

Astronomia de Posição

2º semestre - 2022

Aula_18 – 04/12/2022

A large, glowing wireframe sphere is centered on the slide. Inside the sphere, a bright, glowing galaxy is visible, representing the Milky Way. The sphere is composed of a dense network of thin, light-colored lines that form a grid-like structure. The galaxy is positioned horizontally across the center of the sphere, with its bright core and spiral arms clearly visible. The background is a dark, solid color, making the sphere and galaxy stand out prominently.

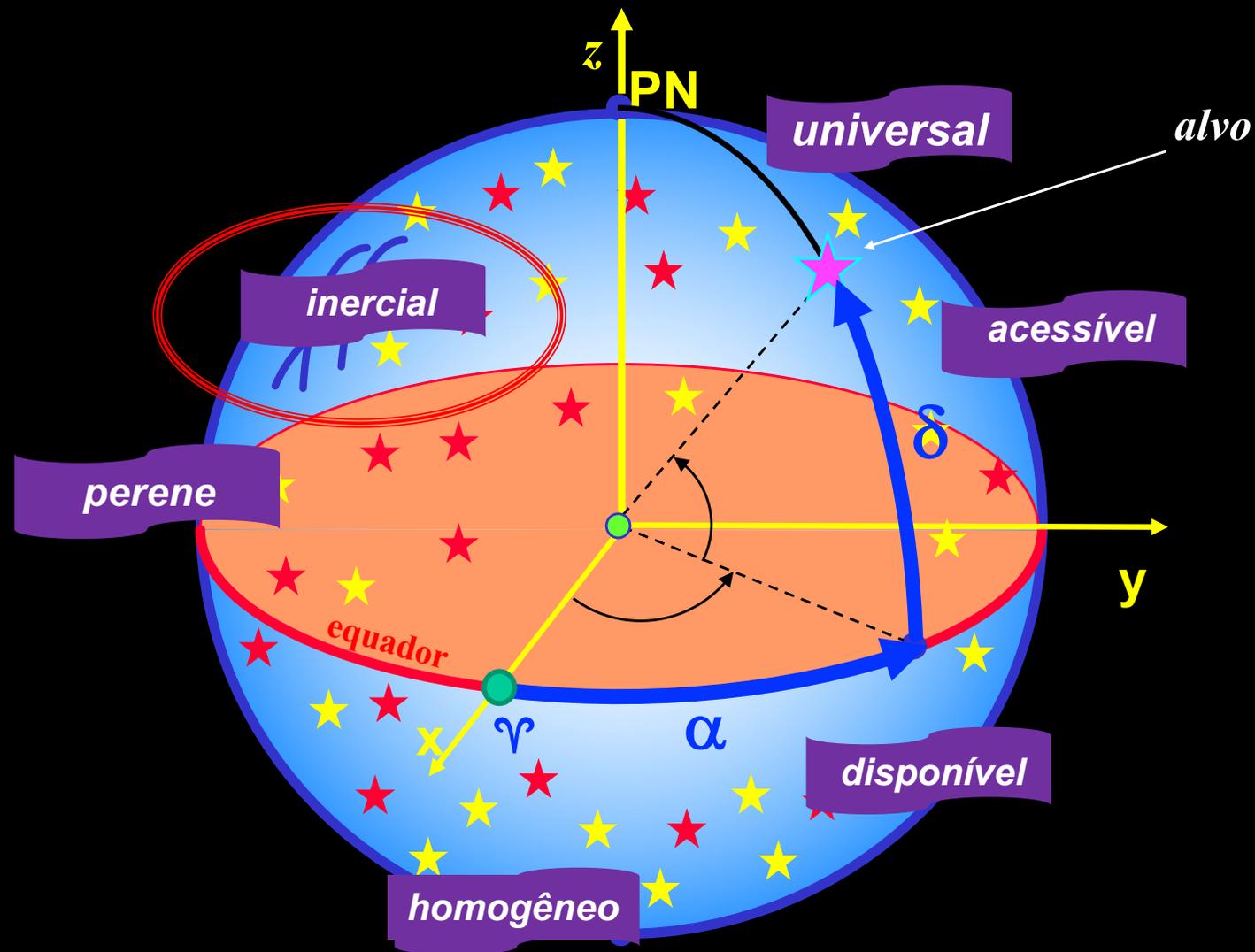
Sistema de Referência

Ramachrisna Teixeira

IAG-USP

rama.teixeira@iag.usp.br

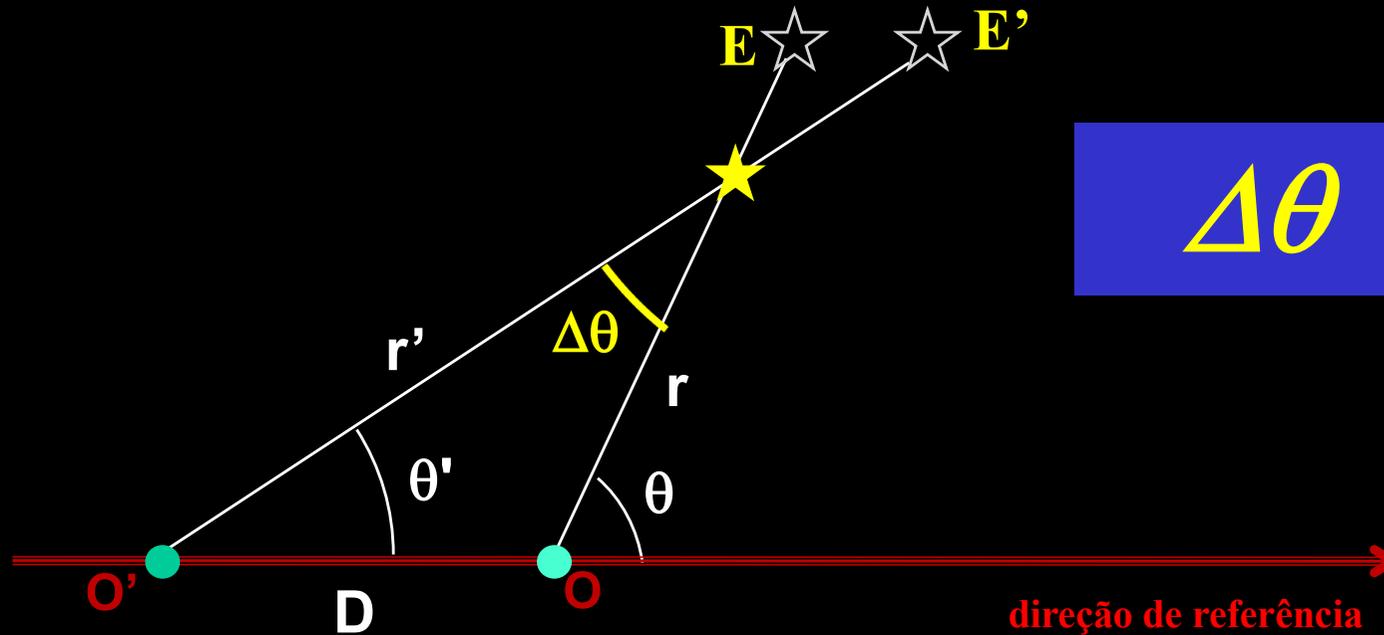
Sistema de Referência Espacial (antes de 1998)



Inercialidade: origem

paralaxe

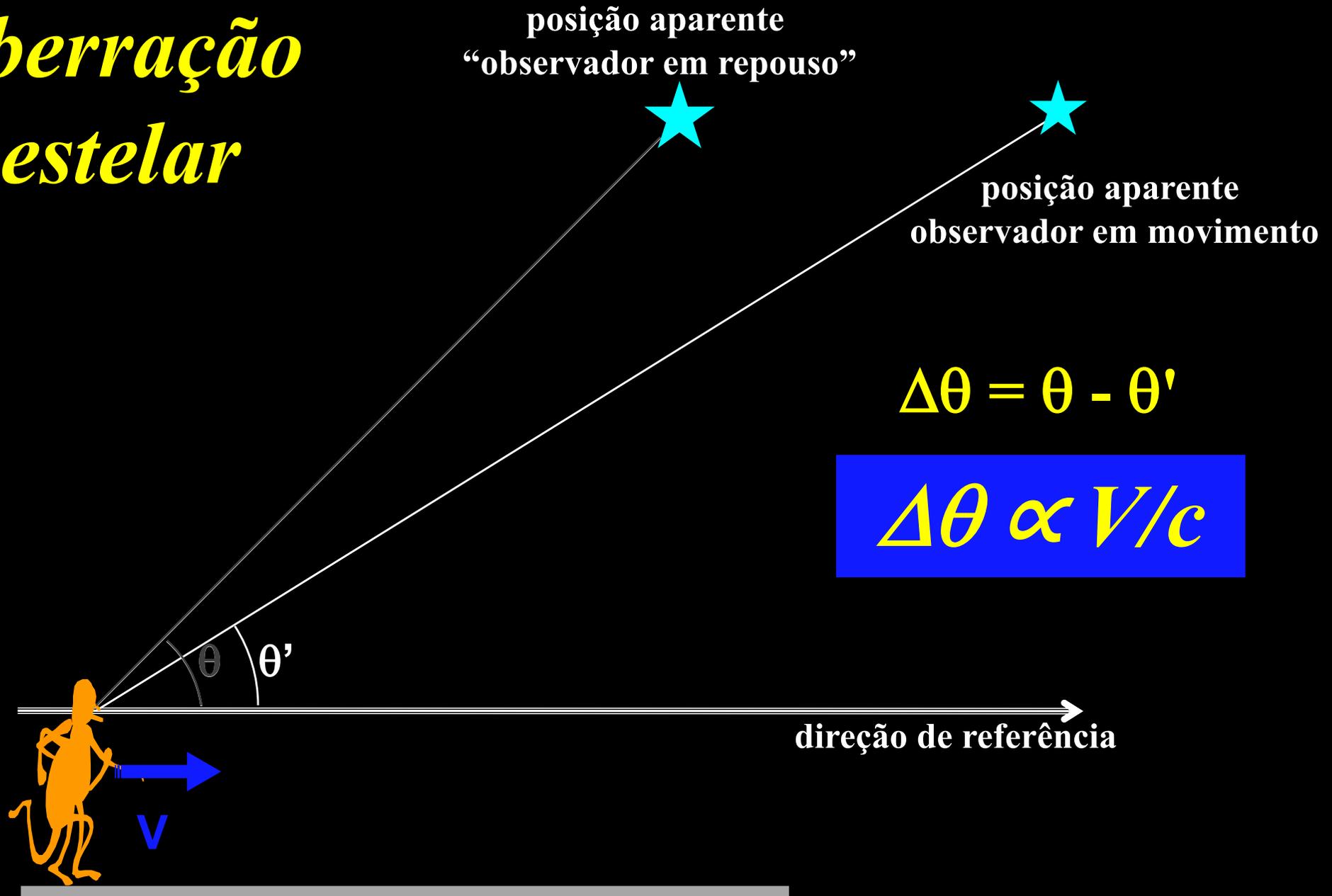
$$\Delta\theta = \theta - \theta'$$



$$\Delta\theta \propto D/r$$

Inercialidade: origem

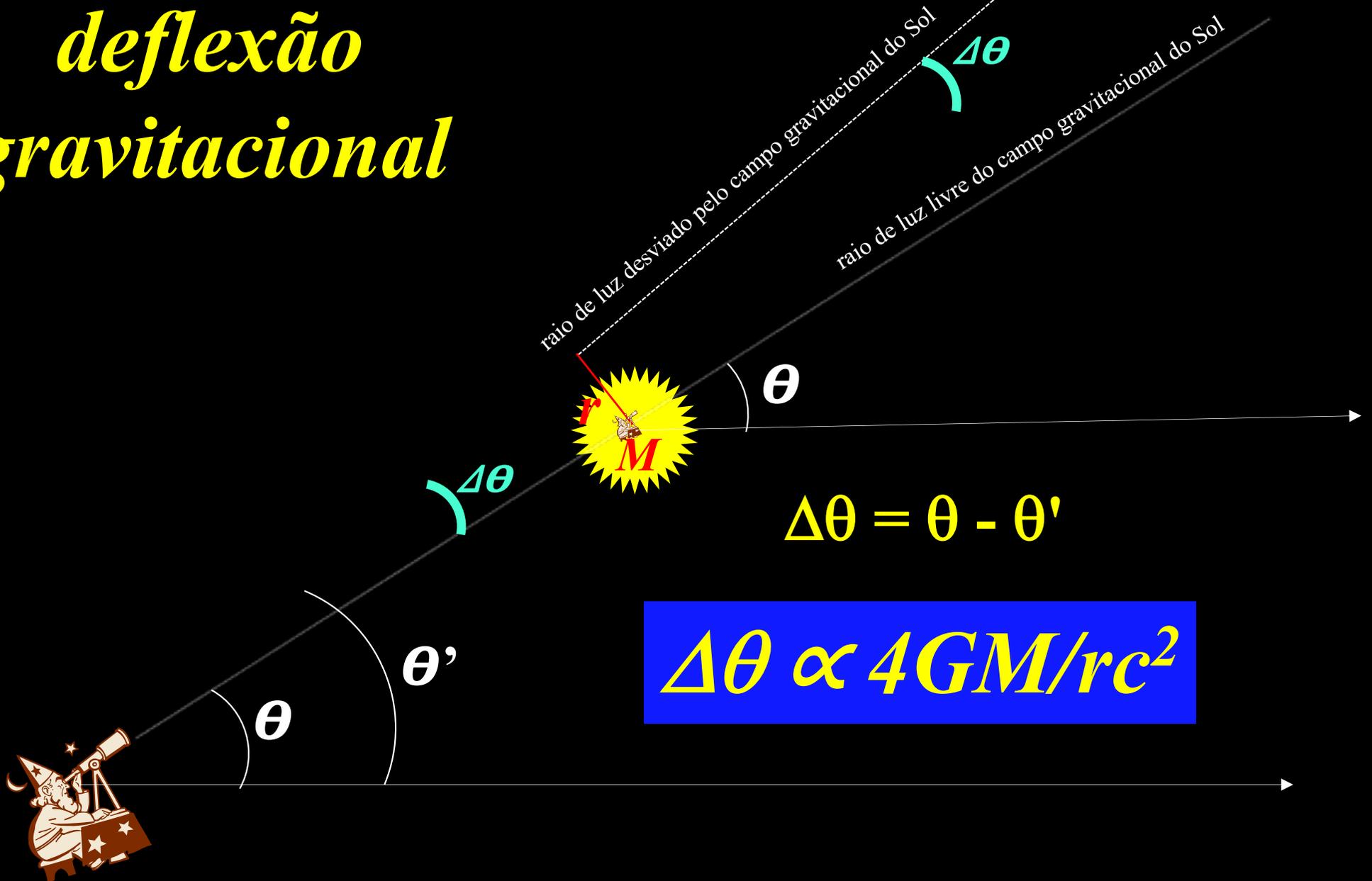
*aberração
estelar*



Adaptado de R. Boczko

Inercialidade: origem

*deflexão
gravitacional*



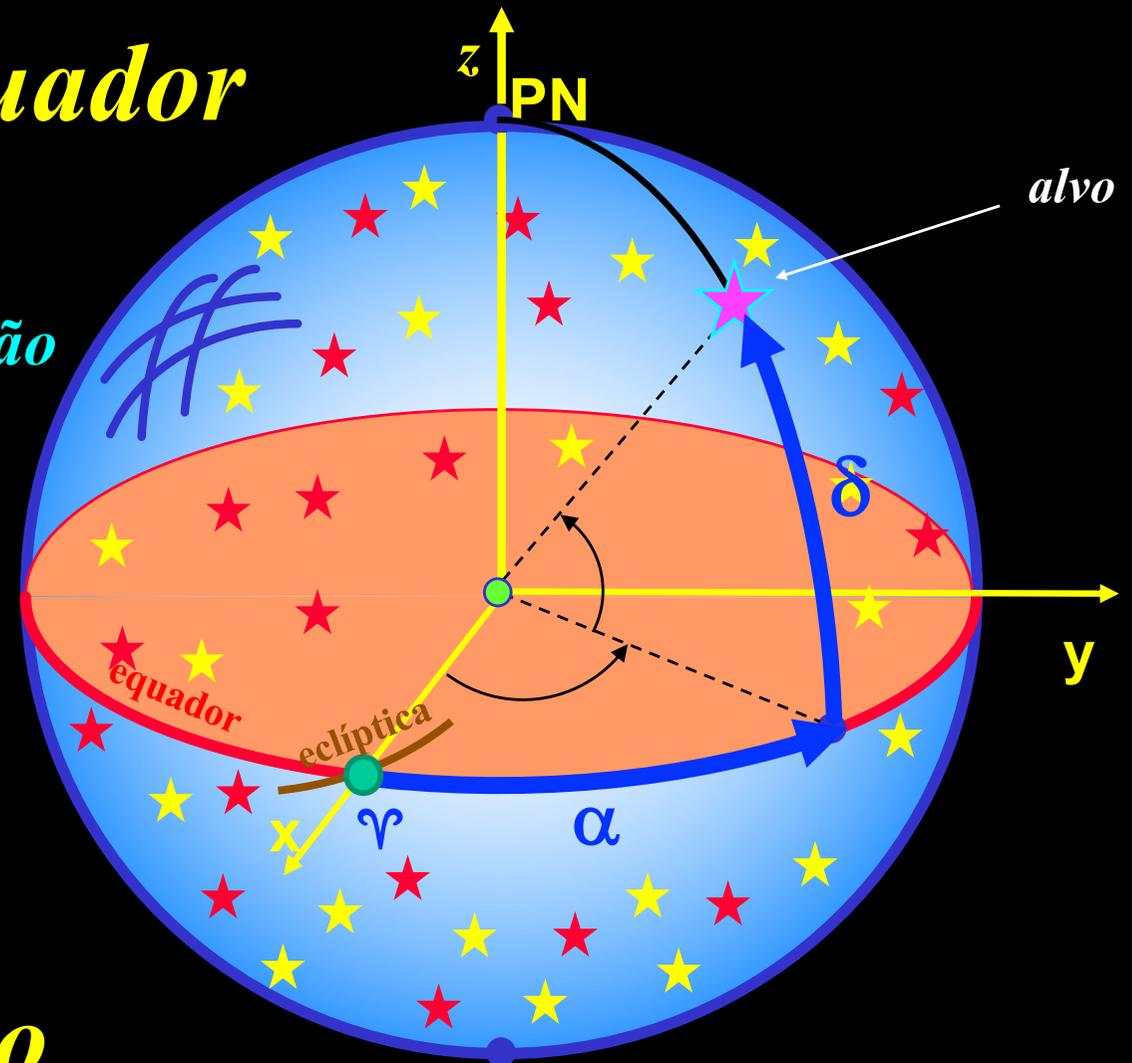
Inercialidade: planos fundamentais

*movimentos do equador
e da eclíptica*

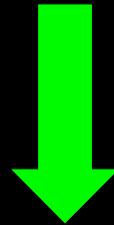
*precessão luni-solar/nutação
e precessão planetária*



*deslocamento do
polo e do equinócio*



*Inercialidade:
planos fundamentais
solução*



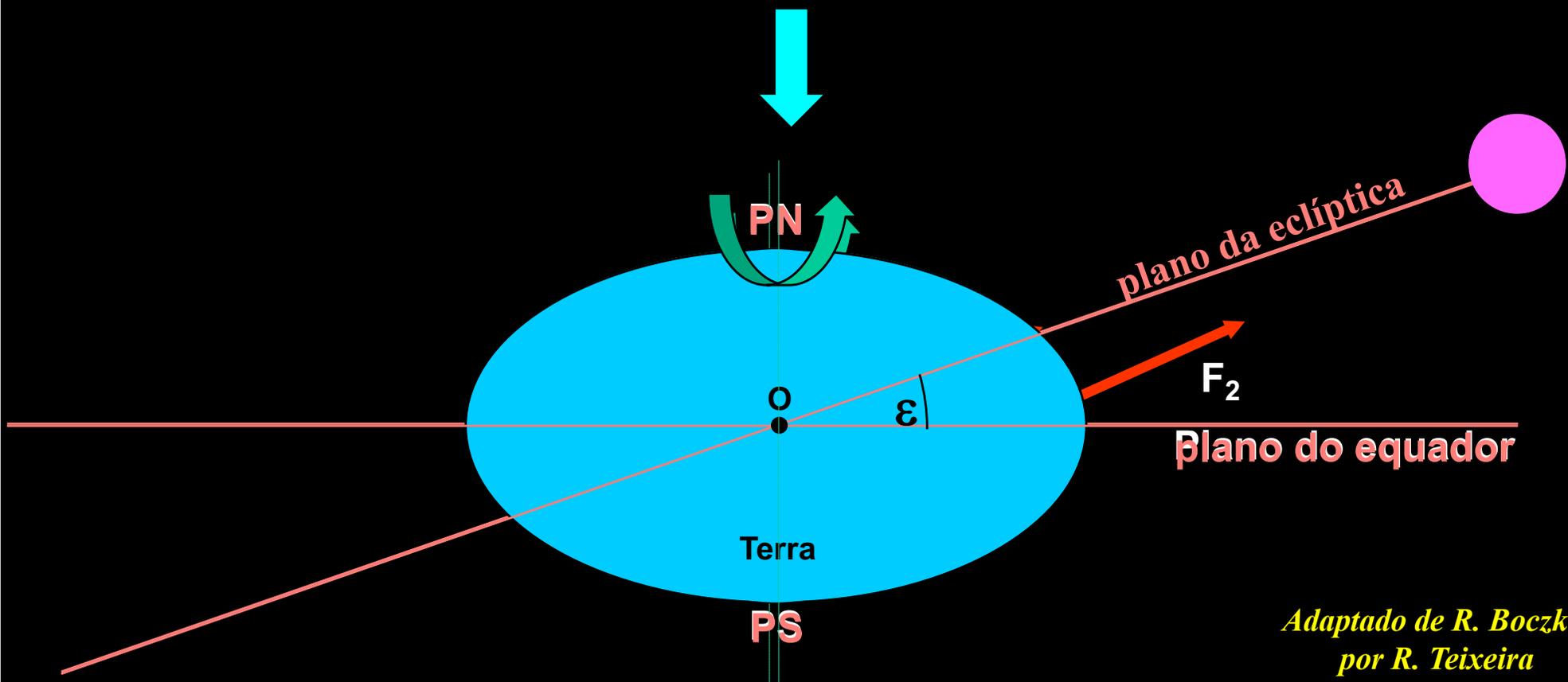
*referencial convencional fixo
para um instante t_0*

$t_0 = 12:00$ de 01 janeiro/2000 = J2000.0

referencial móvel no instante t da observação

Inercialidade: planos fundamentais

**interação gravitacional
Terra bojuda x corpos do SS**



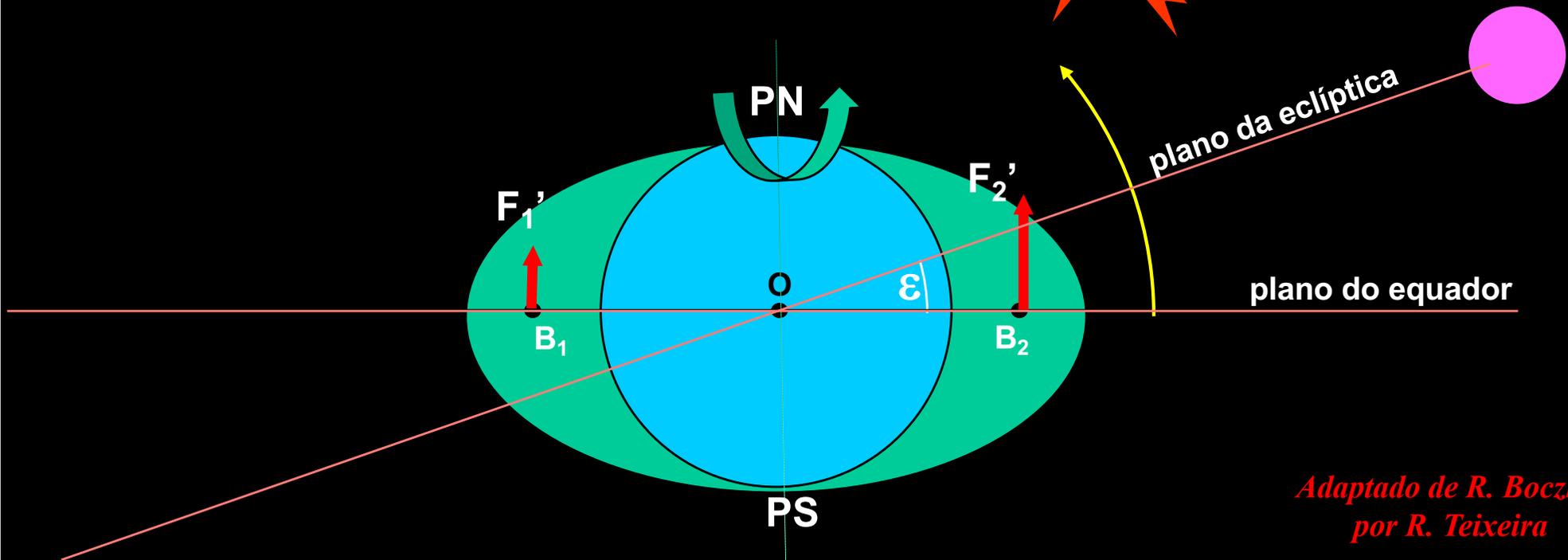
*Adaptado de R. Boczko
por R. Teixeira*

Inercialidade: planos fundamentais

torque tende a girar o plano do equador
em direção ao plano da eclíptica

torques

Lua $\sim 2,2 \times$ Sol $\sim 10^5 \times$ planetas



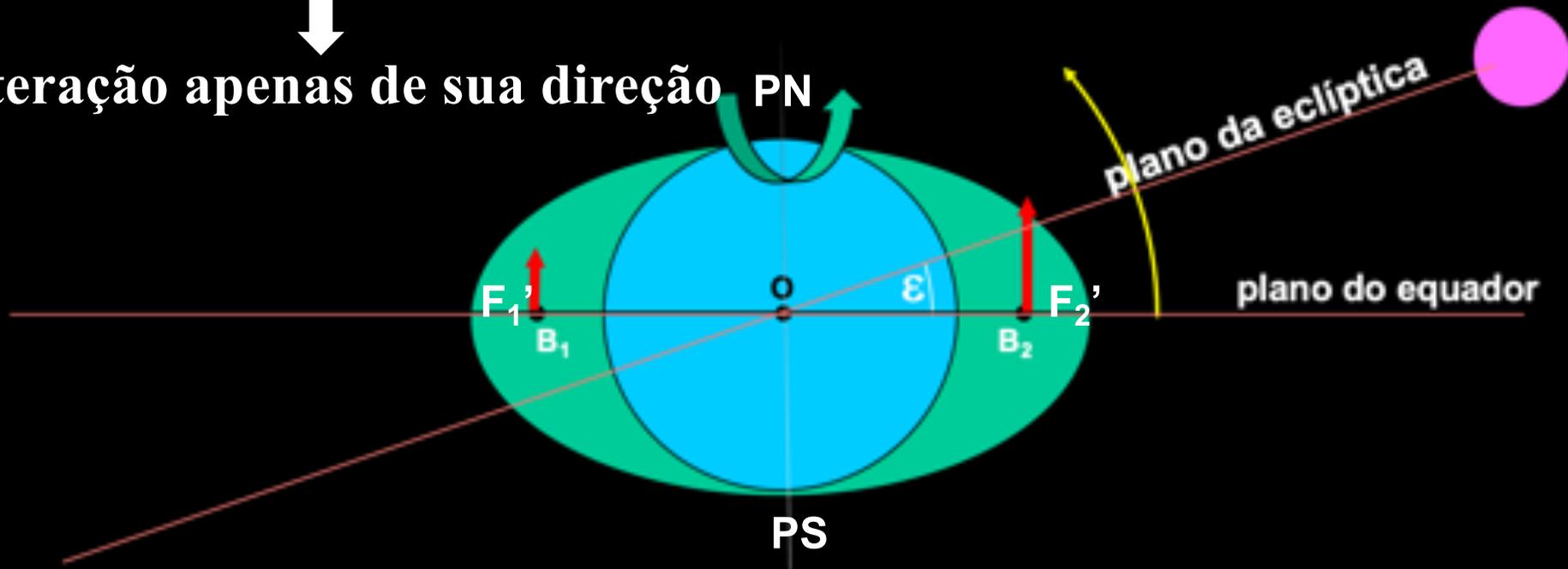
*Adaptado de R. Boczko
por R. Teixeira*

Inercialidade: planos fundamentais

torque perpendicular ao
momento angular da rotação

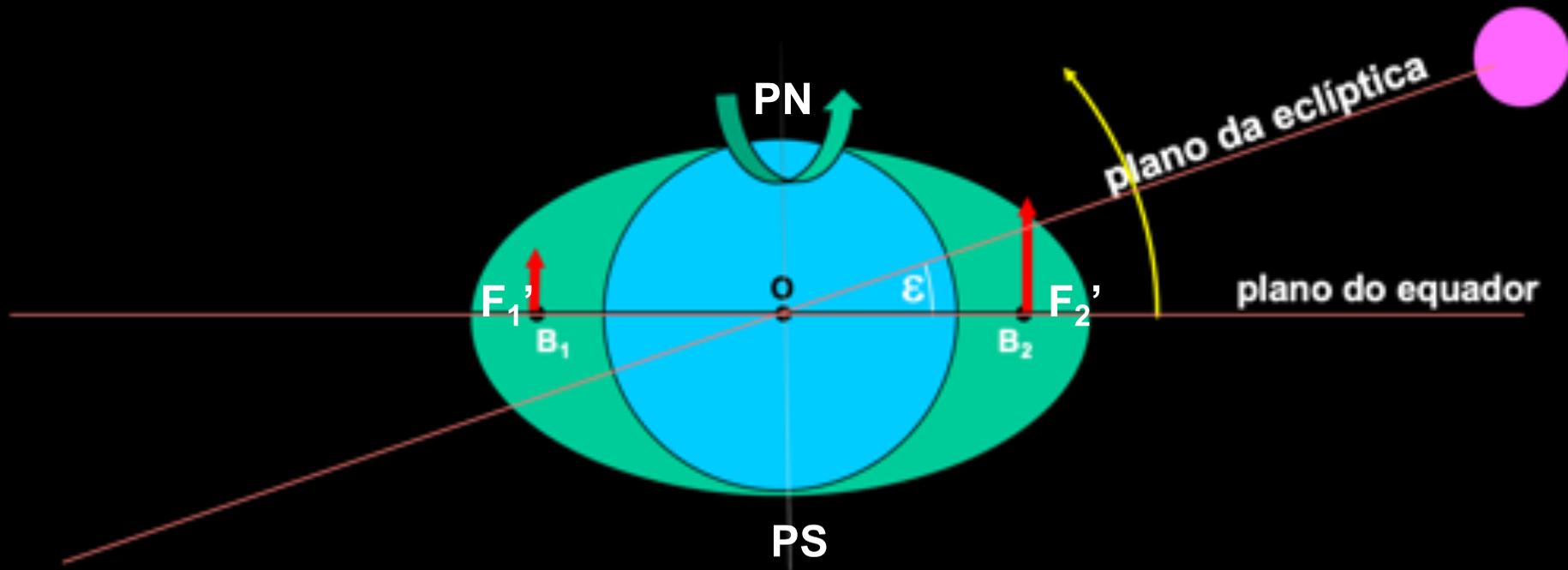


alteração apenas de sua direção PN



**deslocamento do eixo de rotação e
portanto, dos polos, equador e equinócios**

Inercialidade: planos fundamentais



componente secular → precessão luni-solar
componentes periódicas → nutação

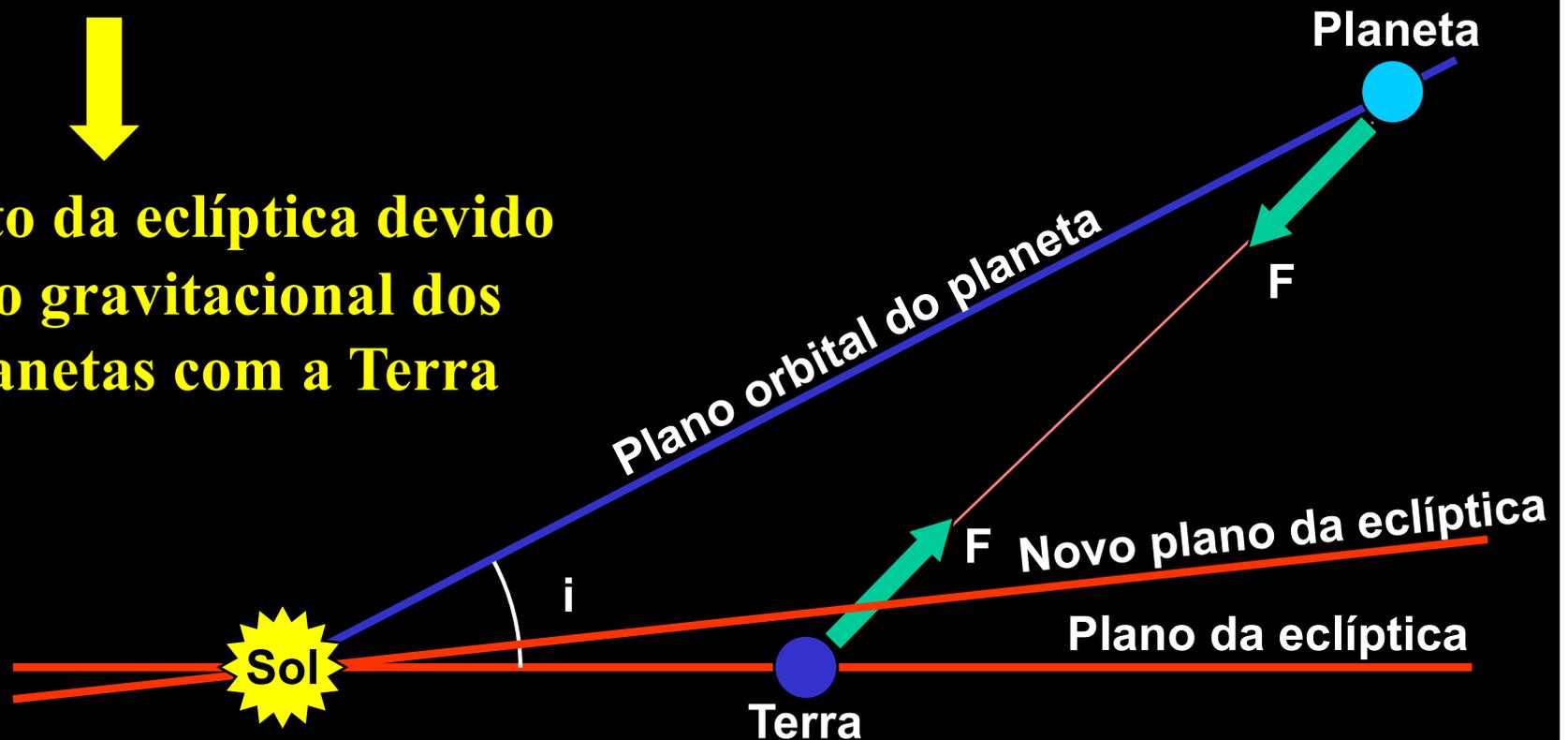
*Adaptado de R. Boczko
por R. Teixeira*

Inercialidade: planos fundamentais

Precessão Planetária



**deslocamento da eclíptica devido
à interação gravitacional dos
demais planetas com a Terra**



Variação da longitude $\lambda' \cong 0.10''/\text{ano}$

Variação da obliquidade $\pi \cong 0.50''/\text{ano}$

*Adaptado de R. Boczko
por R. Teixeira*

Inercialidade: planos fundamentais

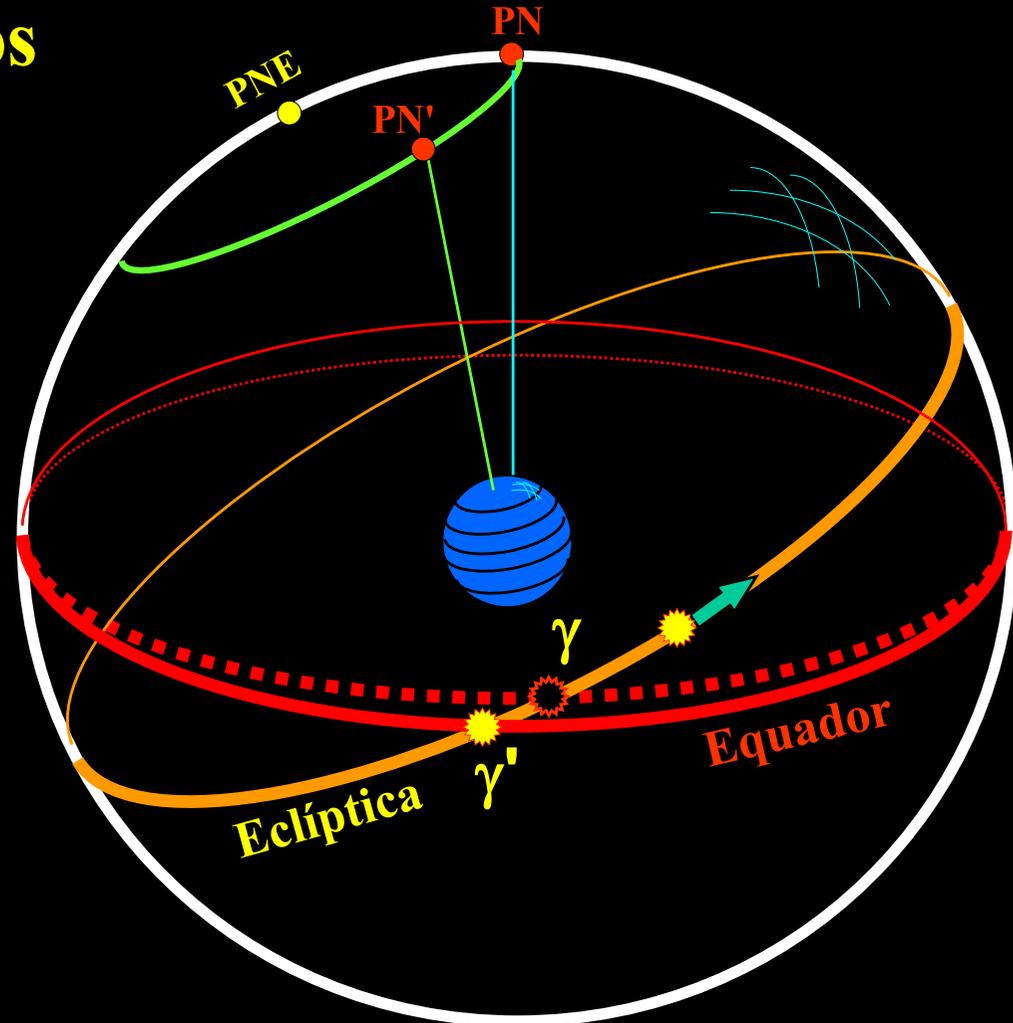
Precessão dos equinócios (luni-solar)



$$\psi = \Delta\lambda \cong 50''/\text{ano}$$

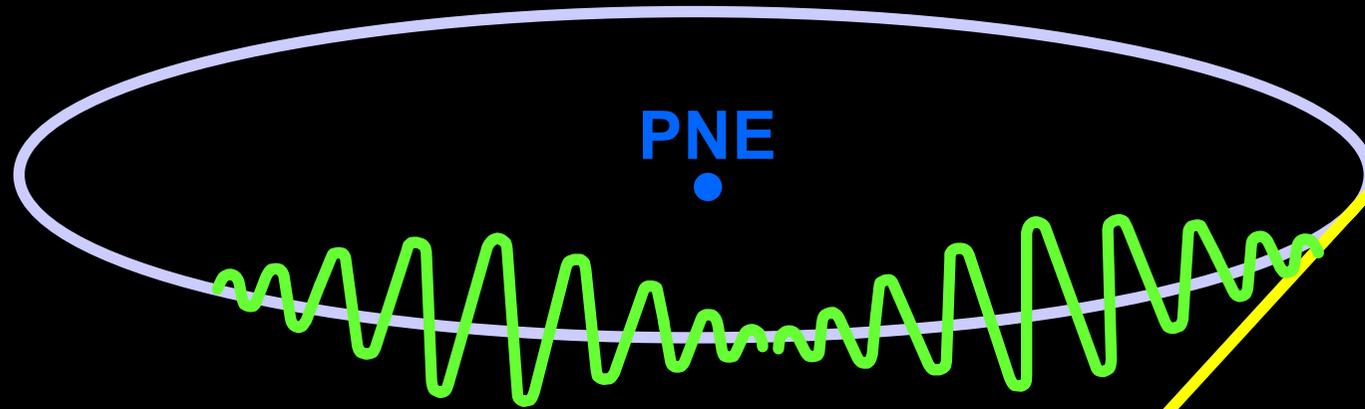
λ , α , δ variam

β e ε constantes

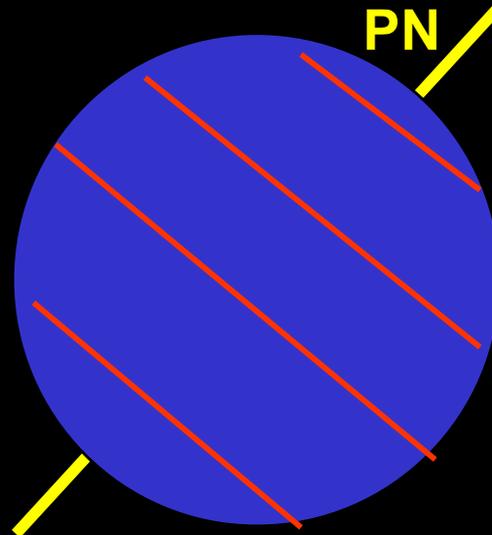


*Adaptado de R. Boczko
por R. Teixeira*

Nutação



oscilação dos planos de referênciã em torno de um plano médio



λ , α e δ variam

$\Delta\epsilon$ = nutação em obliquidade

$\Delta\psi$ = nutação em longitude

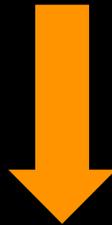
termo principal da nutação

$T \cong 18$ anos

$\Delta\psi \cong 9''$ $\Delta\epsilon \cong 7''$

Inercialidade: planos fundamentais

precessão planetária

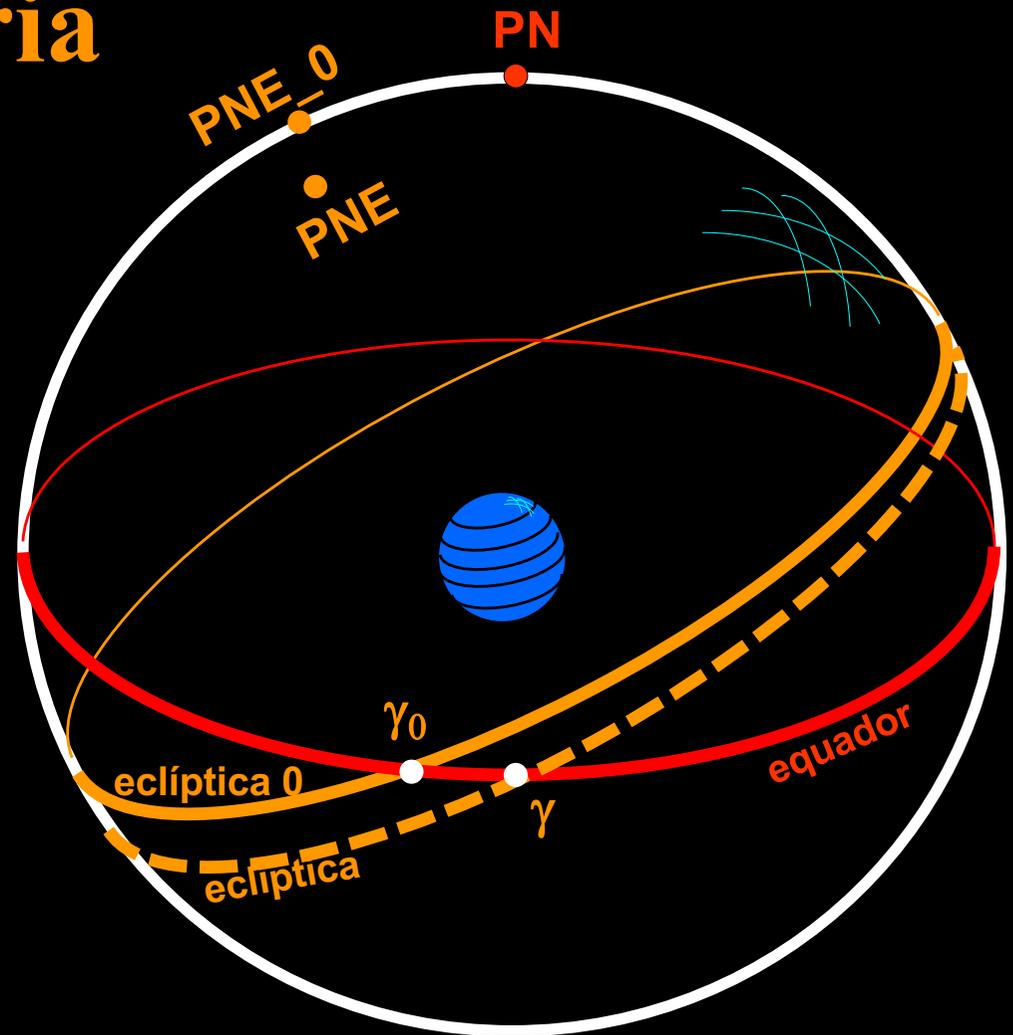


variação em ascensão reta

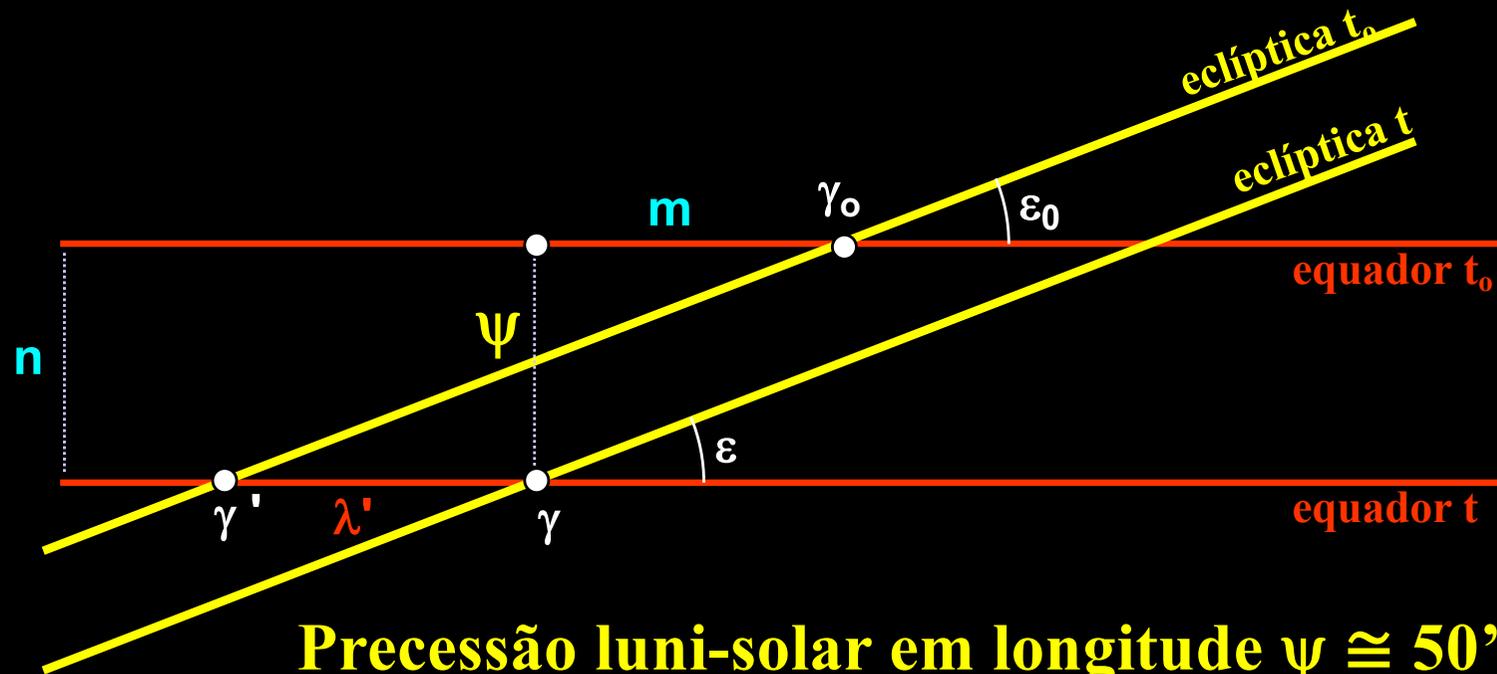
$$\lambda' \cong 0.10''/\text{ano}$$

variação da obliquidade

$$\pi \cong 0.50''/\text{ano}$$



Precessão Geral: representação plana aproximada



Precessão luni-solar em longitude $\psi \cong 50''/\text{ano}$

Precessão planetária em ascensão reta $\lambda' \cong 0.10''/\text{ano}$

Variação da obliquidade $\pi \cong 0.50''/\text{ano}$



precessão geral anual em ascensão reta $m \cong 3,1 \text{ s}/\text{ano}$

precessão geral anual em declinação $n = 20,0''/\text{ano}$

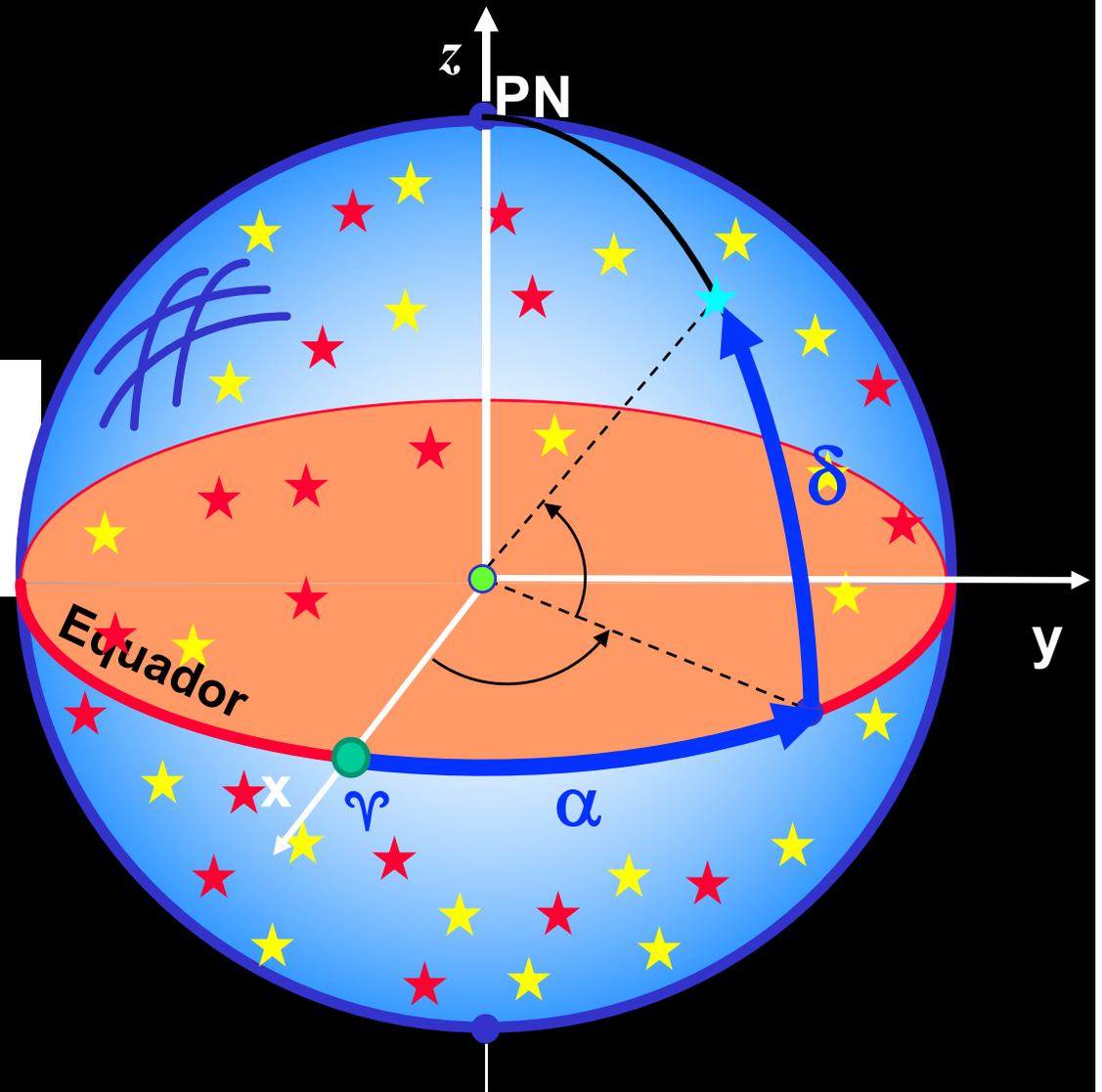
Inercialidade: pontos fiduciais

estrelas

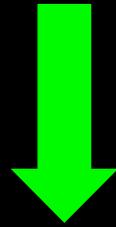


movimentos próprios

μ_α e μ_δ



Inercialidade: pontos fiduciais *solução*



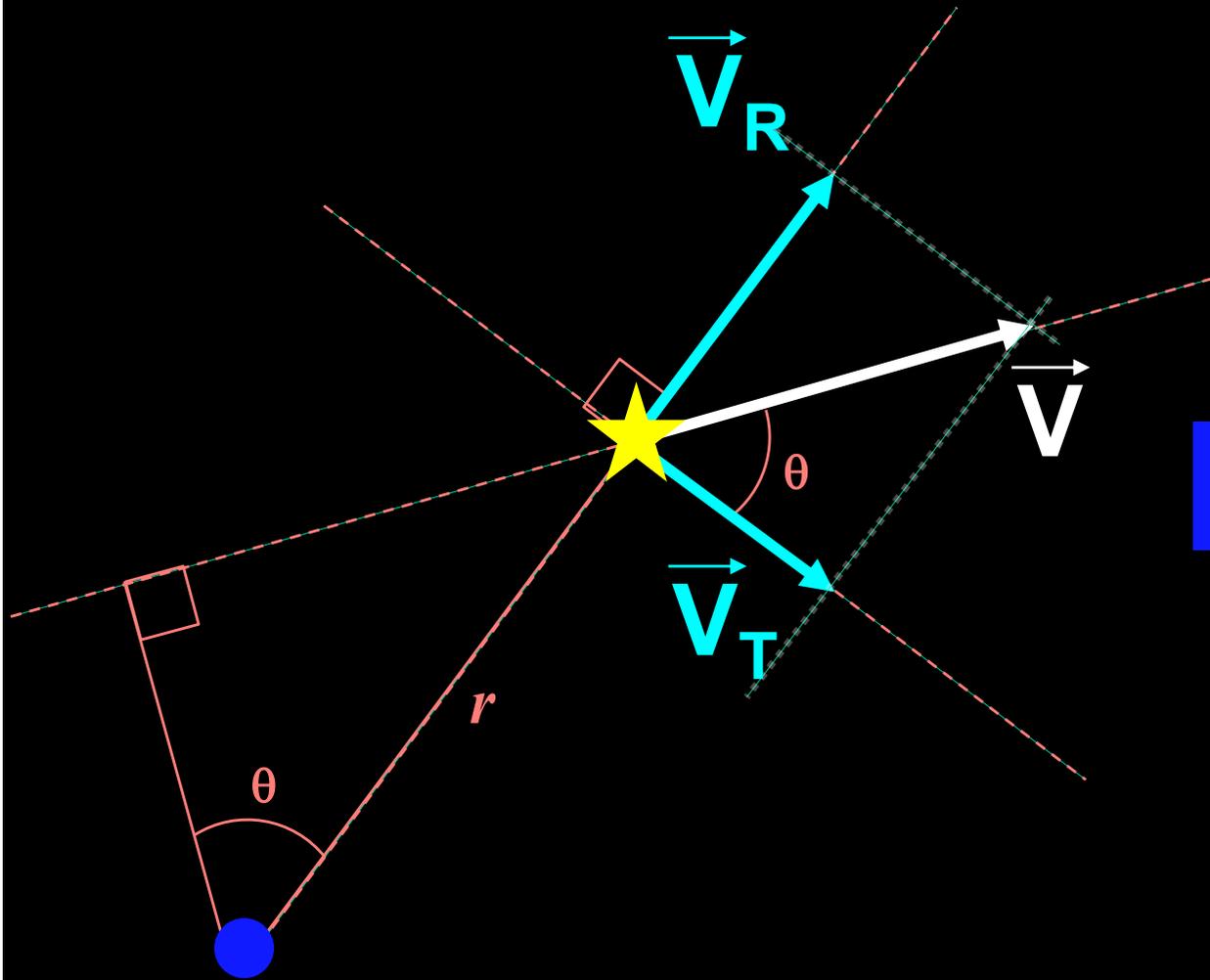
referencial convencional fixo
para um instante t_0

$t_0 = 12:00$ de 01 janeiro/2000 = J2000.0

referencial móvel no instante t
da observação

$$\alpha = \alpha_0 + \mu_\alpha \cdot \Delta t \quad \delta = \delta_0 + \mu_\delta \cdot \Delta t$$

Movimento Próprio e Velocidade Transversal



$$V_R = V \cdot \sin\theta$$

$$V_T = V \cdot \cos\theta$$

$$\mu = d\theta/dt$$



$$V_T = V \cdot \cos\theta = \mu \cdot r$$

$$V \Rightarrow (\text{km/s})$$

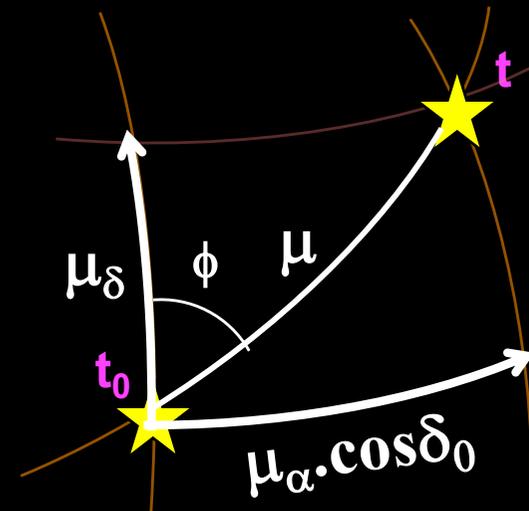
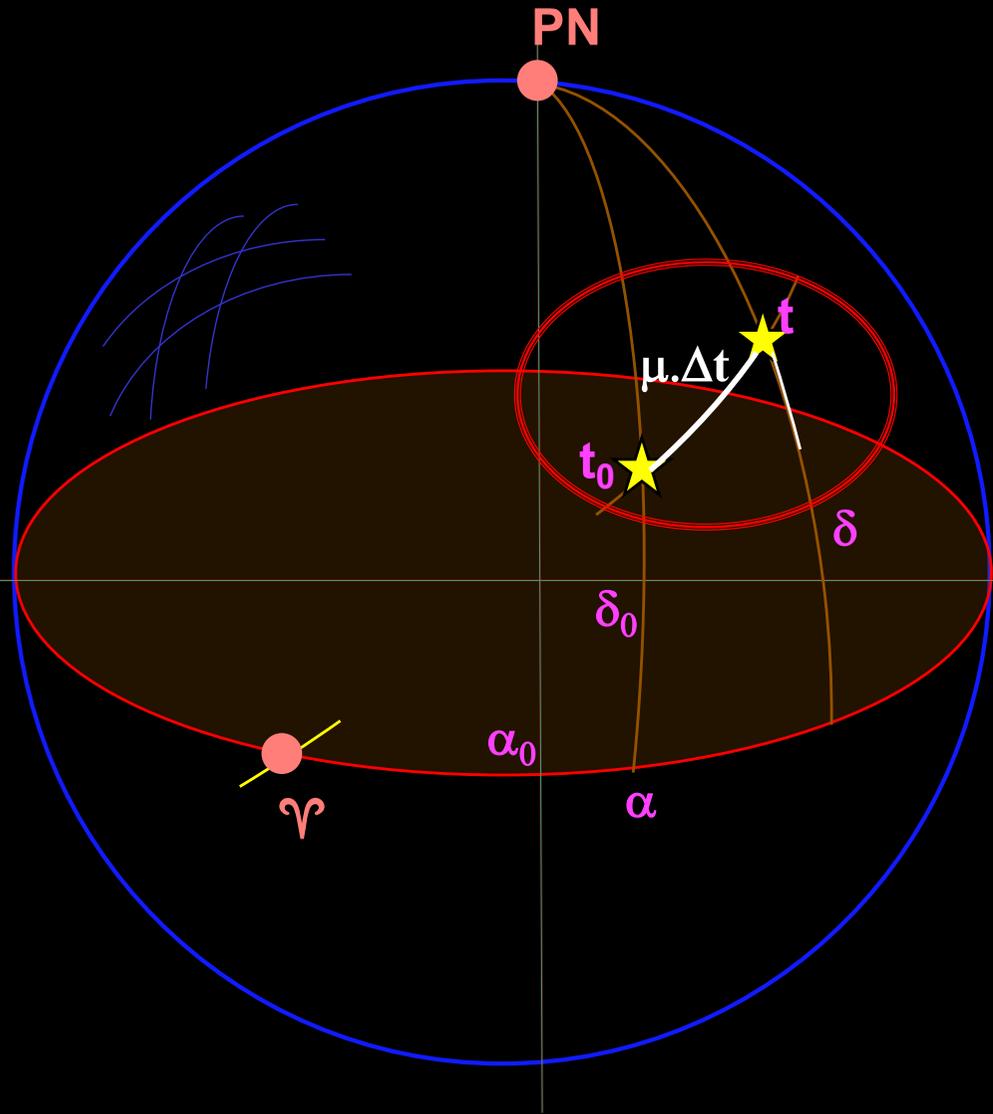
$$r \Rightarrow (\text{pc})$$

$$\mu \Rightarrow (''/\text{ano})$$

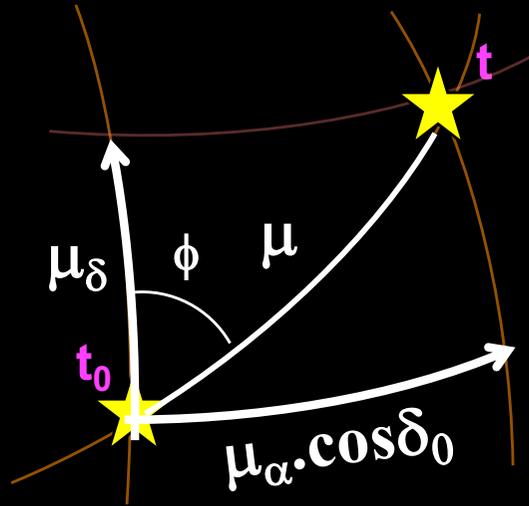
$$V_T = 4,74 \cdot \mu \cdot r$$

Movimento Próprio: componentes

$$\mu_{\alpha} = \Delta\alpha/\Delta t \quad \mu_{\delta} = \Delta\delta/\Delta t$$



Movimento Próprio: módulo e direção



$$\mu^2 = \mu_\alpha^2 \cdot \cos^2 \delta_0 + \mu_\delta^2$$

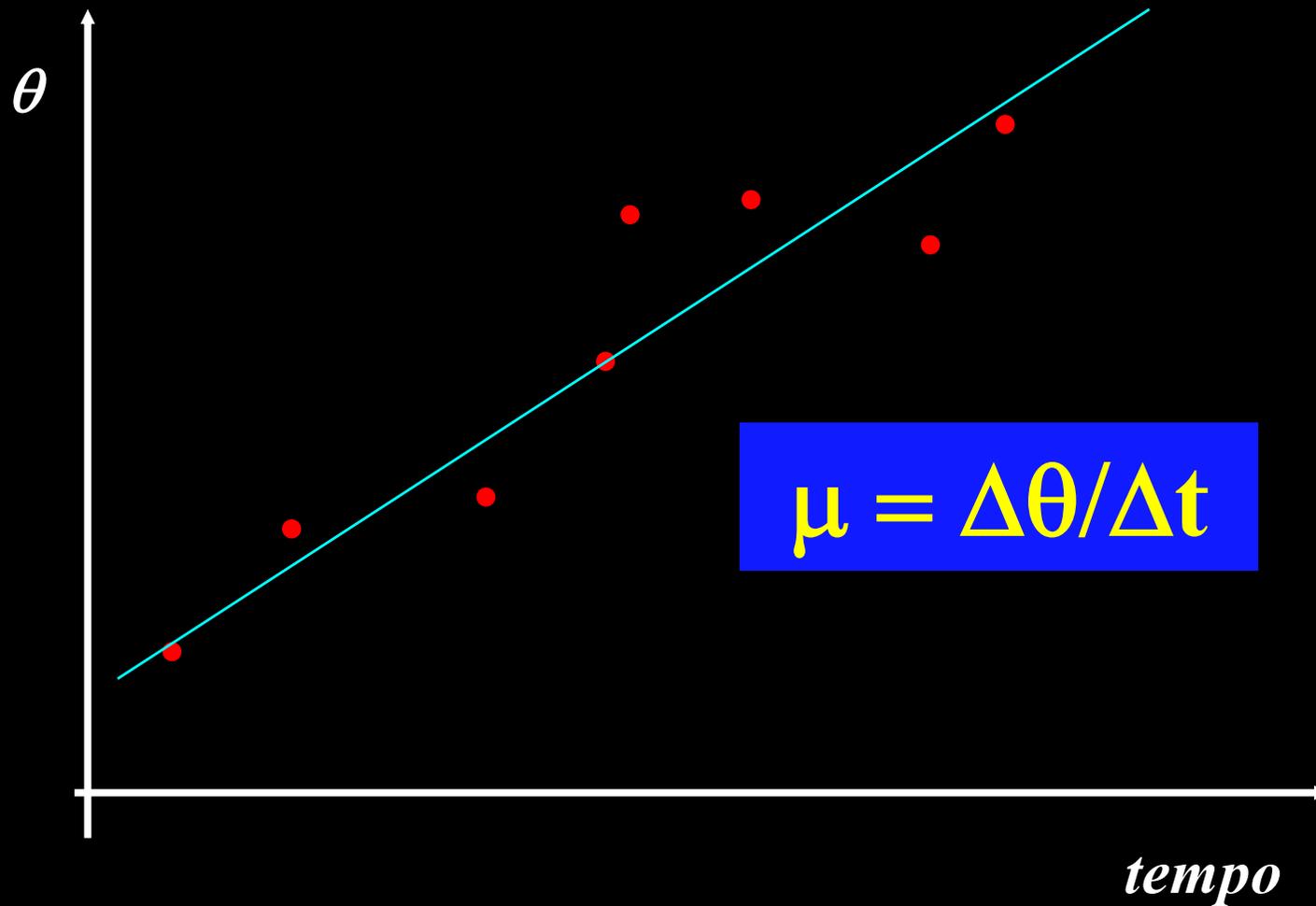
$$\operatorname{tg} \phi = (\mu_\alpha \cdot \cos \delta_0) / \mu_\delta$$

movimentos próprios



posições em quaisquer épocas

Medindo o Movimento Próprio



Inercialidade: pontos fiduciais

estrelas



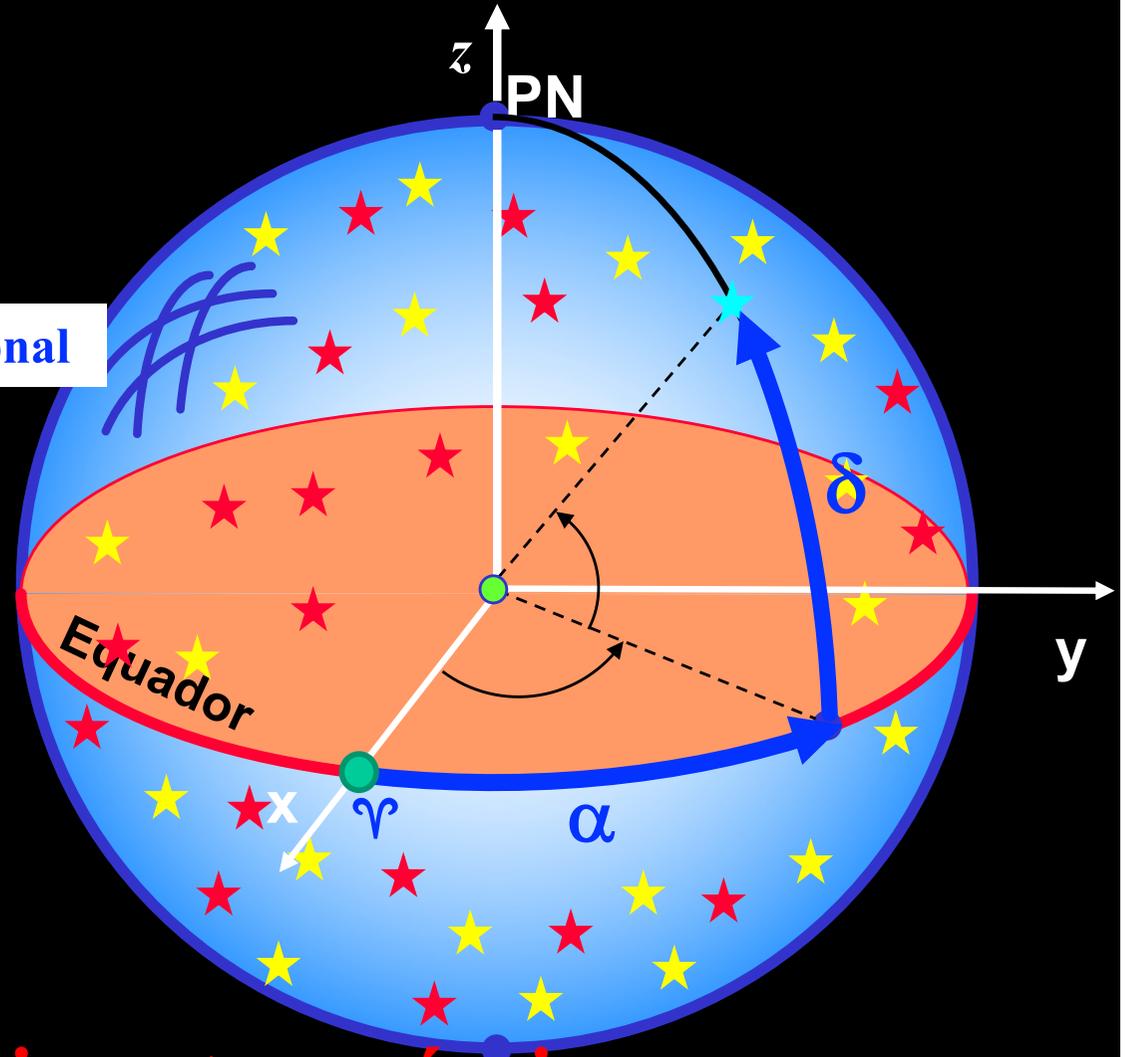
paralaxe, aberração, deflexão gravitacional

movimentos próprios μ_α e μ_δ

instante t_0 de referência

$$\alpha_0 = \alpha - \mu_\alpha \cdot \Delta t$$

$$\delta_0 = \delta - \mu_\delta \cdot \Delta t$$



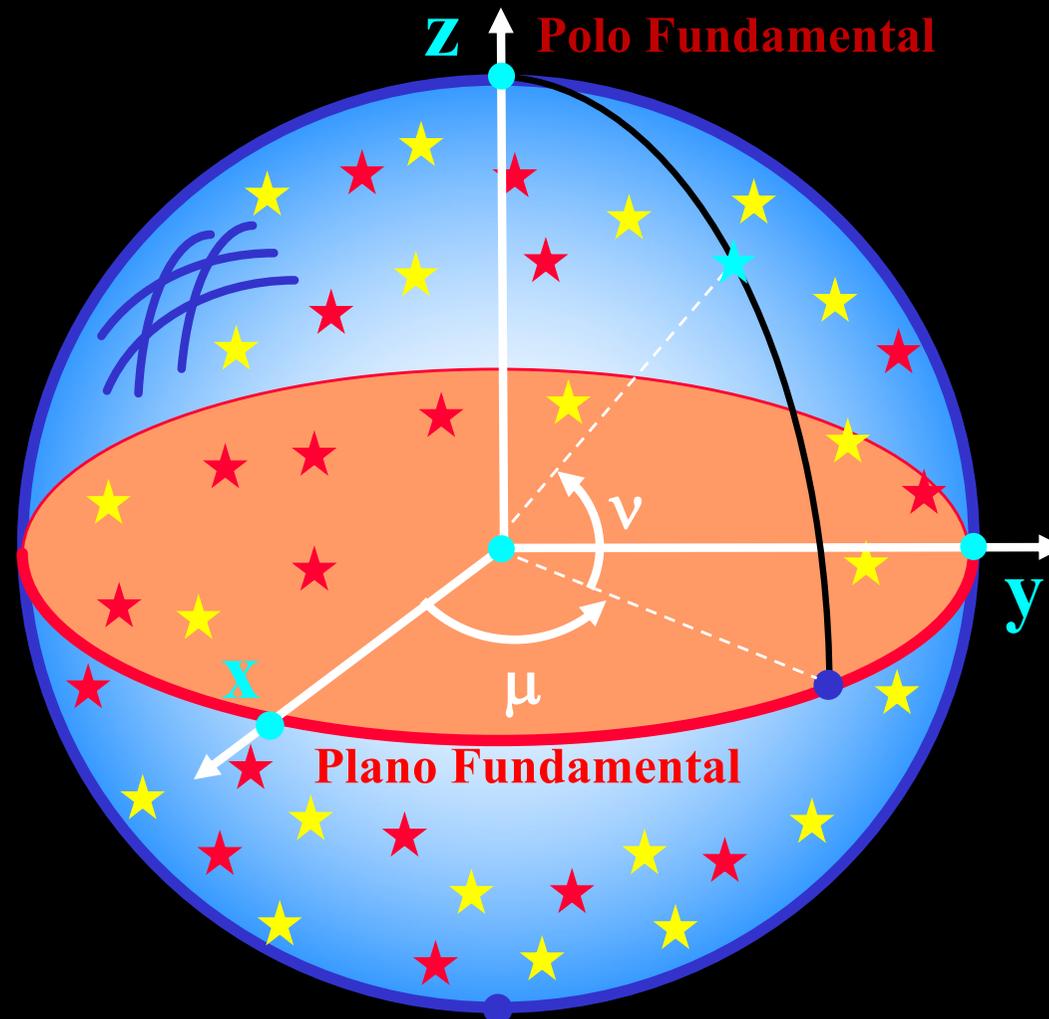
erros nos movimentos próprios



rotação e deterioração do Sistema de Referência

Sistema de Referência Espacial

Passado e Presente



Sistema de Referência Espacial

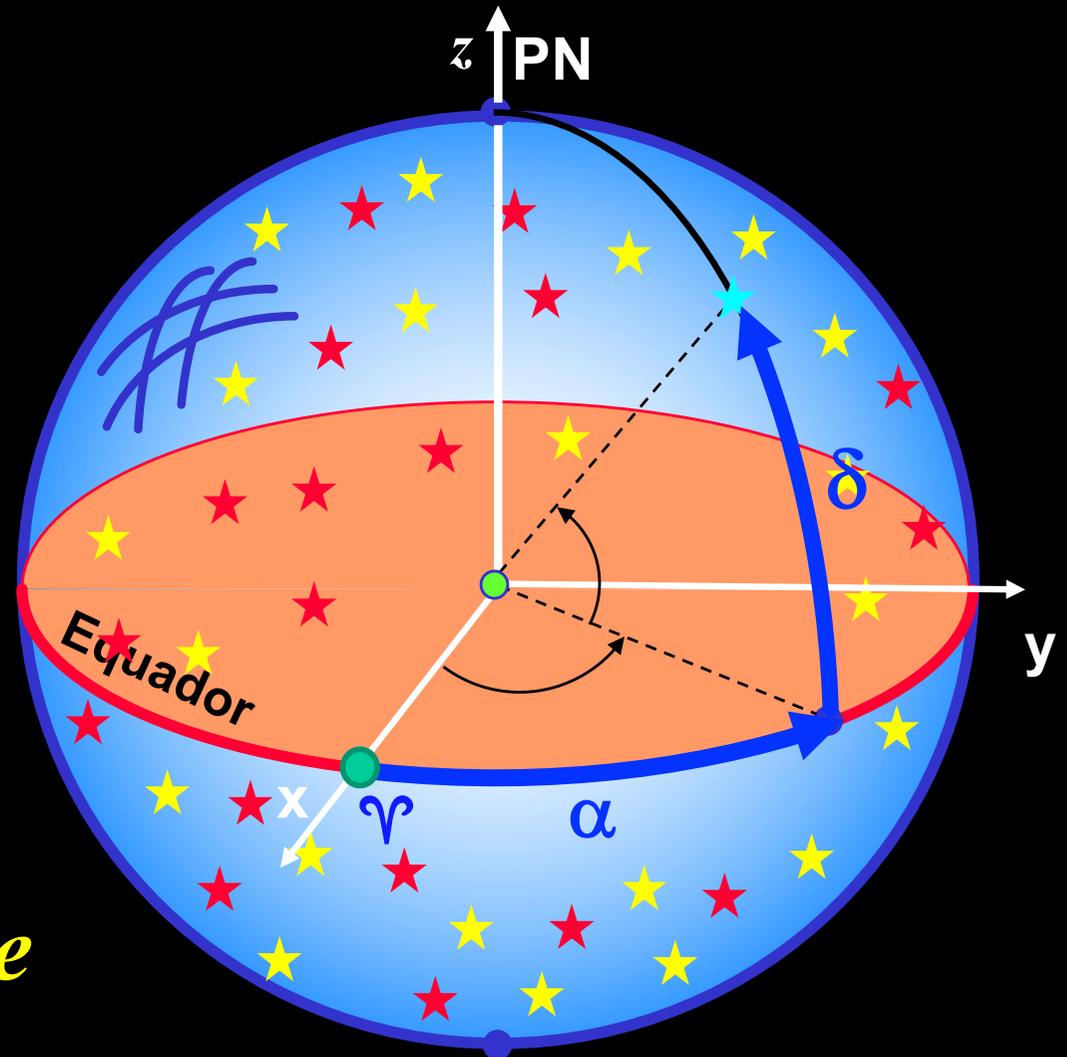
Definição até 1998



*catálogos estelares
fundamentais
(posições absolutas)*



*equador, polos celestes e
equinócio*

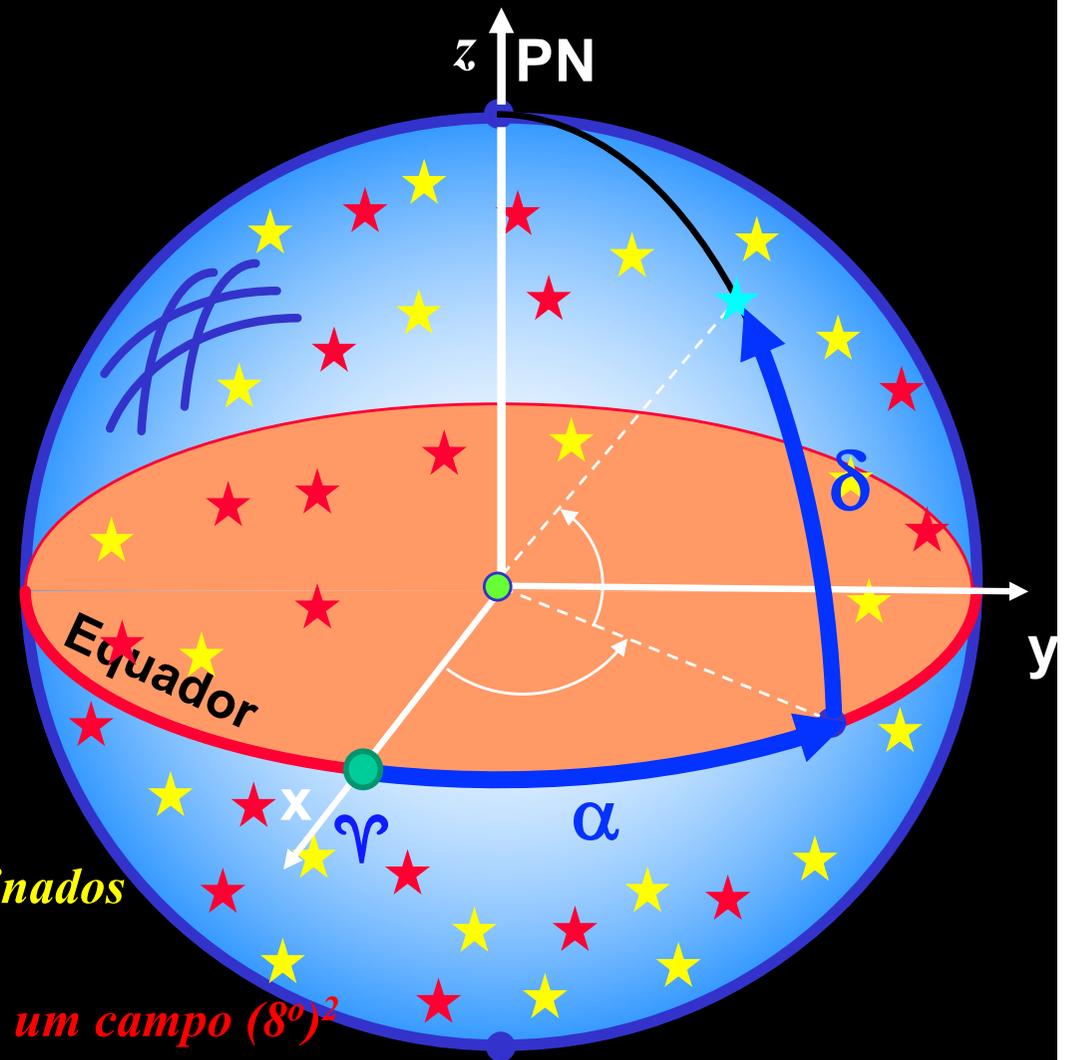


Sistema de Referência Espacial

*Fundamental Catalog 5
FK5 - Fricke1988*

Dificuldades:

- *Precisão das observações absolutas*
- *Erros nos movimentos próprios*
- *Paralaxes em geral desconhecidas*
- *Parâmetros de precessão mal determinados*
- *Baixíssima densidade: < 1 estrela em um campo (8°)²*



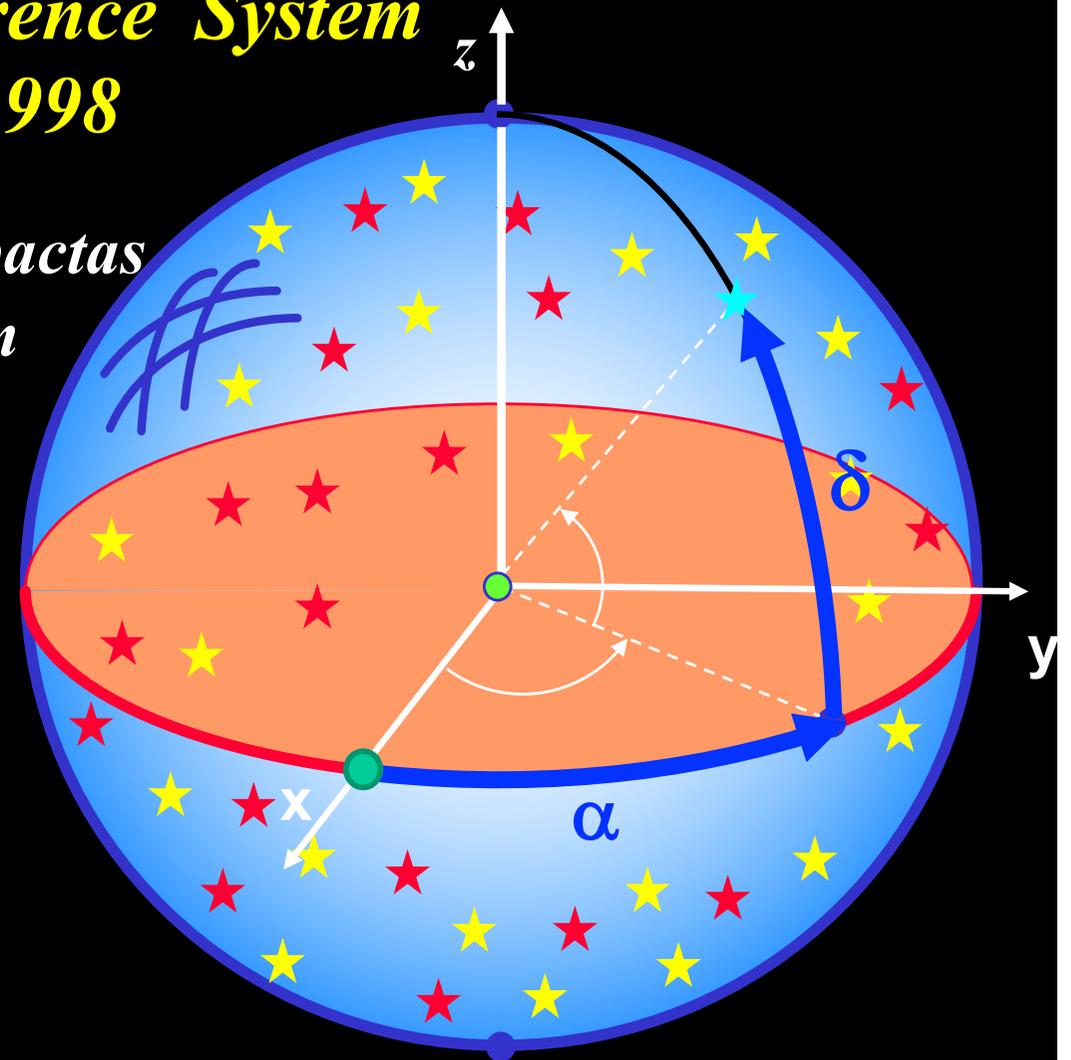
Sistema de Referência Espacial

International Celestial Reference System ICRS - IAU1991/1998

*base: fontes extra-galácticas compactas
("quasares") observadas com
precisões extremas*



- independente da eclíptica, equador, equinócio, etc.*
- movimentos próprios e parallaxes nulos*
- alinhamento ao FK5*



Materialização do ICRS

International Celestial Reference Frame

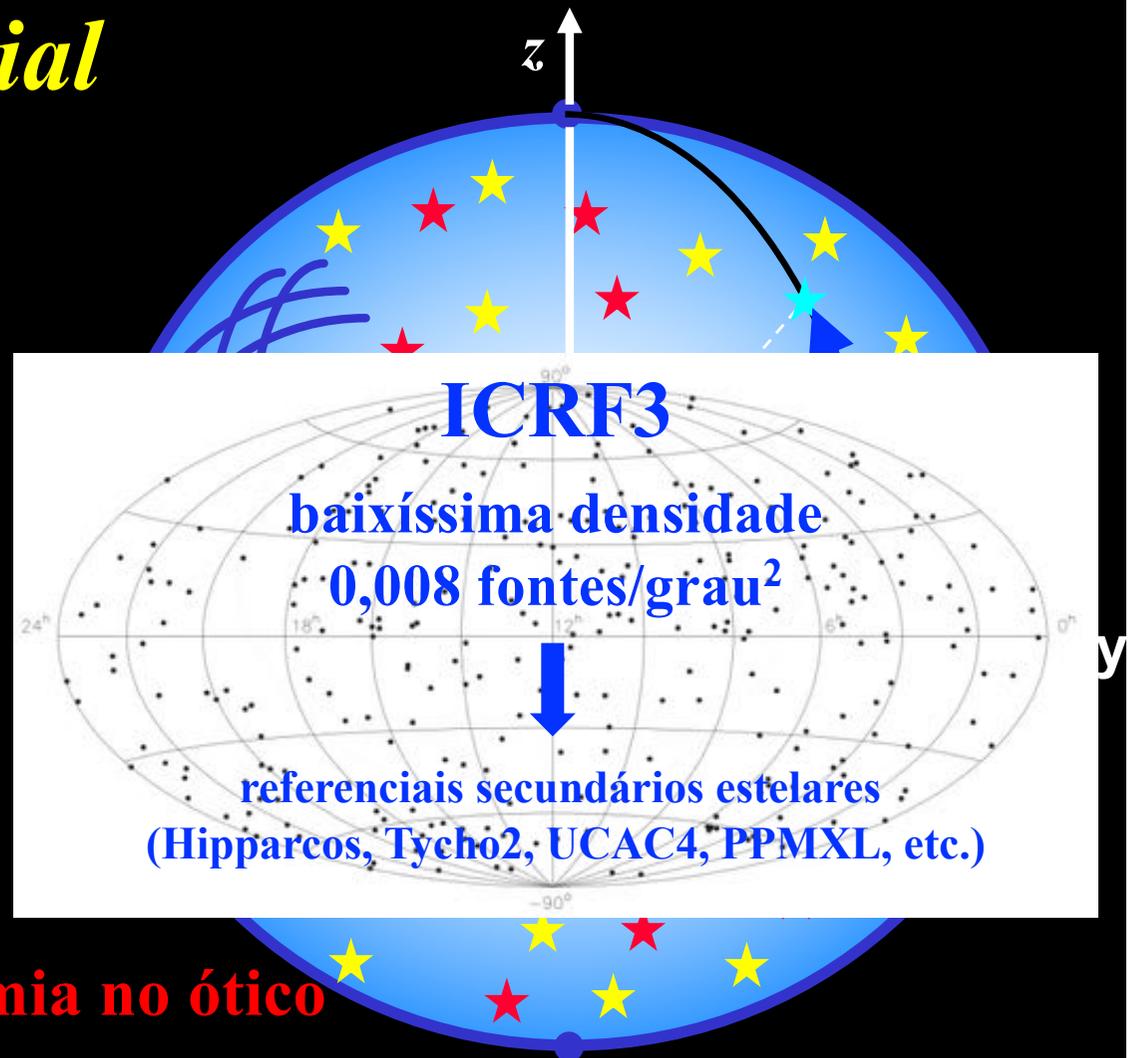
ICRF3:

*~ 300 radio-fontes
extra-galáticas compactas
posições radio com erros
menores que 0.001''*

Dificuldades:

- **Posições rádio X Astronomia no ótico**
- **Baixíssima densidade: $< 1 \text{ fonte} / (130^\circ)^2$**

Solução \Rightarrow densificação através de estrelas muitas com movimentos próprios mal conhecidos e parallaxes desconhecidas



Sistema de Referência Espacial

Gaia Celestial Reference Frame

GCRF3:

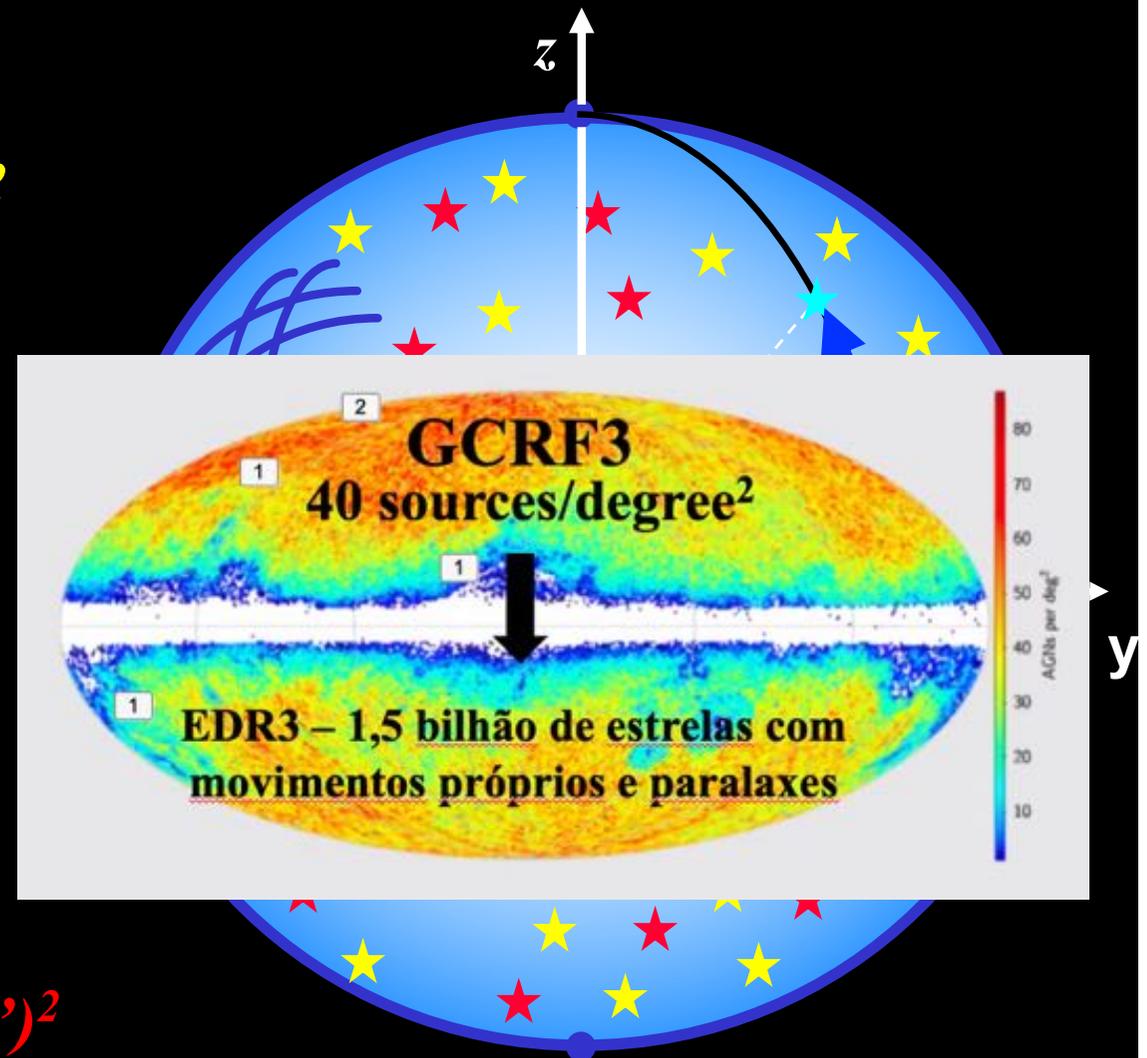
~ 1,5 milhão de fontes extra-galácticas compactas

posições óticas com erros menores que 0.001''

Dificuldades:

- Densidade: $< 1 \text{ fonte} / (2')^2$

Solução \Rightarrow densificação através de 2 bilhões de estrelas com movimentos próprios e paralaxes bem determinados (Gaia)



F I M