



AGA0106

Astronomia de Posição

Prof. Rogério Monteiro

Variação das coordenadas 1

Agradecimentos: Prof. Roberto Boczko

Aula A15

Tópicos da aula

- Aberração;
- Desvio gravitacional da luz;
- Precessão e nutação;
- Movimento do polo.

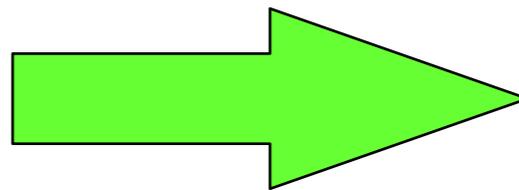
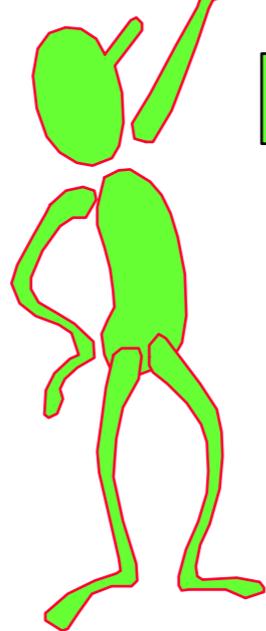
Aberração da luz

Direção
real da
chuva

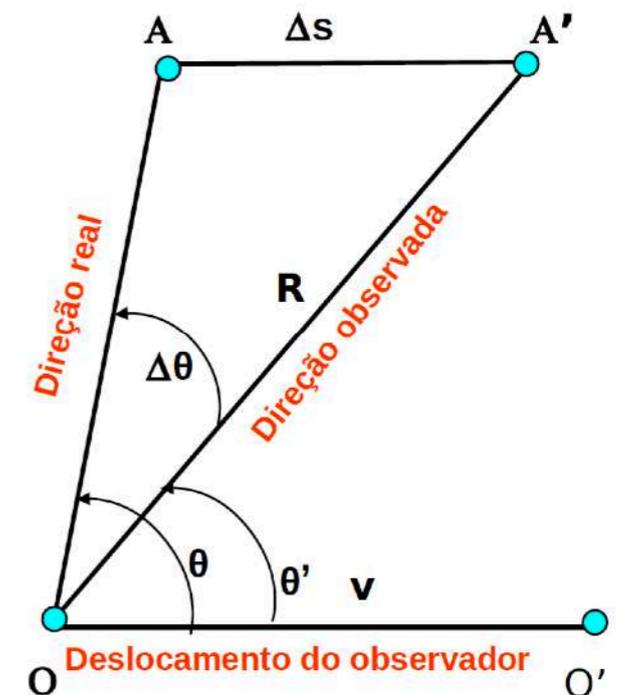


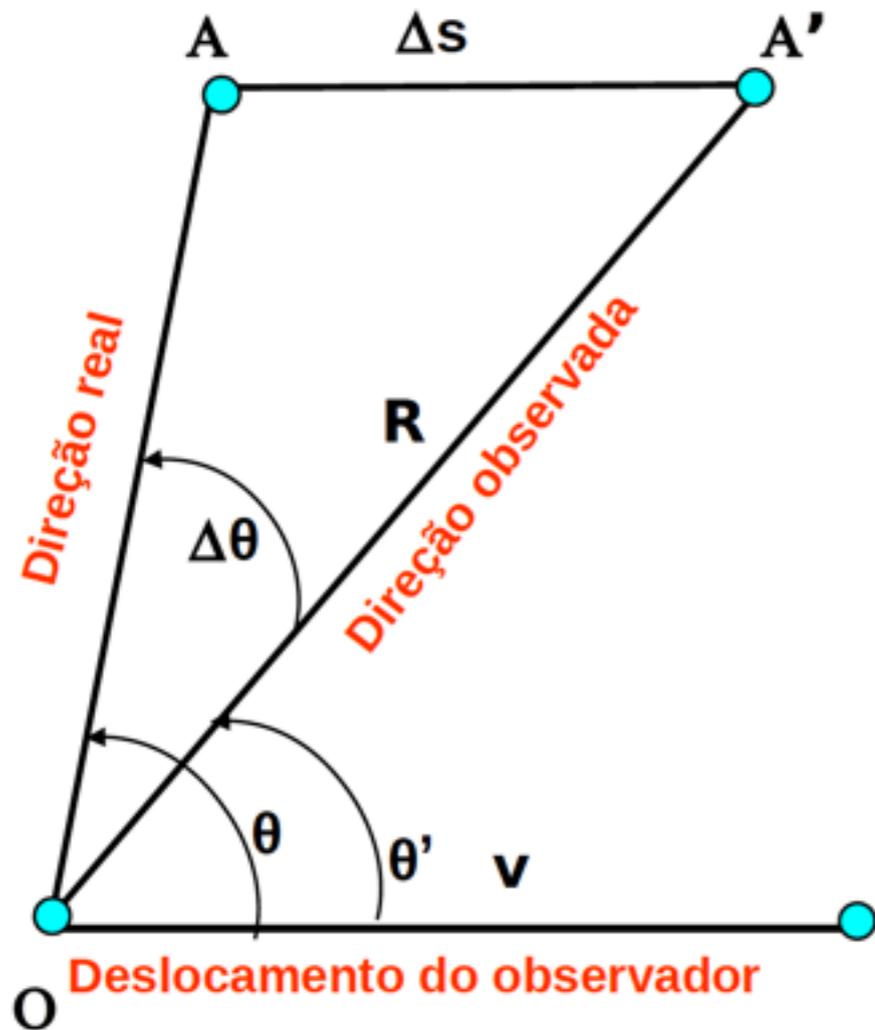
Direção
aparente
da chuva

Composição de velocidades

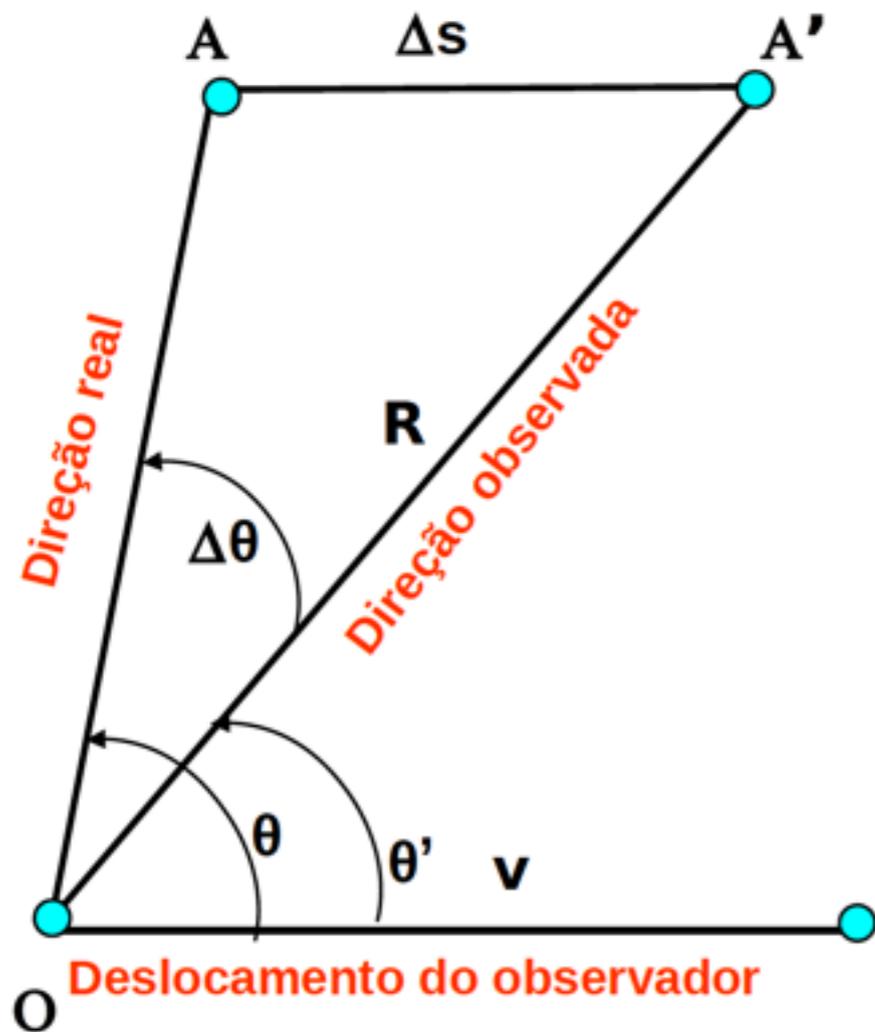


Direção do
movimento
do observador





- OO' : Deslocamento do observador quando o raio, parecendo sair de A' , o atinge em O ;
- AA' : direção paralela à direção de deslocamento da Terra; a aberração não existiria se nosso planeta se deslocasse ao encontro da estrela;
- v : velocidade relativa estrela - observador;
- R : distância estrela - observador;
- Δs : distância percorrida pela imagem da estrela devido à aberração.



- Δt : intervalo de tempo entre a emissão em A e a observação da luz em O;
- A': direção em que se observa a estrela;
- θ' : ângulo entre a direção do deslocamento e a posição observada da estrela;
- A: direção em que a estrela realmente se encontrava no instante da emissão;
- θ : ângulo entre a direção do deslocamento e a posição geométrica da estrela;
- $\Delta\theta$: ângulo da aberração

$$\Delta s = v\Delta t \quad R = c\Delta t$$

$$\frac{\Delta s}{v} = \frac{R}{c}$$

$$\kappa = \frac{v}{c}$$

$$\frac{\Delta s}{R} = \kappa$$

Aplicando a lei do seno nos triângulos AA'O e AO'O

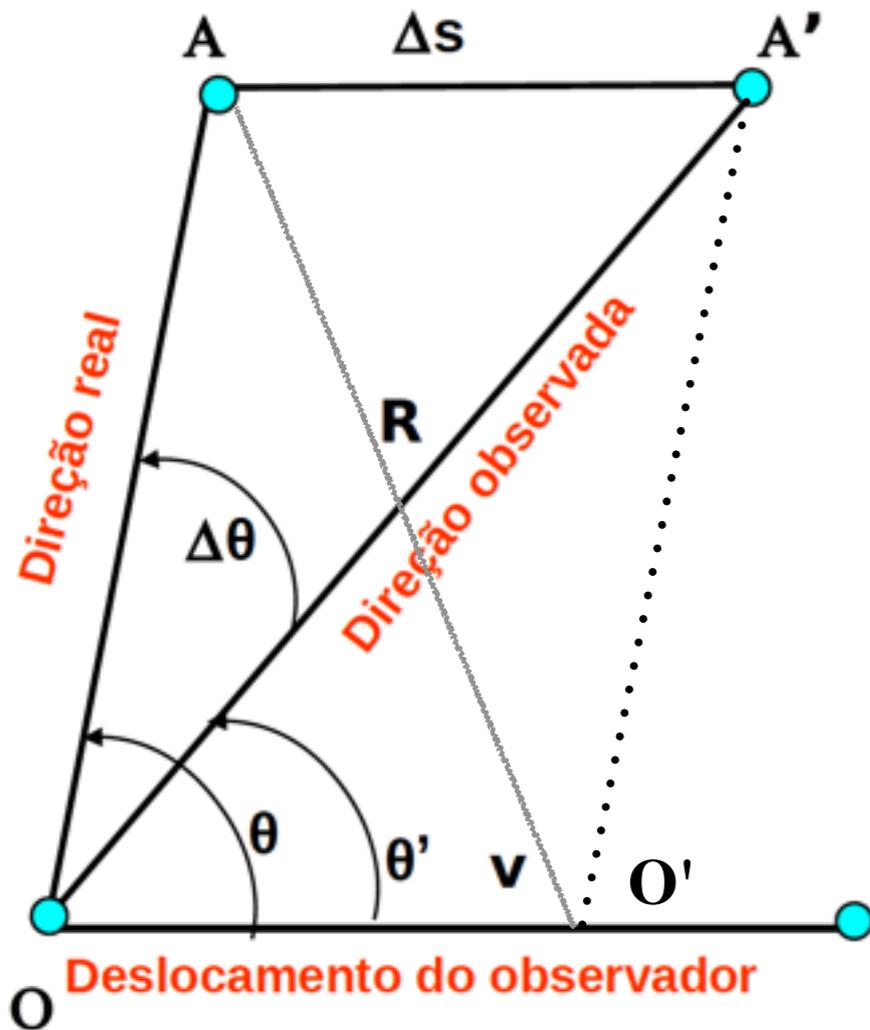
$$\frac{R}{\sin \theta} = \frac{\Delta s}{\sin \Delta \theta}$$

$$\sin \Delta \theta \sim \Delta \theta$$

$$\Delta \theta \sim \frac{\Delta s}{R} \sin \theta$$

$$\frac{\Delta s}{R} = \kappa$$

$$\Delta \theta \simeq \kappa \sin \theta$$

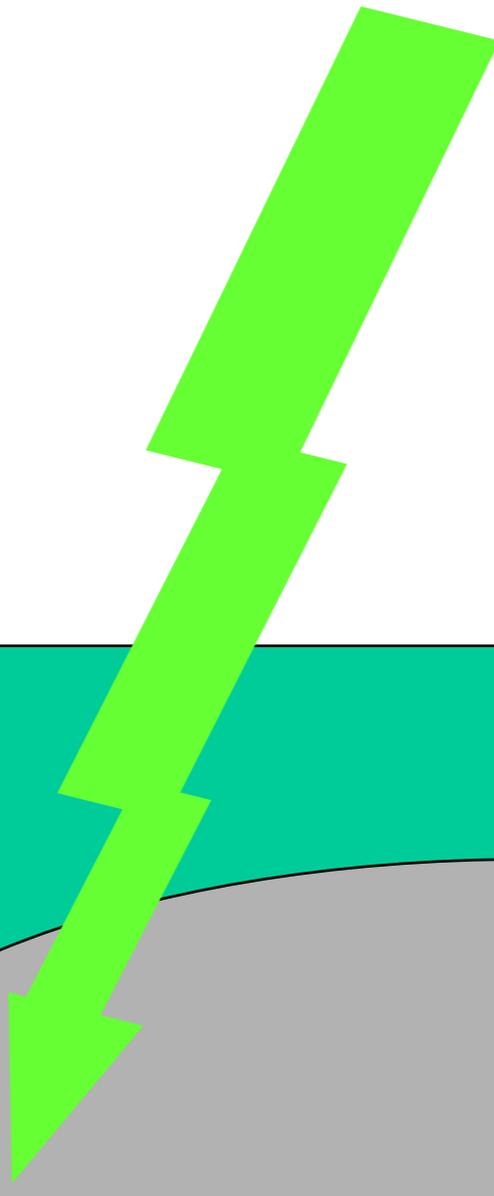
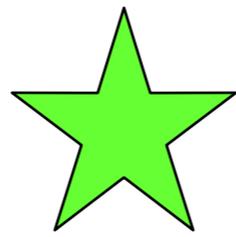


Aberração anual

**Posição
real da
estrela**

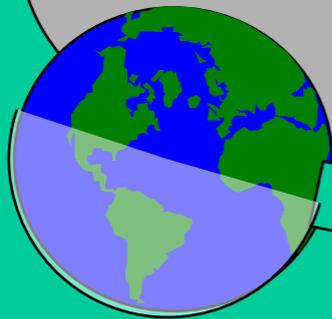
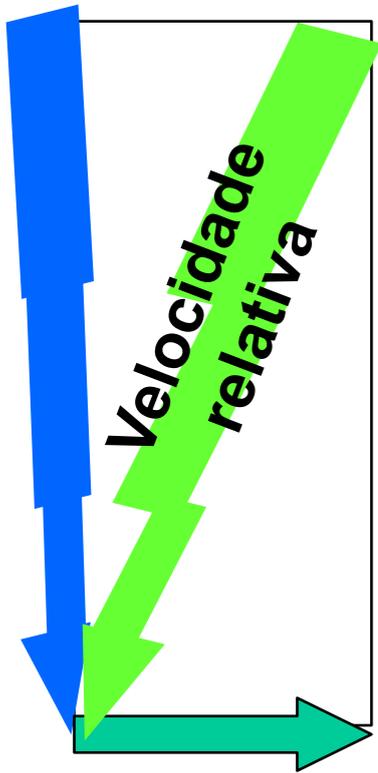


**Posição
“observada”
da estrela**

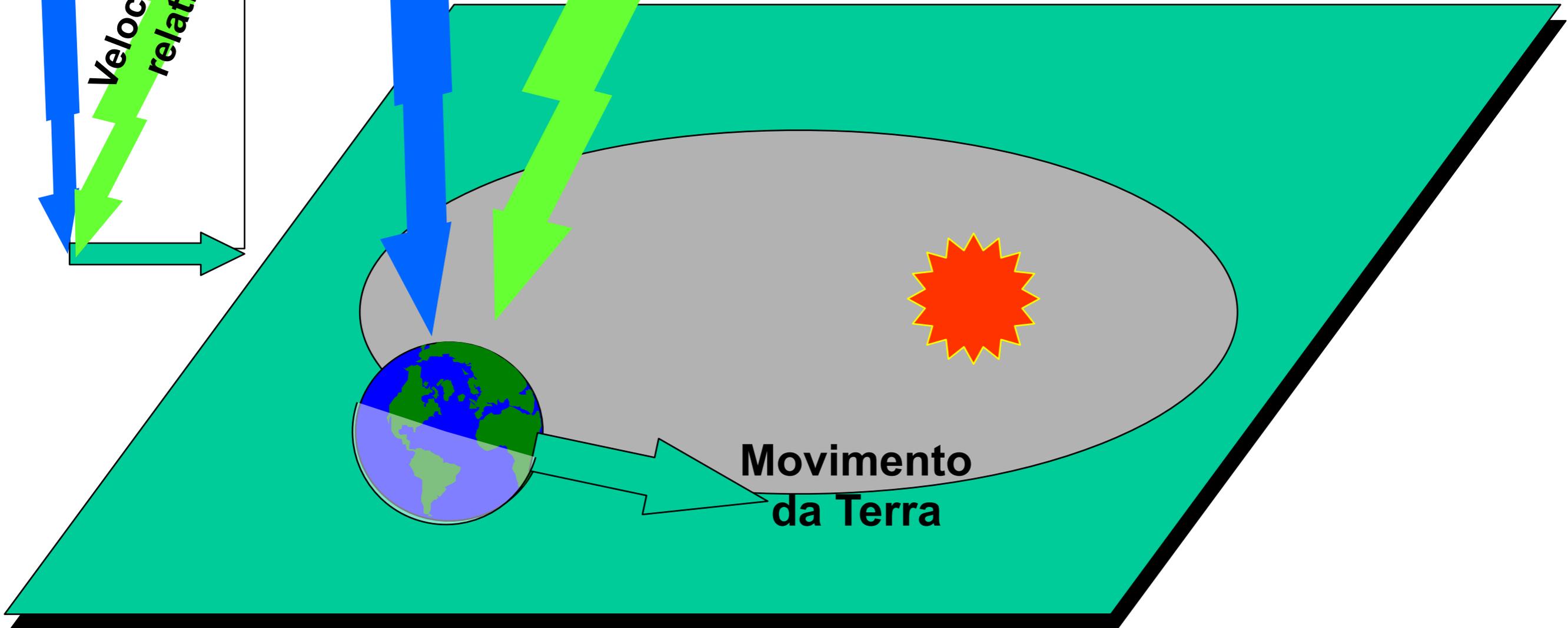
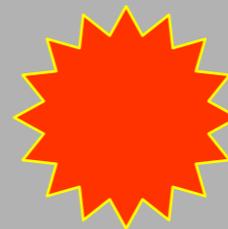


**Aberração anual
(Bradley 1728)**

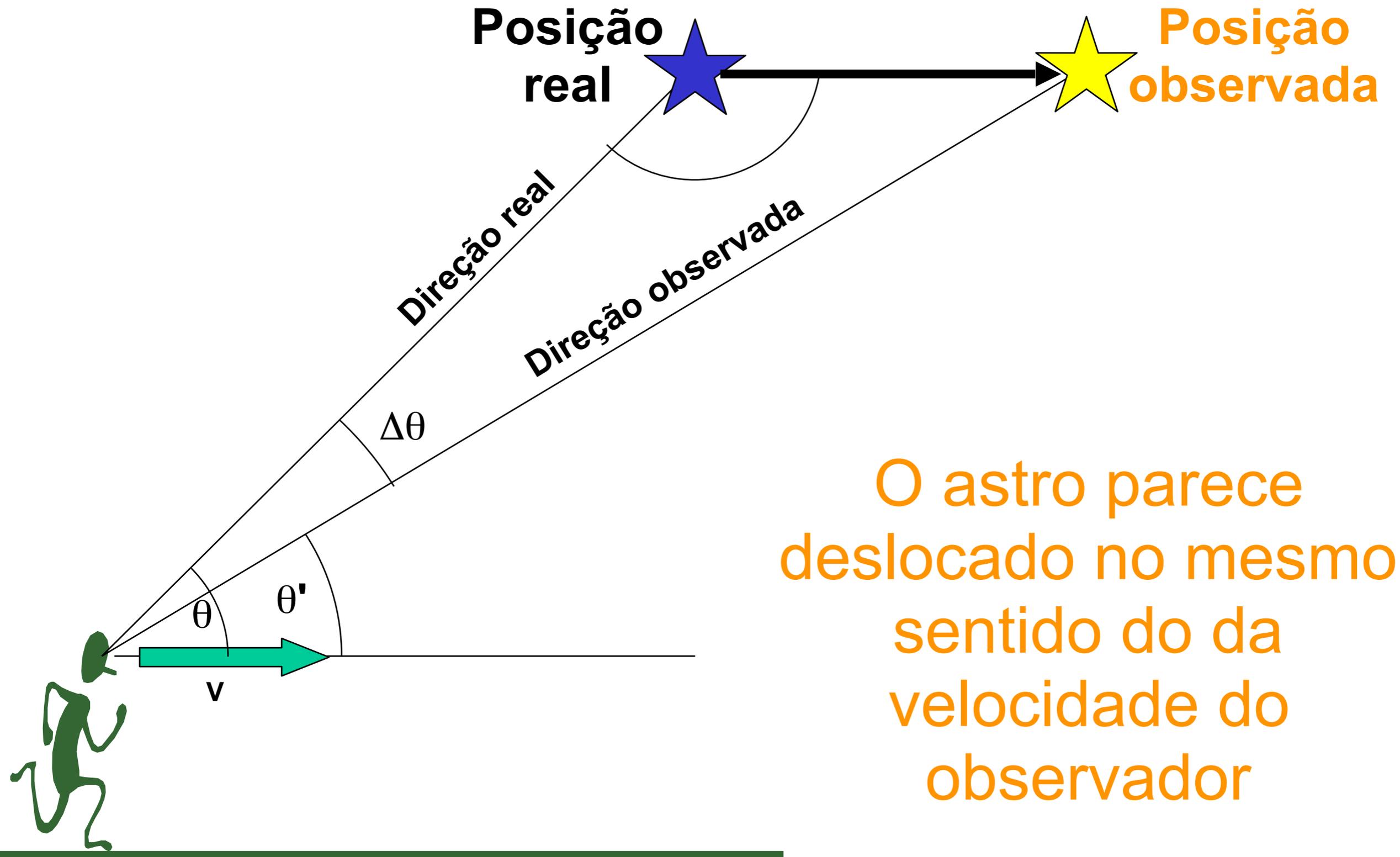
**Velocidade
relativa**



**Movimento
da Terra**

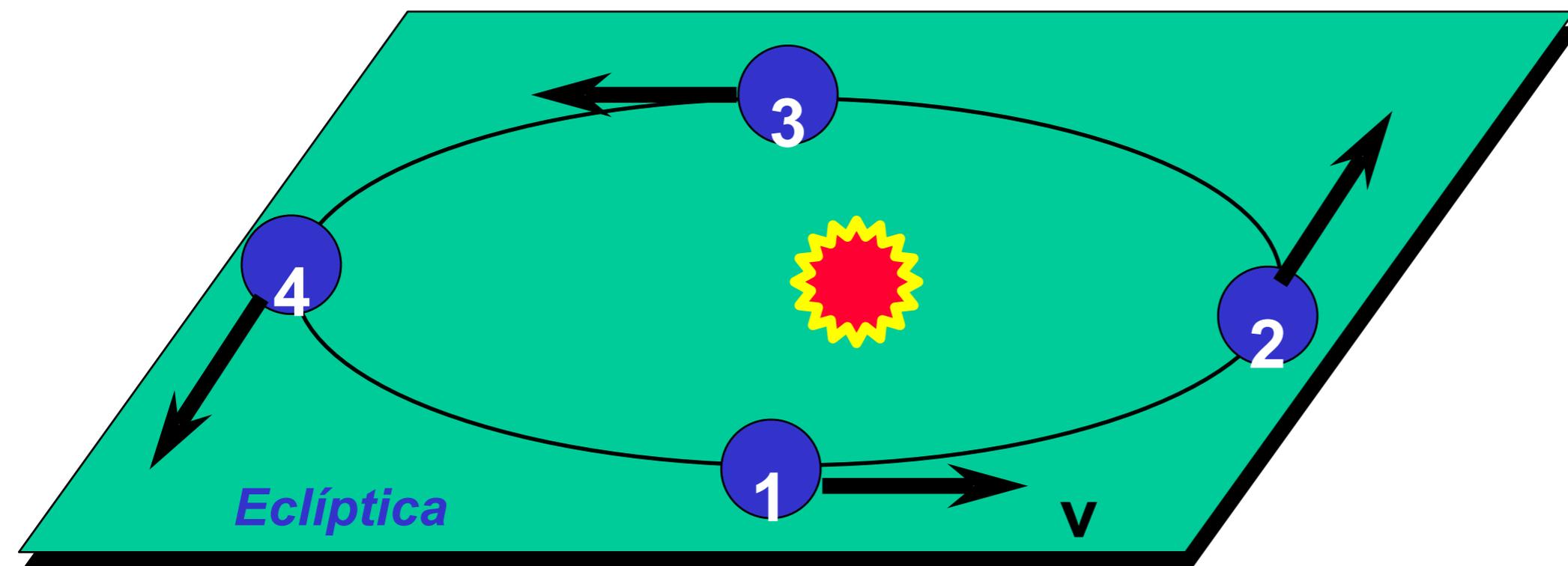
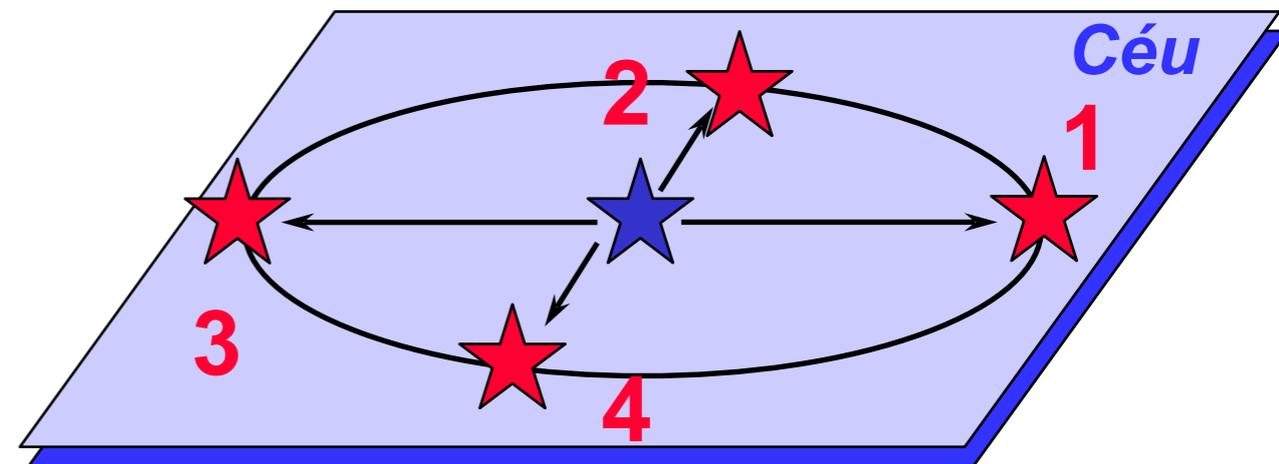


Direção do deslocamento do astro devido à aberração



O astro parece deslocado no mesmo sentido do da velocidade do observador

Efeito da aberração da luz na posição de uma estrela



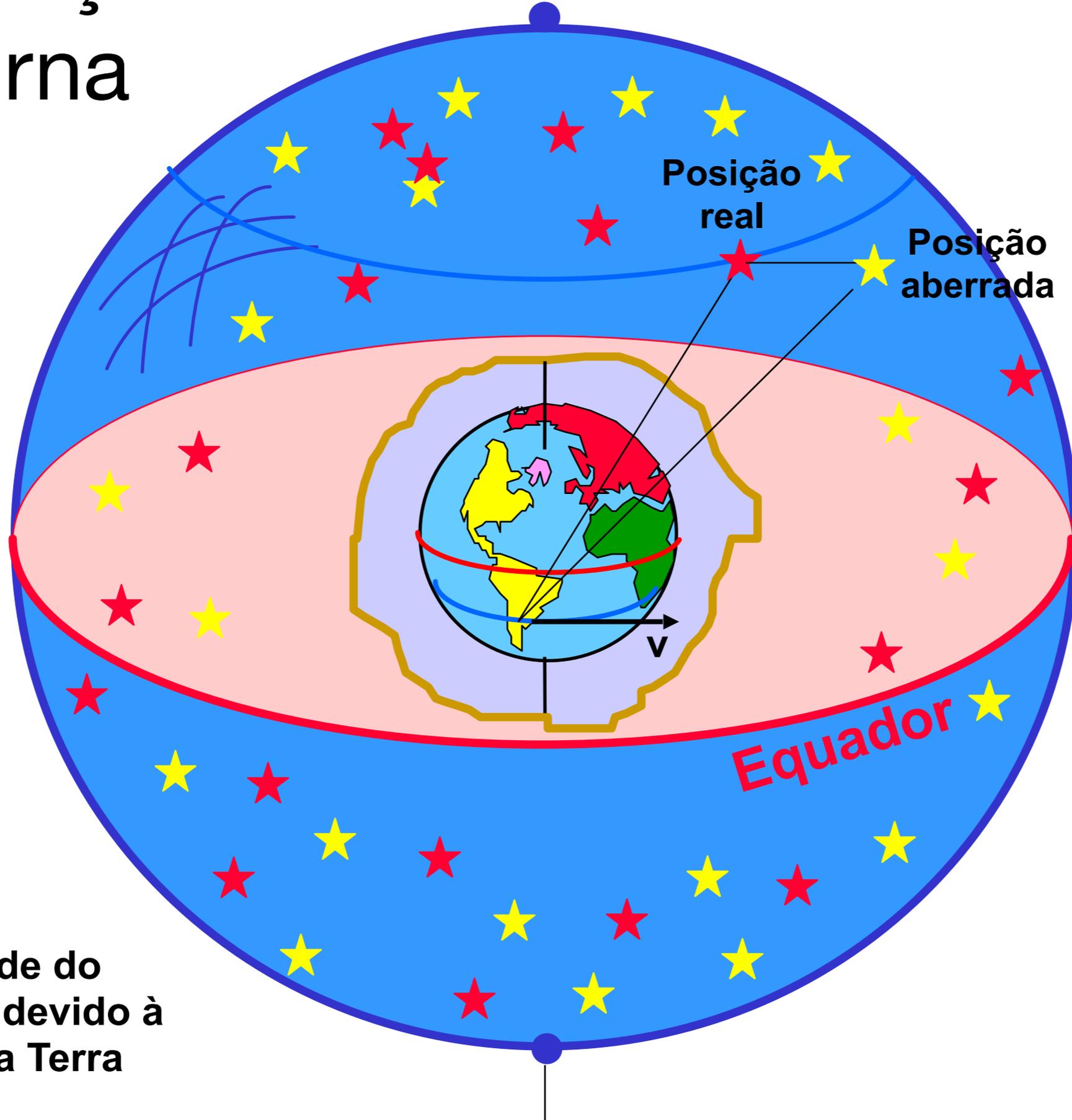
Conclusão

A aberração anual das estrelas prova que a Terra está em movimento em torno do Sol.

Aberração diurna

Aberração diurna

Eixo de rotação da Terra



v:
velocidade do observador devido à rotação da Terra

Aberração secular

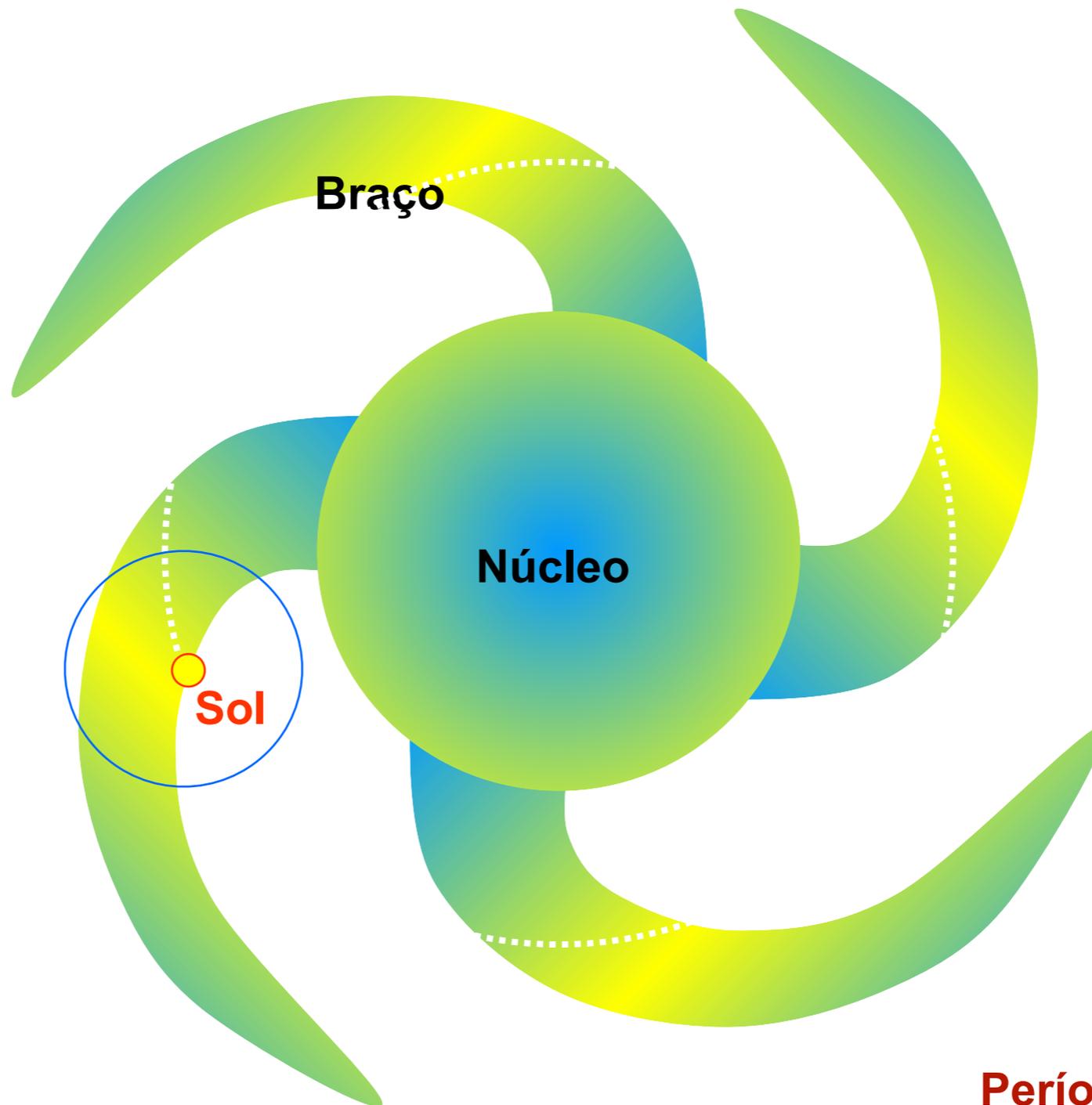
Padrão Local de Repouso

LSR = Local Standard of Rest

Velocidade peculiar do Sol:
16,5 km/s
em direção do
Ápex Solar, na
constelação de
Hércules

LSR

Ponto que, num instante, está centrado no Sol e move-se com movimento circular uniforme em torno do Centro Galáctico

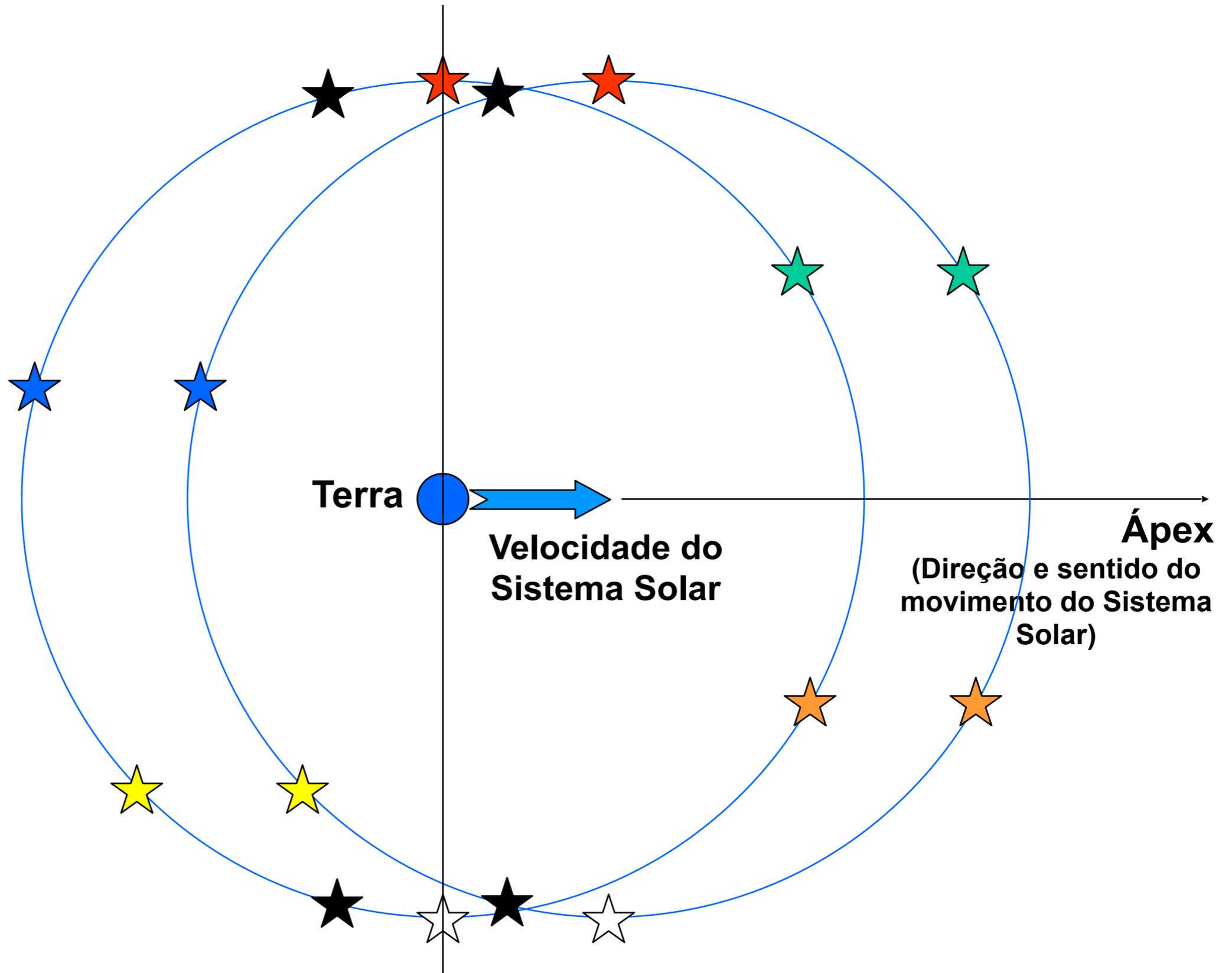


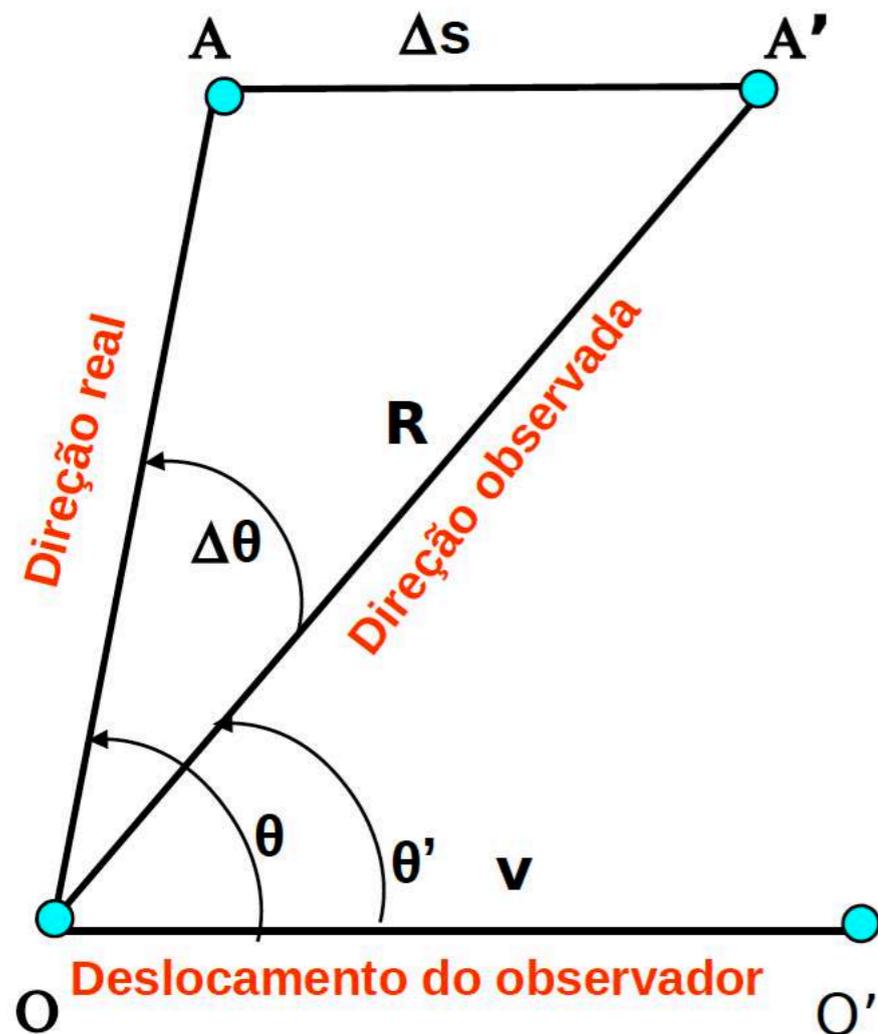
Período orbital do Sol em torno do centro galáctico:
~250 milhões de anos

Velocidade do Sistema Solar com relação ao Sistema Local de Repouso de Repouso



Aberração secular



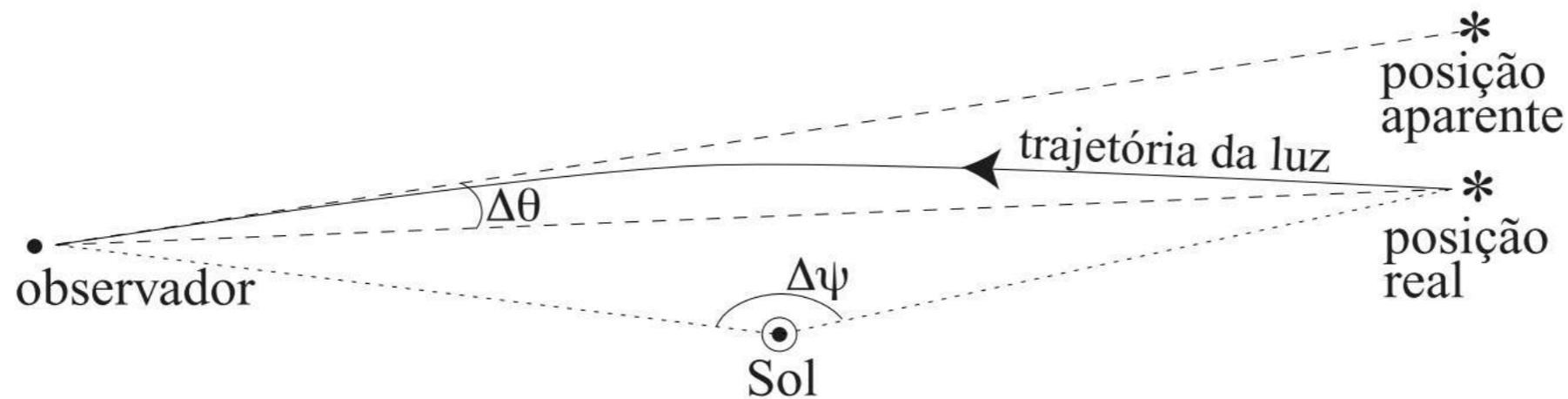


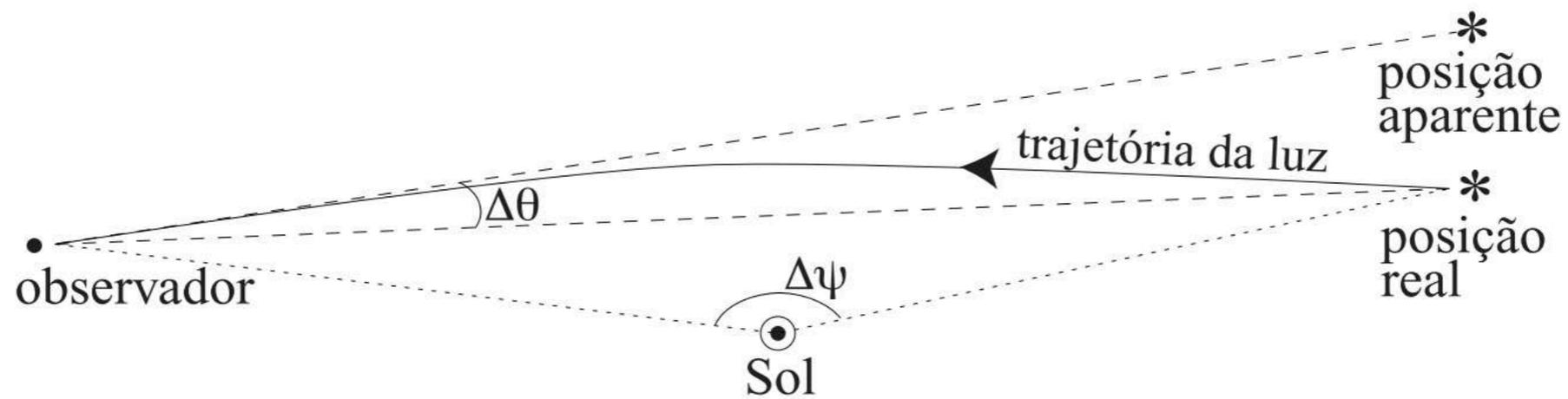
$$\Delta\theta \simeq \kappa \sin \theta$$

- $\kappa = 14''$
Aberração secular das estrelas (movimento do Sol em torno do centro da Via Láctea, com período de 2.5×10^8 anos)
- $\kappa = 20.4958''$
Aberração anual das estrelas (movimento anual da órbita da Terra em torno do Sol)
- $\kappa = 0.320'' \cos \phi$
Aberração diurna (movimento devido à rotação da Terra)

Desvio gravitacional da luz

- A Teoria da Relatividade Geral de Einstein mostrou que a luz é afetada pela força da gravidade;
- Este efeito foi confirmado durante um eclipse solar total em 29/05/1919 observado em Sobral-CE;
- Durante o eclipse as estrelas próximas ao Sol (em direção angular) apresentavam um desvio em relação às suas posições esperadas.





Apostila do curso de Astronomia de Posição do prof. Gastão Lima Neto

$$\Delta\theta = \frac{2GM_{\odot}}{c^2R_{\odot}} \frac{\sin\psi}{1 + \cos\psi}$$

mudança na posição aparente da estrela devido ao desvio gravitacional da luz

Se o astro está a uma distância maior que a distância Terra-Sol, definimos a elongação geocêntrica do astro:

$$D \approx 180^\circ - \psi$$

distância angular ente o Sol e o astro

D	90°	45°	20°	5°	2°	1°	$0,5$	$0,25$
$\Delta\theta$	$0,0041''$	$0,0098''$	$0,023''$	$0,093''$	$0,233''$	$0,466''$	$0,933''$	$1,866''$

Desvio gravitacional da luz em função da elongação

O campo gravitacional da Terra também afeta a trajetória da luz proveniente do astro.
Entretanto, este efeito é menor que 0."0003
e pode ser desprezado.

Precessão e nutação

Precessão e nutação

Causas:

Efeitos gravitacionais que deslocam os planos fundamentais de referência

Efeitos:

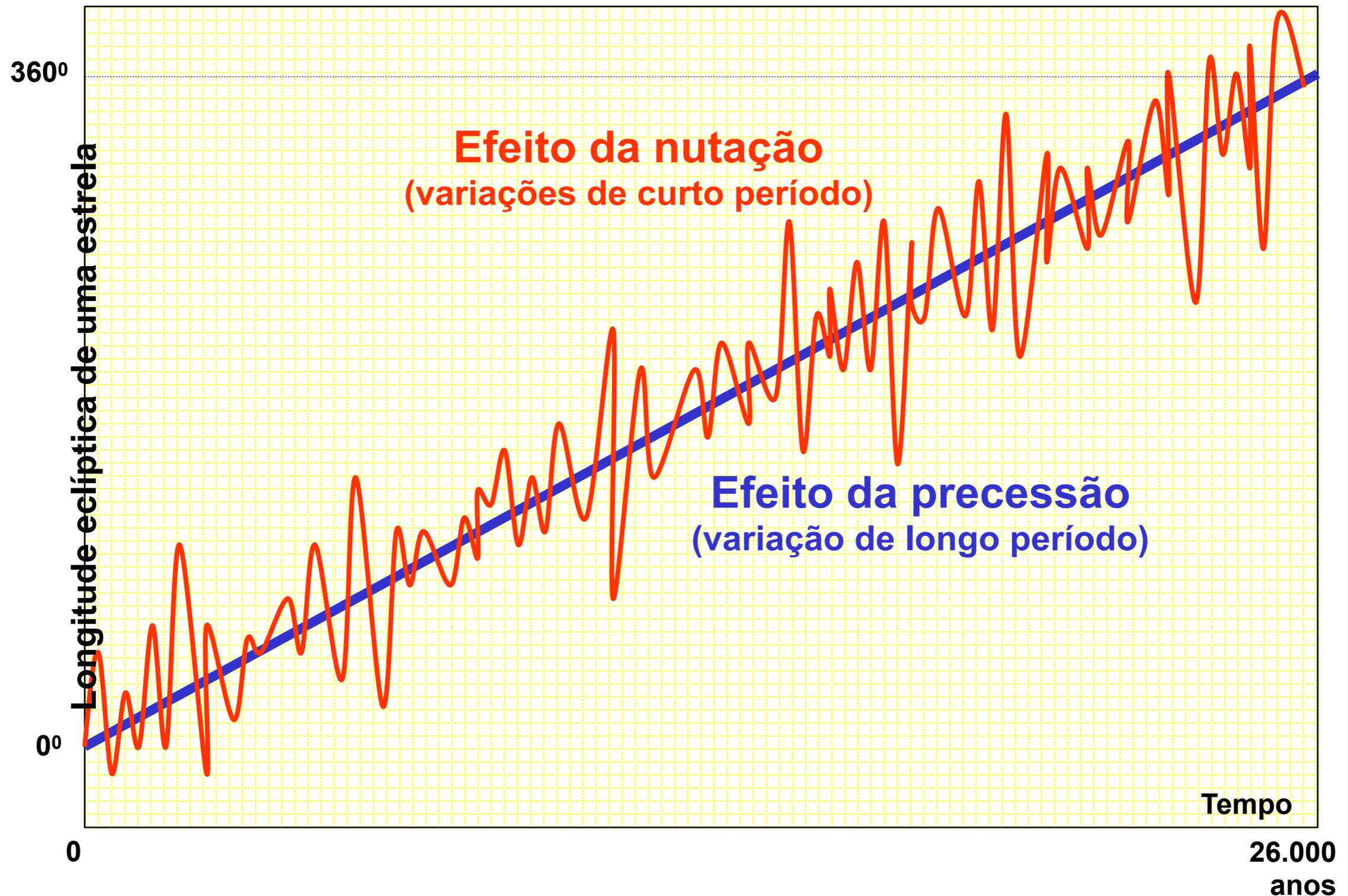
Mudanças temporais nas coordenadas de um astro

Classificação dos efeitos:

precessão: variações de longo período

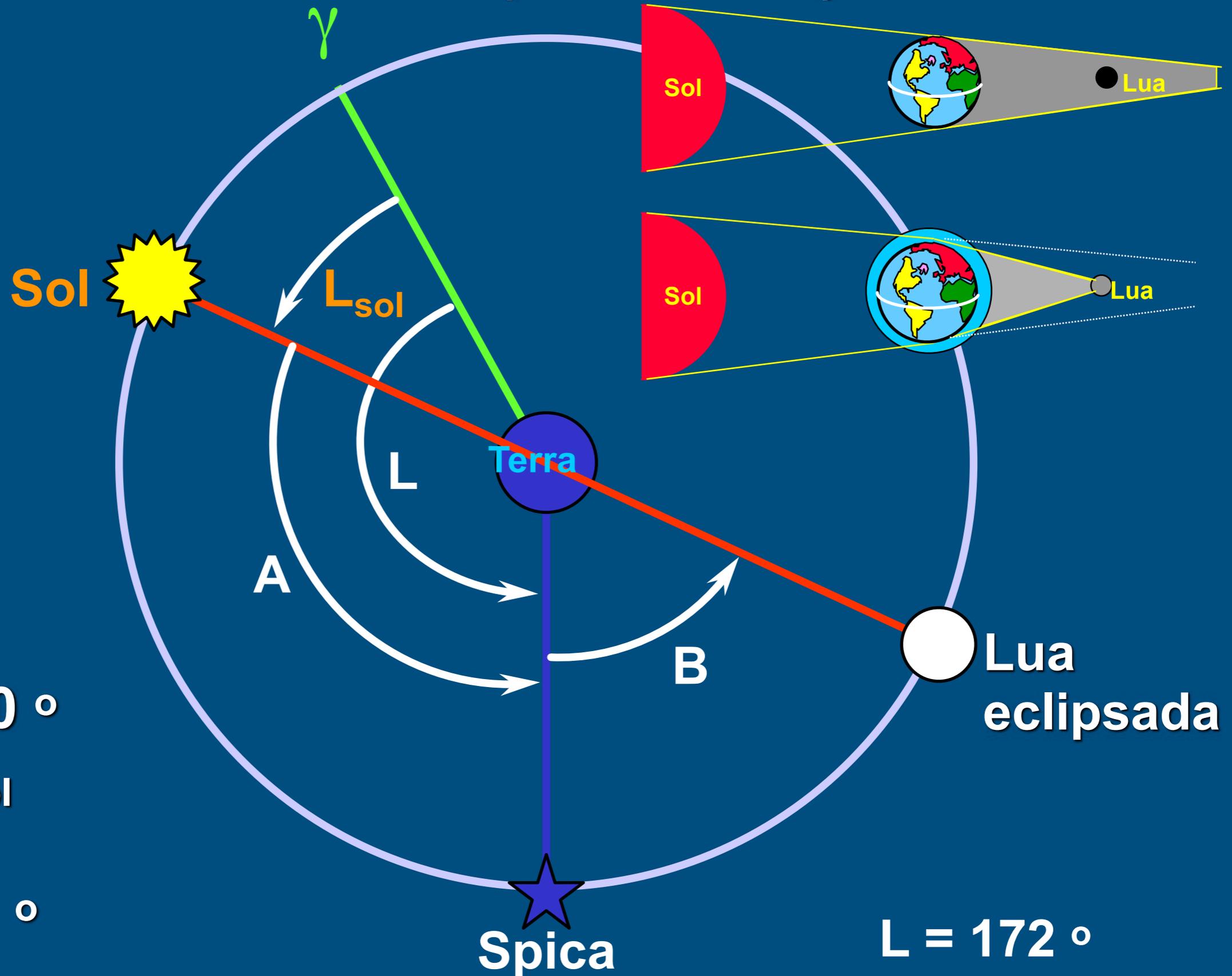
nutation: variações de curto período

Precessão e nutação



Precessão

Longitude eclíptica de Spica segundo Timocharis (273 a .C.)



$$L = L_{sol} + A$$

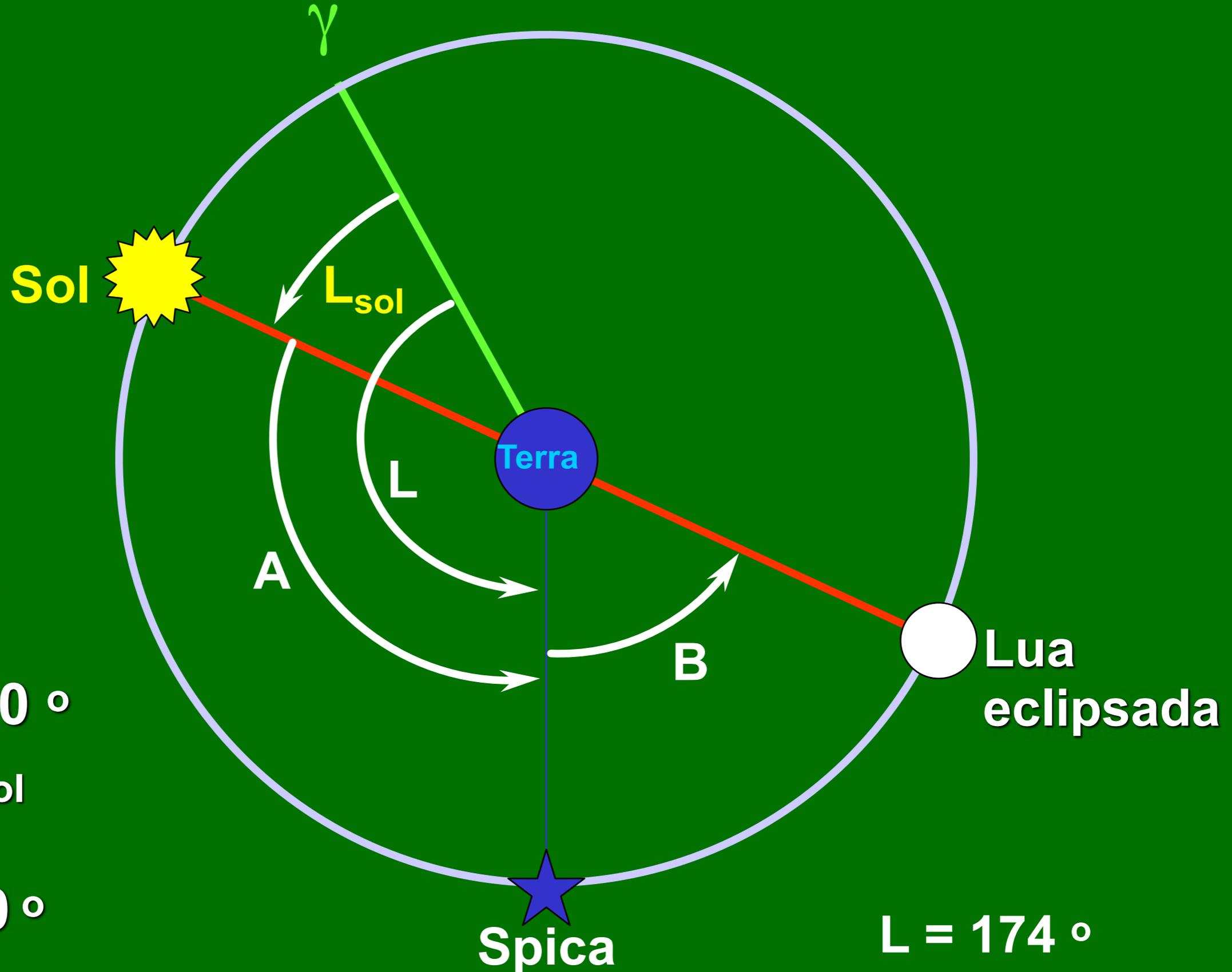
$$1 \text{ Ano} \Rightarrow 360^\circ$$

$$t - t_{IP} \Rightarrow L_{sol}$$

$$A + B = 180^\circ$$

$$L = 172^\circ$$

Longitude eclíptica de Spica segundo Hiparcos (129 a .C.)



$$L = L_{sol} + A$$

$$1 \text{ Ano} \Rightarrow 360^\circ$$

$$t - t_{IP} \Rightarrow L_{sol}$$

$$A + B = 180^\circ$$

$$L = 174^\circ$$

Retrogradação do Equinócio segundo Hiparcos (129 a .C.)

Timocharis: 172° (273 a .C.)

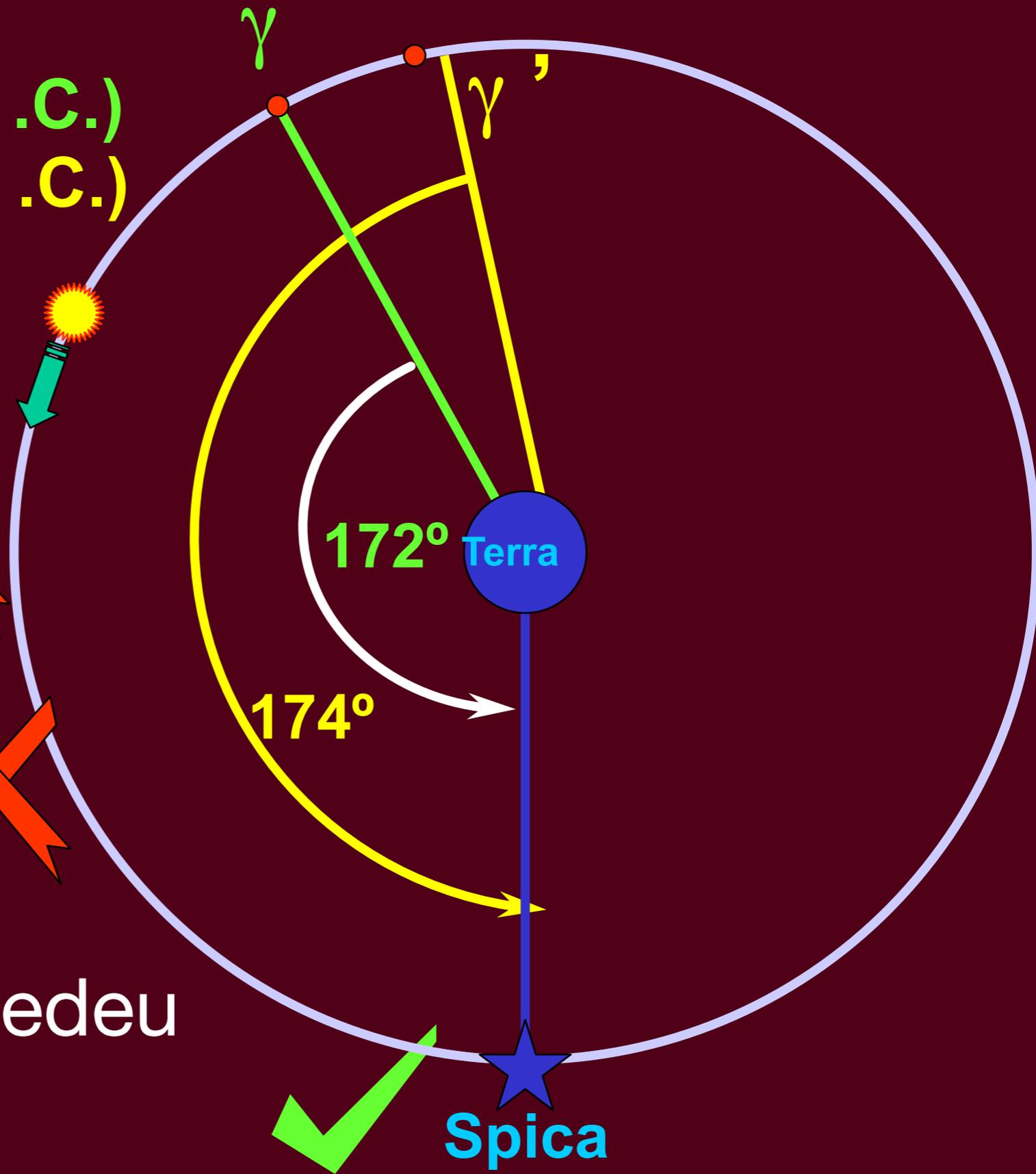
Hiparcos : 174° (129 a .C.)

Hipóteses

Timocharis errou. 

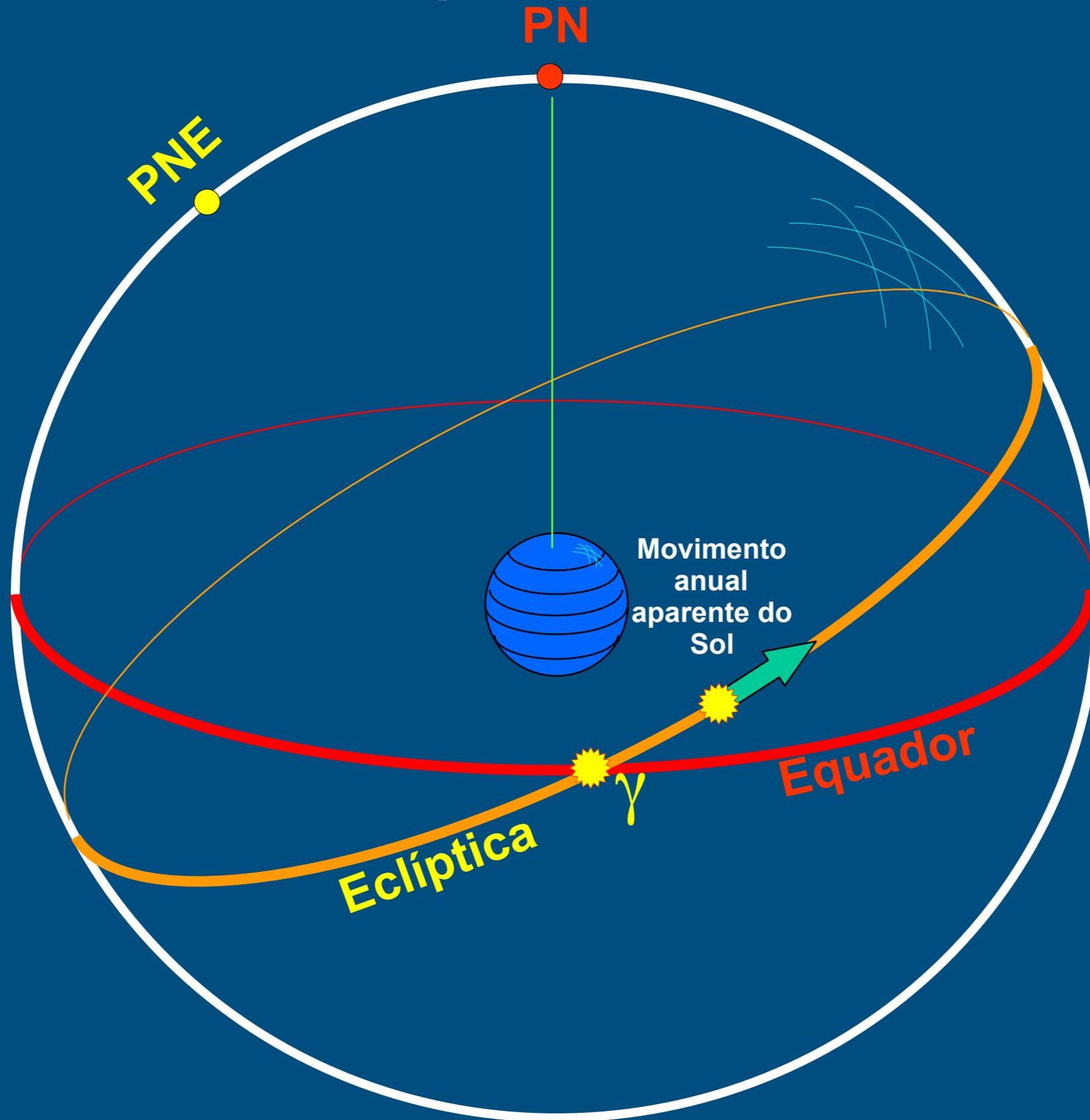
Spica se deslocou de 2° em 144 anos. 

O ponto Vernal retrocedeu 2° em 144 anos. 

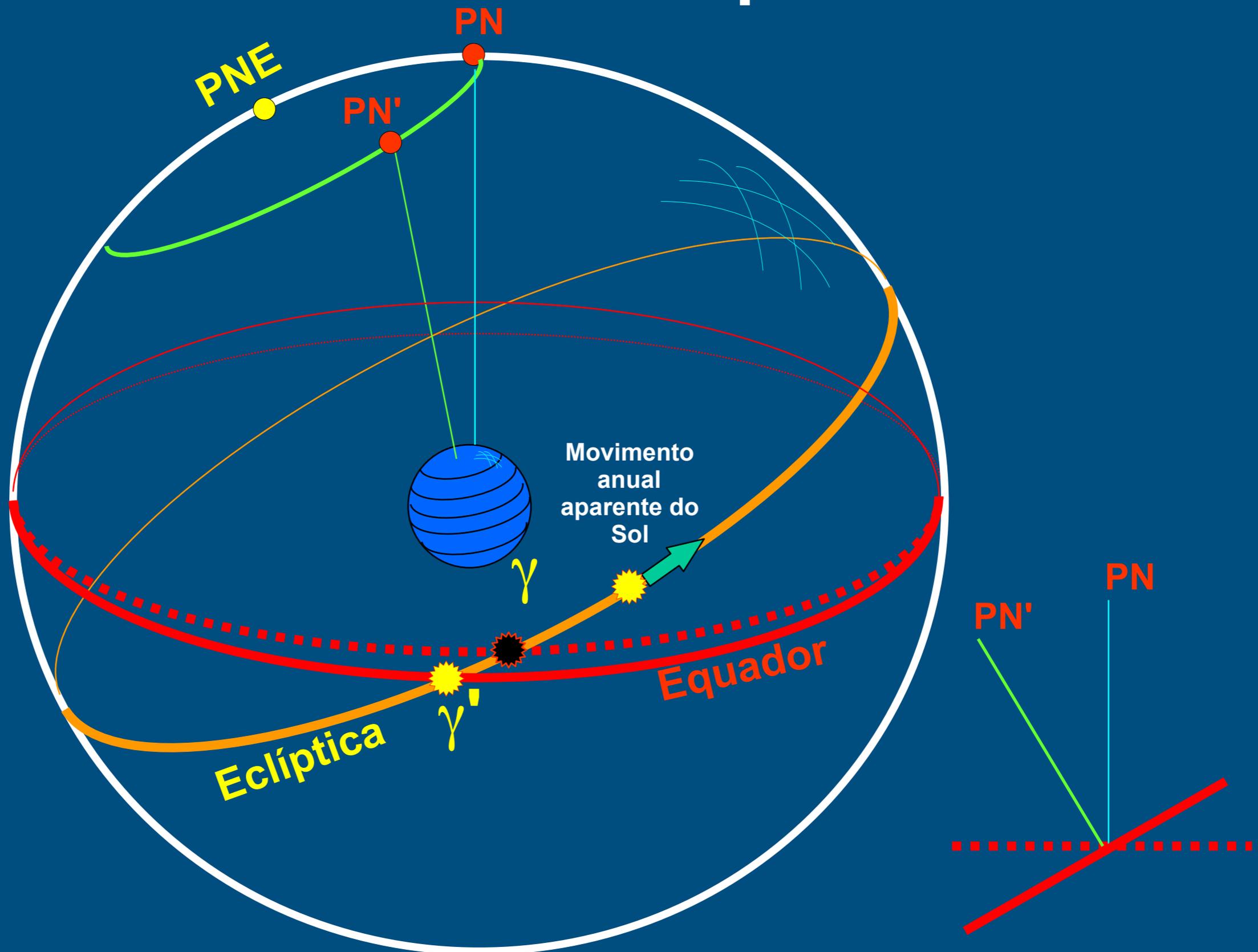


Efeitos da precessão
luni-solar nos planos
fundamentais de referência

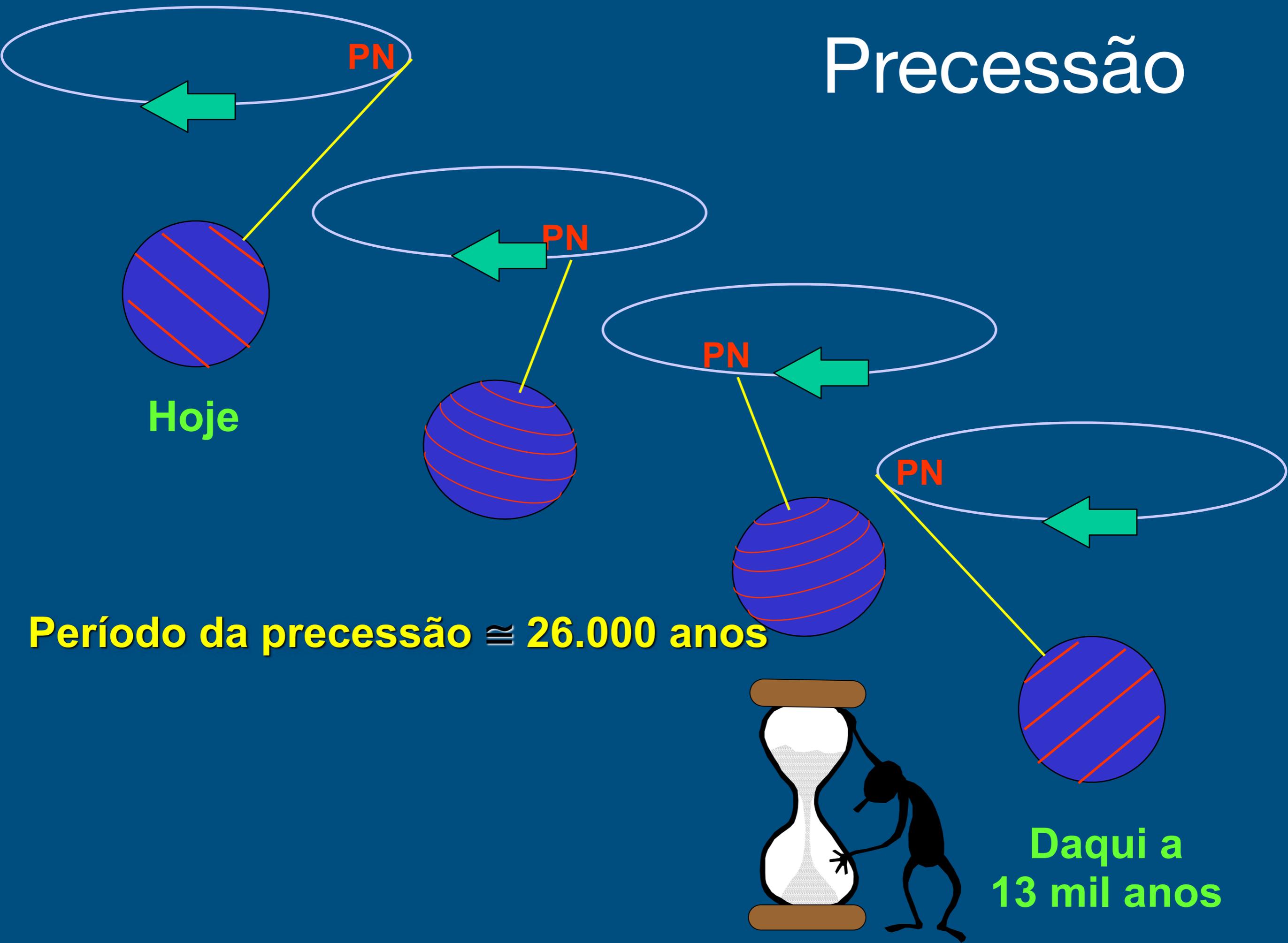
Equinócio da primavera boreal (γ)



Precessão dos equinócios

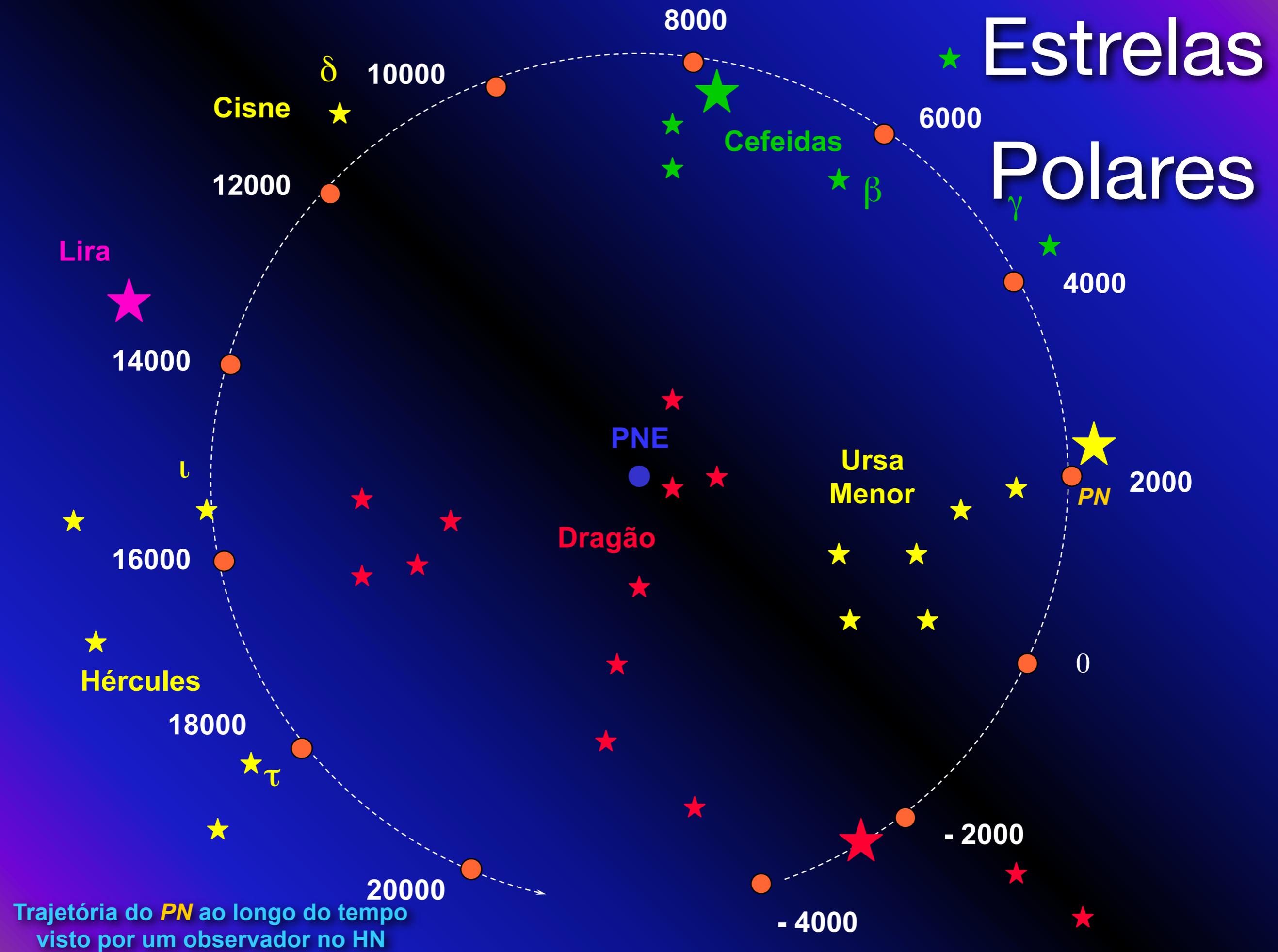


Precessão



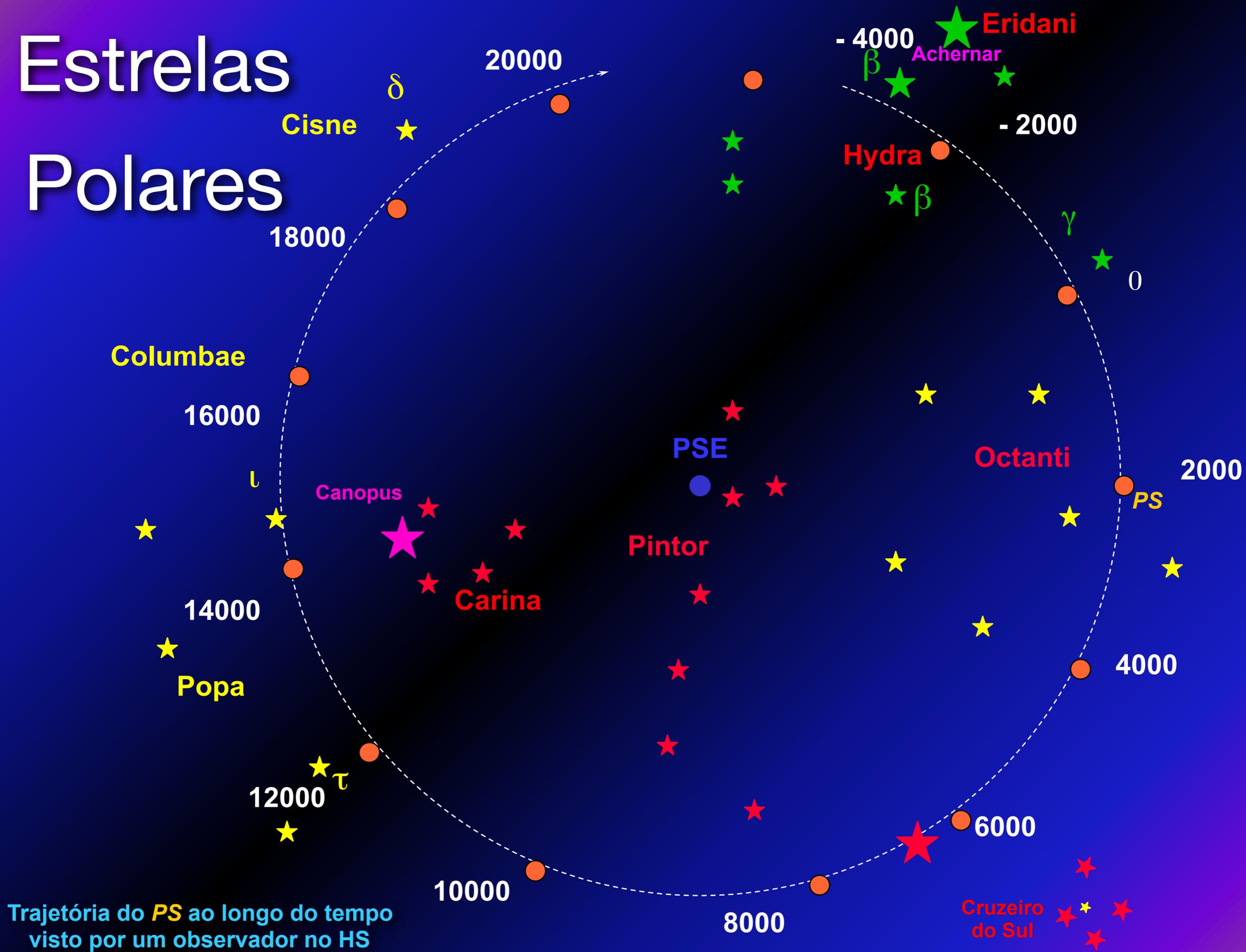
- O polo norte celeste é (PNC) atualmente encontrado nas proximidades da estrela Polaris, na constelação de Ursa Menor; por causa disso ela é conhecida como a “estrela polar”;
- No entanto há cerca de 5000 anos a estrela que se localizava no PNC era Thuban na constelação do Dragão; pode-se dizer então que a estrela Thuban era a “estrela polar” da época;
- No ano 14000, a nova “estrela polar” será Vega na constelação de Lira;
- Daqui a 26000 anos Polaris, a atual “estrela polar” voltará a indicar o PNC.

Estrelas Polares



Trajétória do **PN** ao longo do tempo visto por um observador no HN

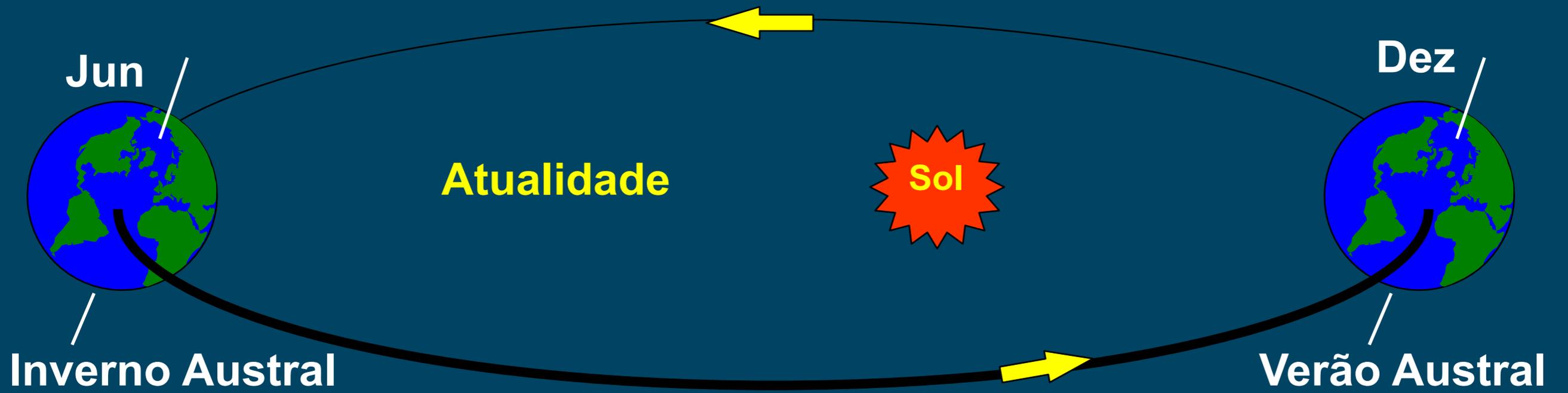
Estrelas Polares



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

Efeitos da precessão sobre as estações do ano

- A precessão não tem nenhum efeito importante sobre as estações, uma vez que o eixo da Terra mantém sua inclinação de 23.5° em relação ao eixo da eclíptica enquanto precessiona em torno dele;
- Como o ano do nosso calendário é baseado nos equinócios, a primavera continua iniciando em setembro no hemisfério sul, e em março no hemisfério norte.
- A única coisa que muda são as estrelas visíveis no céu durante a noite em diferentes épocas do ano. Por exemplo, atualmente Órion é uma constelação característica de dezembro, e o Escorpião é uma constelação característica de junho. Daqui a 13000 anos será o oposto.



Efeitos da precessão sobre as estações do ano



Causa da precessão

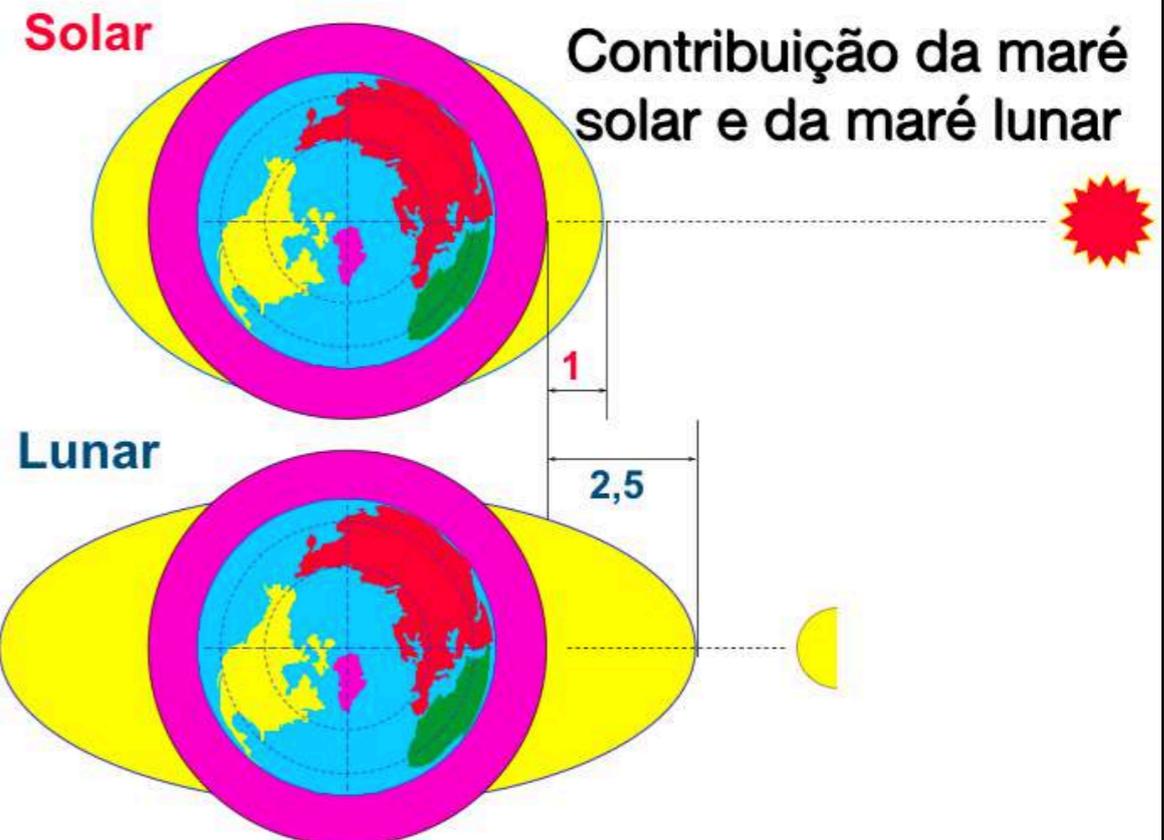
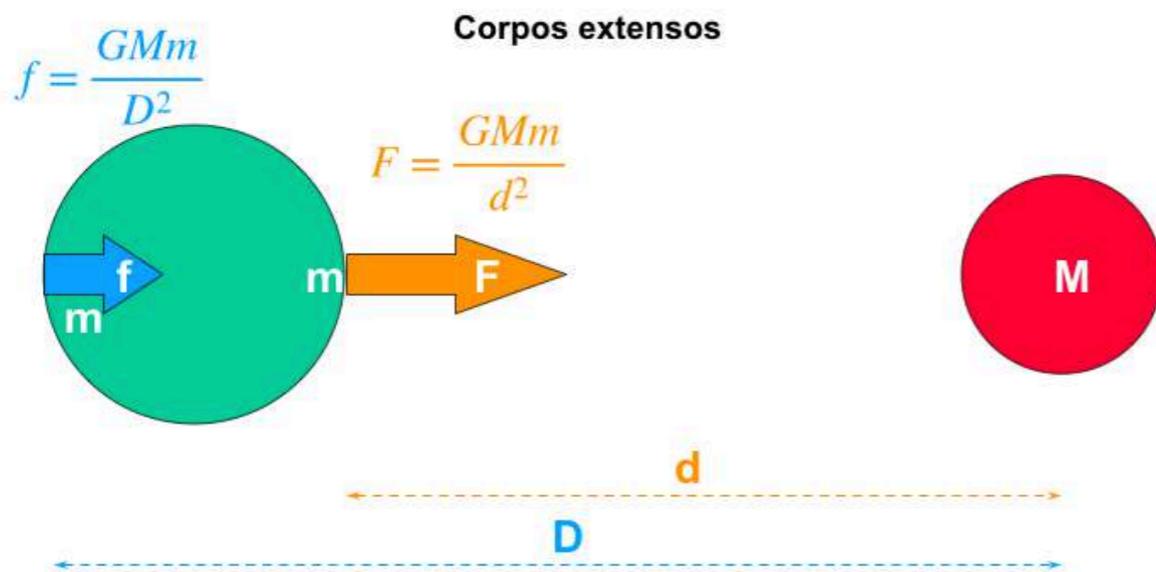
Causa da precessão

Forças de maré:

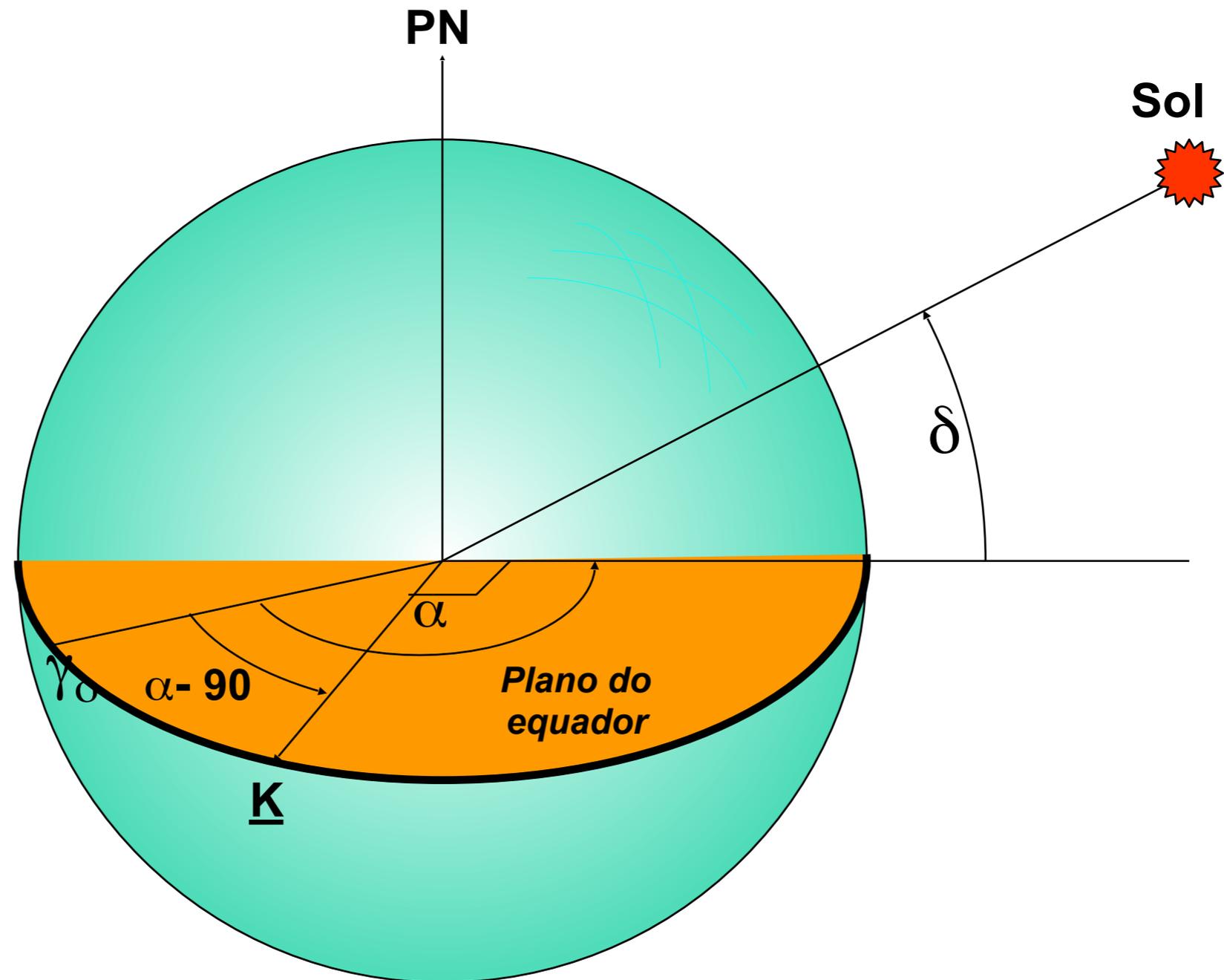
forças gravitacionais diferenciais causadas principalmente pela Lua e pelo Sol

vide Av14

Atração gravitacional da Lua sobre a Terra



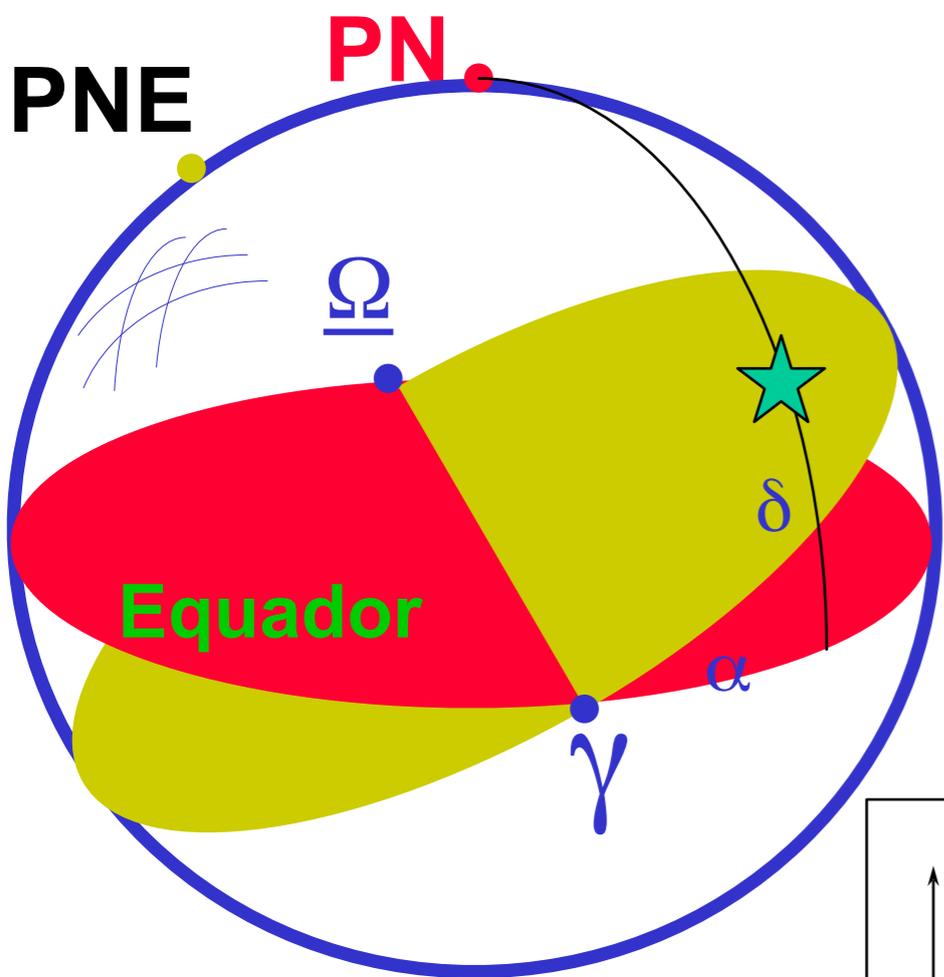
Torques agentes na Terra



\underline{K} = torque exercido pelo Sol sobre a Terra suposta rígida

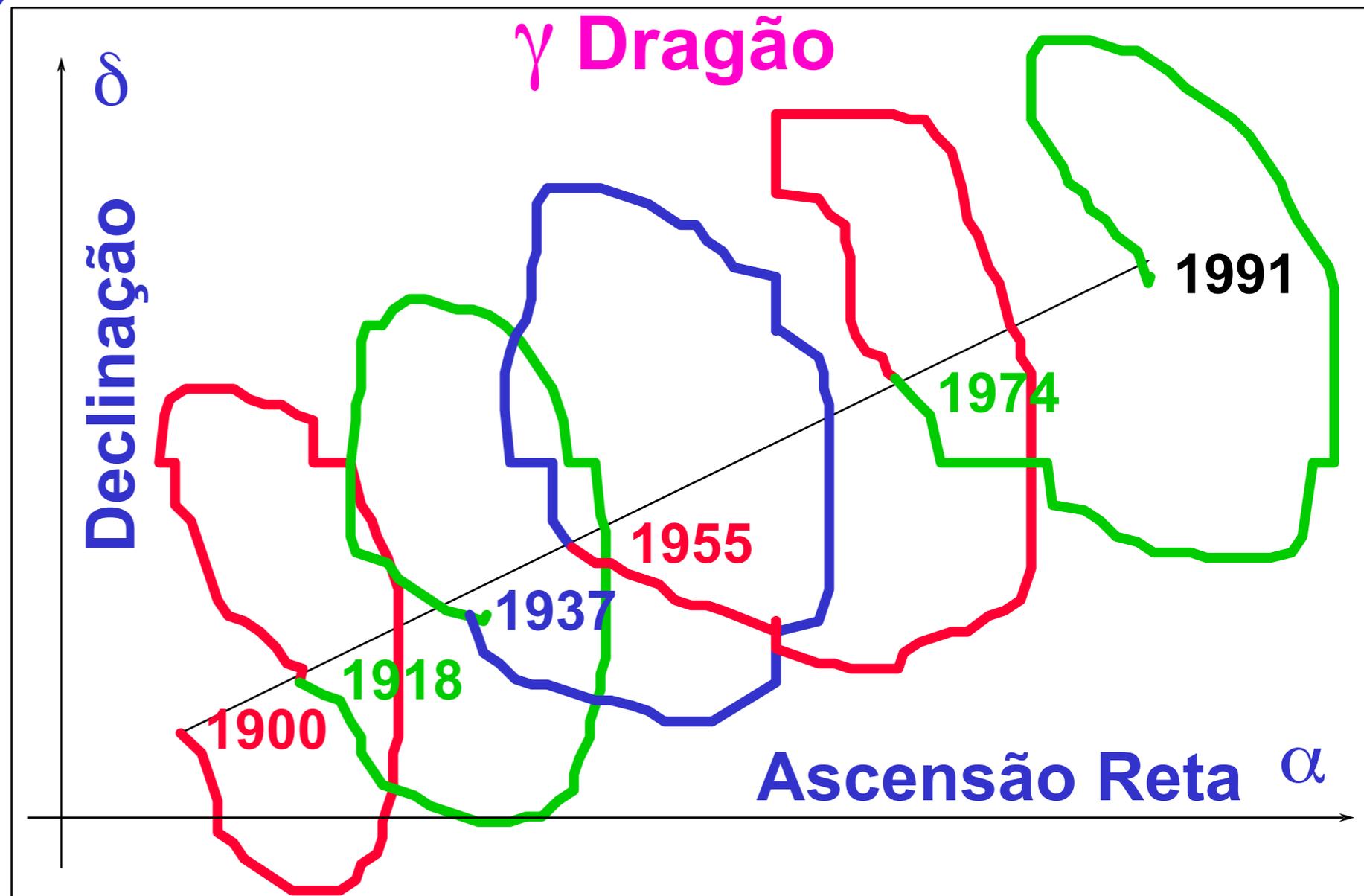
$$K \propto K_0 \cdot \text{sen } 2\delta$$

Nutação



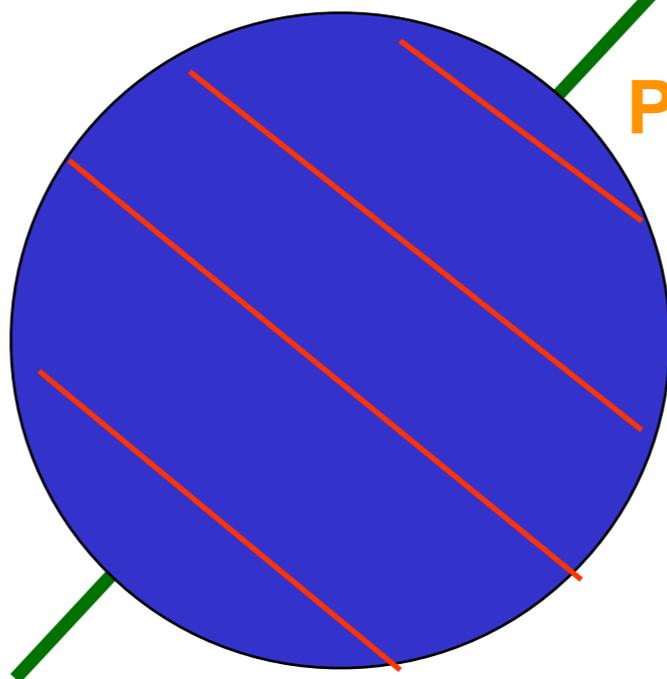
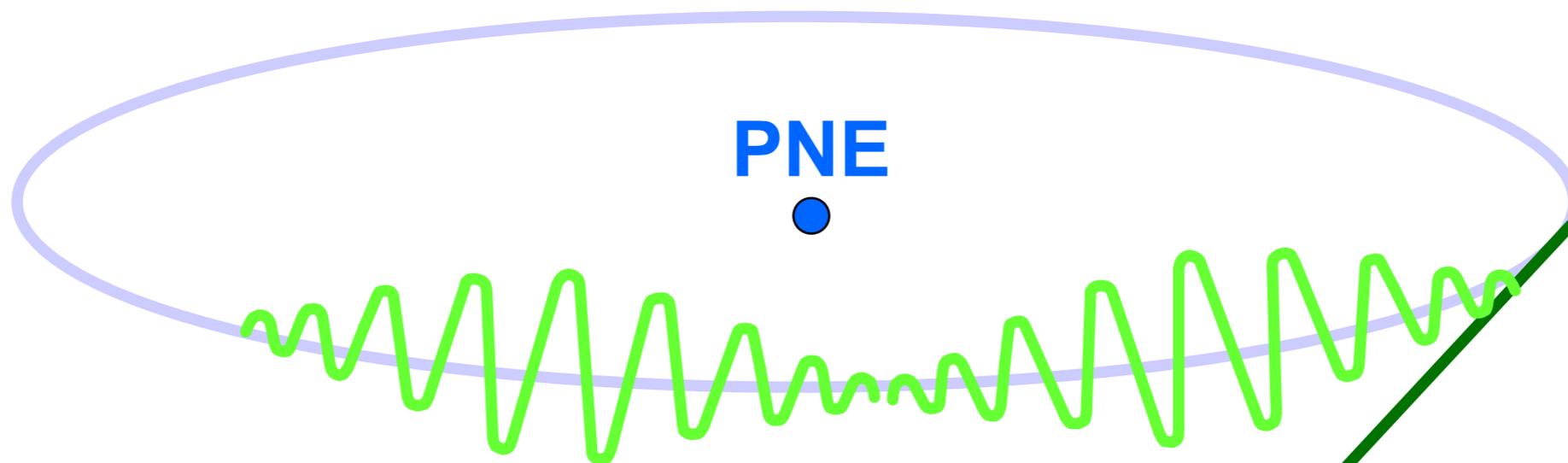
Nutação

(Bradley, 1748)



$T_{\text{principal}} = 18,6 \text{ anos}$

Nutação



PN

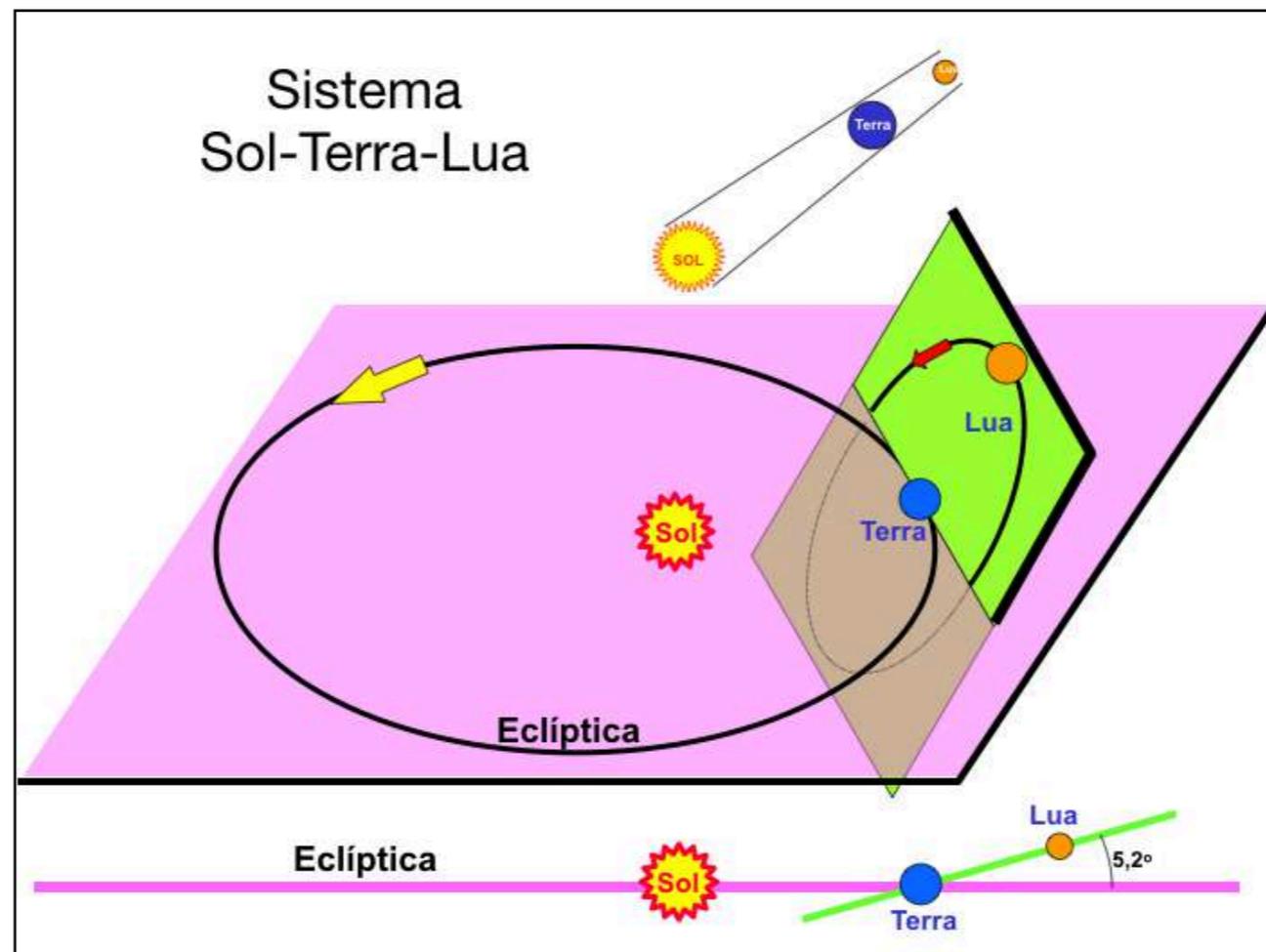
Nutação

É a flutuação dos planos de referência em torno de um plano médio.

Costuma-se dizer que a nutação é a parte oscilatória de pequeno período.

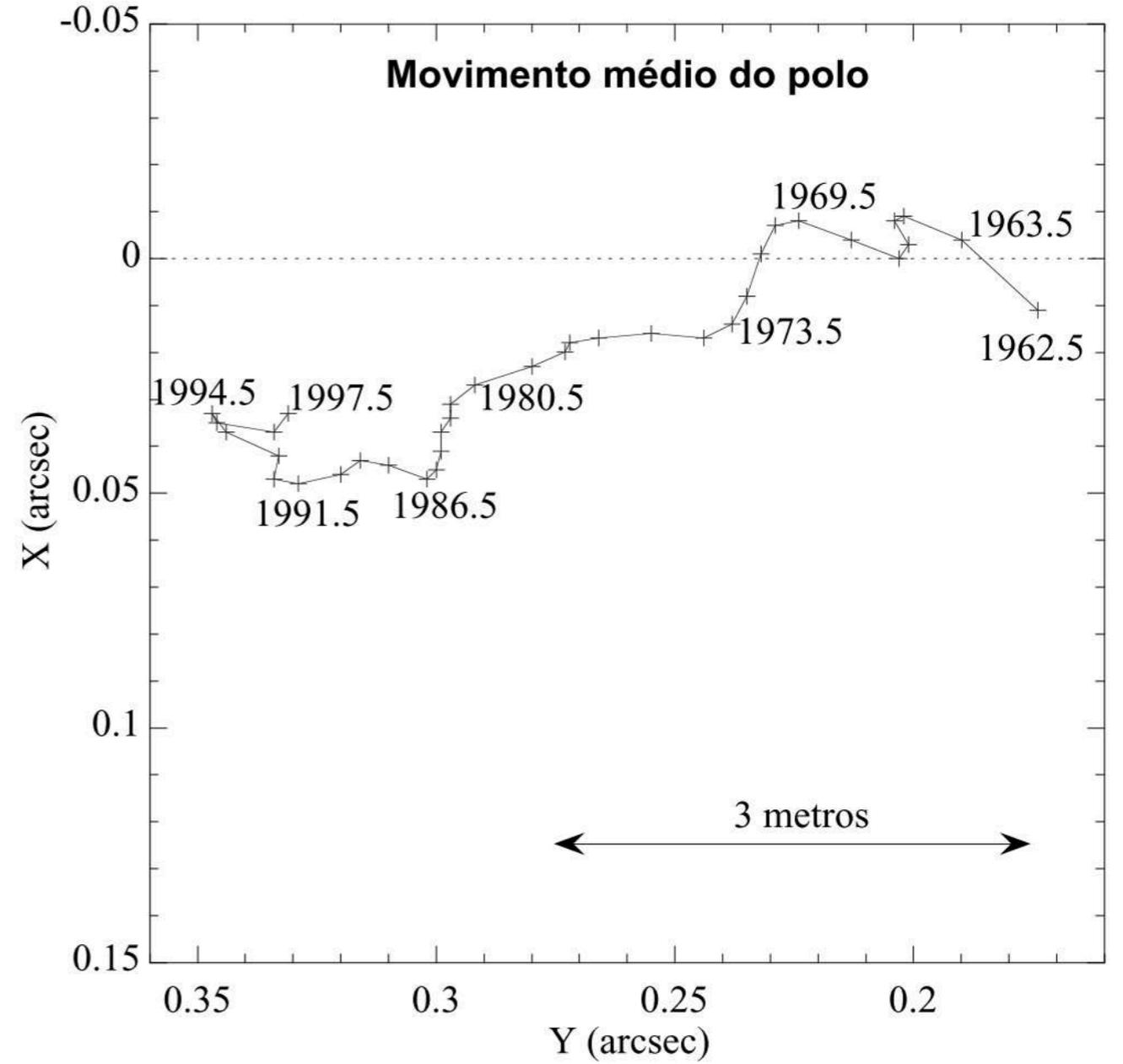
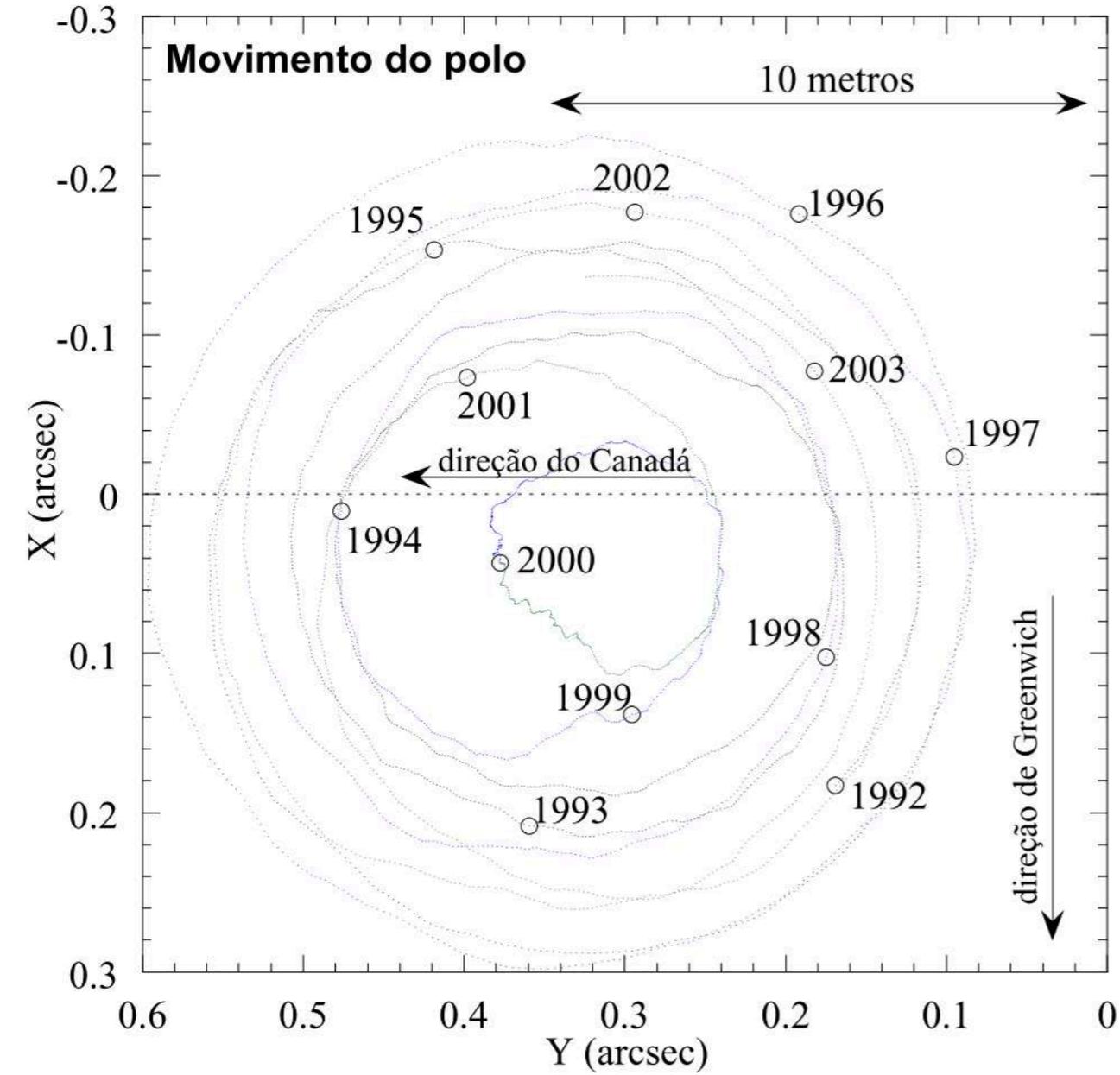
- Movimento oscilatório do eixo de rotação da Terra;
- Componente de pequeno período da precessão;
- Amplitude de 18" e período de 18.6 anos;
- A Terra realiza mais de 1300 ciclos de nutação durante um período.

- Como a Lua e o Sol movem-se abaixo e acima do plano equatorial da Terra, há variações periódicas nos torques induzidos em nosso planeta;
- Isso faz o que o eixo de rotação “bamboleie”.



Movimento do polo

- A Terra não é uma esfera perfeita;
- Uma implicação direta deste fato é que a direção do eixo de rotação não é exatamente a mesma que o eixo de simetria da Terra;
- Diferente da precessão e nutação, este fenômeno não depende da ação dos outros astros e é intrínseco à Terra;
- O movimento dos polos só foi medido em 1891;
- A distância entre o polo definido pelo eixo de rotação instantâneo e o eixo de simetria nunca é superior a **20 metros** (ou alguns décimos de segundo de arco);
- A correção do movimento do polo é muito pequena, mas é feita para corrigir o tempo universal, resultando no tempo UT1.



continua...

