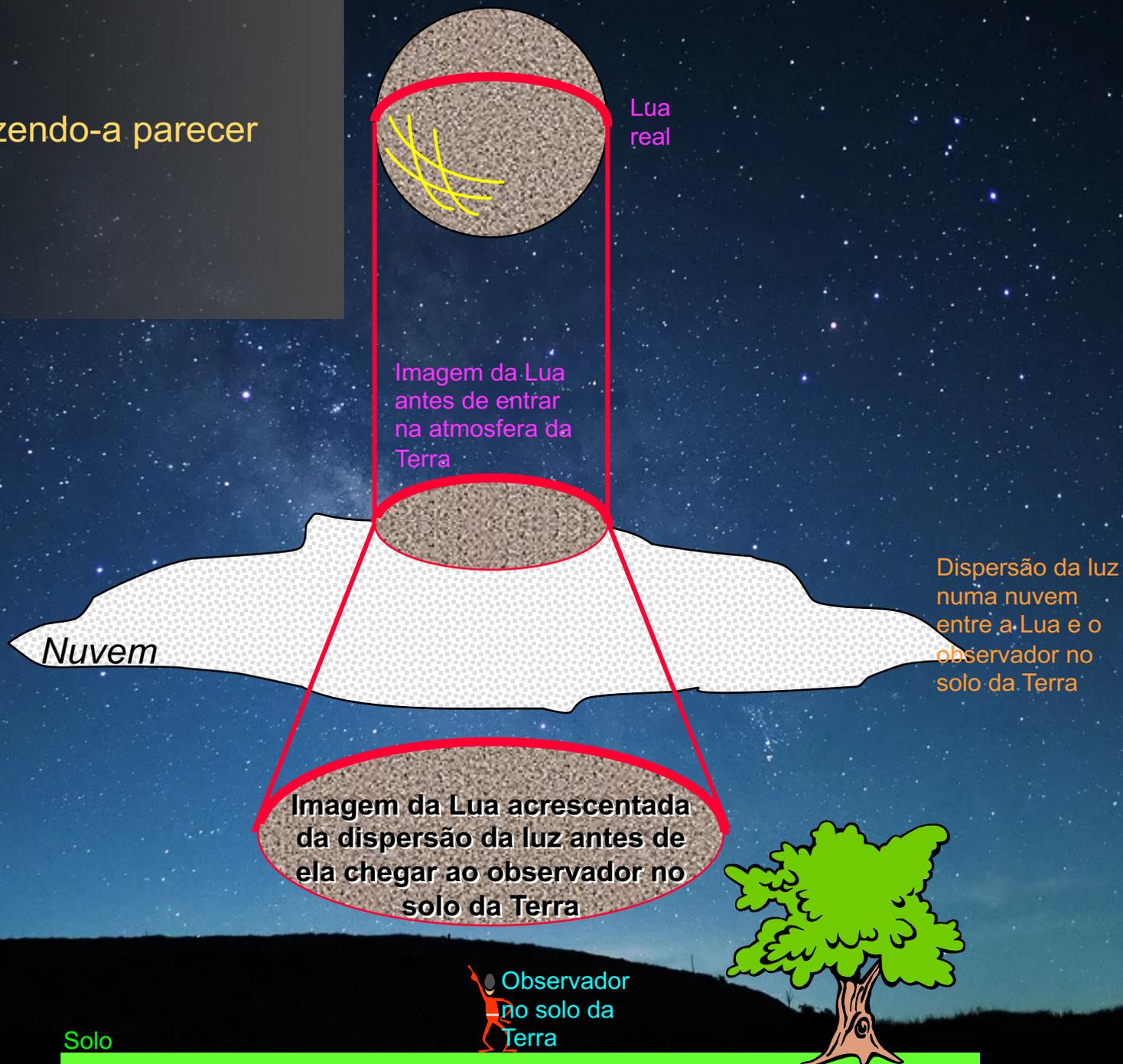
A Lua sempre mostra a mesma face para a Terra.

Essa face costuma ser chamada de **Face Visível** ou **Disco Iluminado da Lua**.

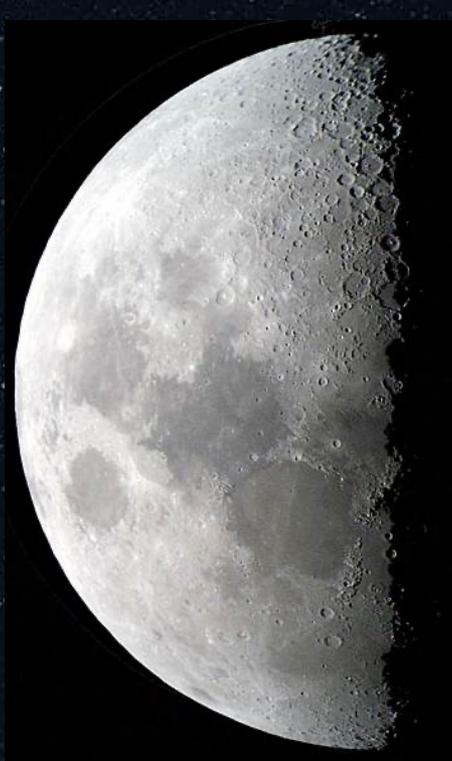


Motivo de parecer grande:
Efeito da possibilidade de comparação da Lua com objetos na Terra

Halo na Lua fazendo-a parecer maior



Fases da Lua



quarto crescente



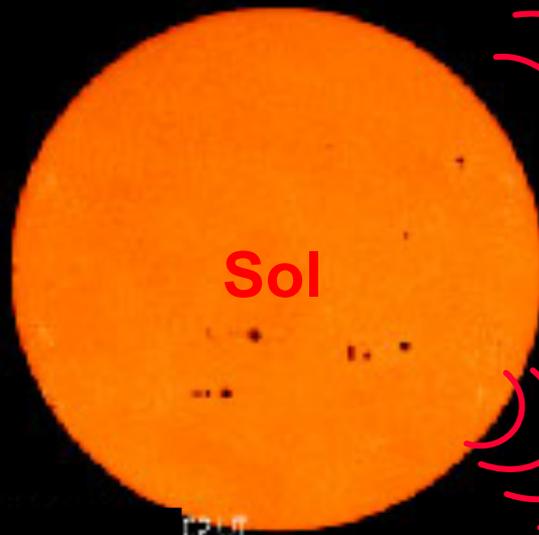
cheia



quarto minguante

Crédito da imagem:
Antonio Cidadao

Motivo das fases da Lua: Corpo Luminoso e corpo Iluminado

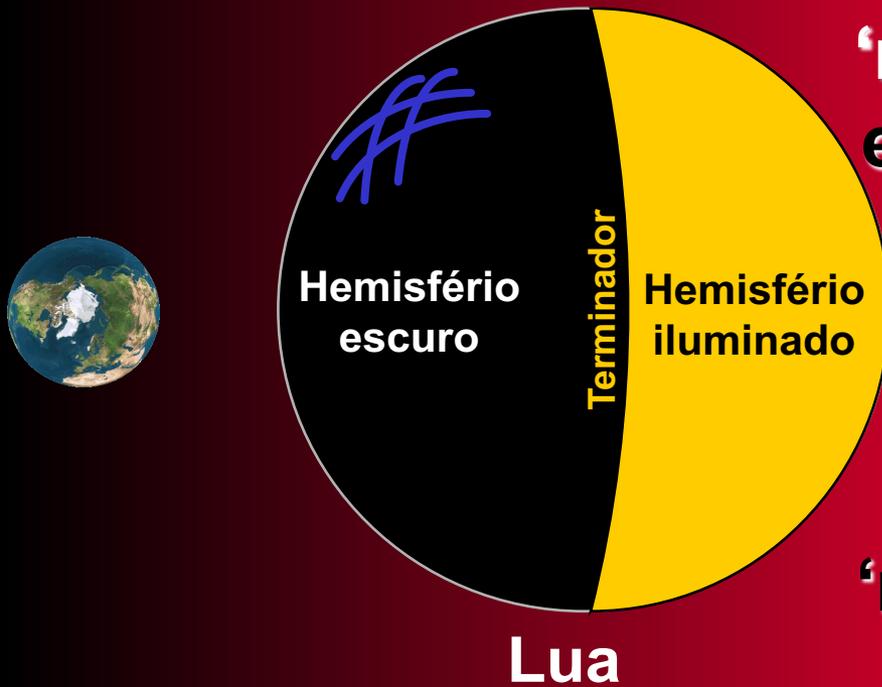


**Corpo Luminoso:
Gera sua própria luz**



**Corpo Iluminado:
Apenas reflete a
luz que
recebe de
outro
corpo.**

Hemisfério iluminado da Lua



Sempre uma 'metade' da Lua está iluminada!

Mas...nem sempre é a 'metade' que se vê da Terra!

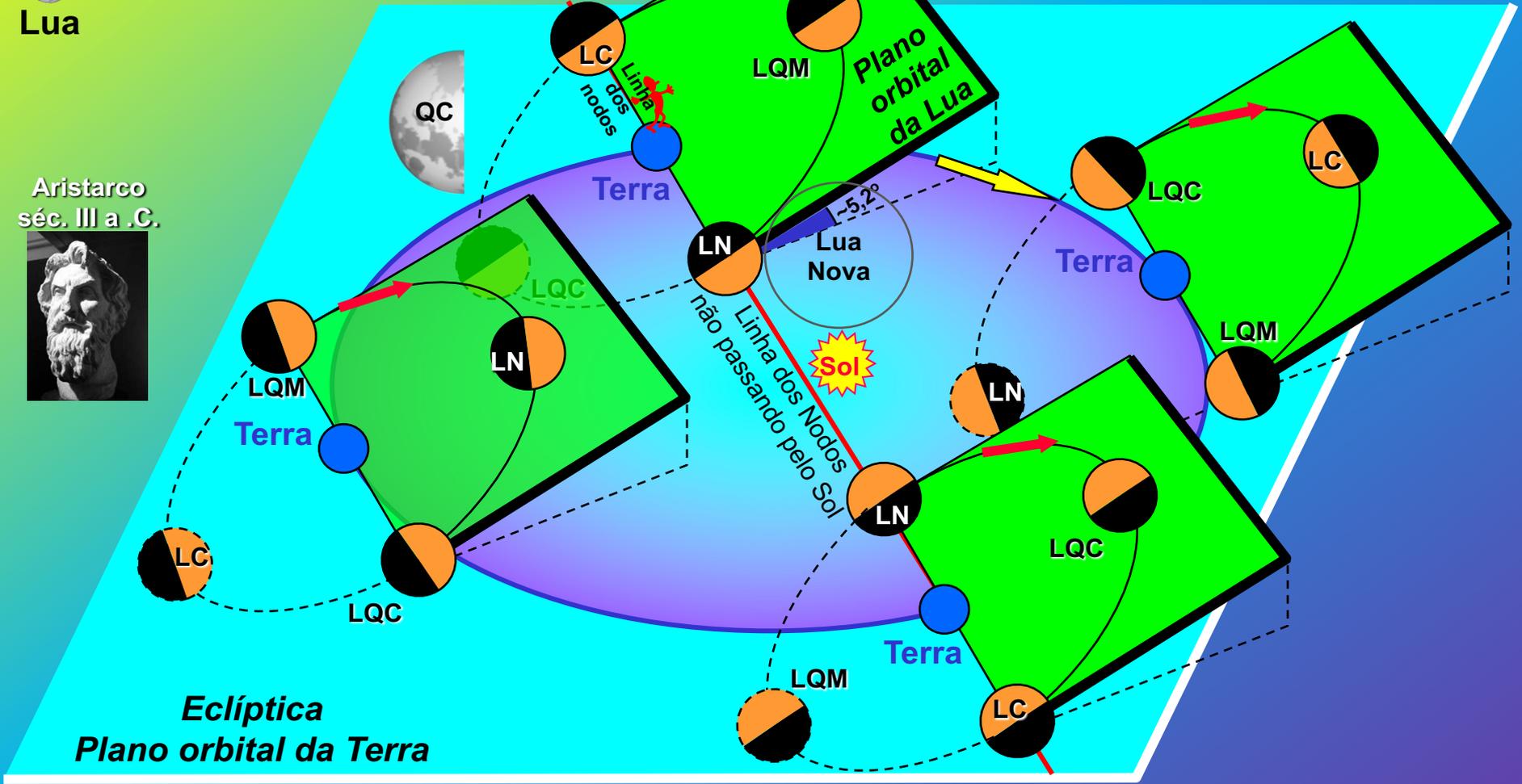
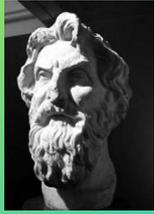
As fases da Lua se referem à aparência de sua face visível "disco" desde a Terra.



Visão de perfil



Aristarco
séc. III a .C.



Fases da Lua e Órbita da Terra

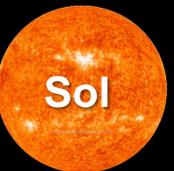


Explicando as Fases da Lua

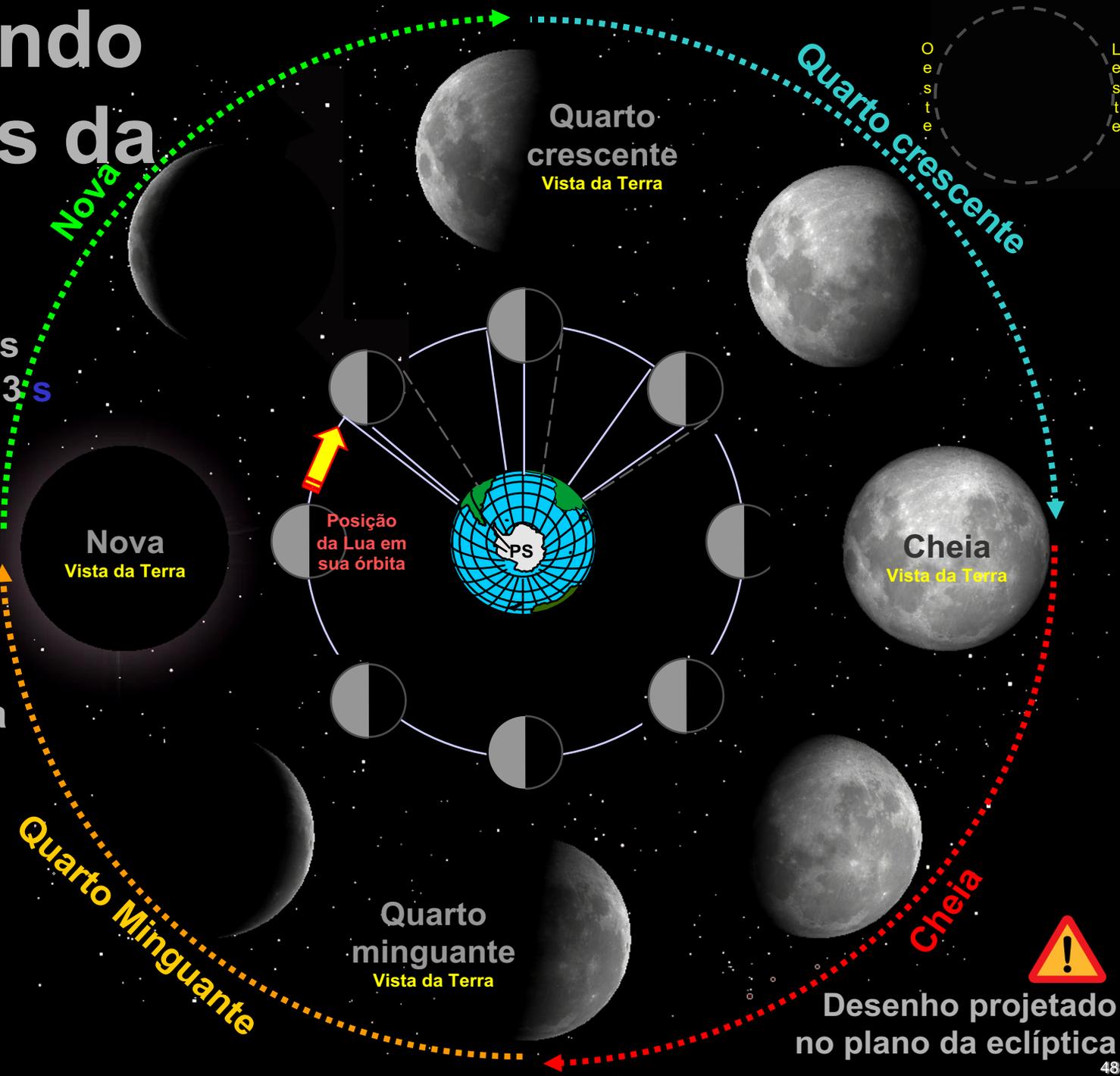


Lunação

~ 29,530.589 dias
~ 29 d 12 h 44 m 03 s



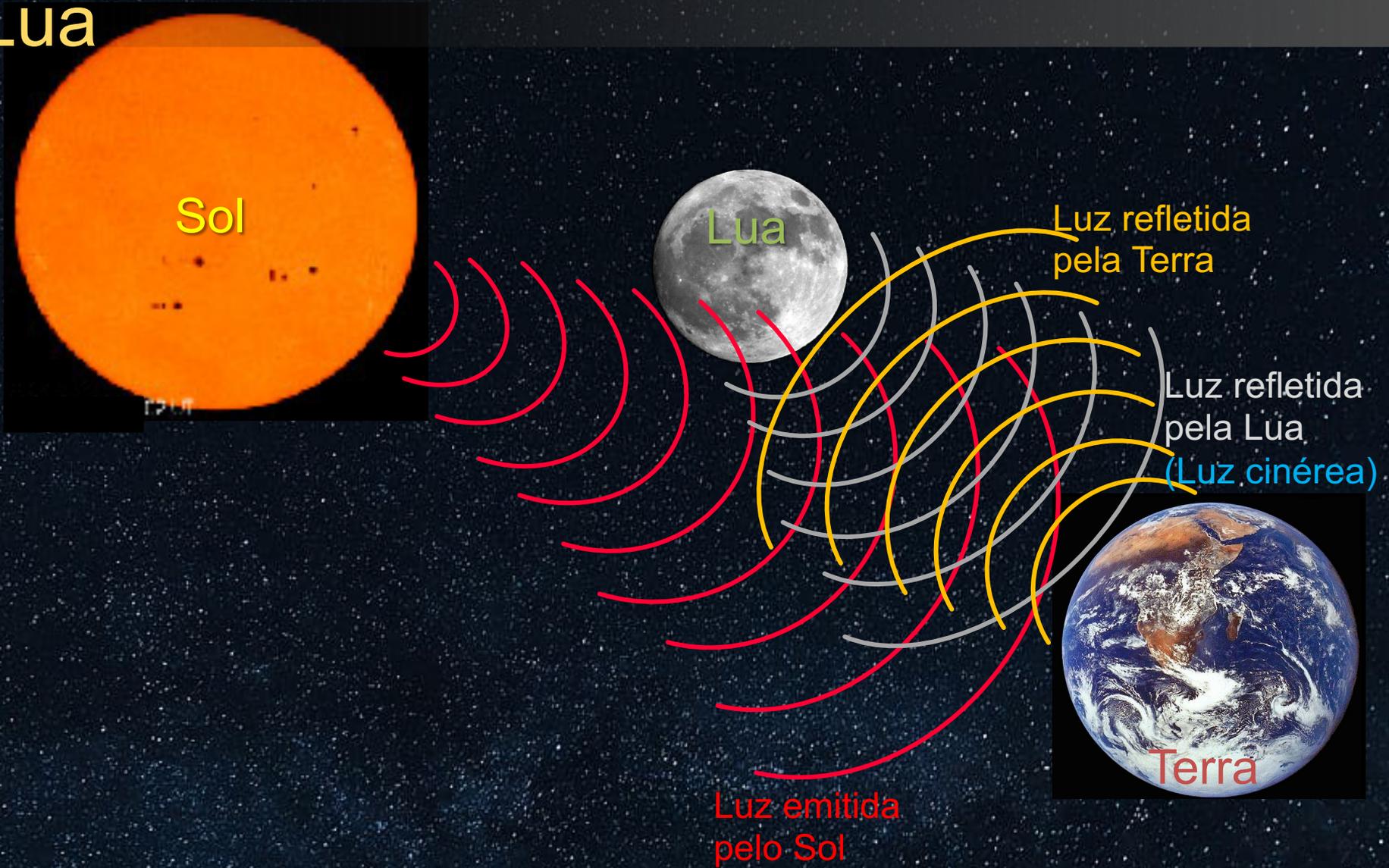
Sol
Devido às diferentes posições da Lua com relação à Terra e ao Sol, da Terra vê-se diferentes parcelas da parte iluminada da Lua.



Desenho projetado no plano da eclíptica



Luz solar refletida pela Terra e depois pela Lua



Luz Cinérea

Reflexo na Lua da luz solar refletida na Terra



Região iluminada diretamente pelo Sol

Rodrigo Andolfato

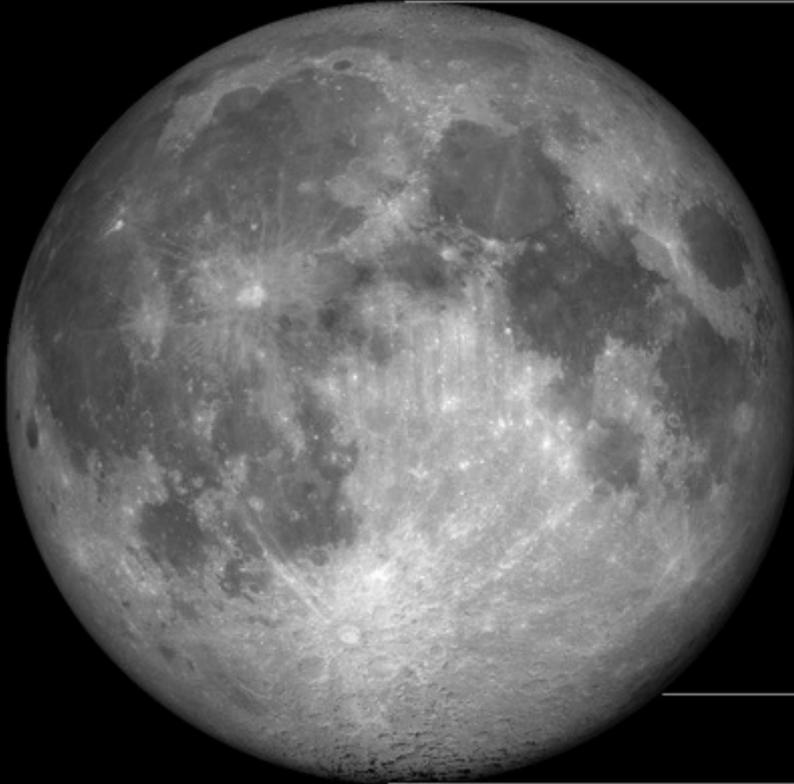
“Superlua”

Lunar perigee (33.48")
(356,700 km)

2007 Oct 26 12:02:39 UT

Lunar Apogee (29.40")
(406,300 km)

2007 Apr 3 08:50:54 UT



12% smaller



Lua Azul

Expressão usada para designar a segunda lua cheia que ocorre em um mesmo mês. Isto ocorre devido à diferença no tempo de uma Lua cheia até a próxima, de 29,5... dias, e a duração dos meses, que possuem de 28 a 31 dias.

JULHO - 2015						
S	T	Q	Q	S	S	D
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31		



1



E

8



15



W

24



31

Em Agosto de 2012 tb. ocorreu.

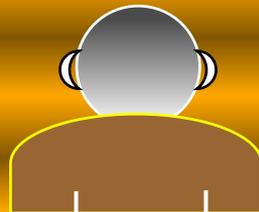


Rei
do dia!

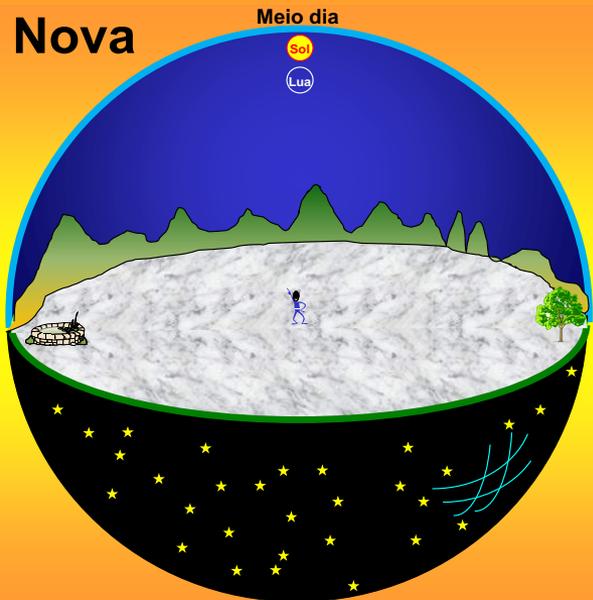


Rainha
da noite?

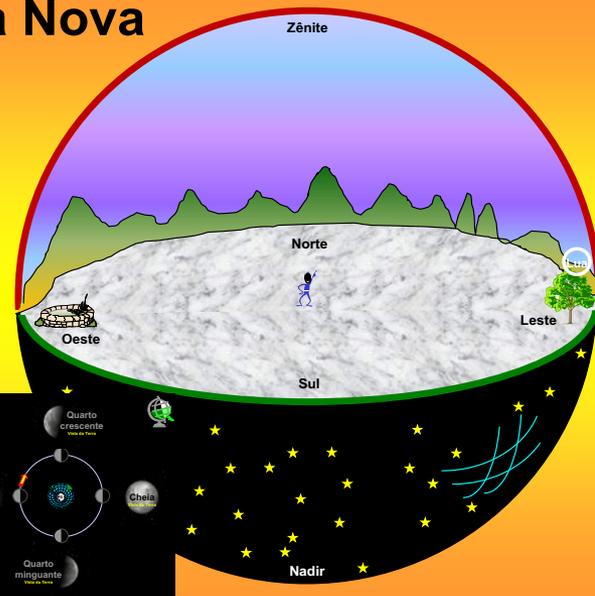
Lua
ao longo do dia
nas diversas fases



Lua Nova



Lua Nova



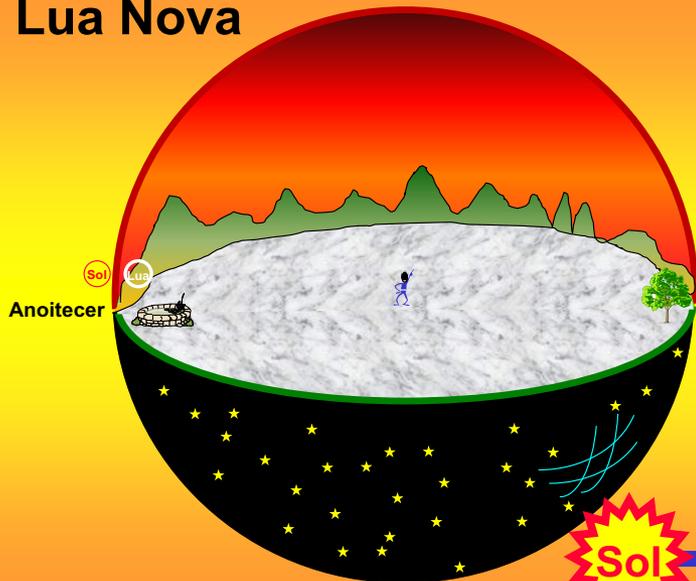
Amanhecer



Lua Nova



Lua Nova



Anoitecer



Lua Nova



Meia noite

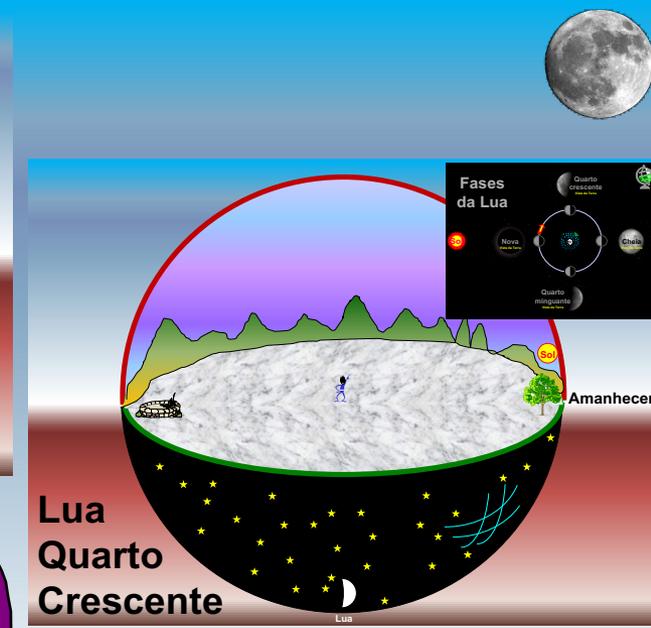
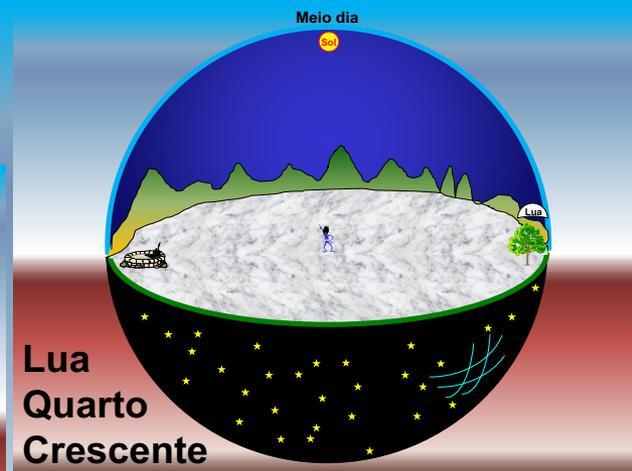
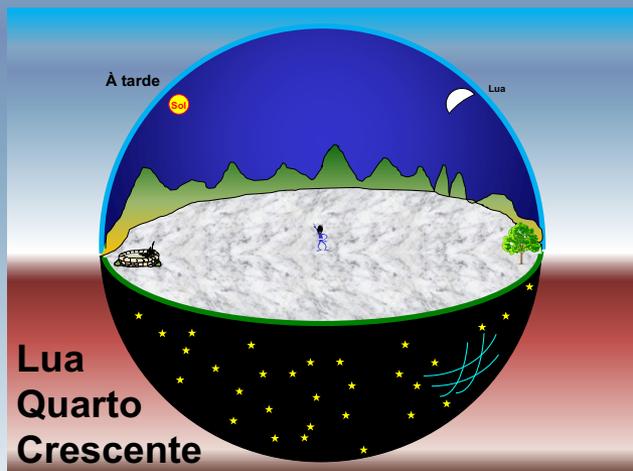


Eclíptica



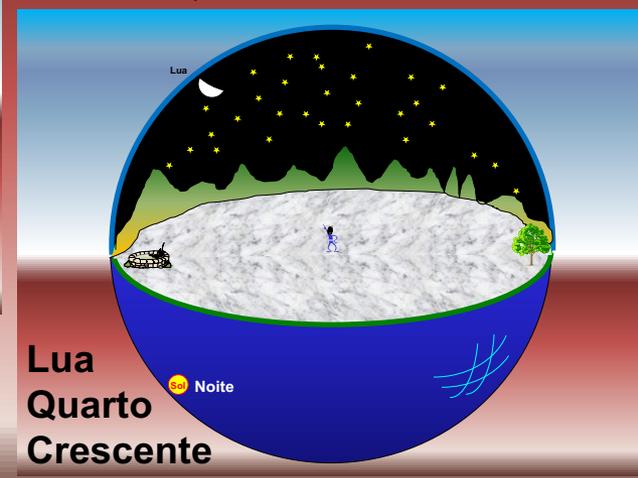
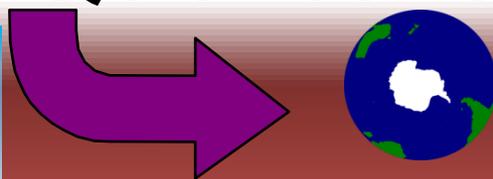
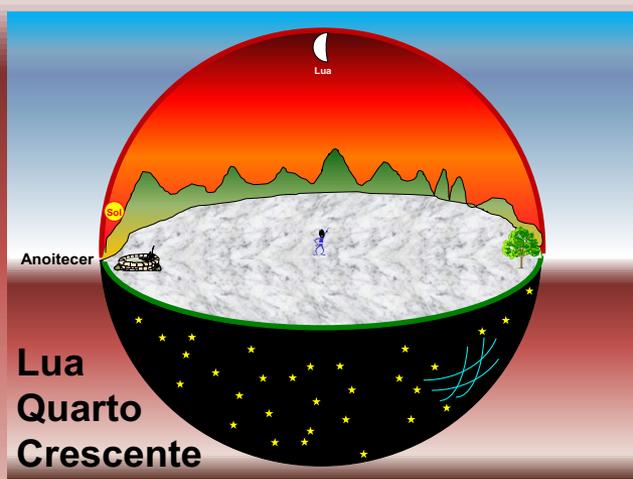
Terra

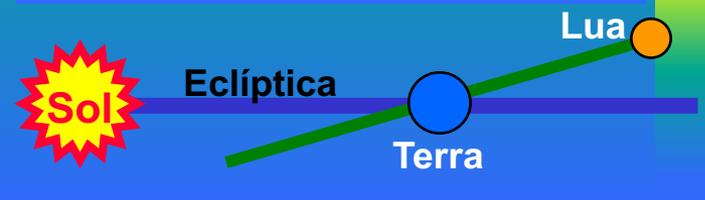
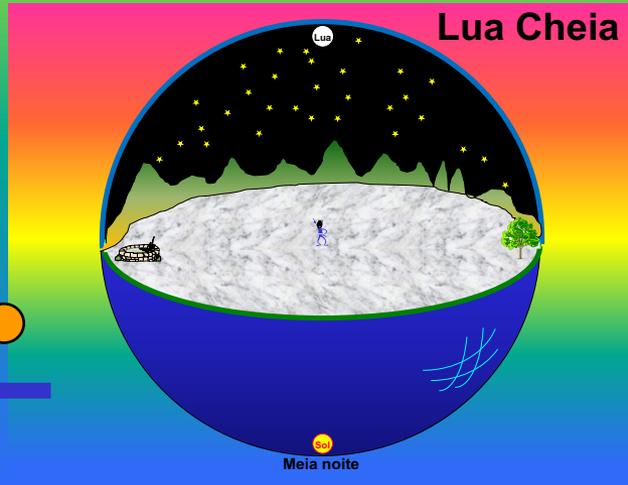
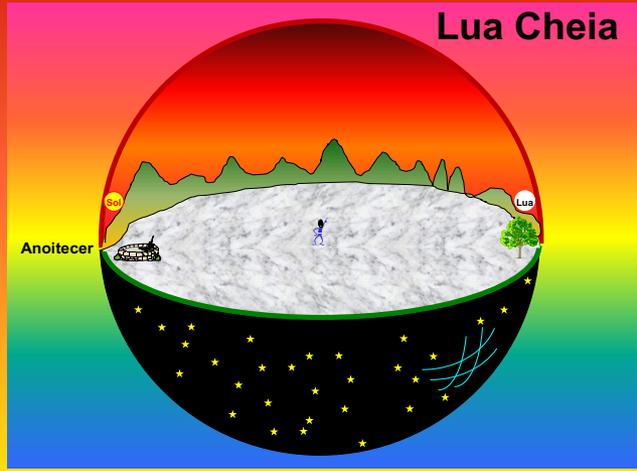
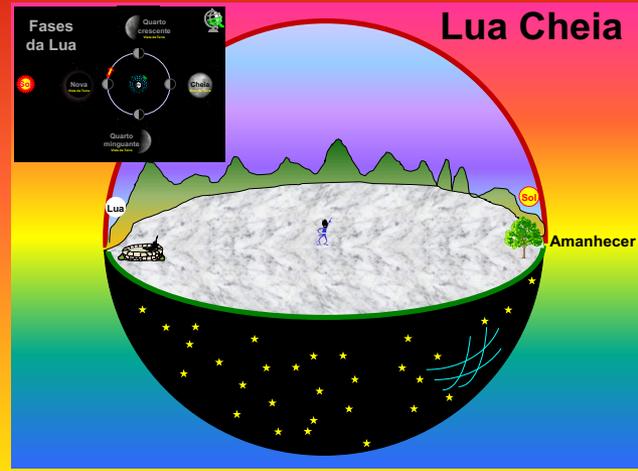
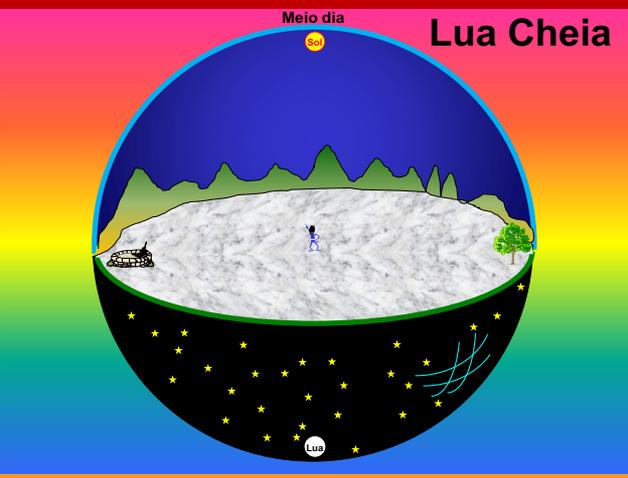
Lua

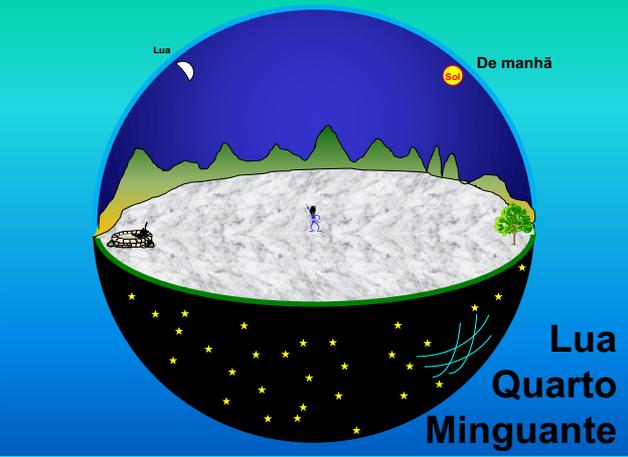


Lua ←

Quarto Crescente



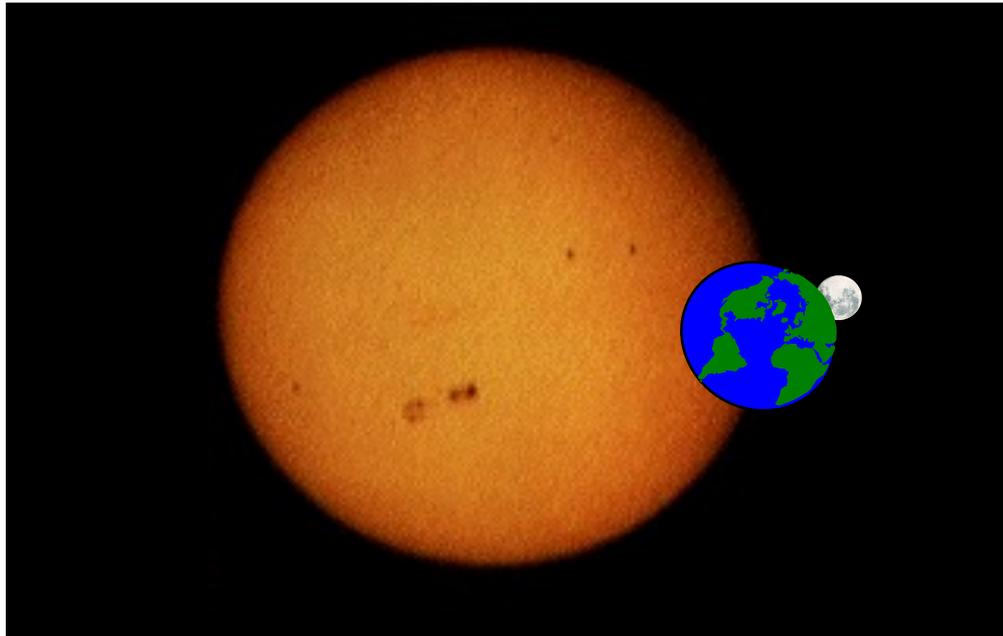




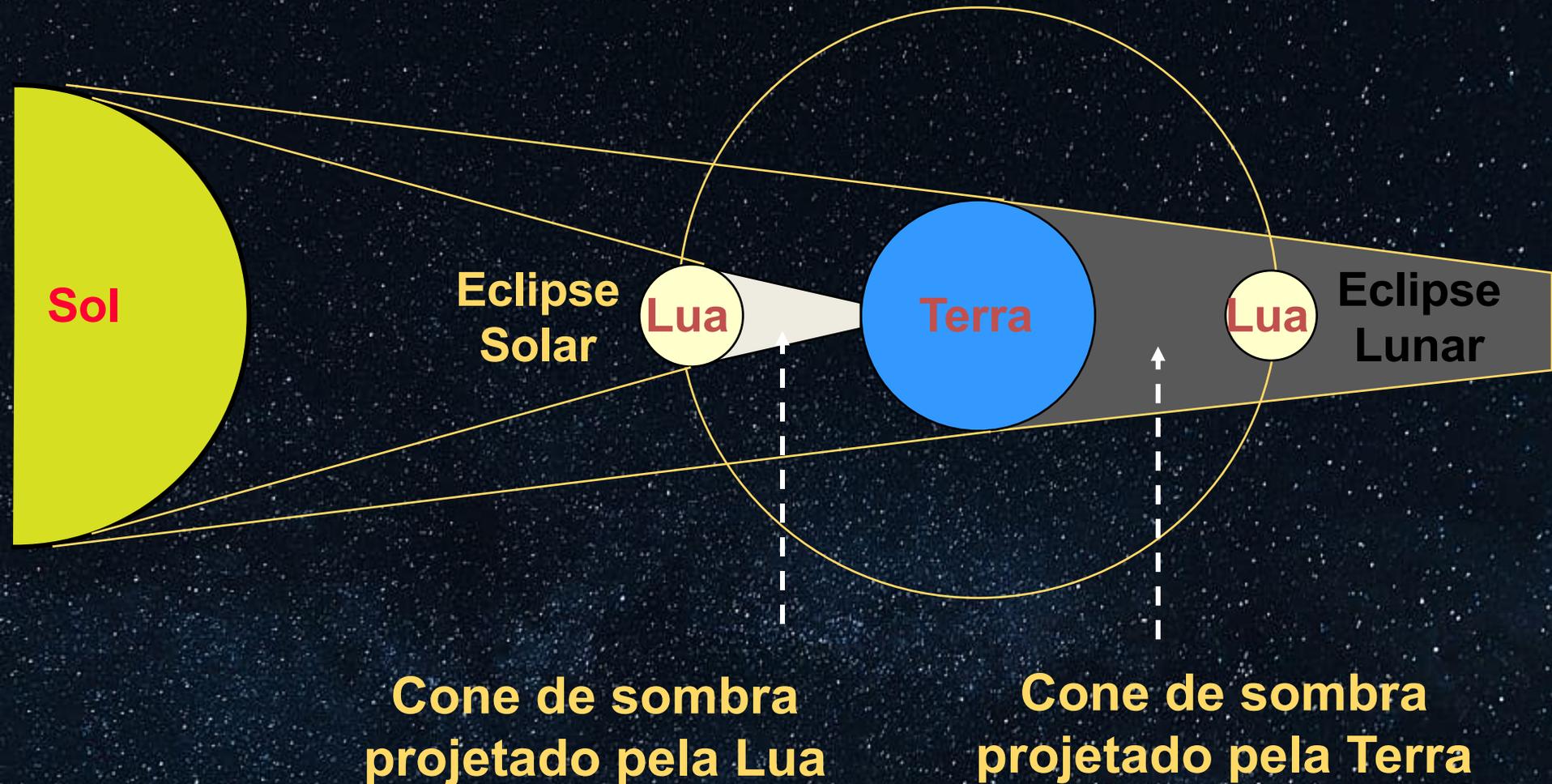
Lua Quarto Minguante



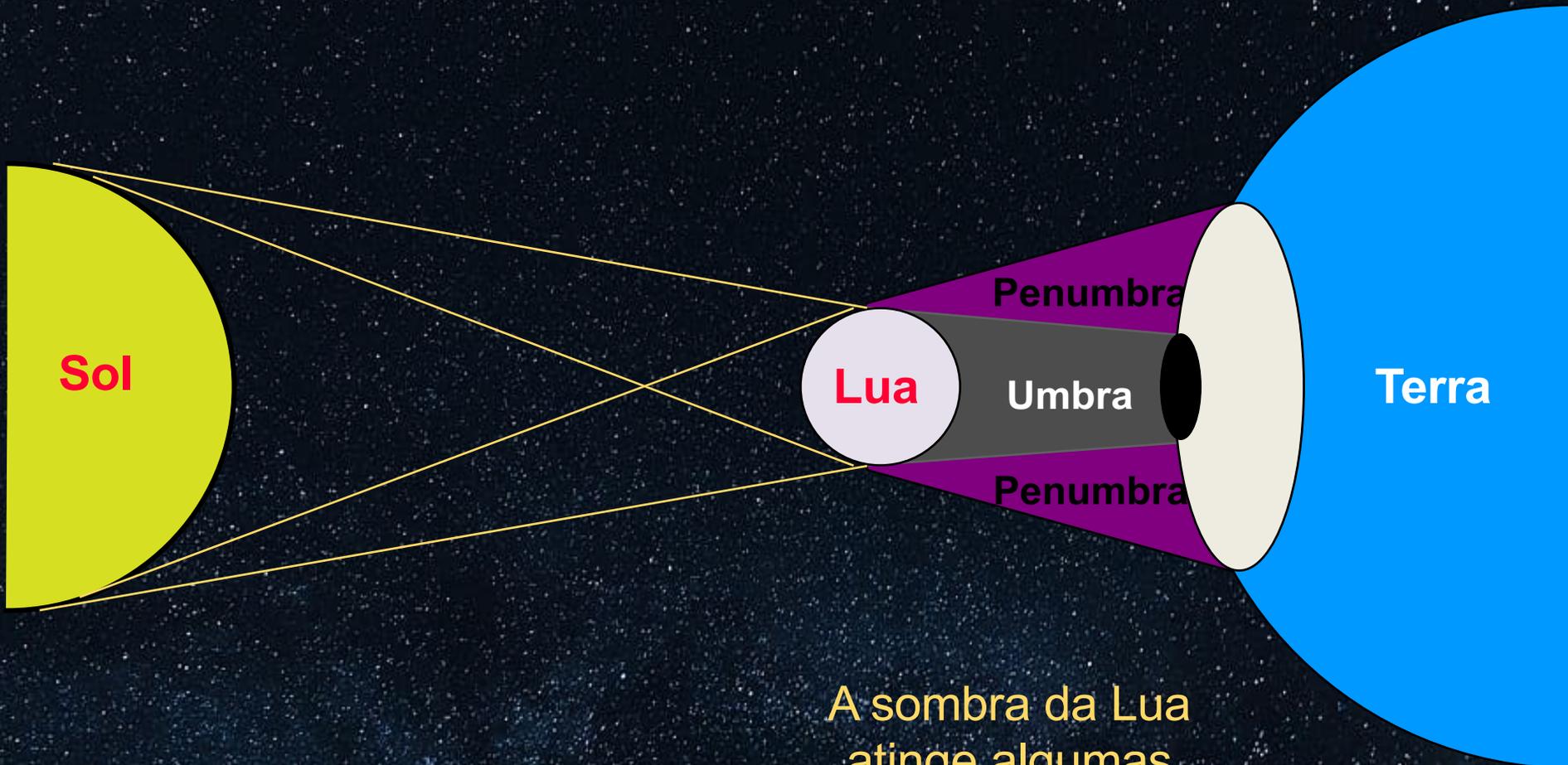
Eclipses



Tipos de Eclipses



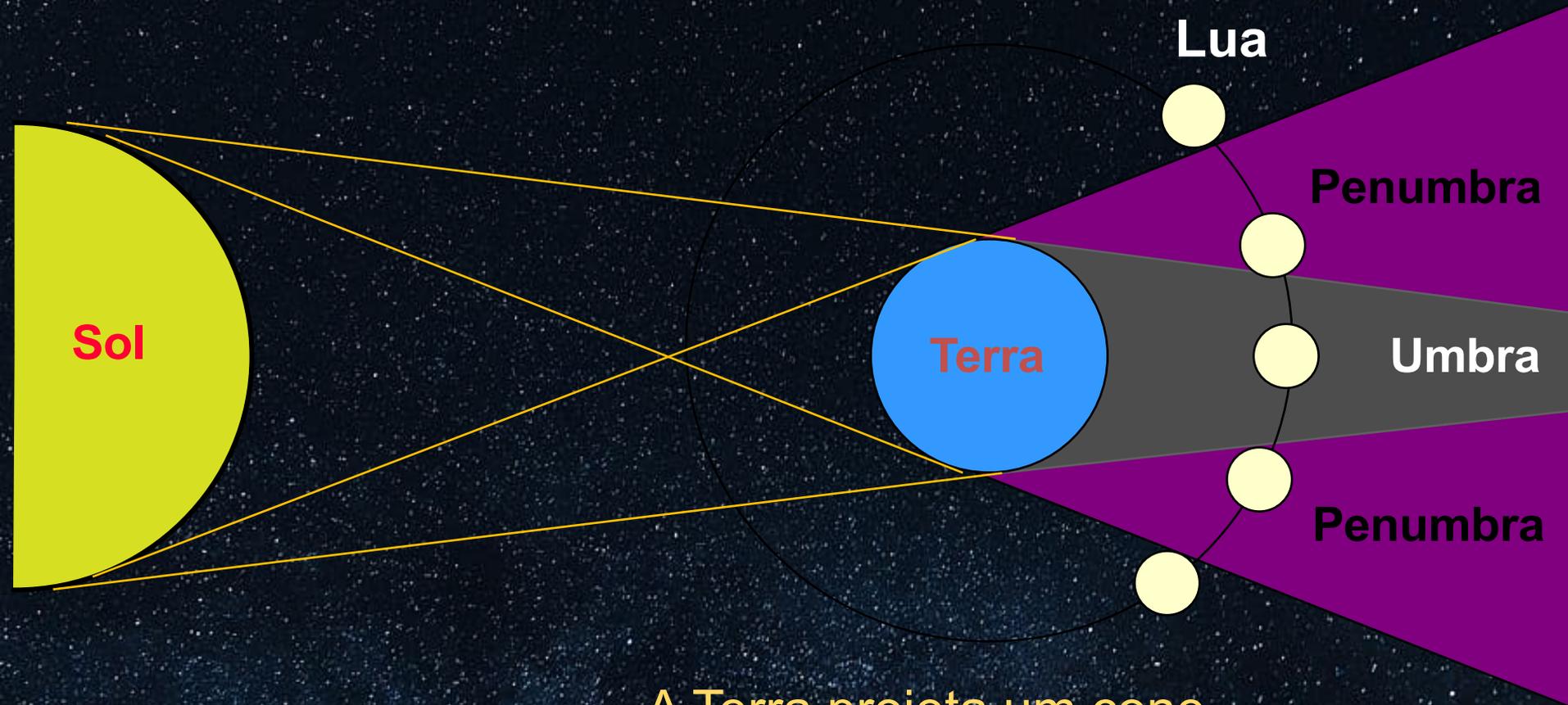
Eclipse Solar



A sombra da Lua
atinge algumas
regiões da Terra



Eclipse Lunar



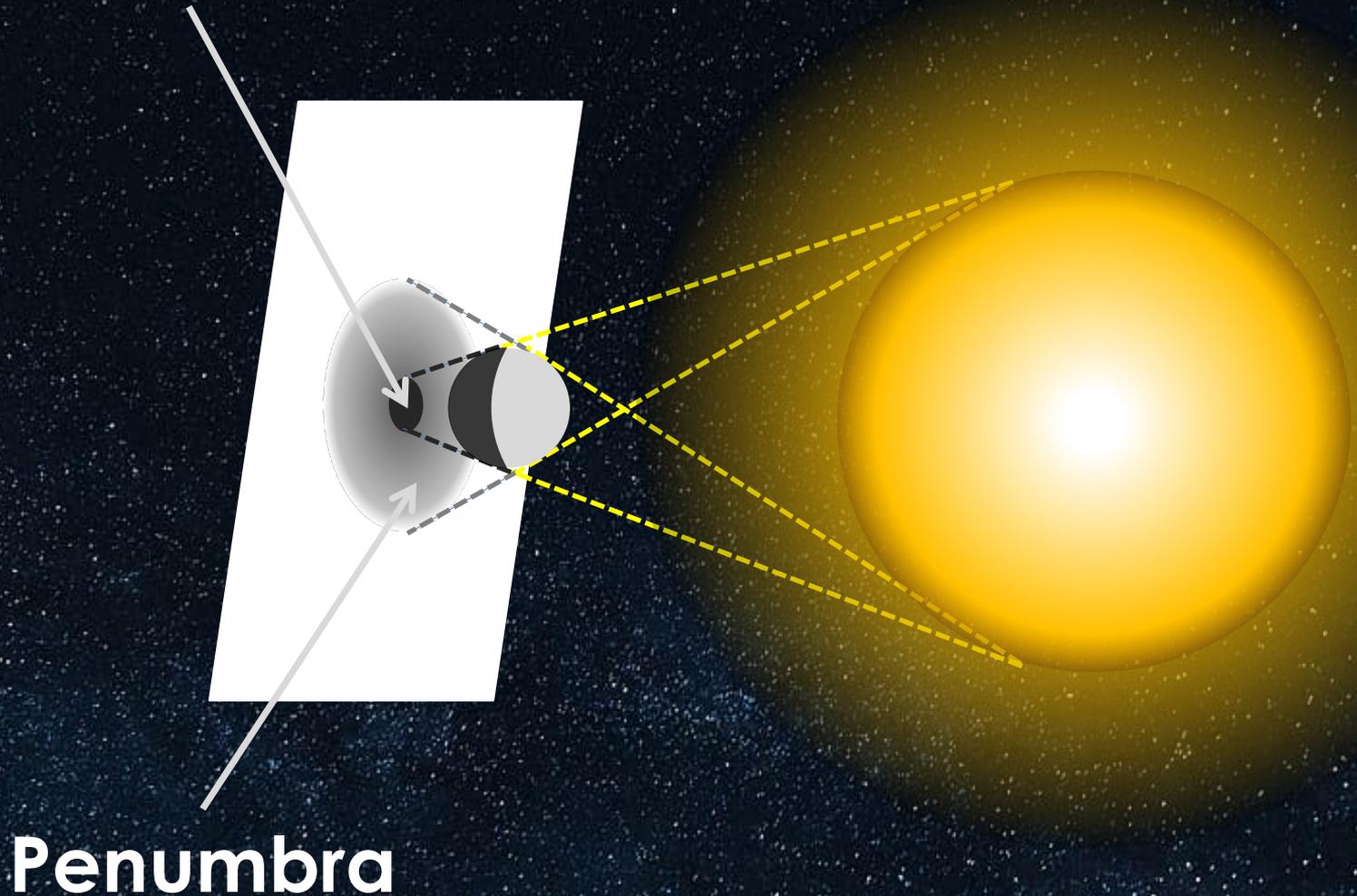
A Terra projeta um cone de sombra (umbra) no espaço



A estrutura das sombras

Umbra

Figura fora de escala



Penumbra

Eclipses Solares

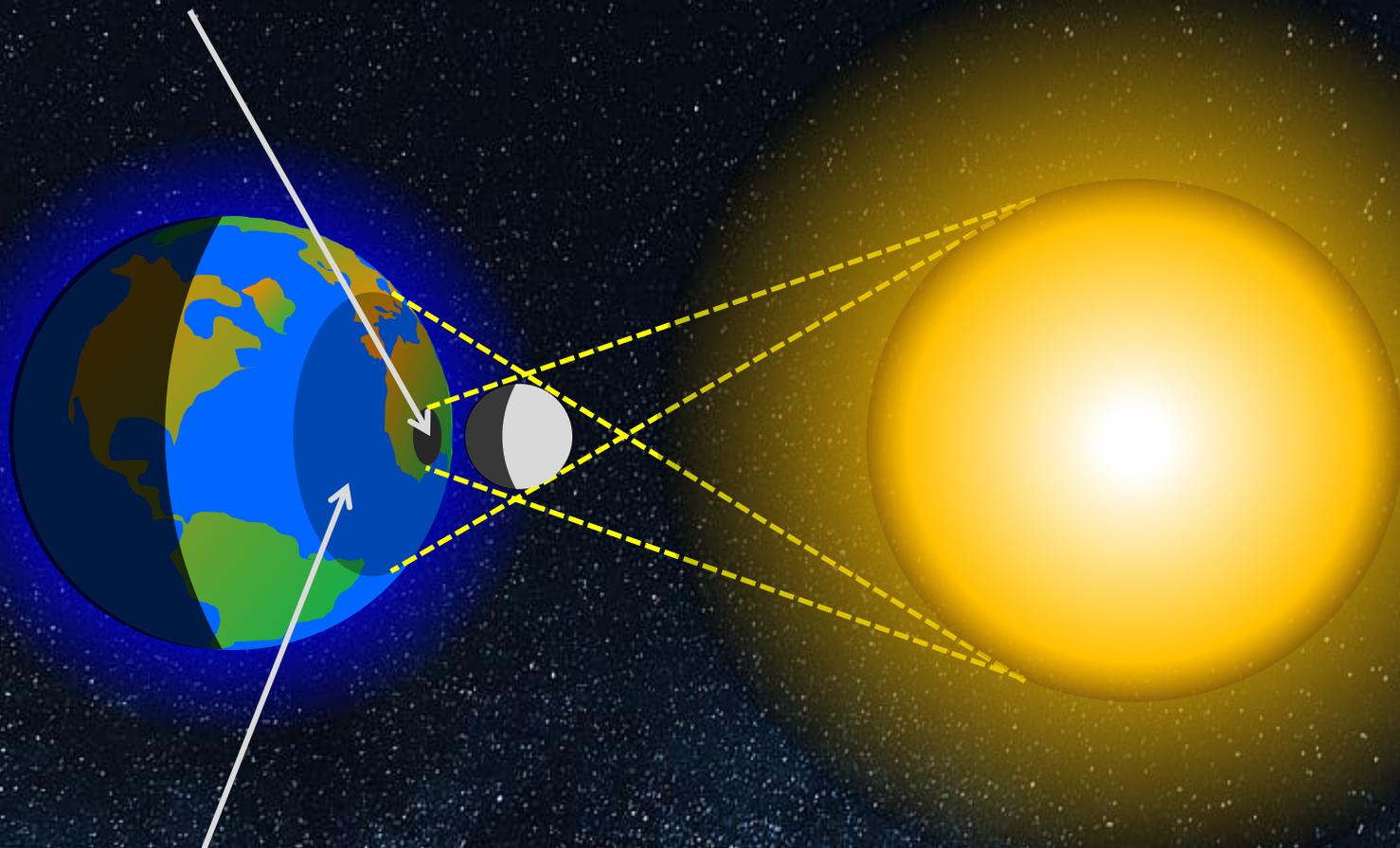
❖ **Total**

❖ **Anular**

❖ **Parcial**

Umbra

Figura fora de escala



Penumbra

eclipse solar total



Crédito da imagem: Marj and Roland Christen

Eclipse Solar Total

- ❖ Observado na umbra
- ❖ Cerca de 200 km de largura
- ❖ Comprimento: cerca de 15 mil km

eclipse solar anular



Crédito da imagem: *Wikimedia Commons user Kevin Baird, under c.c.-by-s.a.-3.0.*

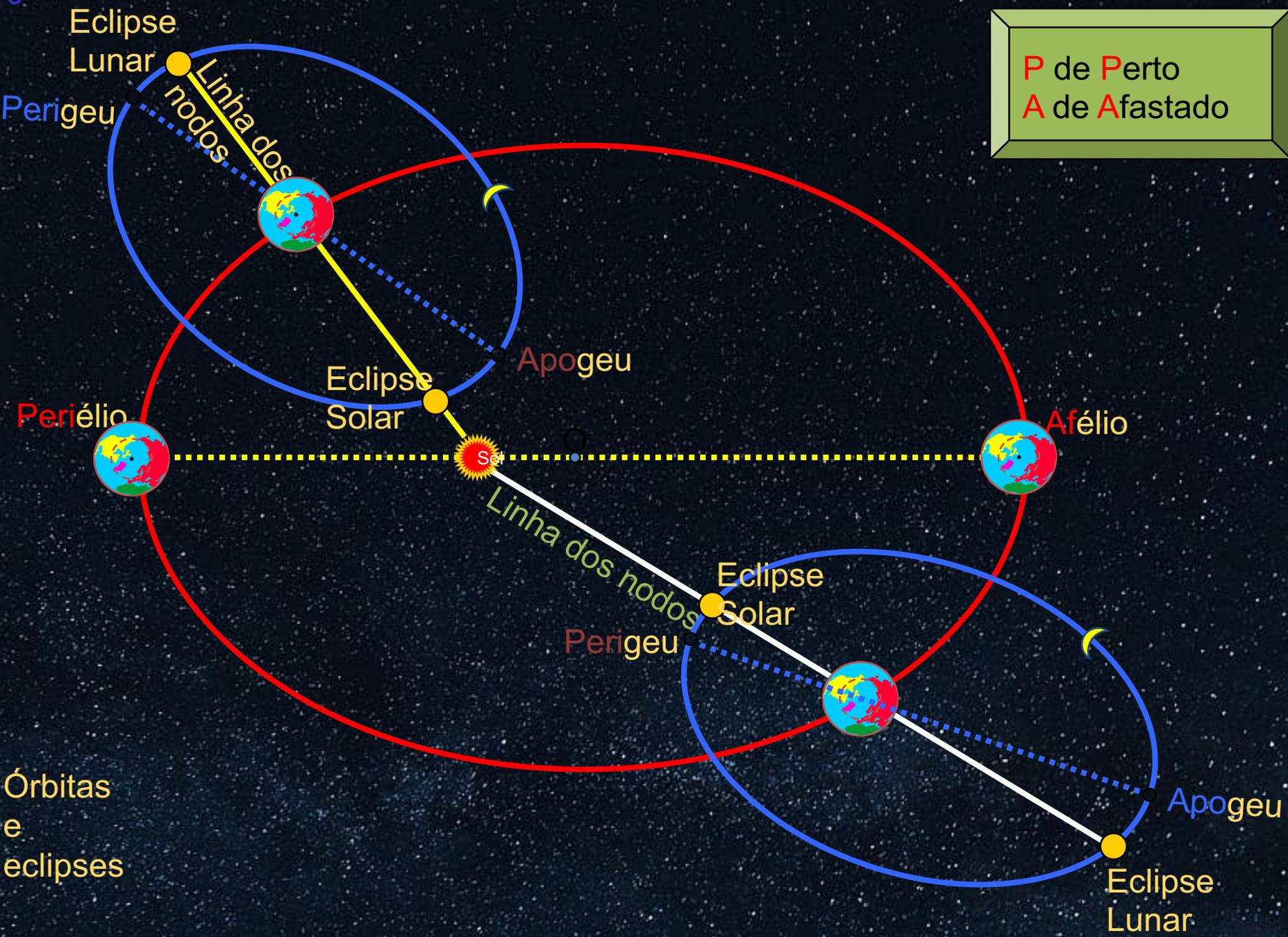
eclipse solar parcial



Parâmetros que definem o tipo do eclipse solar



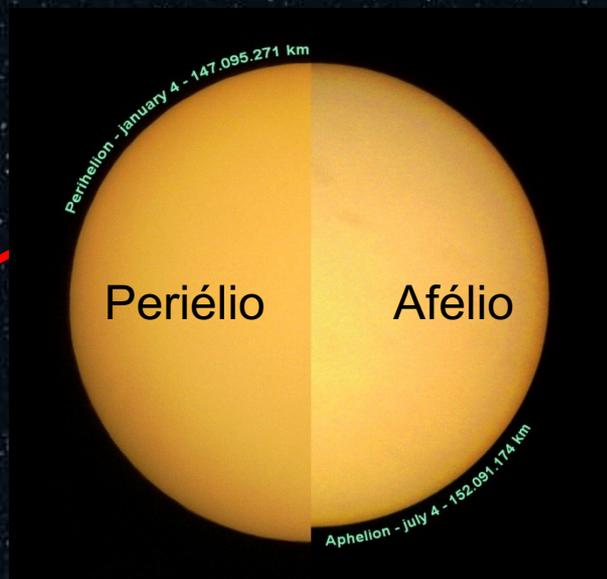
P de Perto
 A de Afastado



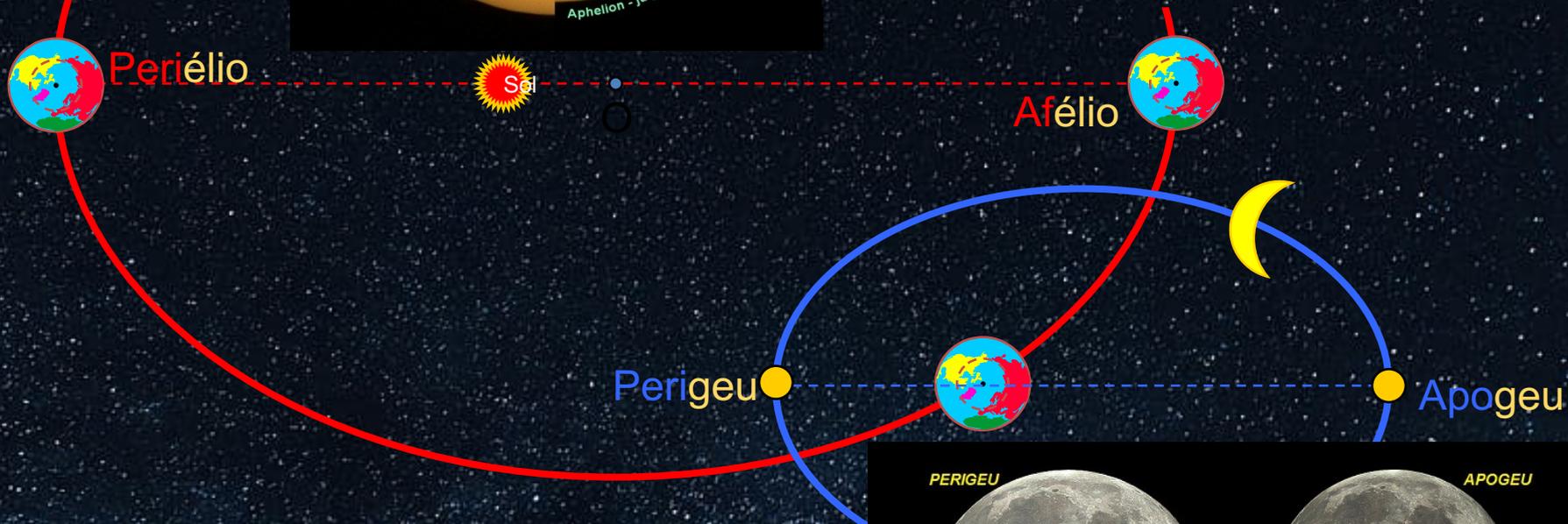
Órbitas e eclipses

71 Diâmetro angular do Sol

32' 32"
↑↑↑
31' 27"



Tamanhos aparentes extremos do Sol e da Lua



Diâmetro angular da Lua

34' 06"
↑↑↑
29' 20"

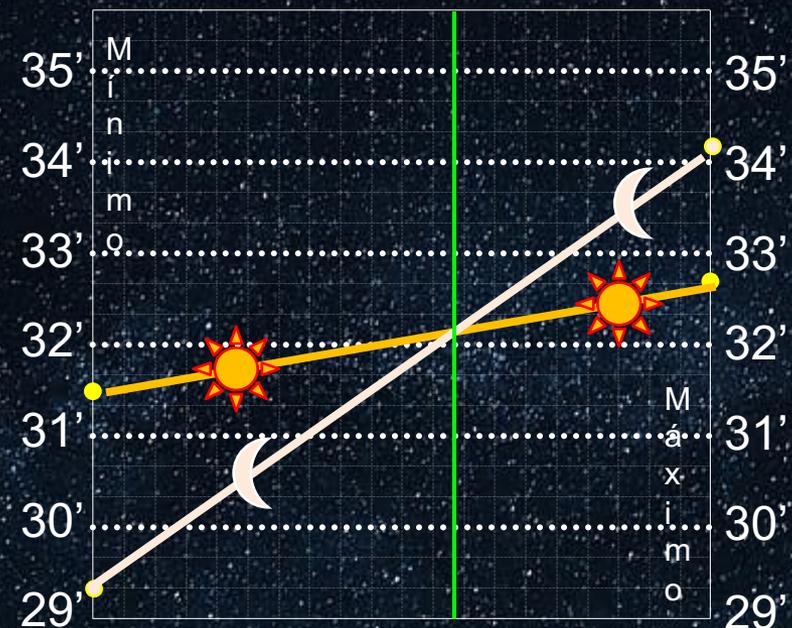
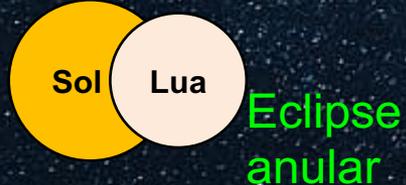


P de Perto
A de Afastado

Tamanhos aparentes extremos do Sol e da Lua



Diâmetro angular do Sol
32' 32"
↑↑↑
31' 27"

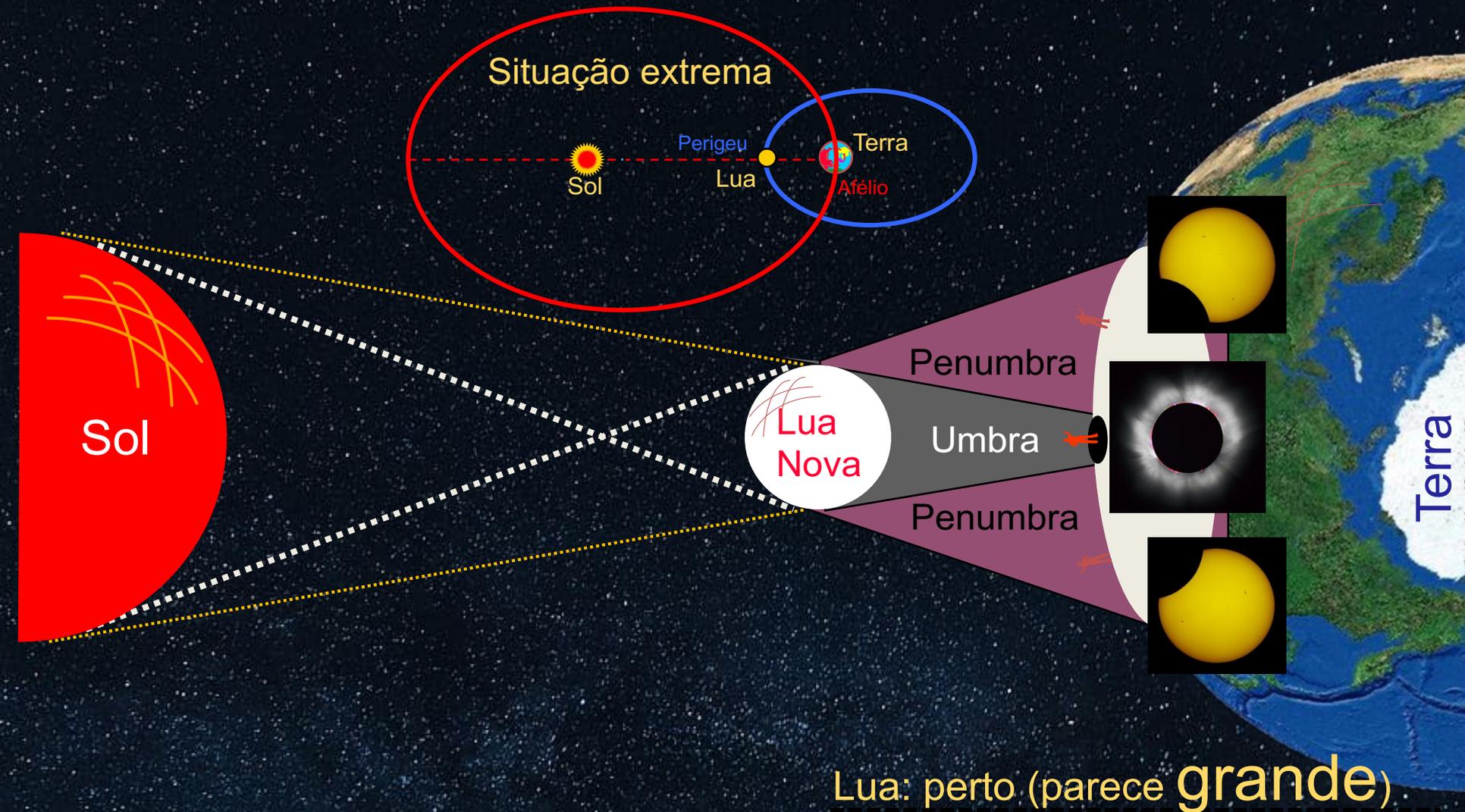


Diâmetro angular da Lua
34' 06"
↑↑↑
29' 20"



72

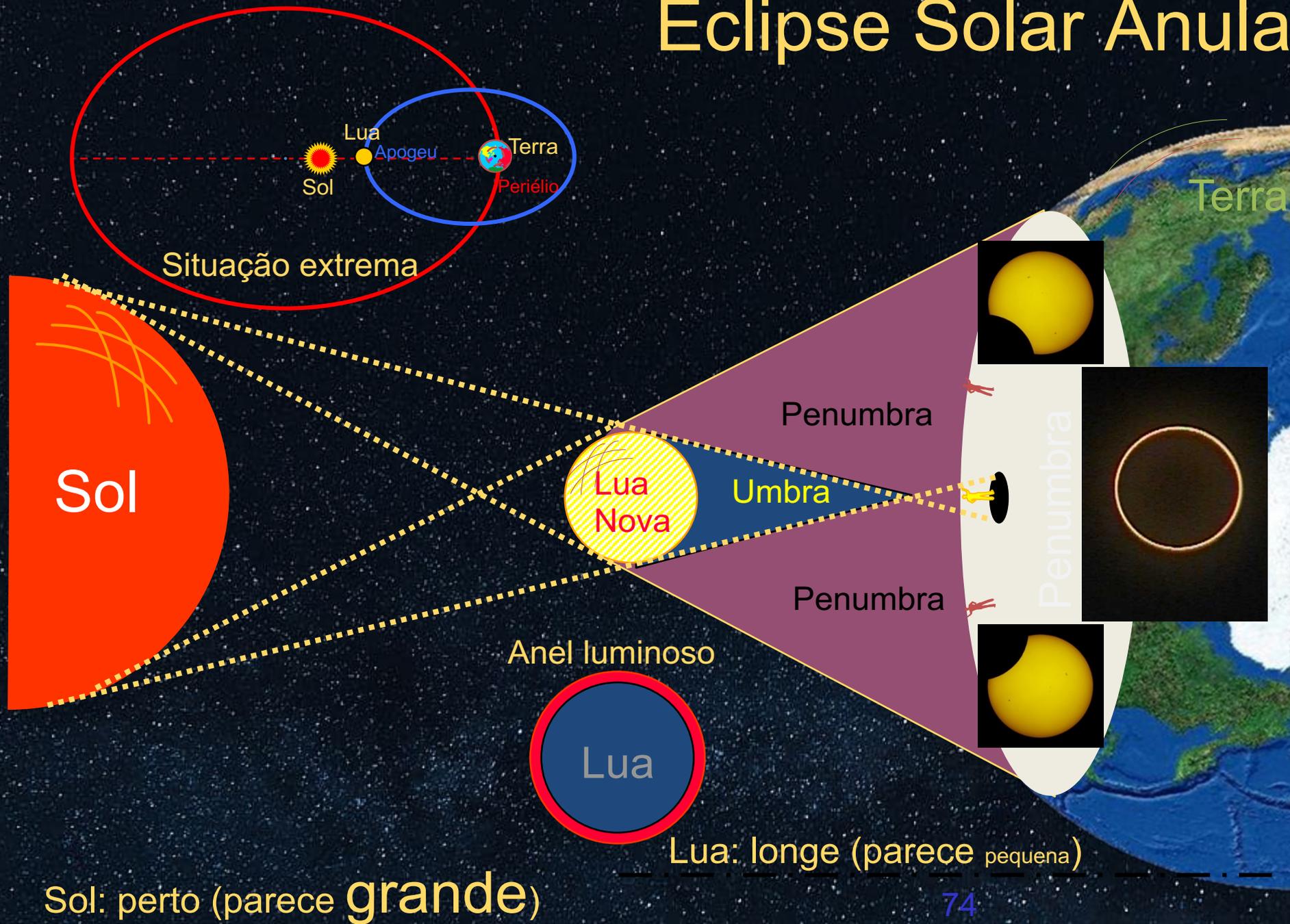
Eclipse Solar Total ou Parcial



Sol: longe (parece pequeno)

Lua: perto (parece grande)

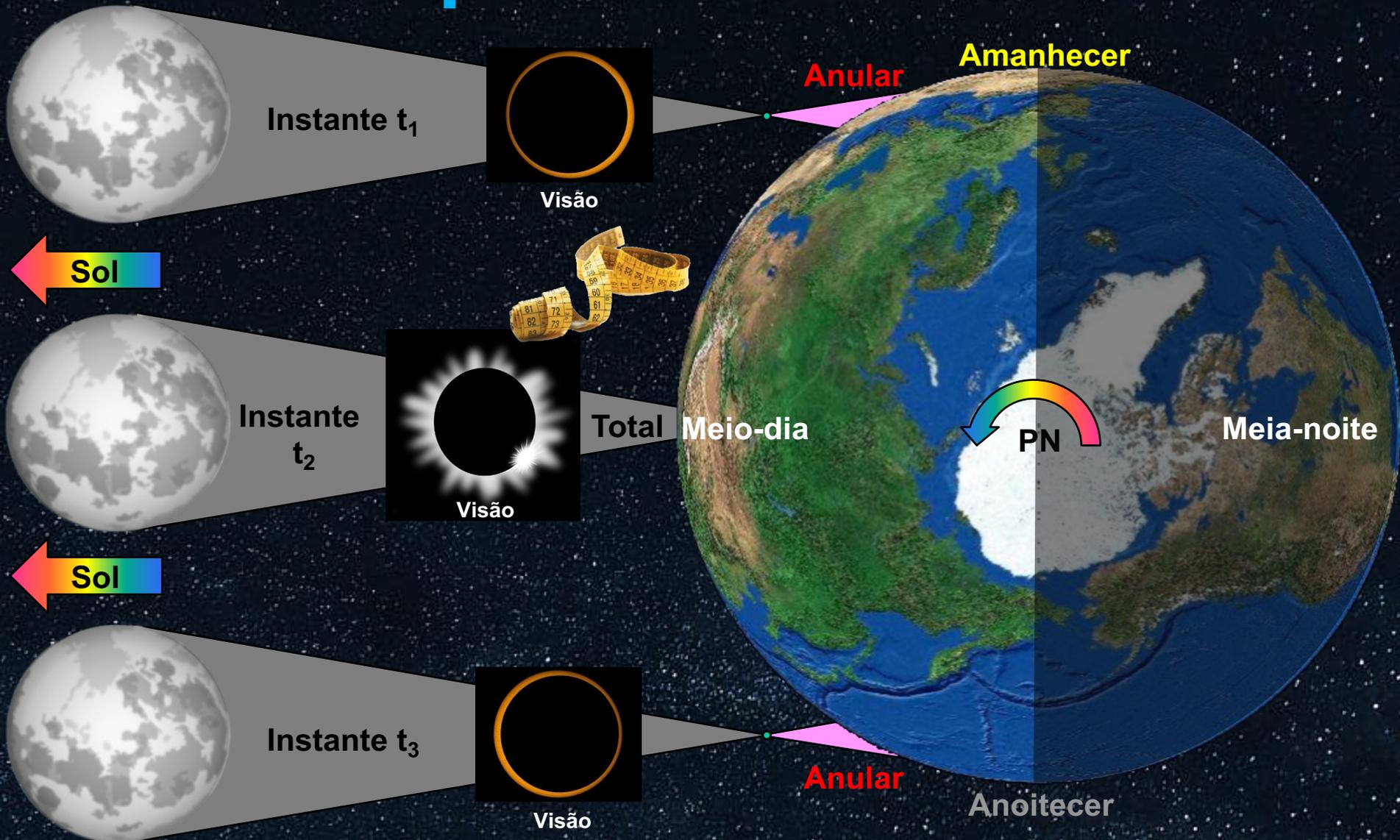
Eclipse Solar Anular



Sol: perto (parece grande)

Lua: longe (parece pequena)

Eclipse solar híbrido



Próximos eclipses visíveis no Brasil:

❖ solares totais

❖ 12 de agosto de 2045

❖ 11 de maio de 2059

❖ solar anelar

❖ 14 de outubro de 2023

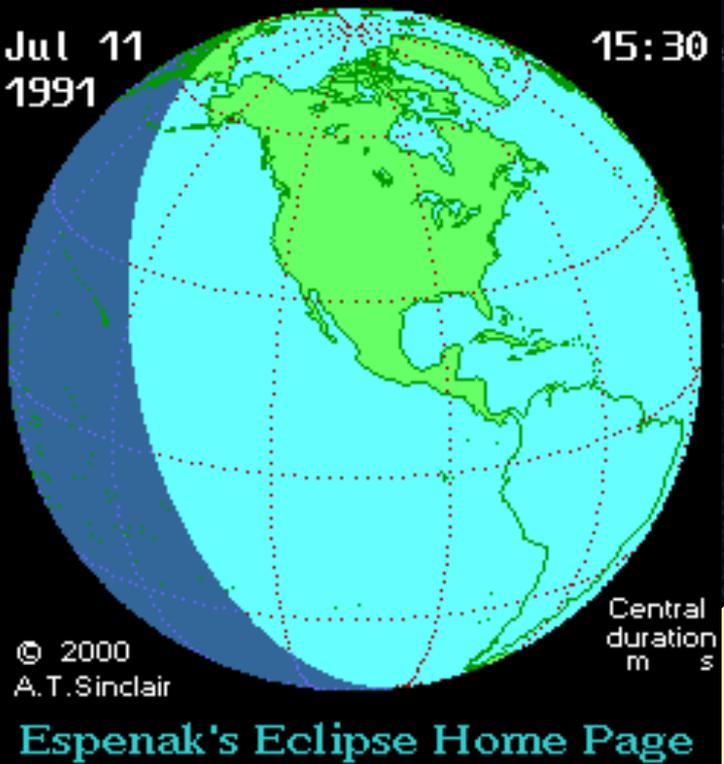


Equator

Trajetórias da sombra da Lua durante um eclipse solar

Trajatória da sombra da Lua durante um Eclipse Solar

A sombra da Lua sobre a Terra sempre se desloca no mesmo sentido da rotação da Terra

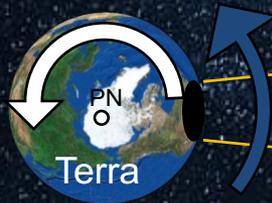


Velocidade de rotação da Terra no equador: 1750 km/h



Velocidade da da sombra da Lua na superfície da Terra: ~34 km/min

Velocidade da Lua Em órbita da Terra: ~4000 km/h



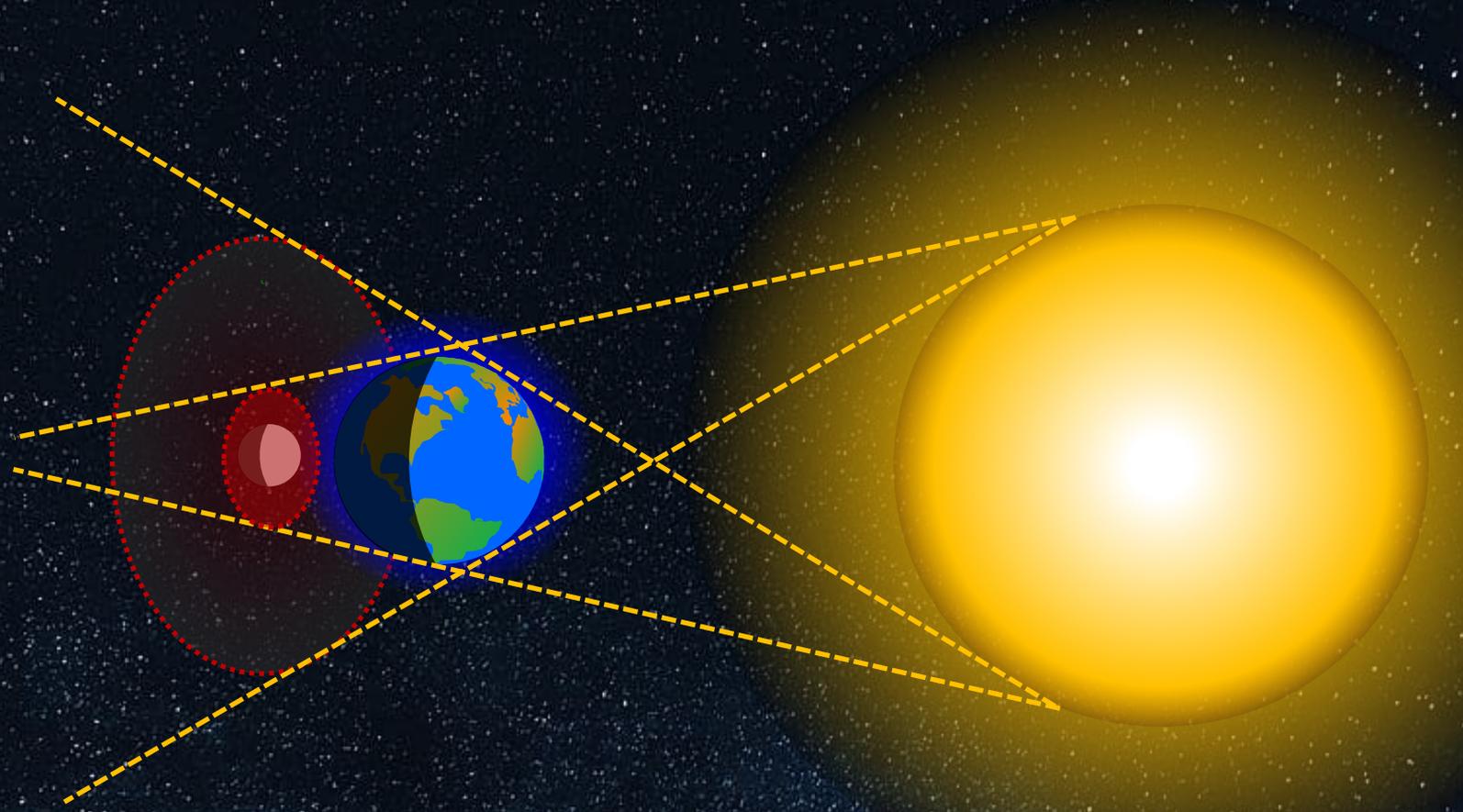
Período de translação da Lua: 27,3 dias



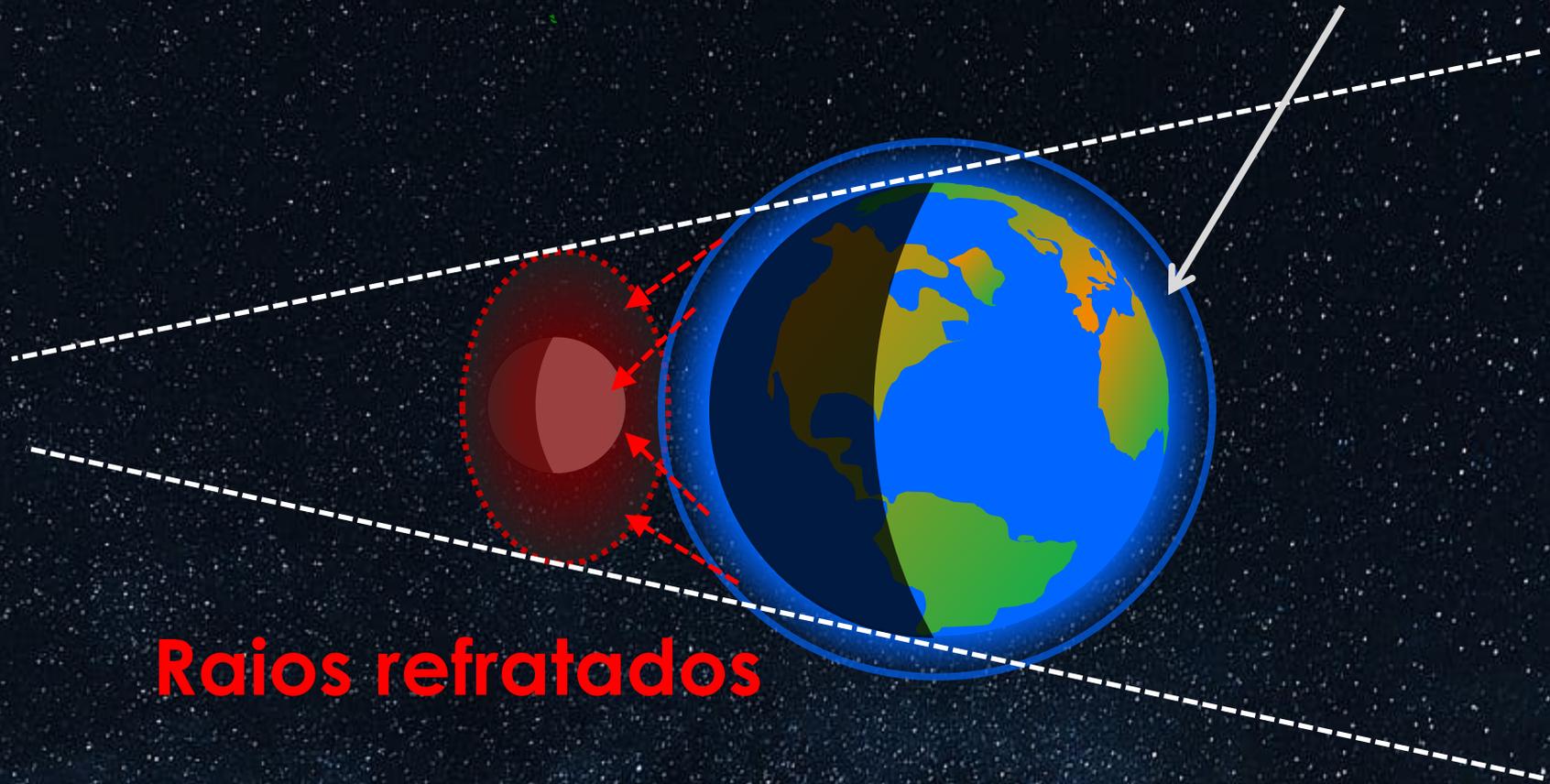
Tipos de eclipses lunares

- ❖ **Penumbral**
- ❖ **Parcial umbral**
- ❖ **Total**

Lua inteira no cone de sombra



Atmosfera



Raios refratados

Figura fora de escala

eclipse lunar total



©2004 Fred Espenak

www.MrEclipse.com

Crédito da imagem: NASA

Eclipse lunar parcial umbral



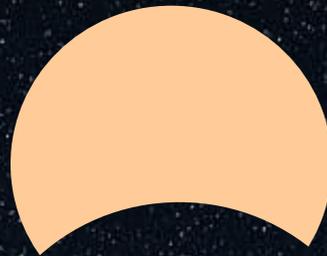
Crédito da imagem: George Tarsoudis

Eclipse lunar penumbral



Prova da Esfericidade da Terra

(com um Eclipse Lunar)

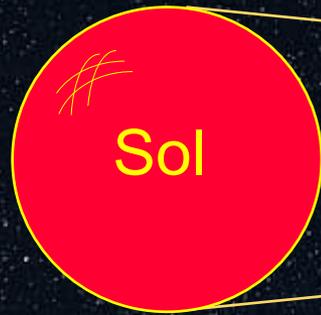
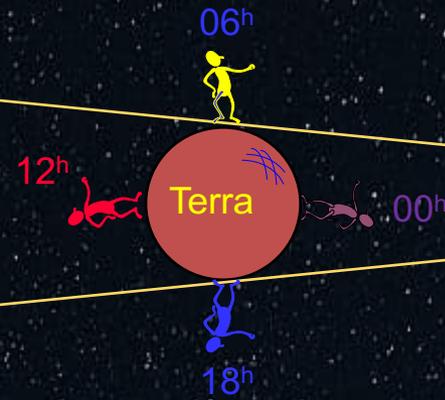


A sombra da Terra não cabe completamente na Lua.

Isso nunca ocorre!

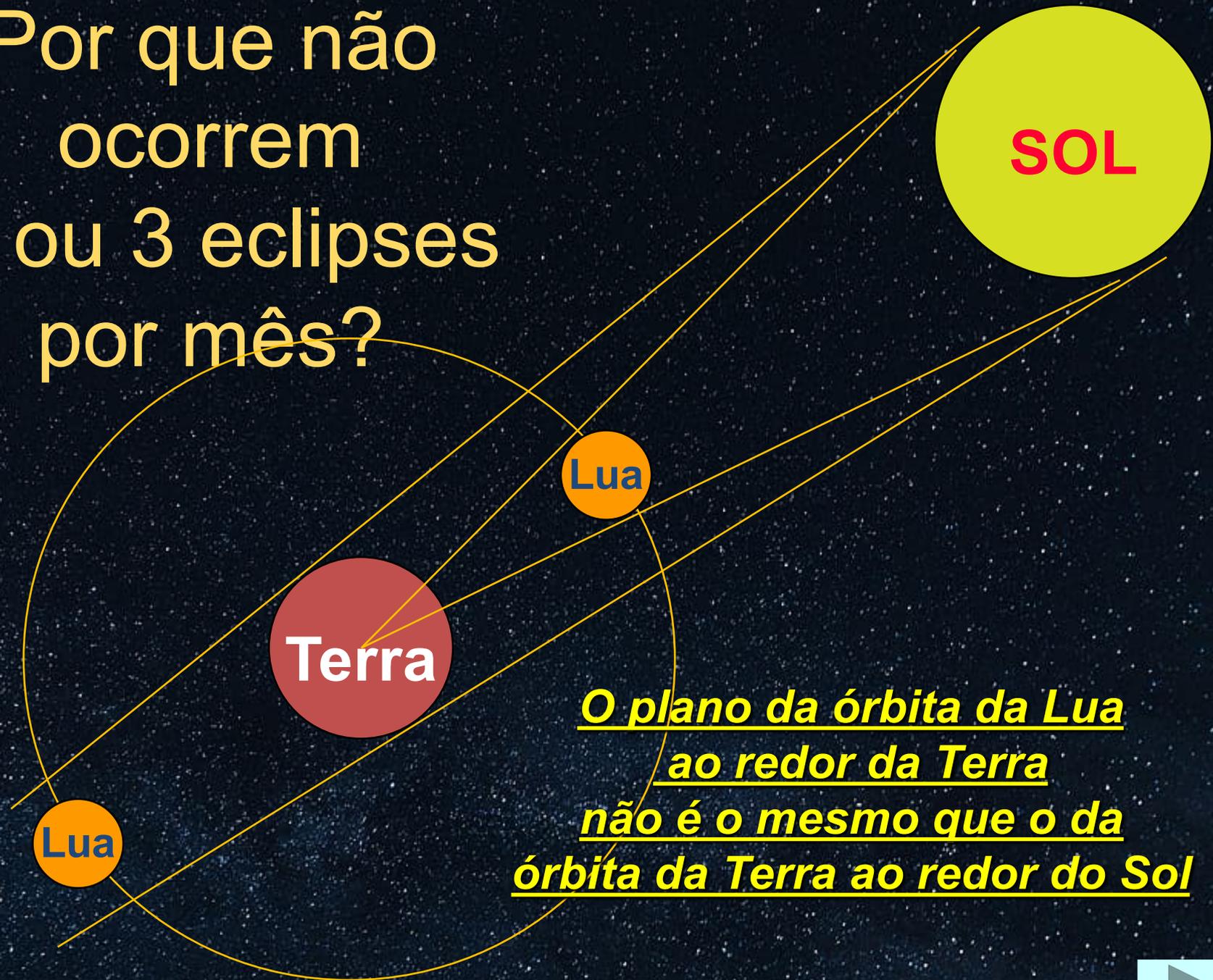


Sombra sempre circular da Terra



Conclusão:
Para a sombra da Terra ser sempre circular, a Terra deve ser esférica.

Por que não
ocorrem
2 ou 3 eclipses
por mês?



Planos orbitais

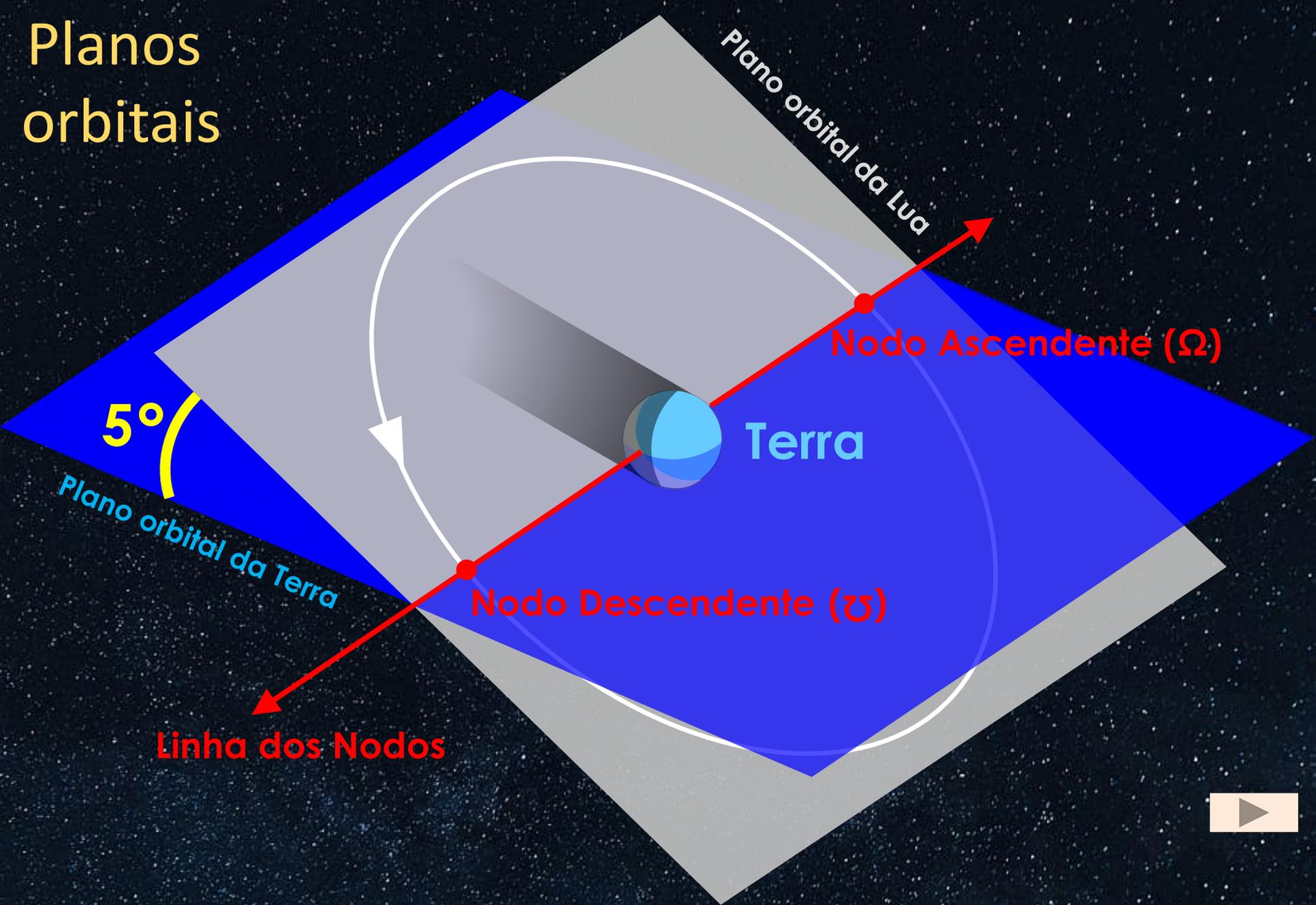


Figura fora de escala

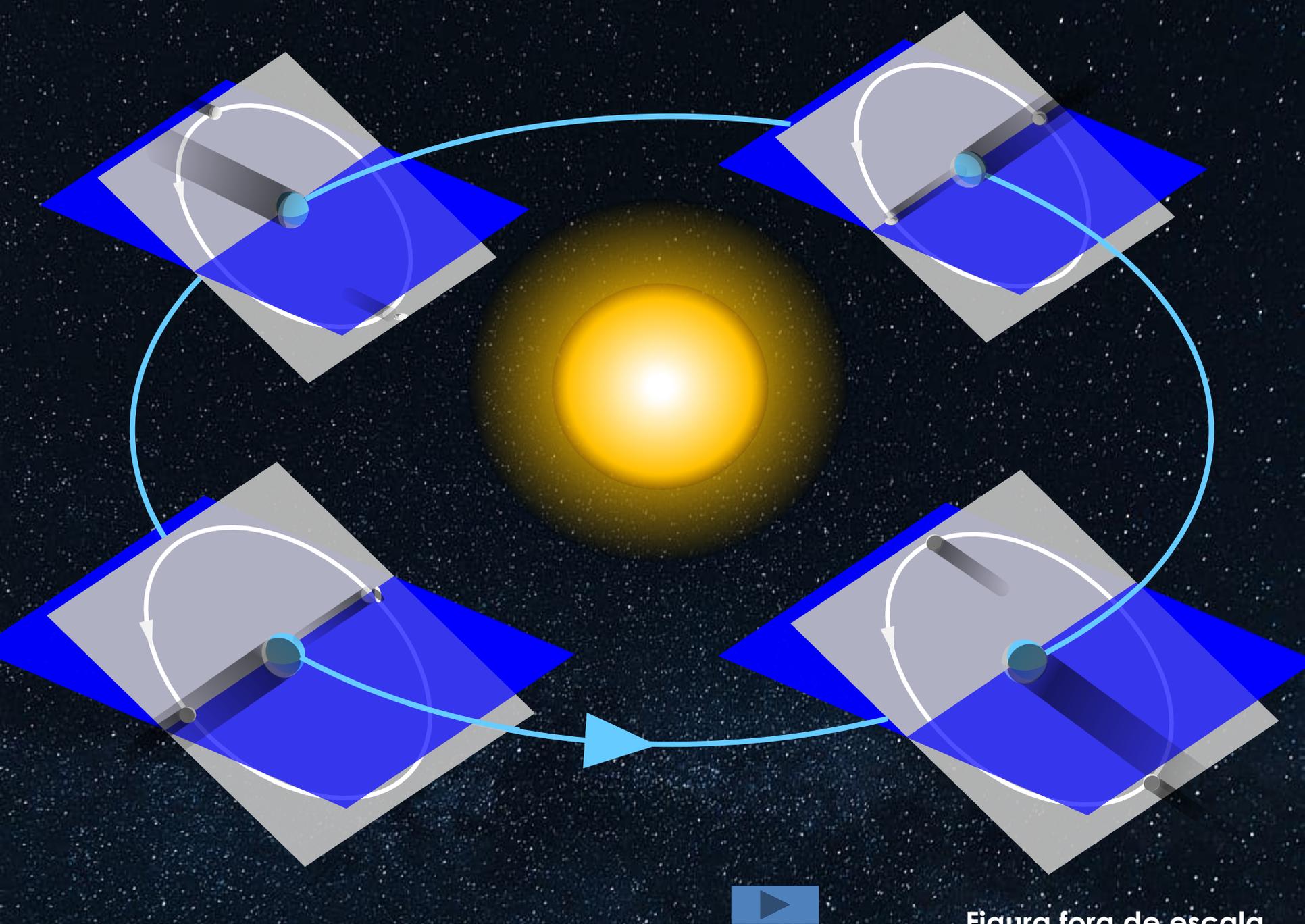


Figura fora de escala

Crédito da imagem: André Luiz da Silva/CDA/CDCC/USP

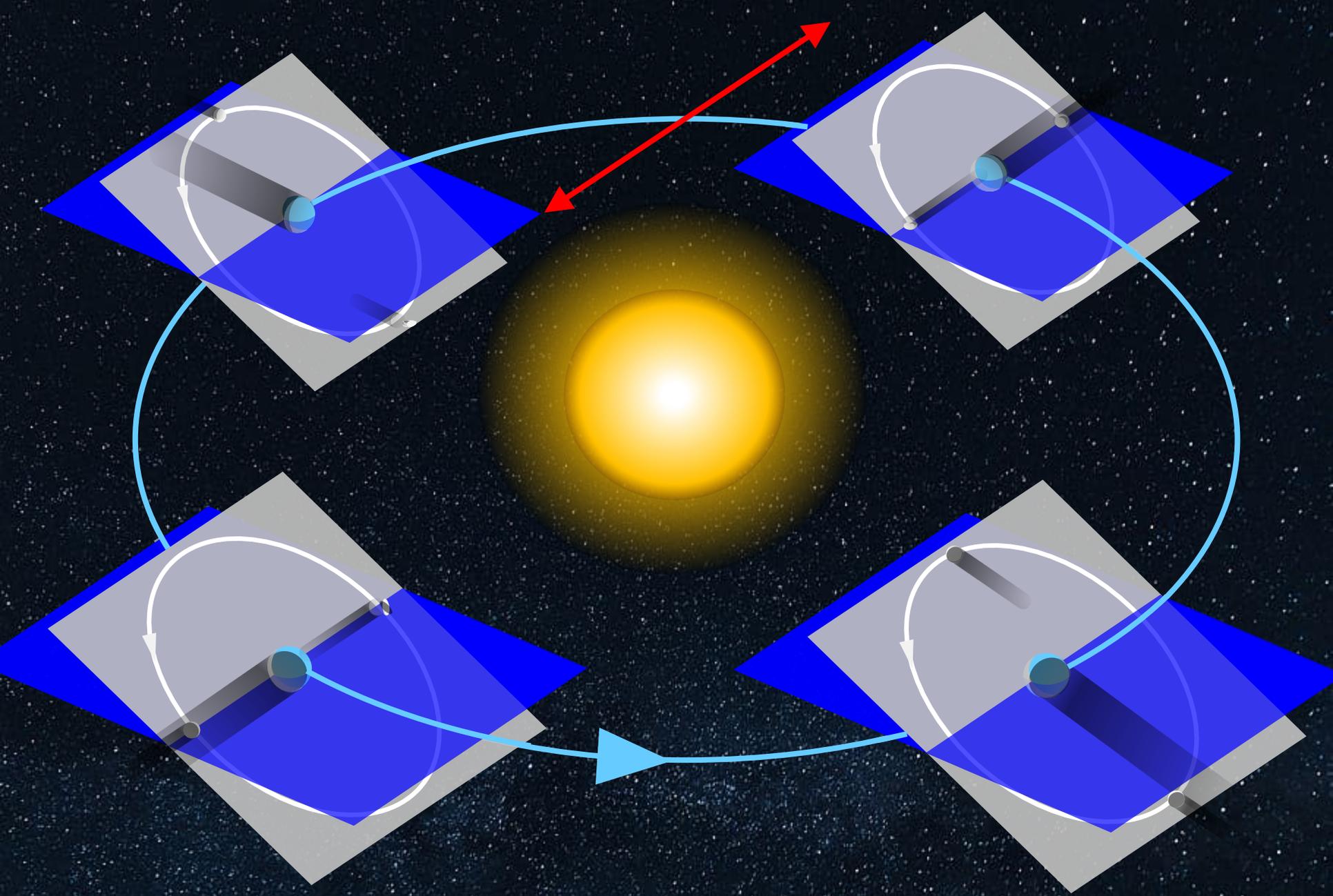
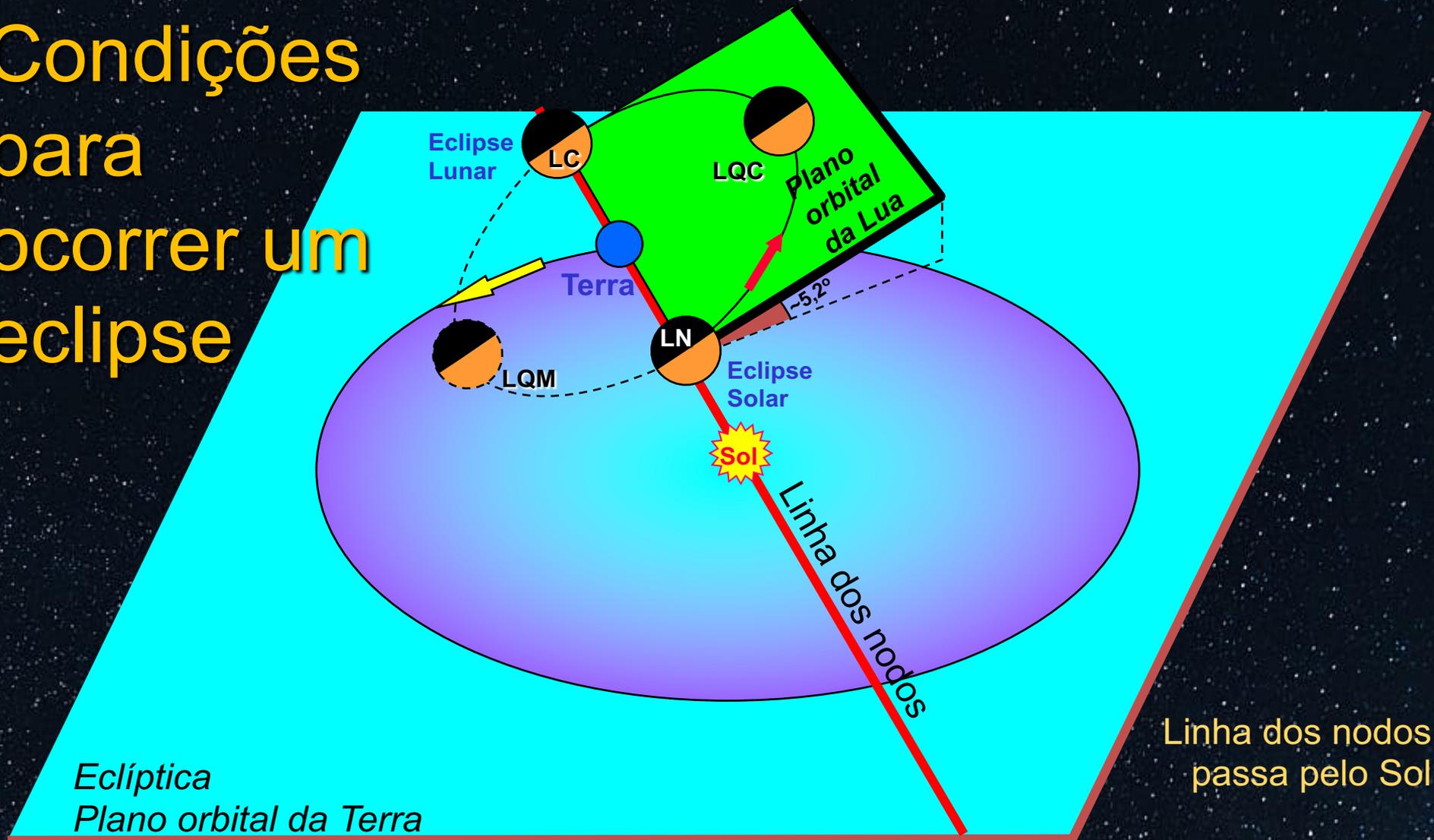


Figura fora de escala

Crédito da imagem: André Luiz da Silva/CDA/CDCC/USP

Condições para ocorrer um eclipse

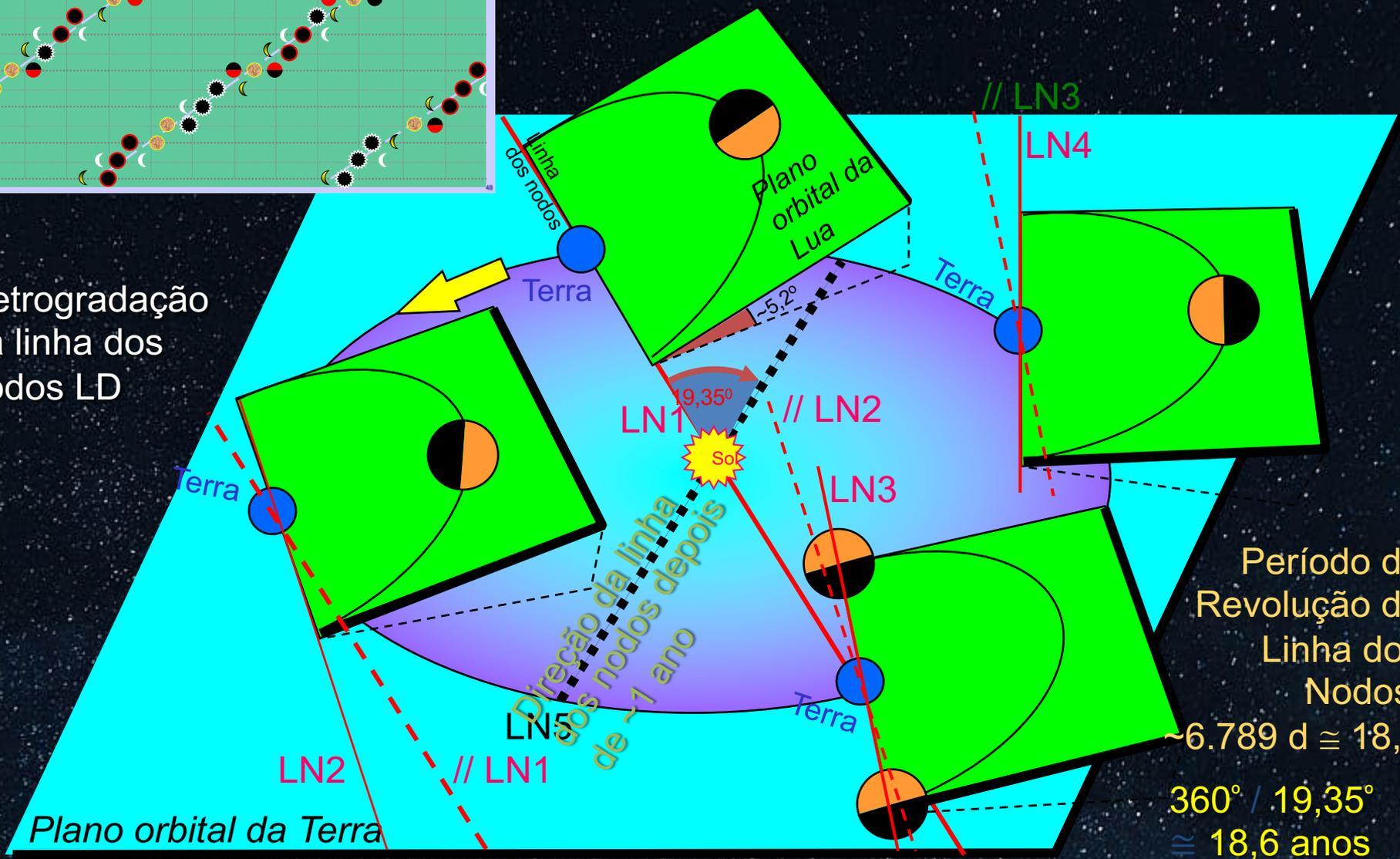


A Lua Cheia ou Lua Nova deve ocorrer sobre a linha dos nodos e esta deve passar pelo Sol.

Retrogradação da linha dos nodos da Lua



Retrogradação da linha dos nodos LD



Período de Revolução da Linha dos Nodos:
 $\approx 6.789 \text{ d} \approx 18,6$
 $\frac{360^\circ}{19,35^\circ} \approx 18,6 \text{ a}$

 Solar    Par
 Tot Anu Par

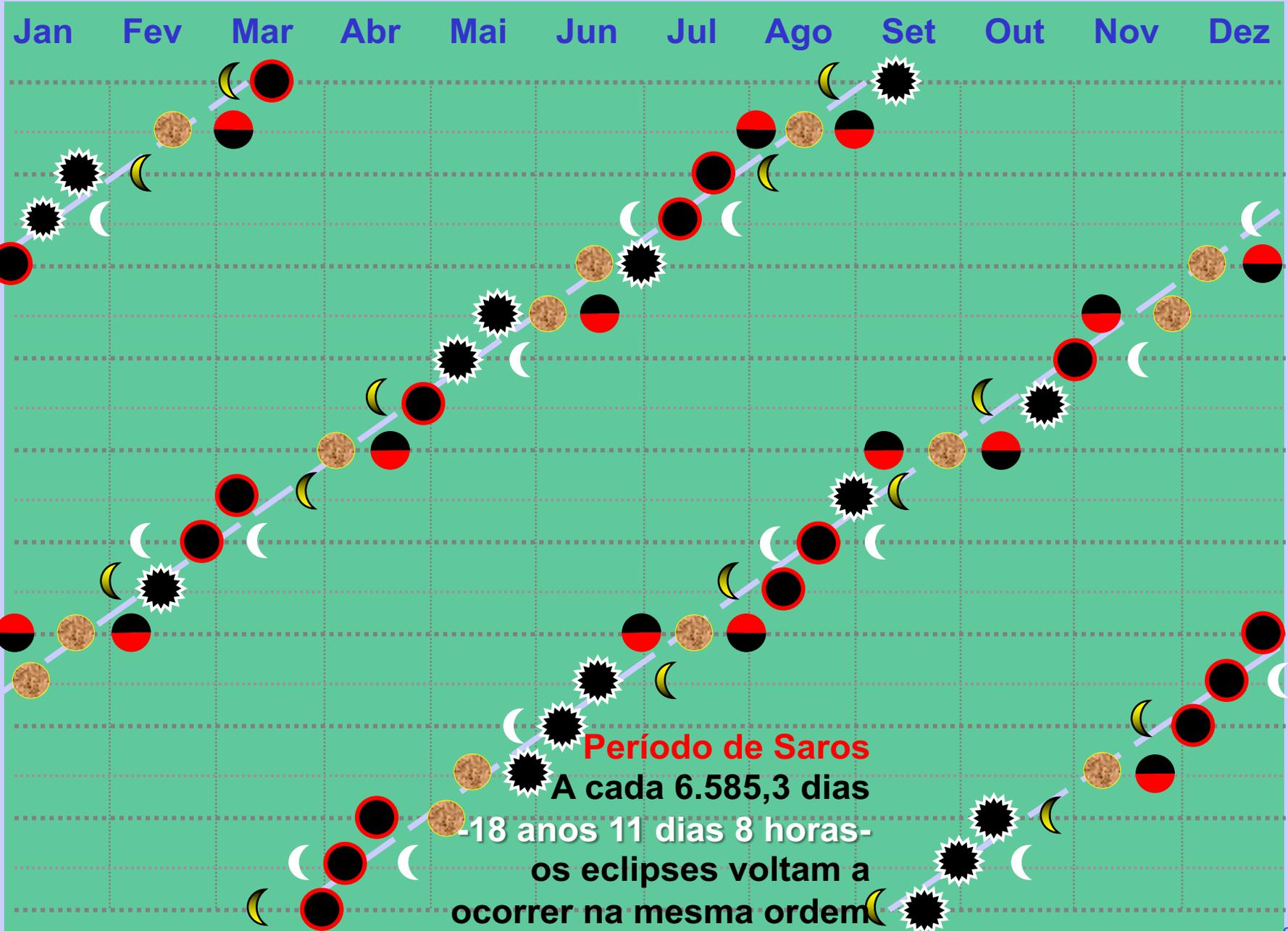
Sequência de eclipses

 Lunar   Pen
 Tot Par Pen

19xx

Jan Fev Mar Abr Mai Jun Jul Ago Set Out Nov Dez

23
 24
 25
 26
 27
 28
 29
 30
 31
 32
 33
 34
 35
 36
 37
 38
 39
 40
 41



Período de Saros
 A cada 6.585,3 dias
 -18 anos 11 dias 8 horas-
 os eclipses voltam a
 ocorrer na mesma ordem

Estatísticas sobre número de eclipses numa base de 5.000 anos

Estatística dos tipos de eclipses solares ao longo de 5.000 anos



Tipos	Porcentagem
Todos Eclipses	100,0%
Parcial P	35,3%
Anular A	33,2%
Total T	26,7%
Híbrido H	4,8%

Estatística dos tipos de eclipses lunares ao longo de 5.000 anos



Tipos	Porcentagem
Todos Eclipses	100,0%
Penumbral N	36,3%
Parcial P	34,9%
Total T	28,8%

Estatística do número de eclipses solares por ano

Número	Porcentagem	
2	72,5%	Five
3	17,5%	Millennium
4	9,5%	Canon of
5	0,5%	Solar Eclipses: -1999 to +3000

Estatística do número de eclipses lunares por ano

Número	Porcentagem	
2	70,8%	Five
3	17,7%	Millennium
4	10,8%	Canon of
5	0,7%	Lunar Eclipses: -1999 to +3000

Números possíveis de eclipses visíveis por ano

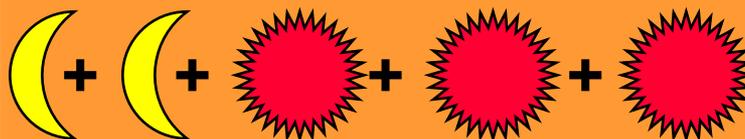
Eclipses por ano

2 da Lua + 2 do Sol



Total
4

2 da Lua + 3 do Sol



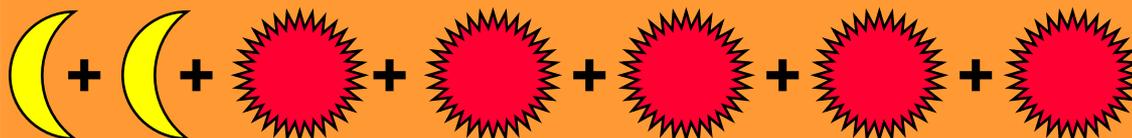
5

2 da Lua + 4 do Sol



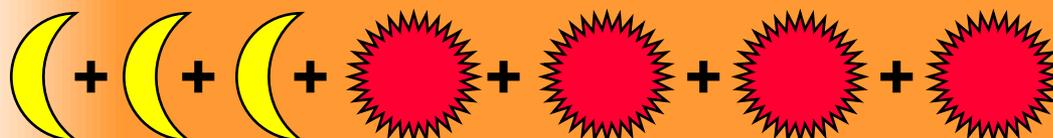
6

2 da Lua + 5 do Sol



7

3 da Lua + 4 do Sol

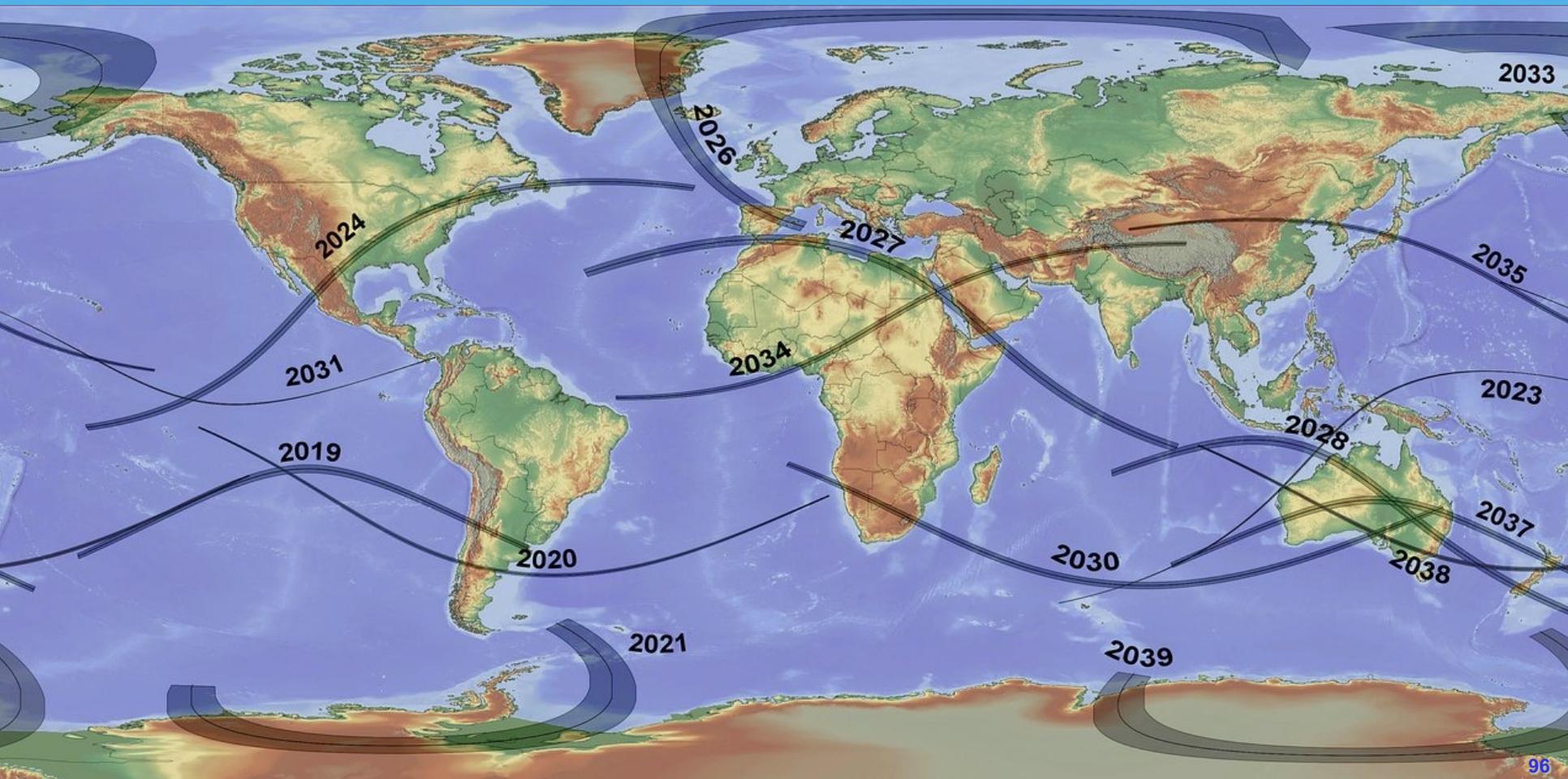


7

Último eclipse Total do Sol visto no Brasil : 03 nov 1994

Próximo eclipse Total do Sol visível no Brasil : 02 ago 2046

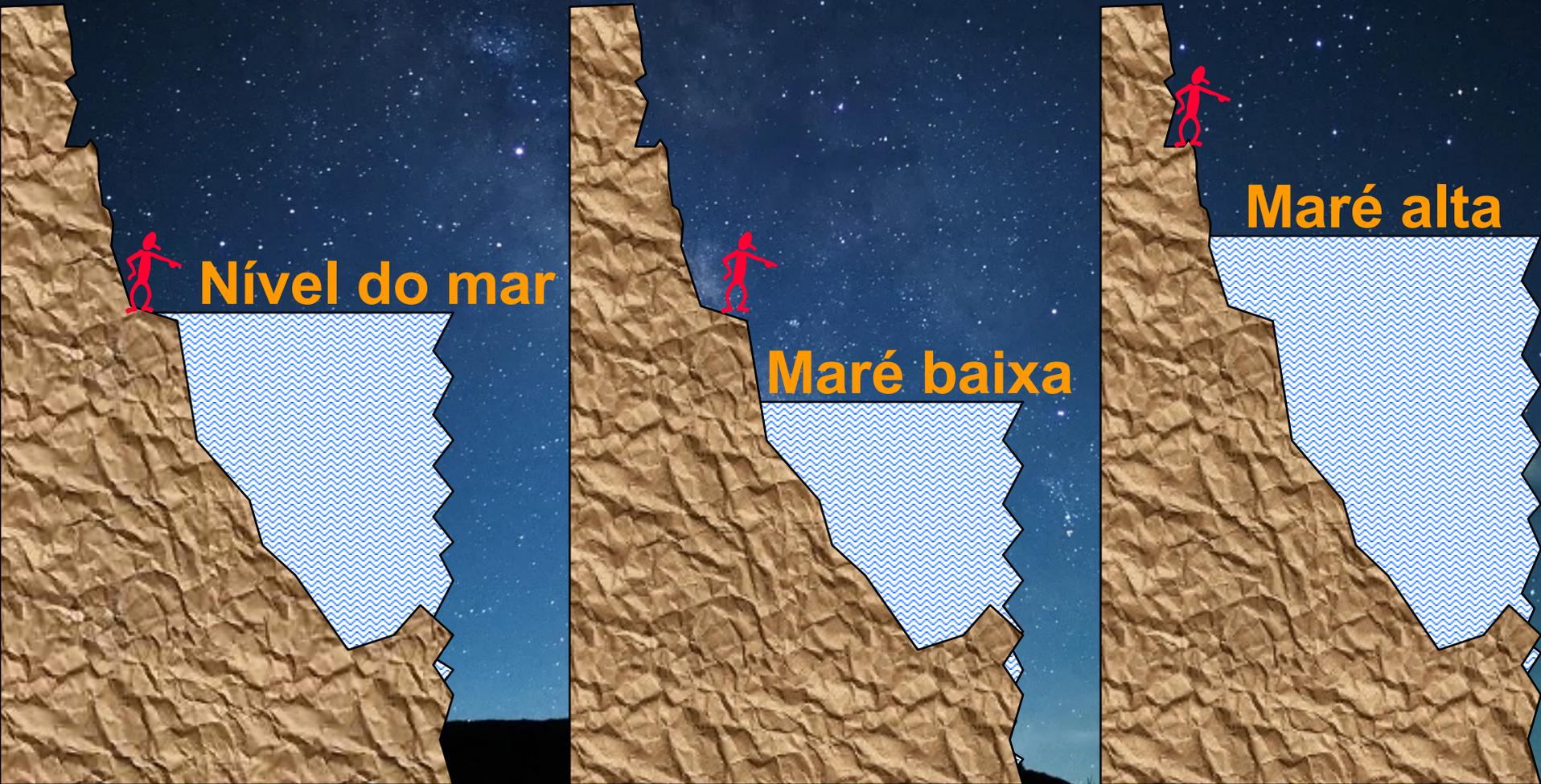
Eclipses solaires totales de 2019 até 2039



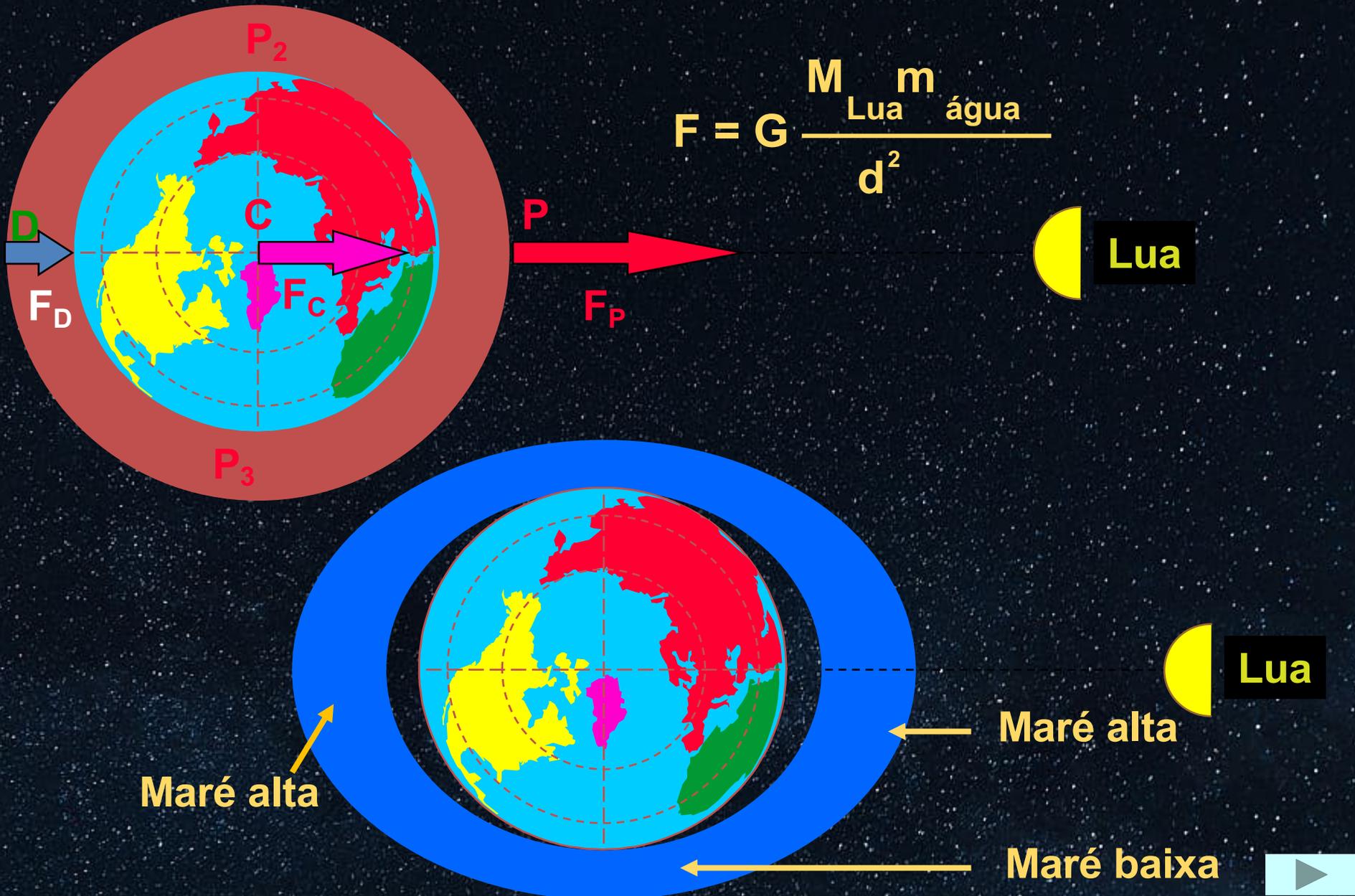
Marés

Distorção na forma de um corpo devido a forças gravitacionais diferenciais de outro corpo

Observando o nível do mar

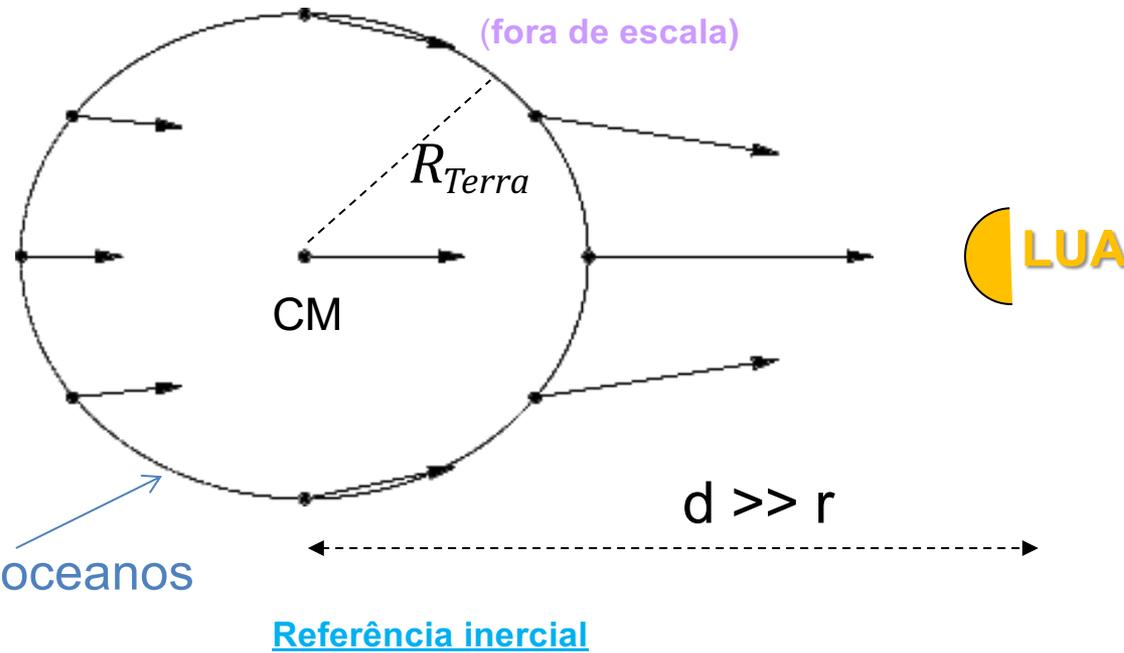


Forças causadoras das Marés



Forças de Maré

(Cálculo ao longo do eixo Terra-Lua)



$$a = G \frac{M_{Lua}}{(d \pm R_{Terra})^2}$$

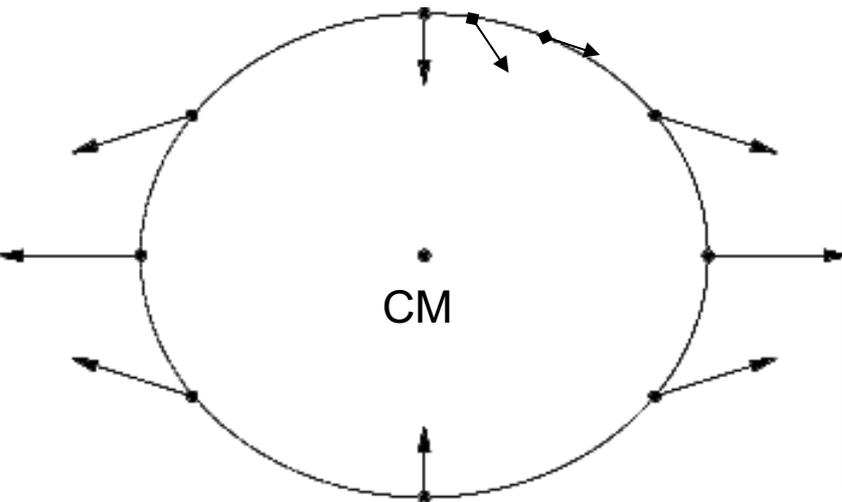
$$a_{cm} = G \frac{M_{Lua}}{d^2}$$

aceleração diferencial

$$\Delta a \cong \pm G \frac{2M_{Lua} R_{Terra}}{d^3}$$

(O valor cai à metade ao longo do plano perpendicular)

Subtraíndo a aceleração do CM:



As componentes perpendiculares comprimem levemente as águas, mas as paralelas esticam as águas em dois bojos:

→ duas marés altas e duas marés baixas

Forças de Maré

$$\frac{\Delta a}{g} = \frac{2M_{\text{Lua}}}{M_{\text{Terra}}} \frac{r^3}{d^3} = 1.1 * 10^{-7}$$

O efeito do Sol chega a no máximo 45% desse valor:

$$\frac{\Delta a_{\text{Lua}}}{\Delta a_{\text{Sol}}} = \frac{M_{\text{Lua}}}{M_{\text{Sol}}} \frac{d_{\text{Sol}}^3}{d_{\text{Lua}}^3} = 2.2$$

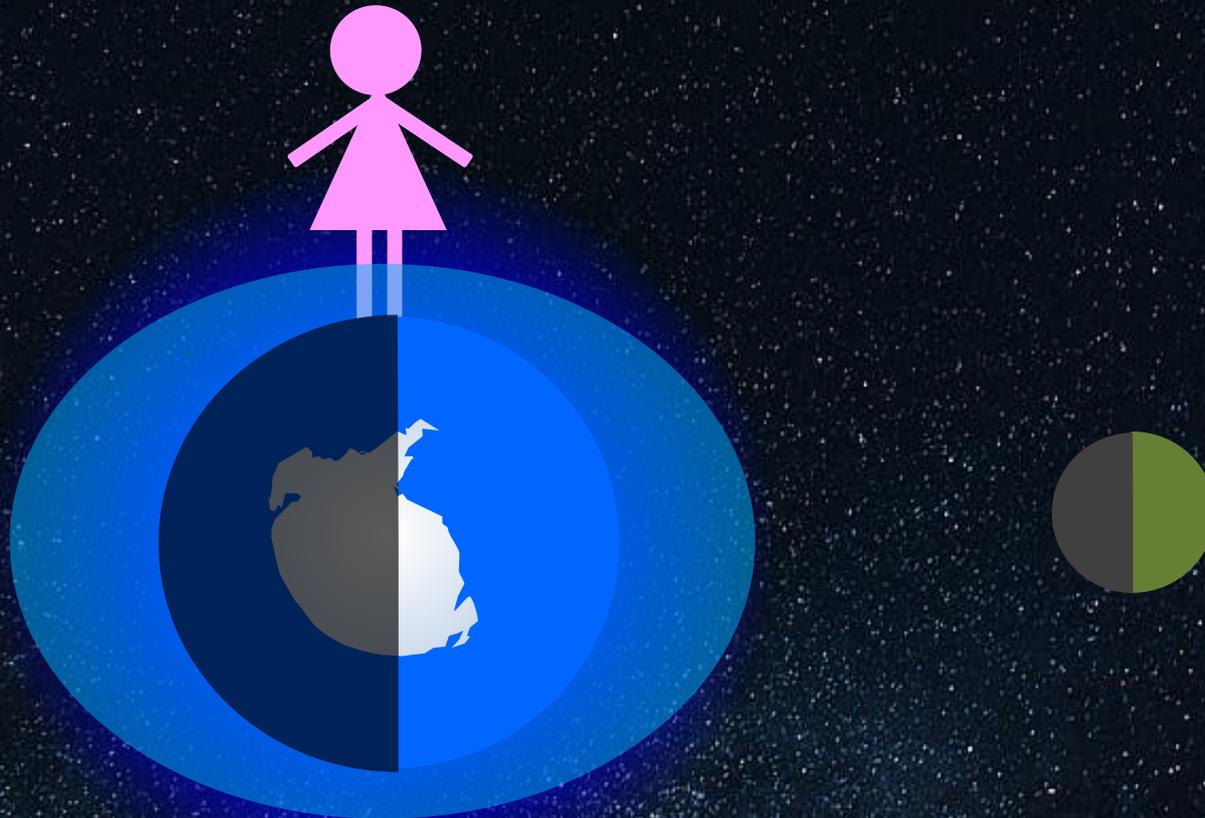
Ou seja, quem predomina é a Lua!

Cuidado:

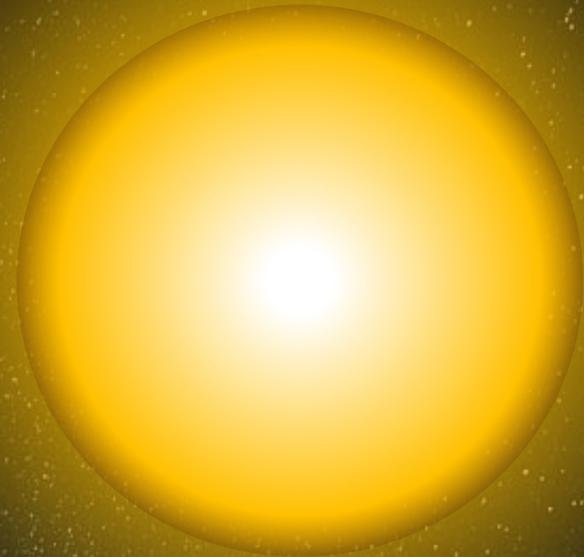
$$\frac{a_{\text{Sol-m}}}{a_{\text{Lua-m}}} = \frac{M_{\text{Sol}}}{M_{\text{Lua}}} \frac{d_{\text{Lua-m}}^2}{d_{\text{Sol-m}}^2} \approx 180$$

O importante é Δa , e não a .

Observe o que acontece
quando a Terra gira...

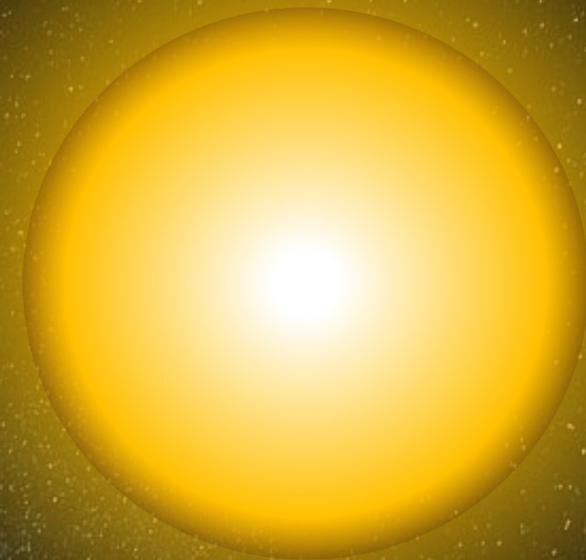
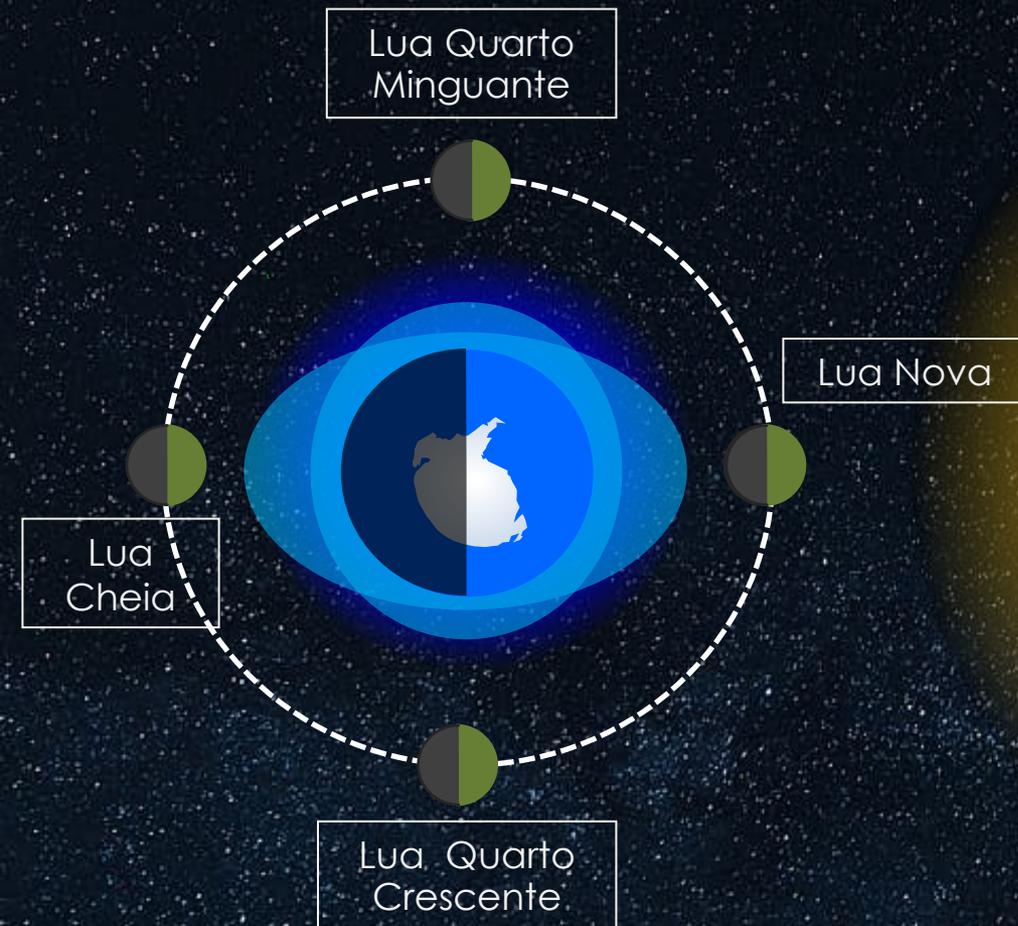


o Sol também causa força de maré,
só que menor...



- ❖ às vezes as marés do Sol e da Lua se “ajudam”...
- ❖ e às vezes “se atrapalham”...

Figura fora de escala



Efeitos das Marés

- O atrito das águas com o fundo dos oceanos causa desaceleração da rotação da Terra: há 400 milhões de anos o dia tinha 22 horas (aumenta aprox. alguns ms/sec).
- Retarda a rotação da Lua
- Fez com que a Lua aponte a mesma face para a Terra: rotação síncrona.
- A Lua se afasta da Terra cerca de 3 a 4 cm/ano.
- Em cerca de 15 bilhões de anos, o dia e o mês terão a mesma duração, que será igual a aproximadamente 35 dias atuais!

Informações:

Deformação equatorial (40 Km) não é efeito de maré: é rotação.

12h25 entre duas marés altas (ou baixas), e não 12h ←- translação da Lua

Marés não tem haver com a rotação da Terra ou do sistema Terra-Lua
(influencia no nível, ou no atraso, da maré devido a relevos dos continentes)

Não é aceleração centrífuga a causadora da maré (nem aquela oposta à linha Terra-Lua); a acel. centrífuga (que só tem sentido num referencial não inercial) tem igual valor ($= -a_{cm}$) em qualquer ponto da Terra, e se deve à aceleração de “queda” da Terra sobre a Lua.

A Terra não tem rotação, ou não gira, em torno do CM Terra-Lua, mas translada. O centro da Terra gira em torno do CM Terra-Lua ($0.74 R_{terra}$). A Terra gira em torno do seu eixo de rotação.

O efeito do *stress* do campo gravitacional *não uniforme* num *corpo elástico* é que se chama maré, e é proporcional ao inverso do cubo da distância Terra-Lua, ou Terra-Sol.

Maré é o pequeno movimento de grandes quantidades de água; não é corrente. É o perfil da superfície da água que segue a Lua e o Sol; a densidade da água não se altera em qualquer ponto.

A Terra roda mais rápido que a Lua translada e draga (por atrito) a maré para a frente da linha Terra-Lua por cerca de 3 graus (-> 12 min).

Forças de maré esticam infinitesimalmente objetos elásticos. Um ser humano é esticado pela fração 10^{-16} .

A componente paralela à superfície terrestre *arrasta* água em direção aos pontos de marés altas. É preciso ter muita água para ter maré perceptível; existe maré num copo de água, mas não é algo mensurável.

Períodos

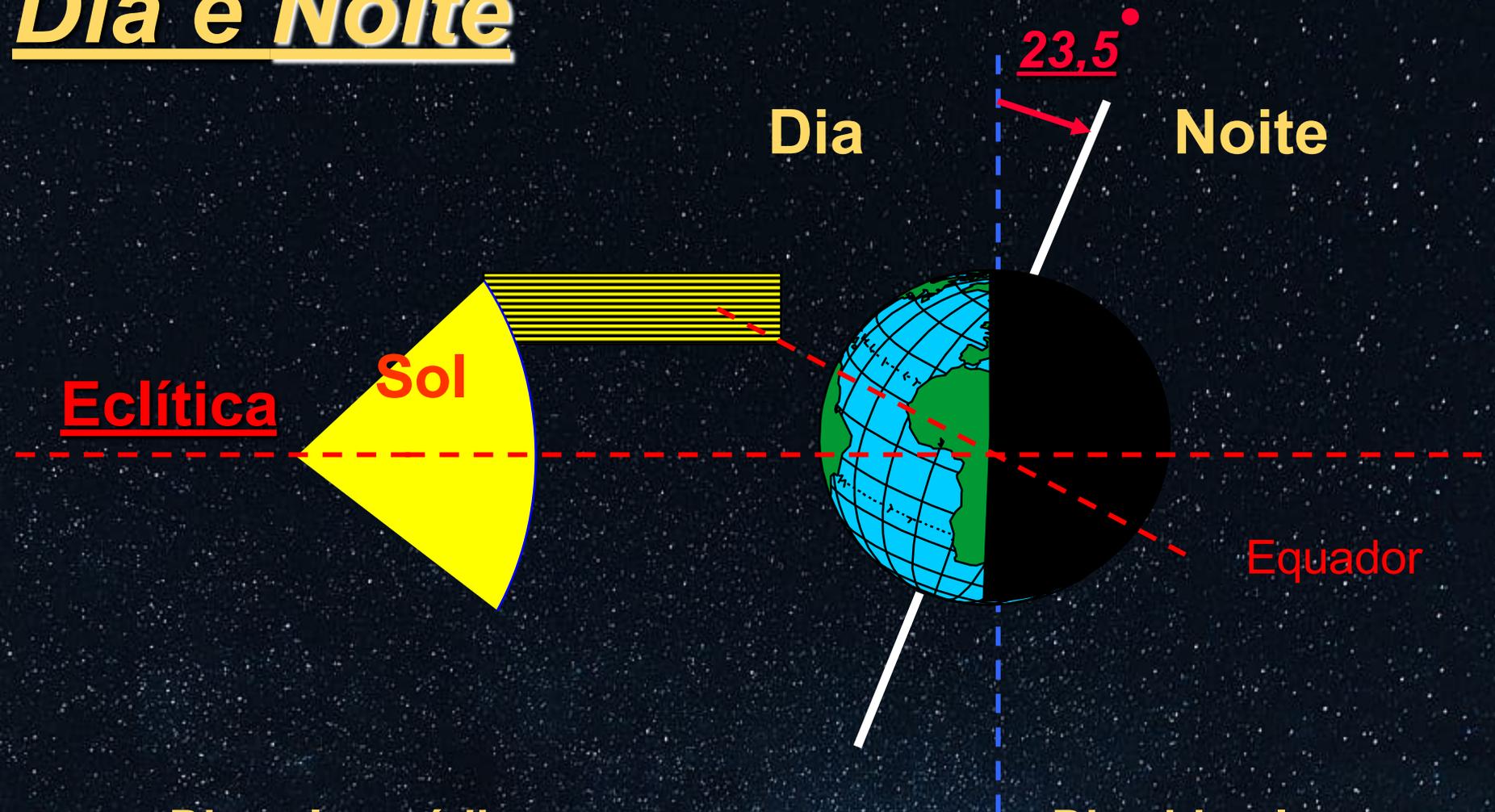


Períodos importantes

Os fenômenos envolvendo Sol - Terra - Lua, bem como os planetas conhecidos na antiguidade, Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno, definem os seguintes períodos importantes:

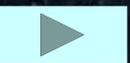
Dia	Período fundamental
Semana	Fases da Lua, astrológica, ...
Mês	Ligado à lunação
Ano	Ligado às estações do ano

Dia e Noite



Dia solar médio
intervalo médio entre duas
passagens do Sol pelo meridiano
local
- 24 h -

Dia sideral
intervalo médio entre duas
passagens de uma estrela pelo
meridiano local
- 23:56 h -



Origem da Semana

Astro	Dedicado ao deus	Dia da semana
● Lua	da Noite	Segunda
● Marte	da Guerra	Terça
● Mercúrio	do Comércio	Quarta
● Júpiter	do Olimpo	Quinta
● Vênus	da Beleza	Sexta
● Saturno	do Tempo	Sábado
● Sol	do Dia	Domingo



Fases da Lua

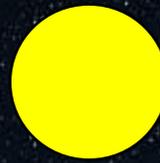
Nova



Quarto
Crescente



Cheia



Quarto
Minguante



Nova



Nova

Crescente

Cheia

Minguante

Crescente

Minguante

Lunação ou Mês Sinódico

29,530589 dias ~ 29 d 12 h 44 m 03 s

Mês Lunar : 29 ou 30 dias



O Ano

Primavera

Verão

Outono

Inverno

Ano Trópico ou Ano Solar

365,242199 dias

365 dias

~ 1/4 - 1/100 ← 0,24 dias

$$365.242199 = 365 + 1/4 - 1/100 + 1/400 - 1/3300$$

Juliano

365,25

365,24

365,2425

Gregoriano

365,2421970

