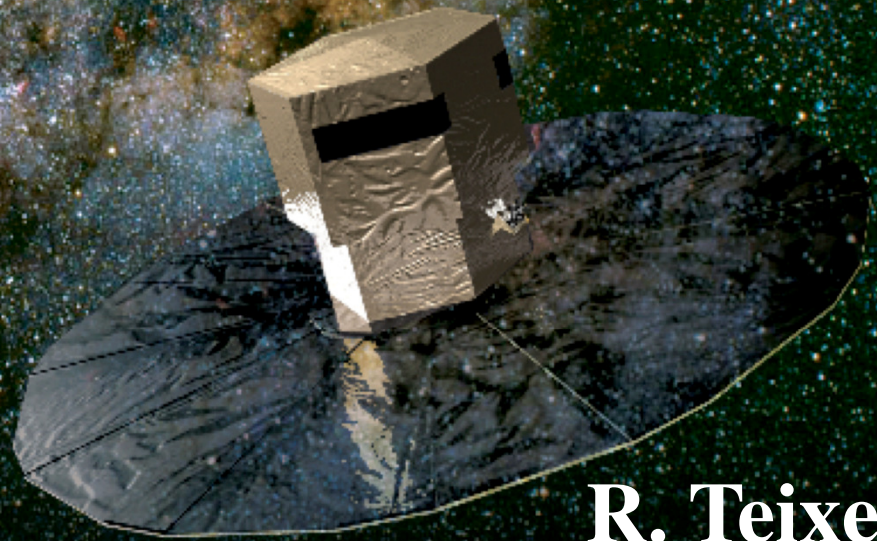


# Astrometria

O UNIVERSO EM TRÊS DIMENSÕES

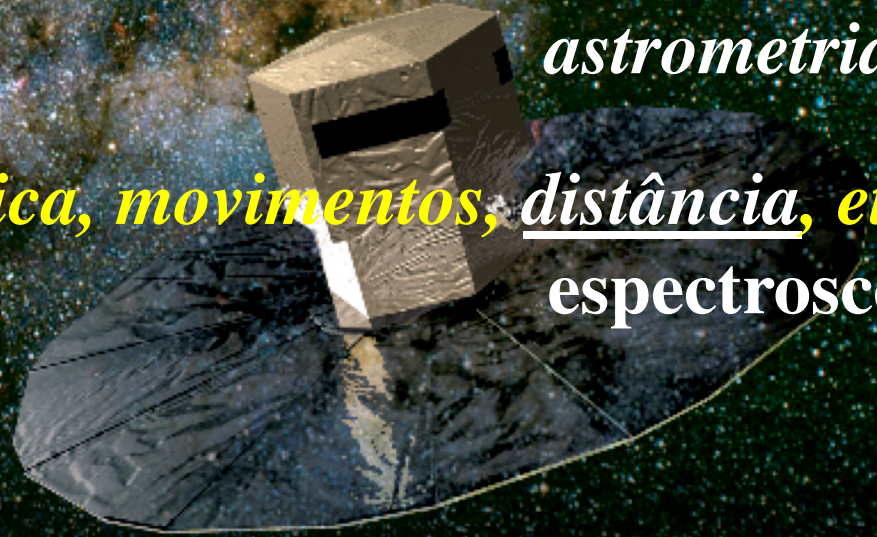


**R. Teixeira**  
**IAG/USP**



# Observação

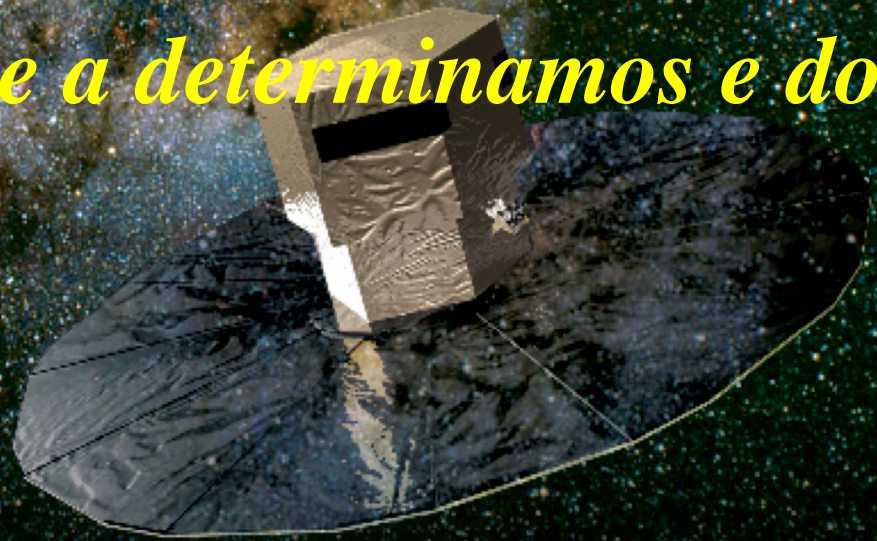
- *Brilho*  $\Rightarrow$  *luminosidade, variabilidade, distância, etc.*  
fotometria
- *Posição*  $\Rightarrow$  *sist. referência, movimentos, distância, etc.*  
astrometria
- *Espectro*  $\Rightarrow$  *comp. química, movimentos, distância, etc.*  
espectroscopia





# Posição

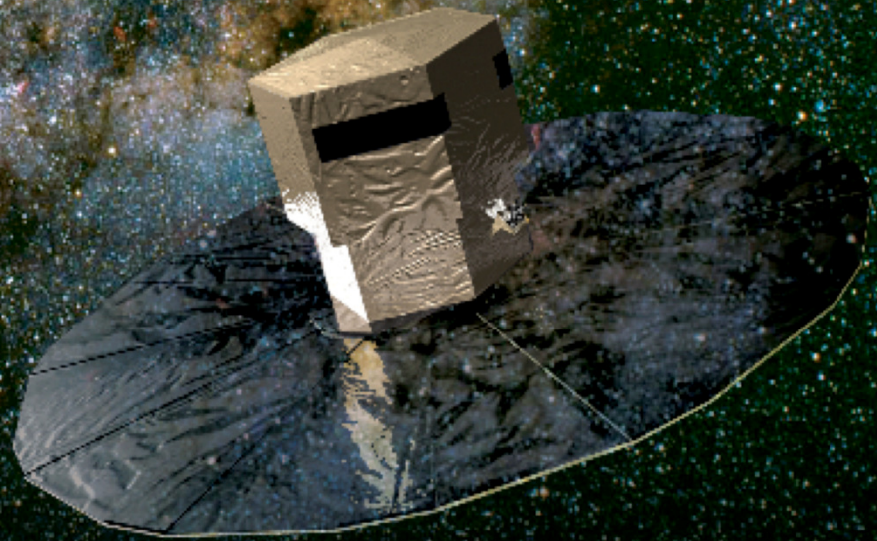
*O interesse e o alcance científico no estudo da posição de um astro dependem da precisão com que a determinamos e do astro em questão.*





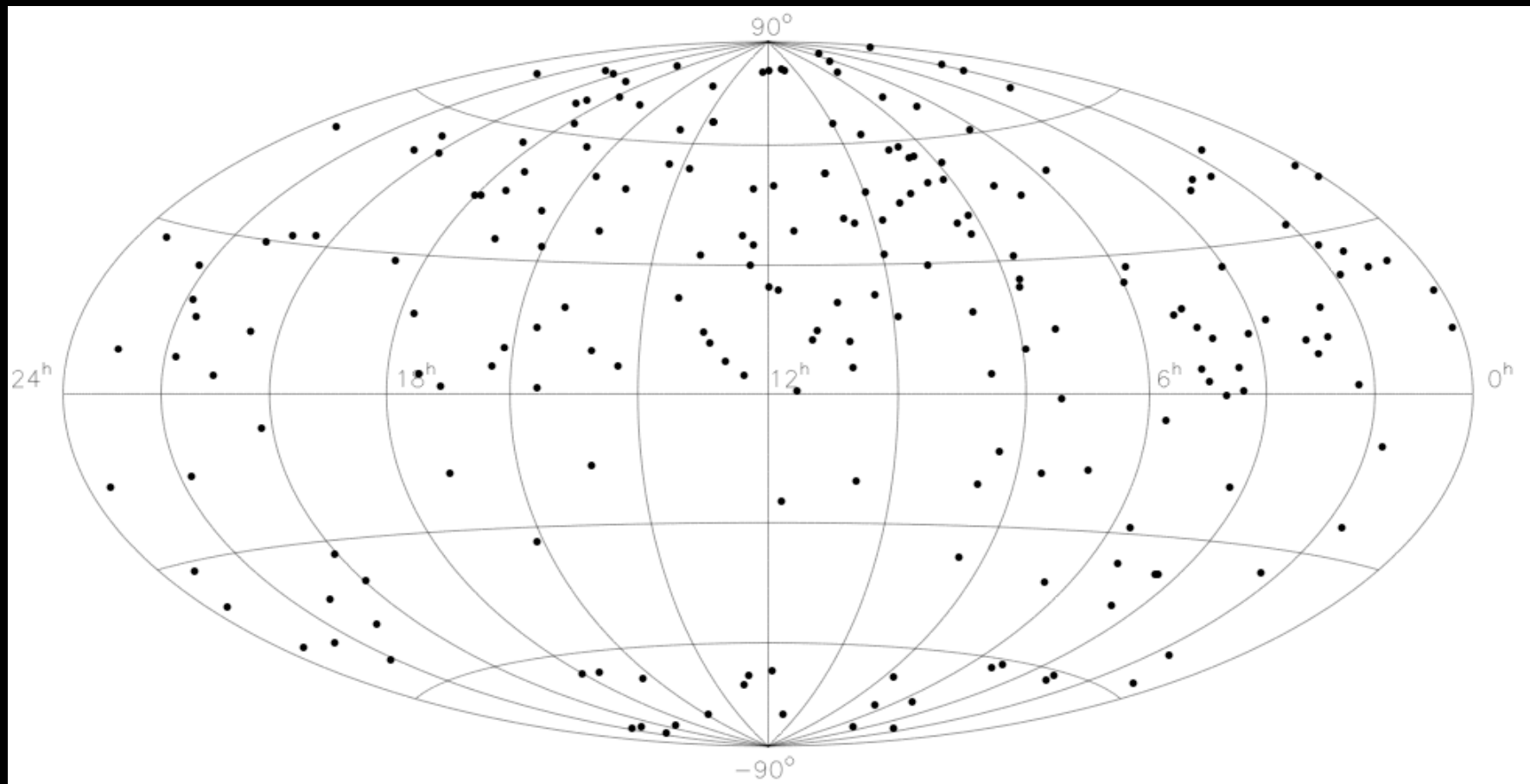
# Objetos extra-galáticos

- Distribuição
- Sistema de referência





# International Celestial Reference Frame (ICRF)

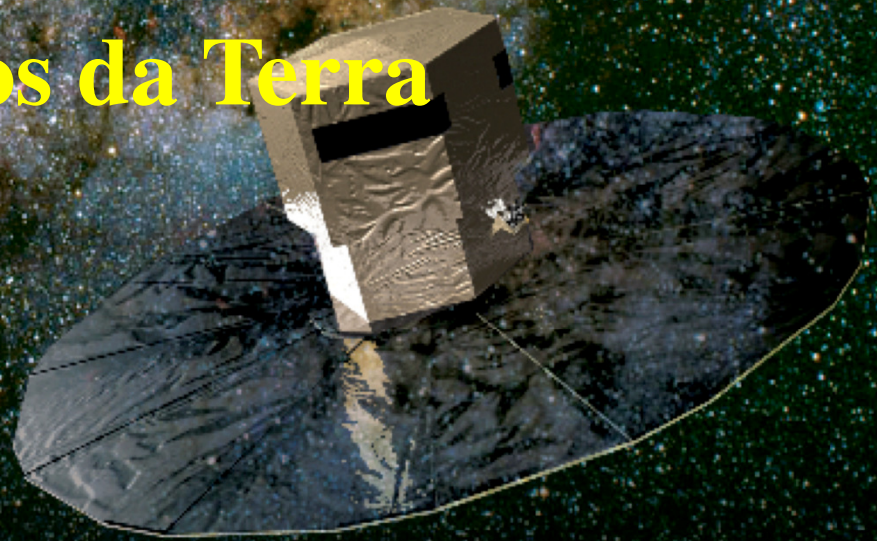


Baseado em 212 radio fontes extragaláticas ( $\sigma_{\text{pos}} < 1\text{mas}$ )



# Objetos extra-galáticos

- Distribuição
- Sistema de referência
- Movimentos da Terra





# Objetos galáticos (estrelas)

- Distribuição

- Distância (paralaxe trigonométrica)

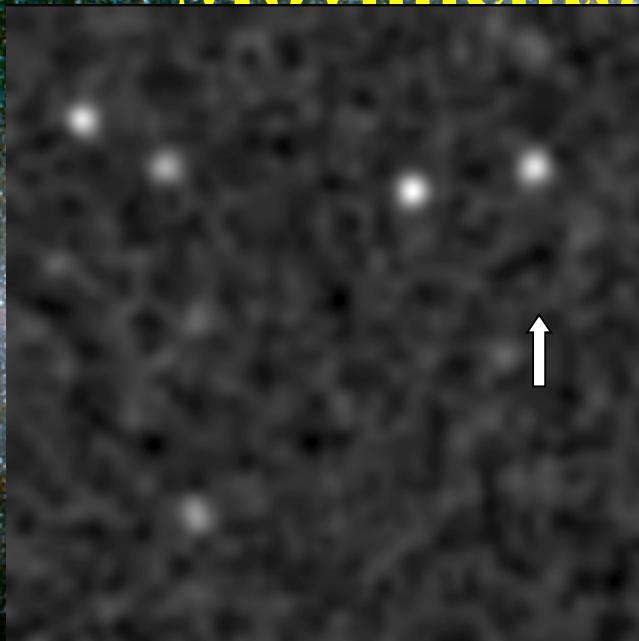
Situação atual: 40 mil estrelas com  $\sigma_{\pi}/\pi < 20\%$  (100pc)  
maior contribuição da Astrometria  
ao estudo do universo



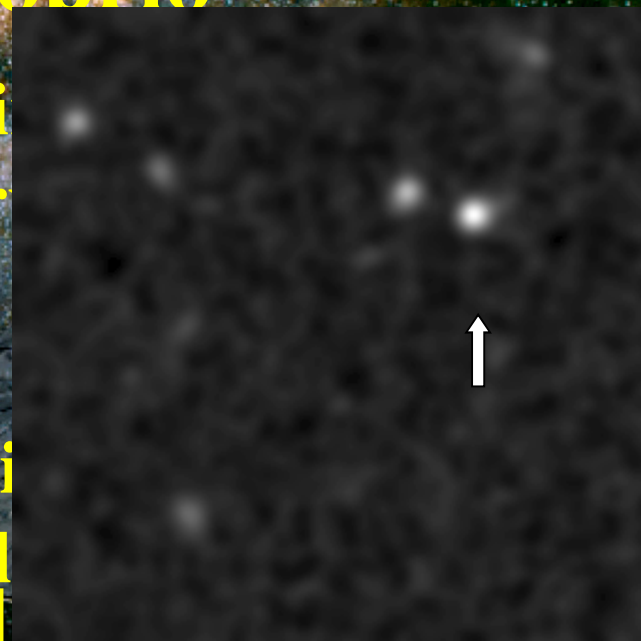


# Objetos galáticos

- Distribuição
- Distância (paralaxe trigonométrica)
- Sistema de Referência
- Movimento próprio



DSS1 1982.6



DSS2 1987.8



# Objetos do Sistema Solar

- Sistema de Referência
- Cinemática e dinâmica
- Massas
- Campo gravitacional da Terra
- Movimentos da Terra





# Histórico

$\pm 200 - 150$  a.C.  $\Rightarrow$  erro  $\sim 1000''$



400m

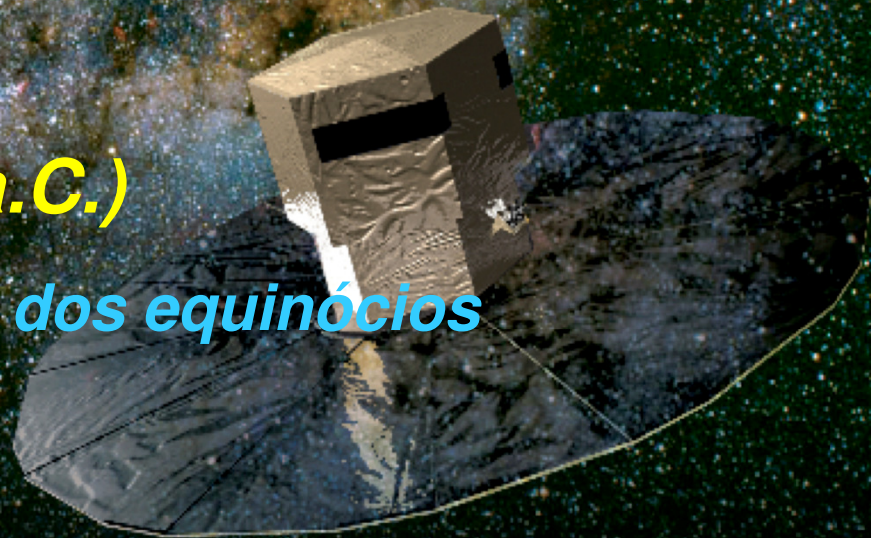


- **Eratóstenes (276-196 a.C.)**

$\Rightarrow$  *diâmetro da Terra 12.870 Km*

- **Hiparco (190-120 a.C.)**

$\Rightarrow$  *precessão dos equinócios*





# Histórico

sec.XVI  $\Rightarrow$  erro  $\sim 100''$

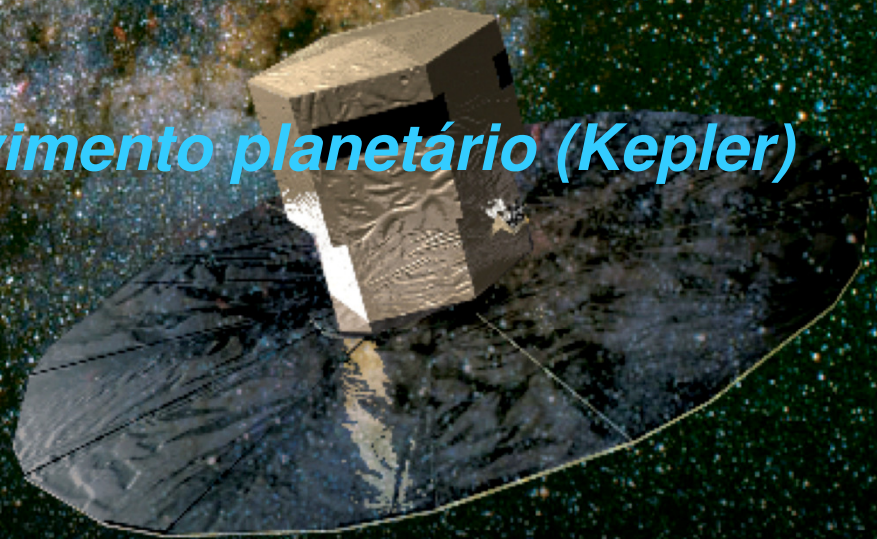


4km



- *Tycho Brahe (1546-1601)*

$\Rightarrow$  *leis do movimento planetário (Kepler)*





# Histórico

sec. XVIII  $\Rightarrow$  erro  $\sim 1''$



400km



- **Halley (1656-1742)**

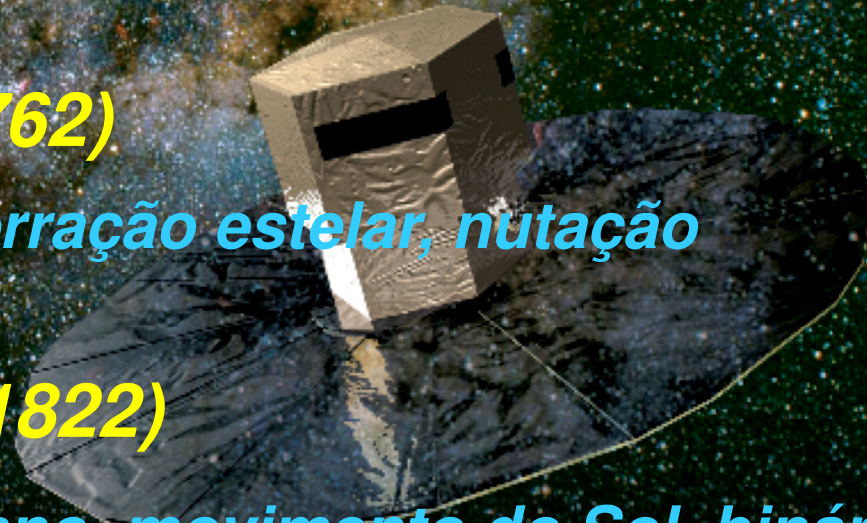
$\Rightarrow$  movimento próprio das estrelas

- **Bradley (1693-1762)**

$\Rightarrow$  aberração estelar, nutação

- **Herschel (1738-1822)**

$\Rightarrow$  Urano, movimento do Sol, binárias





# Histórico

sec. XIX  $\Rightarrow$  erro  $\sim 0.5''$



800km

- **Bessel (1784-1846)**

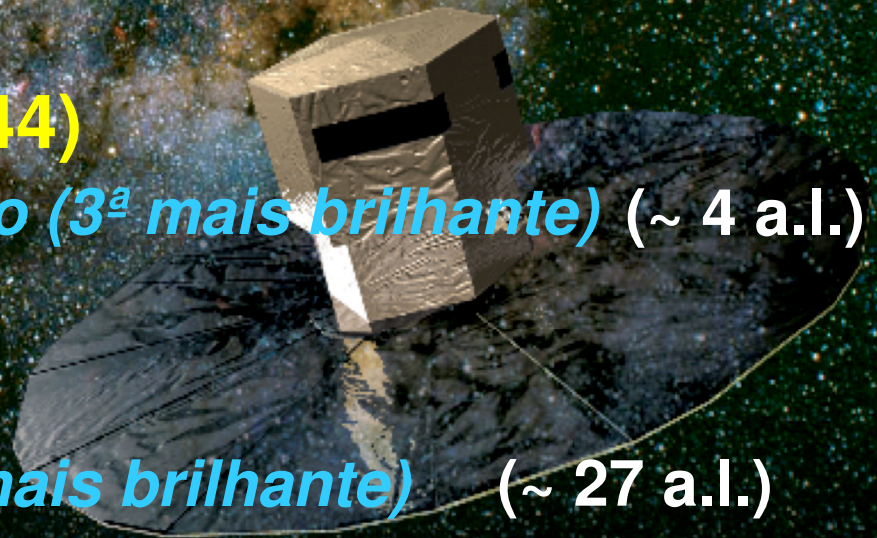
$\Rightarrow$  *paralaxe 61 Cygni (maior mov. próprio)* ( $\sim 11$  a.l.)

- **Henderson (1798-1844)**

$\Rightarrow$  *paralaxe  $\alpha$  Centauro (3ª mais brilhante)* ( $\sim 4$  a.l.)

- **Struve (1793-1864)**

$\Rightarrow$  *paralaxe Vega (4ª mais brilhante)* ( $\sim 27$  a.l.)





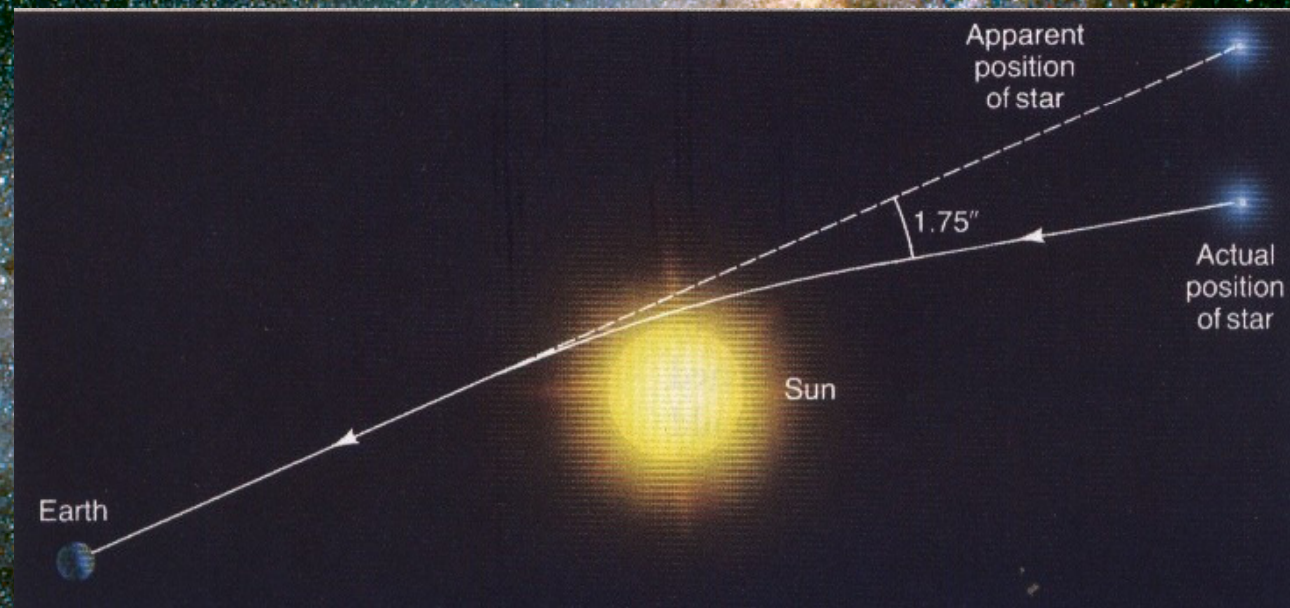
# Histórico

sec. XX 1ª metade erro  $\sim 0.1''$



4.000km

• **Eddington (1882-1944)**



$\Rightarrow$  *deflexão gravitacional da luz (Einstein ok)*



**Histórico** sec. XX - 2ª metade erro  $\sim 0.001''$  (1 mas)



400.000km

• **HIPPARCOS**  $\Rightarrow$  120 mil estrelas ( $V_{max} \sim 11$ )

$\Rightarrow$  500 estrelas com  $\sigma_{\pi}/\pi < 1\%$

$\Rightarrow$  20 mil estrelas com  $\sigma_{\pi}/\pi < 10\%$

$\Rightarrow$  40 mil estrelas com  $\sigma_{\pi}/\pi < 20\%$



recalibração da escala de distância



# Futuro

2012 erro ~ 0.000004'' (4  $\mu$ as)



100.000.000km

• **GAIA  $\Rightarrow$  1 bilhão de estrelas ( $V_{max} \sim 20$ )**

4 $\mu$ as  $V < 13$ , 10 $\mu$ as  $13 \leq V < 15$ , 160 $\mu$ as  $15 \leq V < 20$



$\Rightarrow$  2 milhões de estrelas com  $\sigma_{\pi}/\pi < 1\%$

$\Rightarrow$  50 milhões de estrelas com  $\sigma_{\pi}/\pi < 2\%$

$\Rightarrow$  110 milhões estrelas com  $\sigma_{\pi}/\pi < 5\%$

$\Rightarrow$  220 milhões de estrelas com  $\sigma_{\pi}/\pi < 10\%$





# GAIA é muito mais.

para todo tipo de estrela em todas as populações



- posição, movimento próprio e paralaxe trigonométrica para todas as estrelas mais brilhantes que  $V \sim 20$  mag. com precisão astrométrica de  $10 \mu\text{as}$  até  $V=15$  mag.
- fotometria multi-cor (15 bandas) e multi-época para todas as estrelas até  $V \sim 20$  com precisão de  $0.001$  mag. *para  $V < 15$ .*
- velocidades radiais para estrelas até  $V \sim 17$  mag. com precisão de  $1$  a  $10 \text{ Km/s}$ .





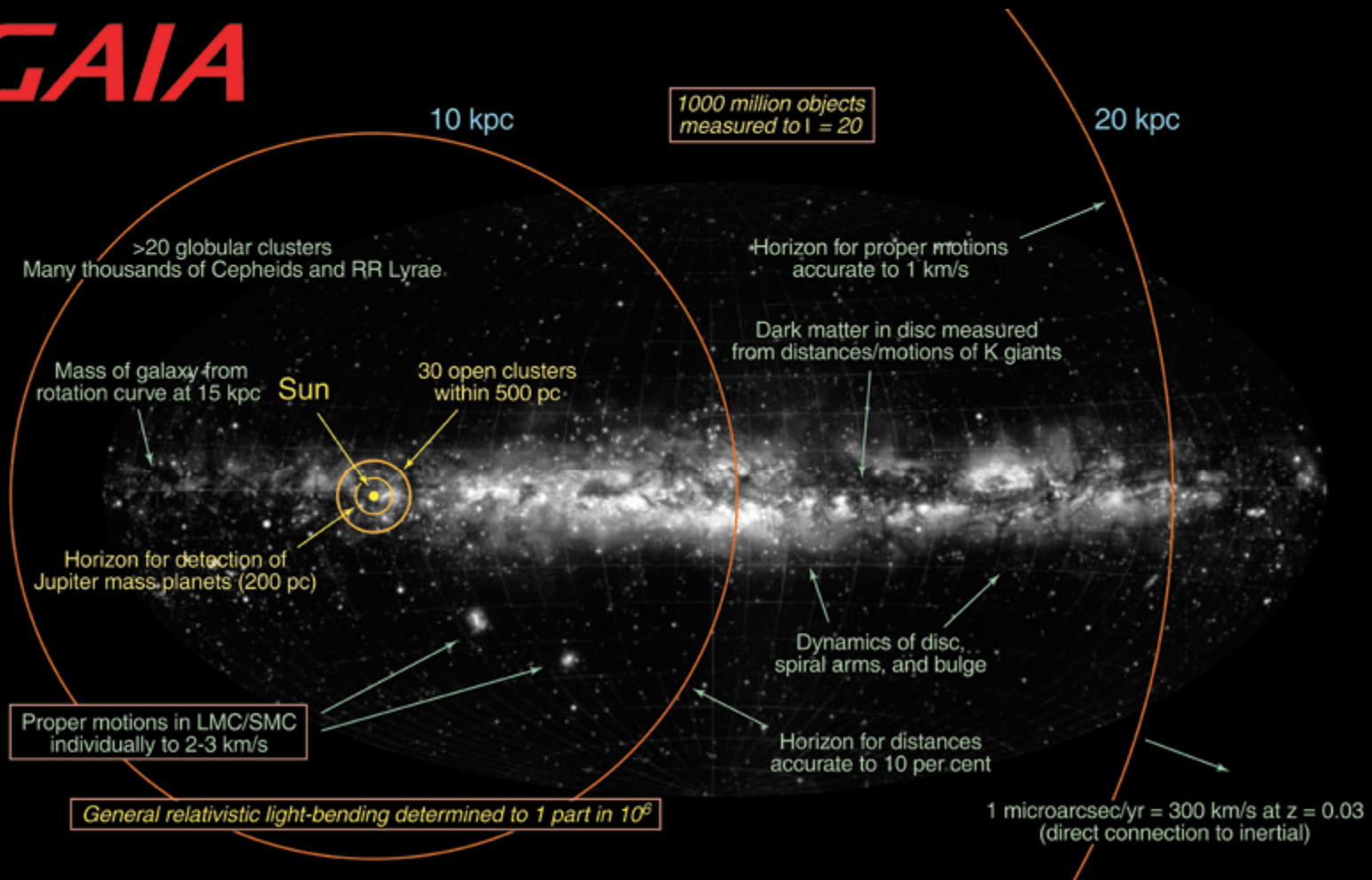
# Objetos particulares GAIA

- 1-10 milhões de galáxias
- 100 mil supernovas extragaláticas
- 500 mil quasares
- 100 mil a 1 milhão de novos objetos do Sistema Solar
- 50 mil anãs marrons
- 30 mil planetas extra-solar
- 200 mil anãs brancas do disco
- 200 eventos de micro-lente gravitacional
- 6 milhões de binárias dentro de 250pc
- 30 mil massas individuais





# GAIA

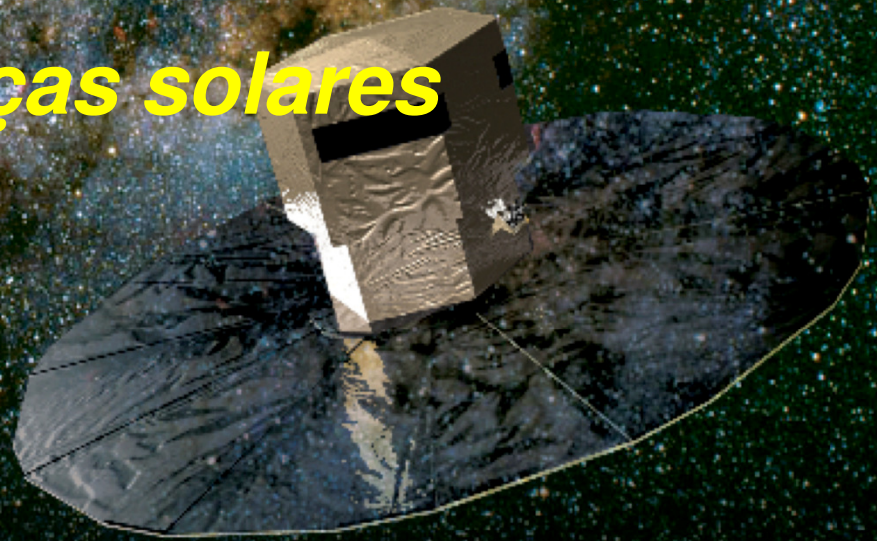




***Enquanto GAIA não vem ...***



***vizinhanças solares***



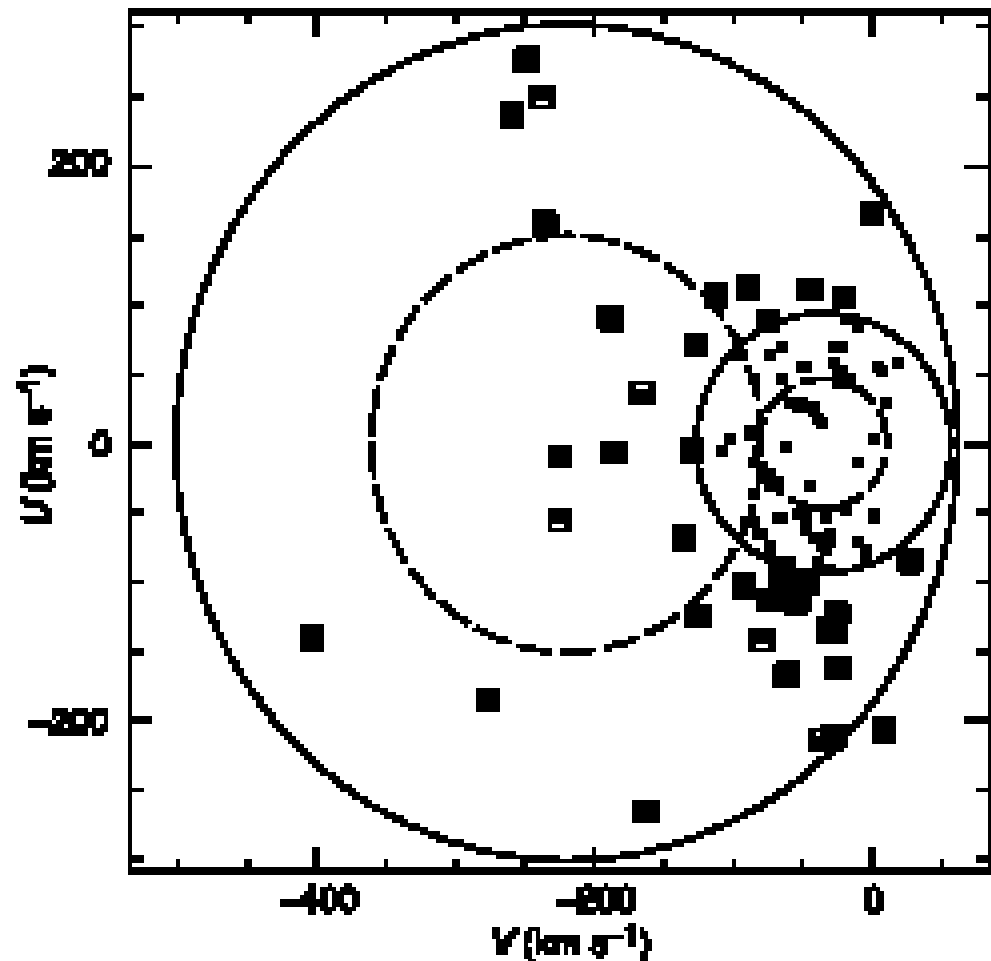


# Paralaxe trigonométrica de anãs brancas

Oppenheimer et al.  
2001



*densidade  
de anãs brancas do halo  
maior que prevista*



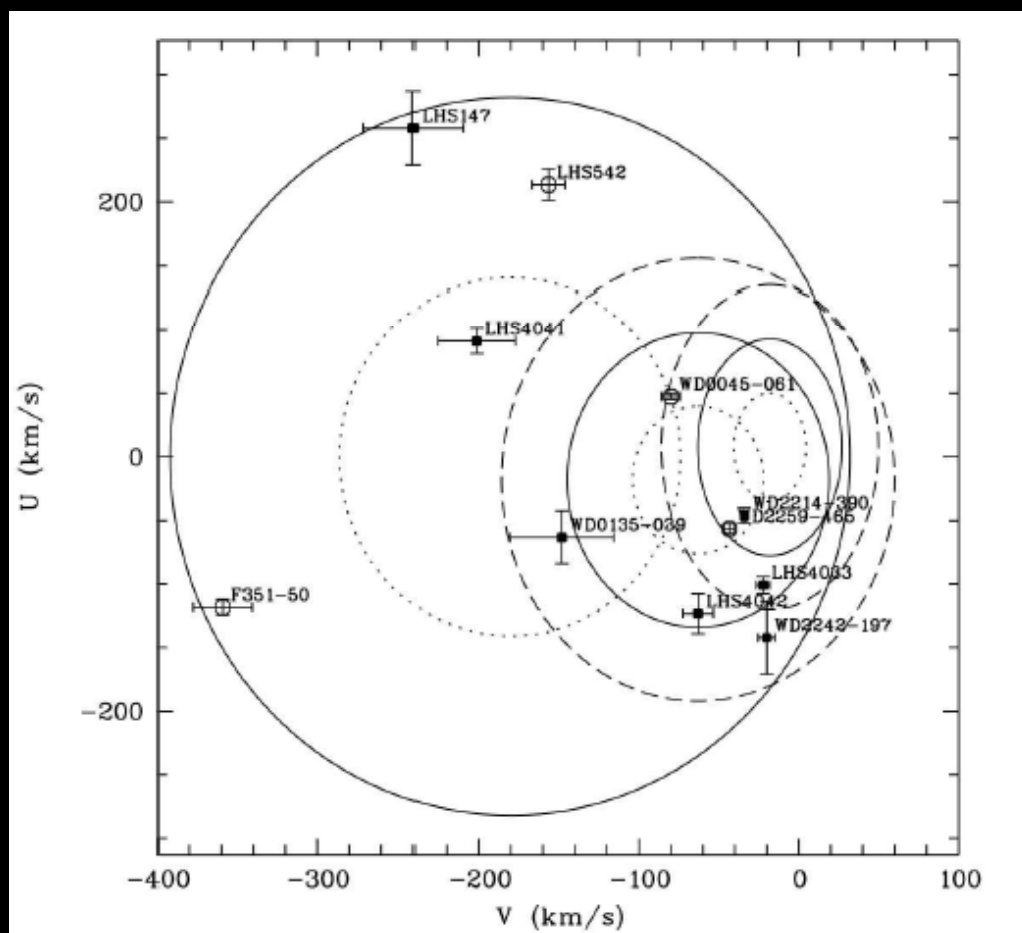


# Paralaxe trigonométrica de anãs brancas

*7 objetos*



*cinemática compatível  
com o disco*





# Paralaxe trigonométrica de anãs brancas

*Oppenheimer et al.*

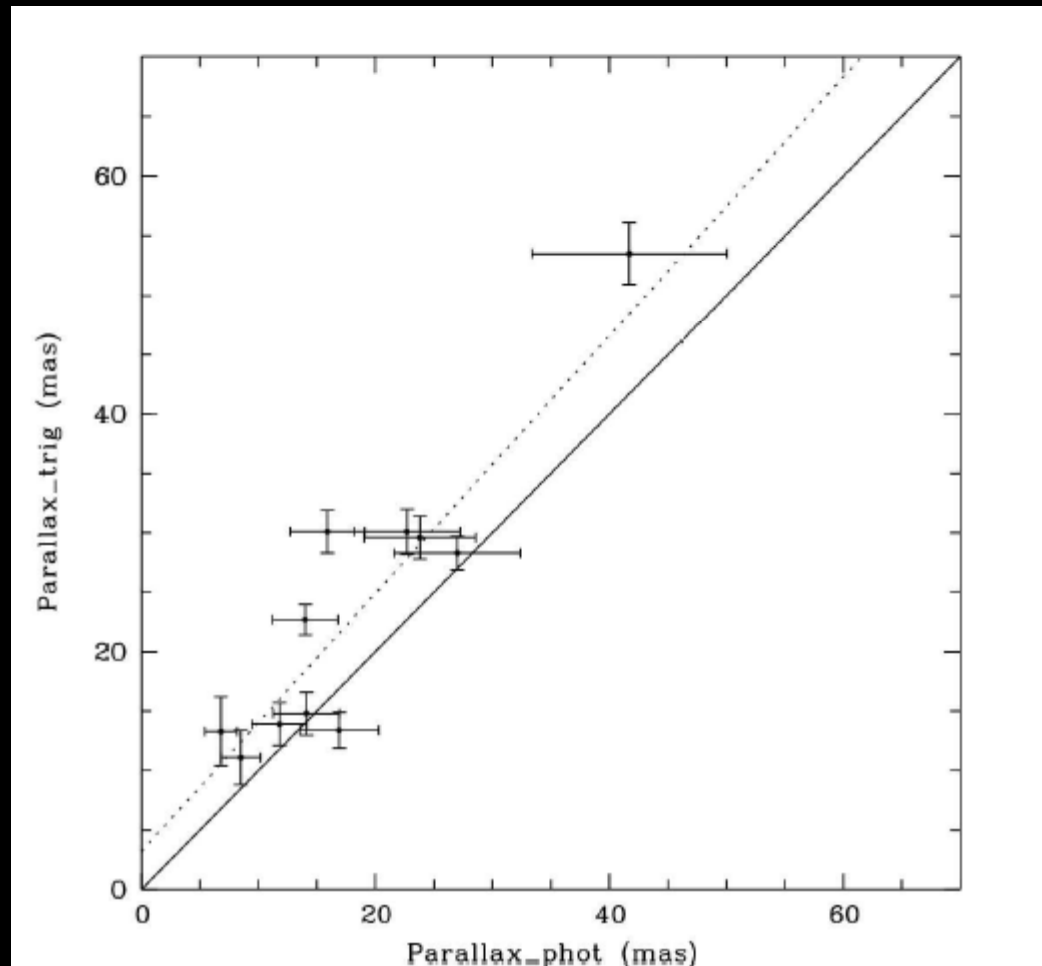
*2001*

*X*

*este trabalho*



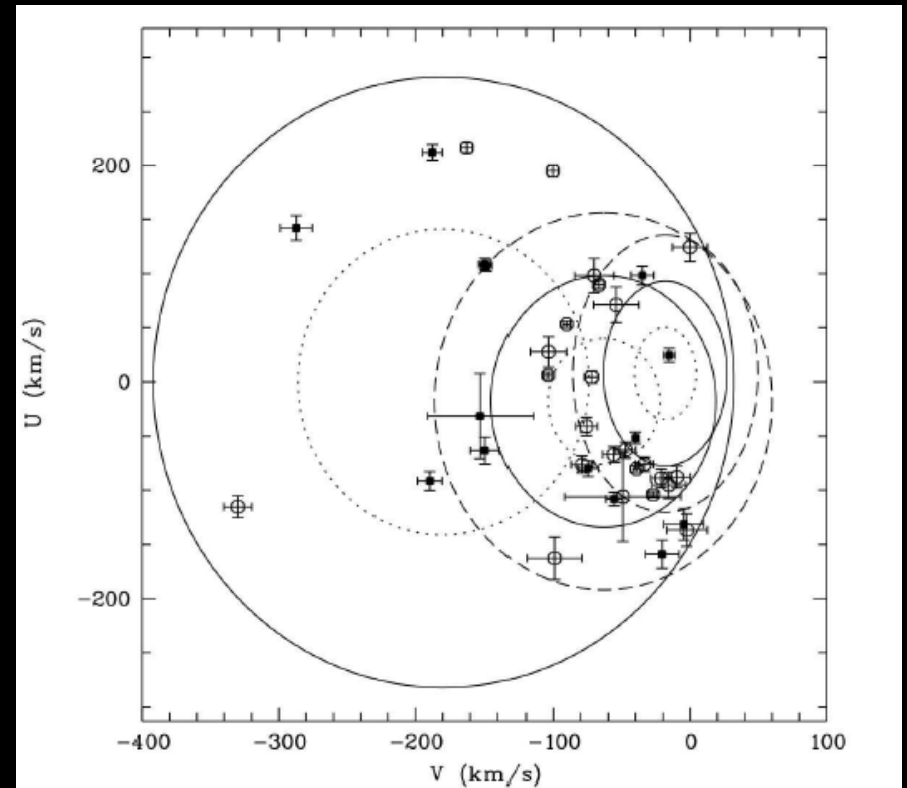
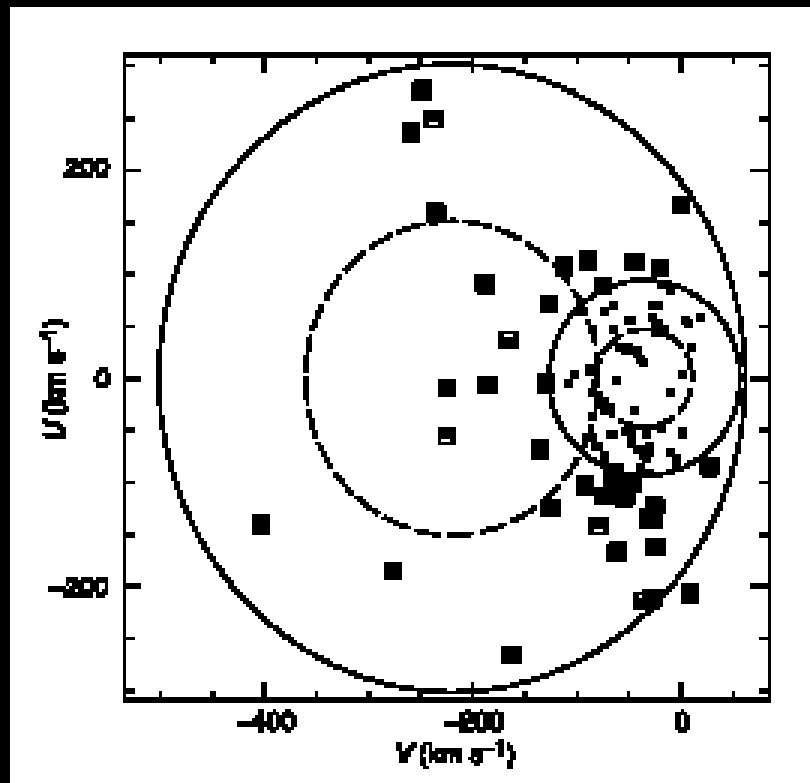
*distâncias fotométricas  
super-estimadas*





# Paralaxe trigonométrica de anãs brancas

*recalibração das distâncias*





# primeiro planeta extra-solar diretamente observado

2MASSWJ1207334-393254



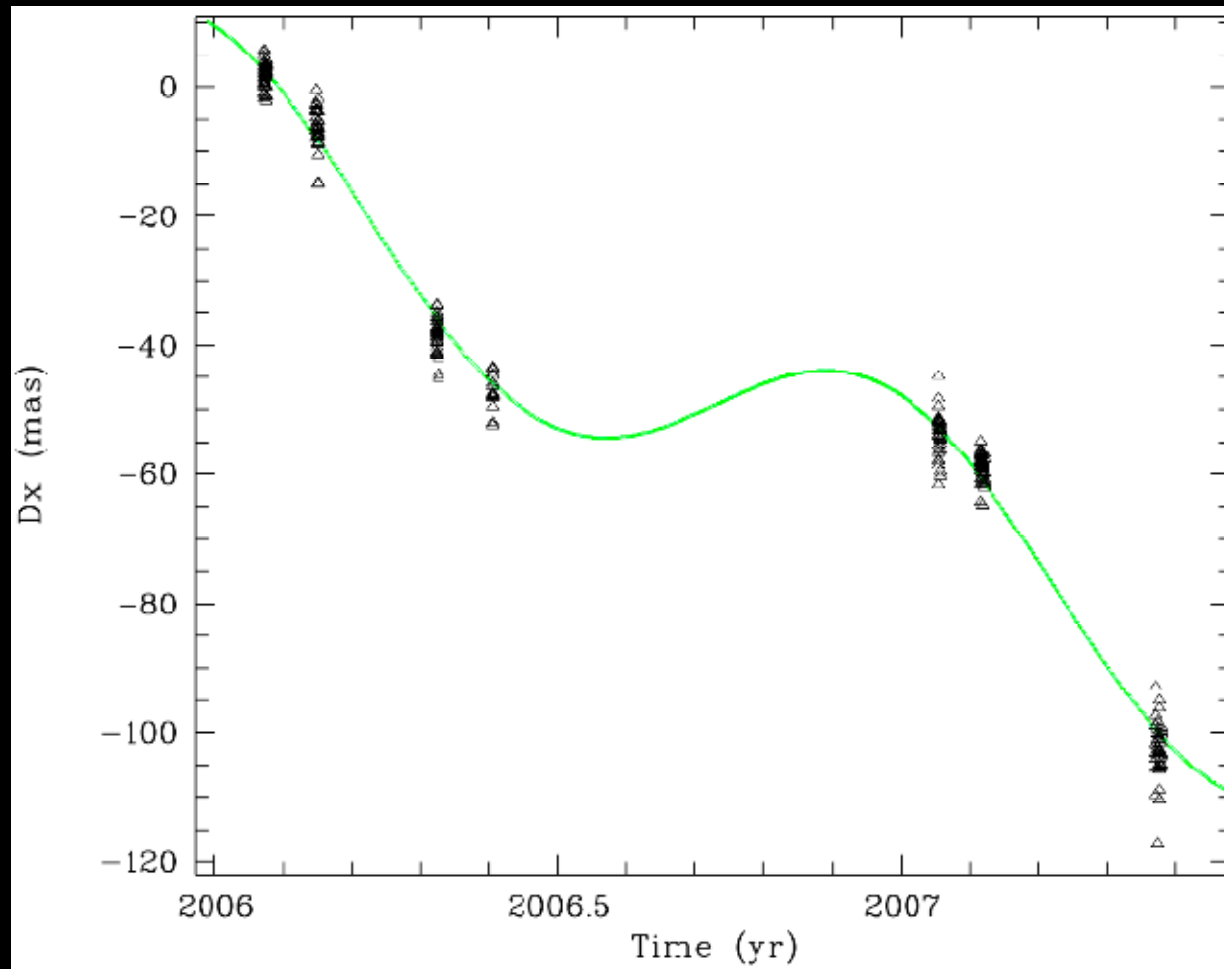
778 mas  
55 AU at 70 pc





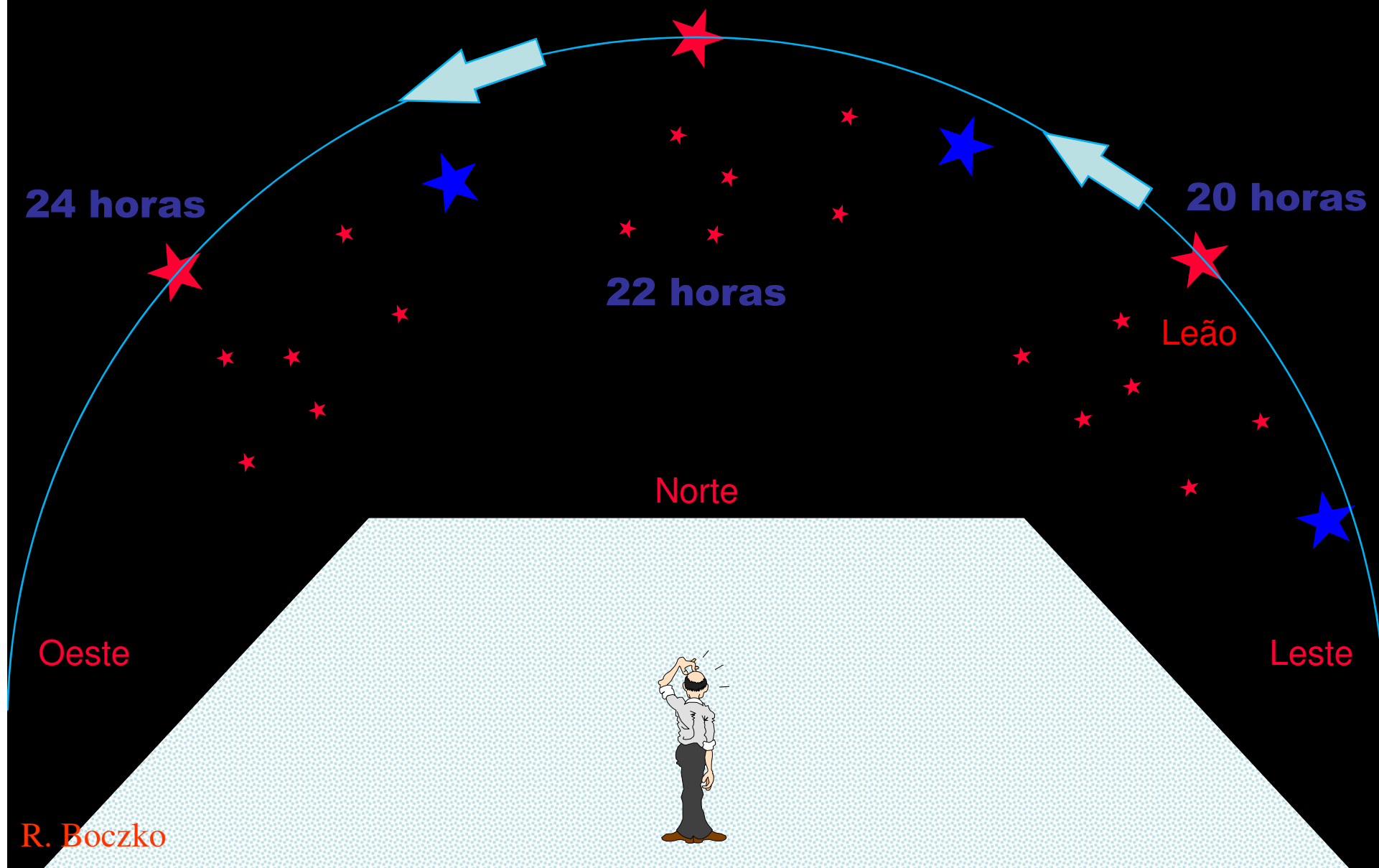
# Paralaxe trigonométrica

## sistema planetário 2M1207Ab (TWA)





# movimento aparente das estrelas



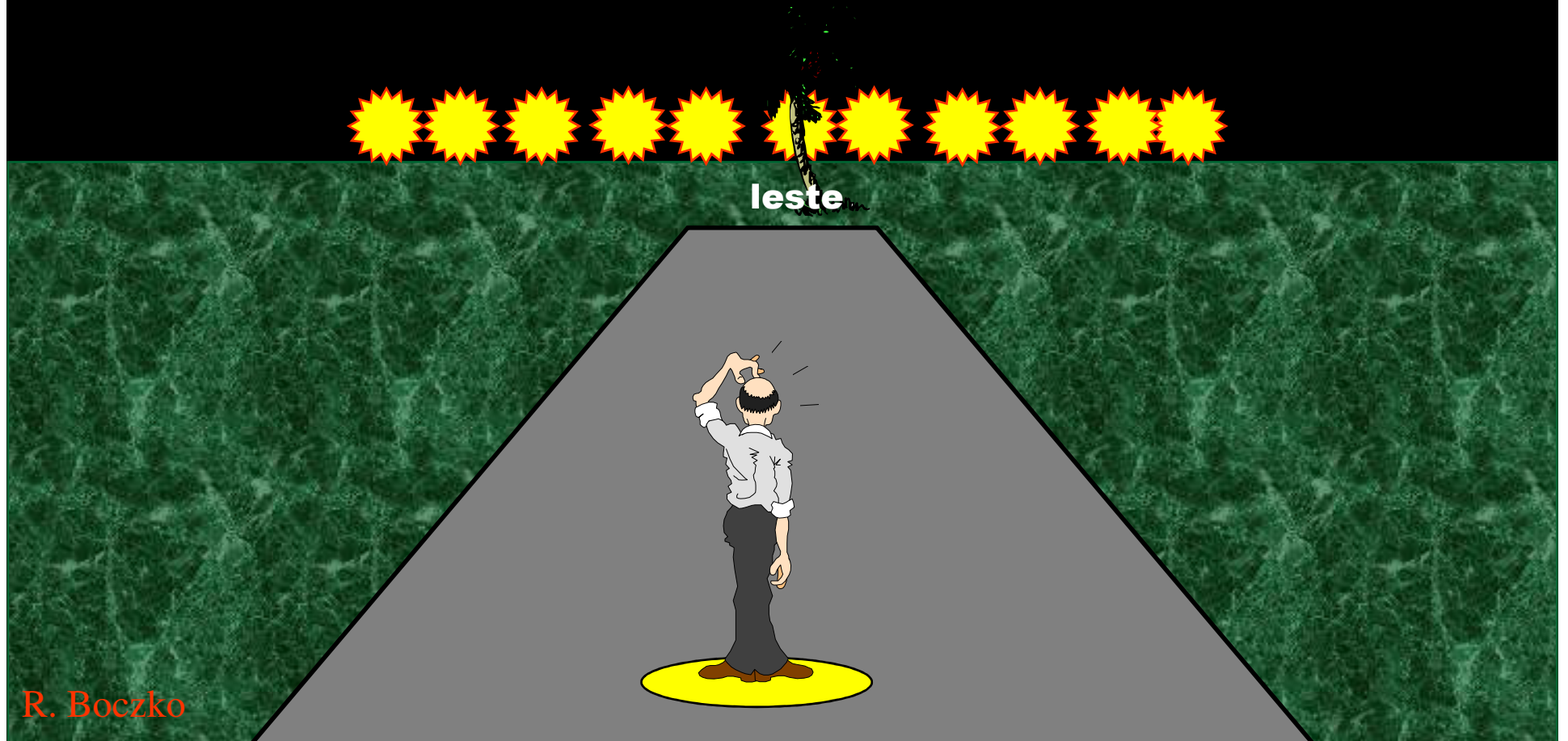


# movimentos da Lua





# movimento anual aparente do Sol nascer





# Movimentos aparentes do Sol

um certo dia

24 horas

22 horas

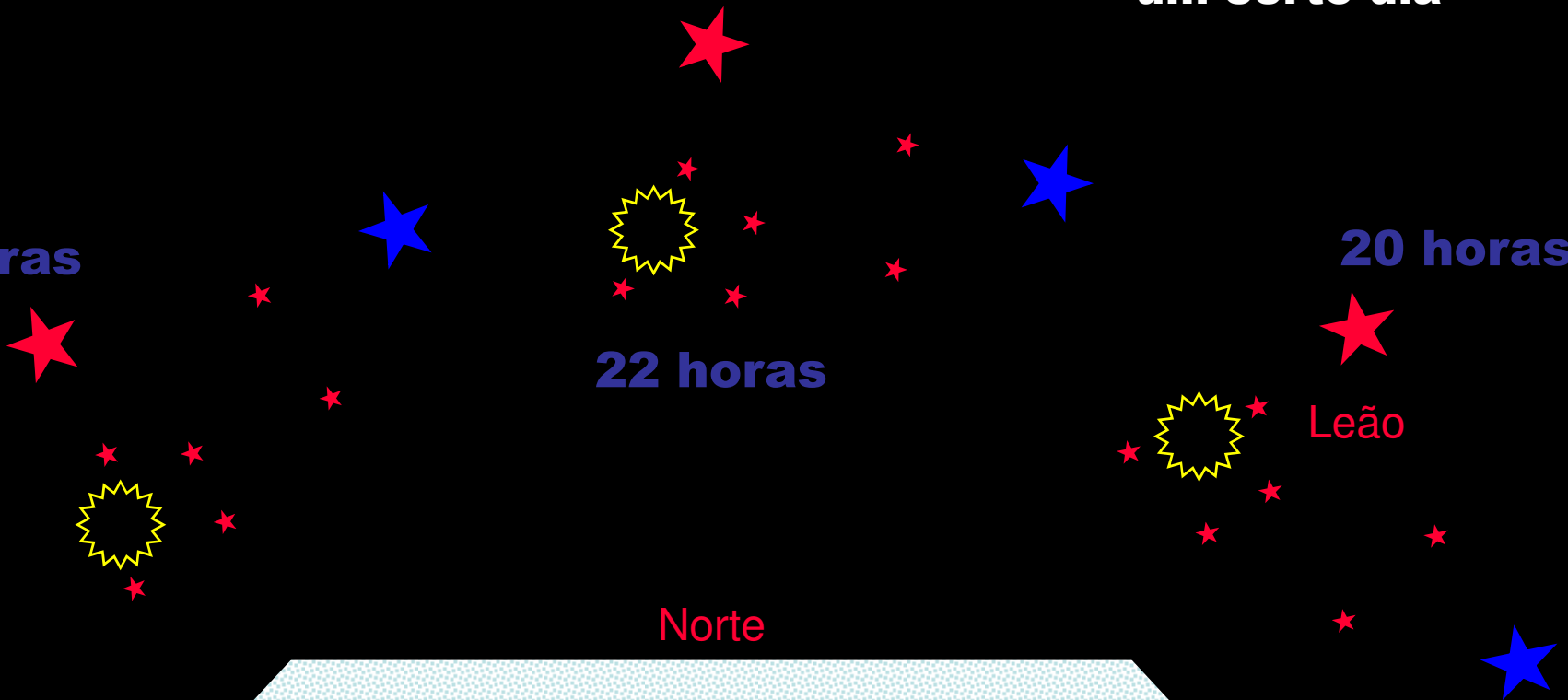
20 horas

Norte

Oeste

Leste

Leão





# Movimentos aparentes do Sol





# Movimentos aparentes do Sol





# movimento anual aparente do Sol



um certo dia

Norte

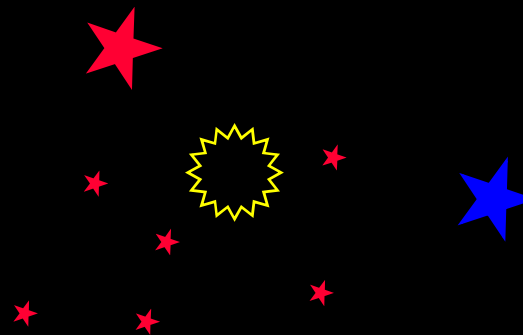
Oeste

Leste





# movimento anual aparente do Sol



10 dias depois

Norte

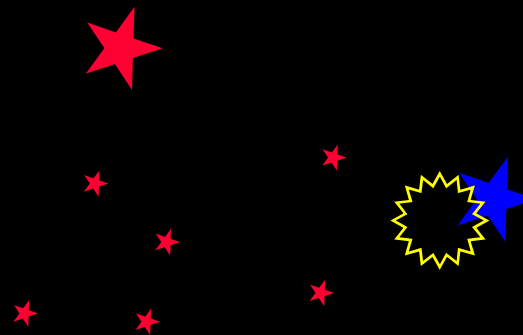
Oeste

Leste





# movimento anual aparente do Sol



mais dez dias

Norte

Oeste

Leste





# Movimentos aparentes dos planetas

um certo dia

24 horas

20 horas

22 horas

Leão

Norte

Oeste

Leste

R. Boczko





# Movimentos aparentes dos planetas





# Movimentos aparentes dos planetas

mais alguns dias depois

24 horas

20 horas

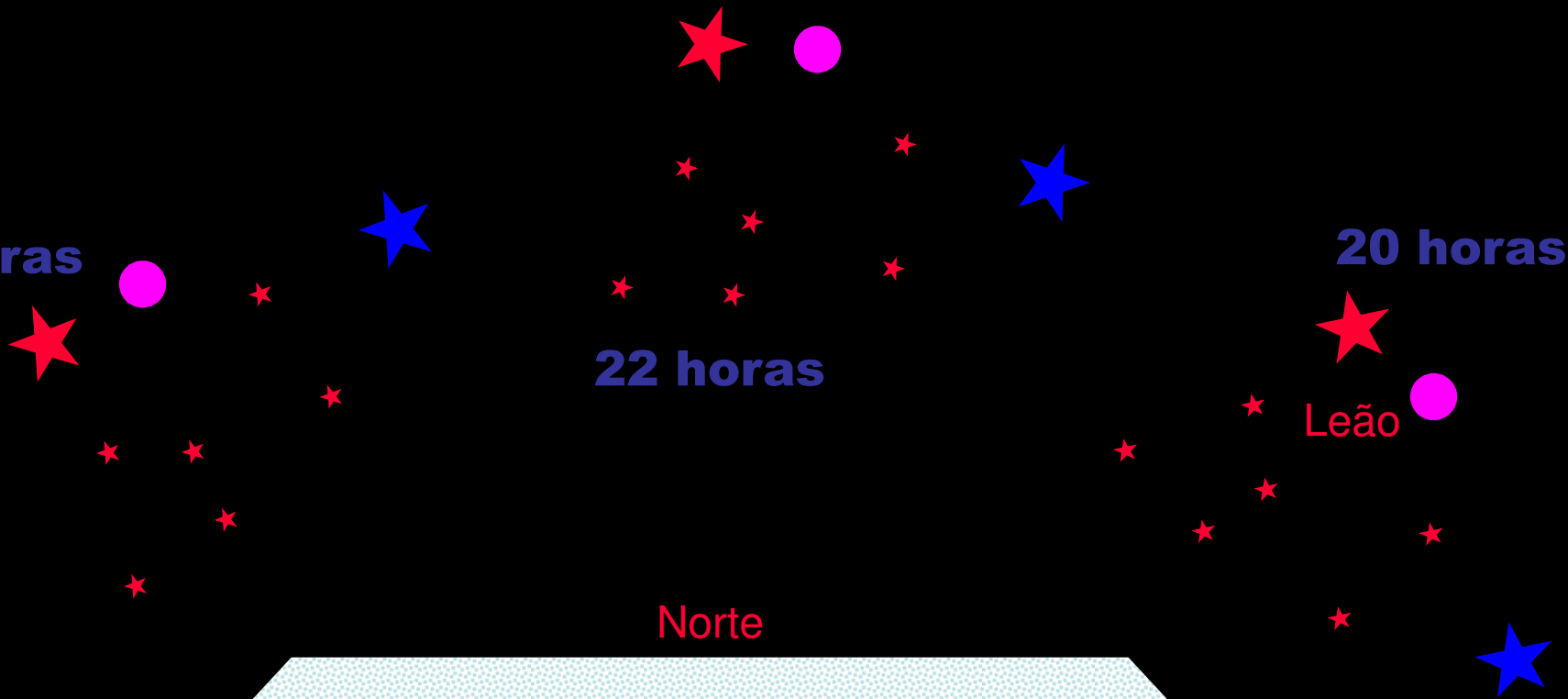
22 horas

Norte

Oeste

Leste

R. Boczko





# Movimentos aparentes dos planetas

muitos dias depois

24 horas

22 horas

20 horas

Norte

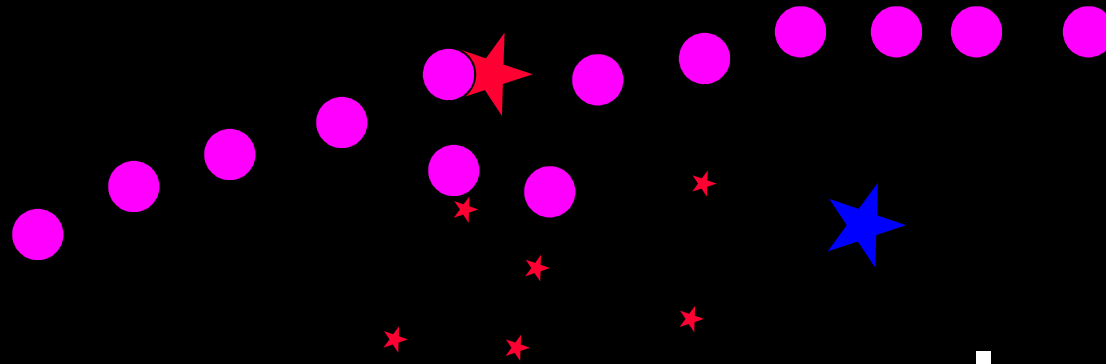
Oeste

Leste

R. Boczko



# Movimentos aparentes dos planetas



laçada

Norte

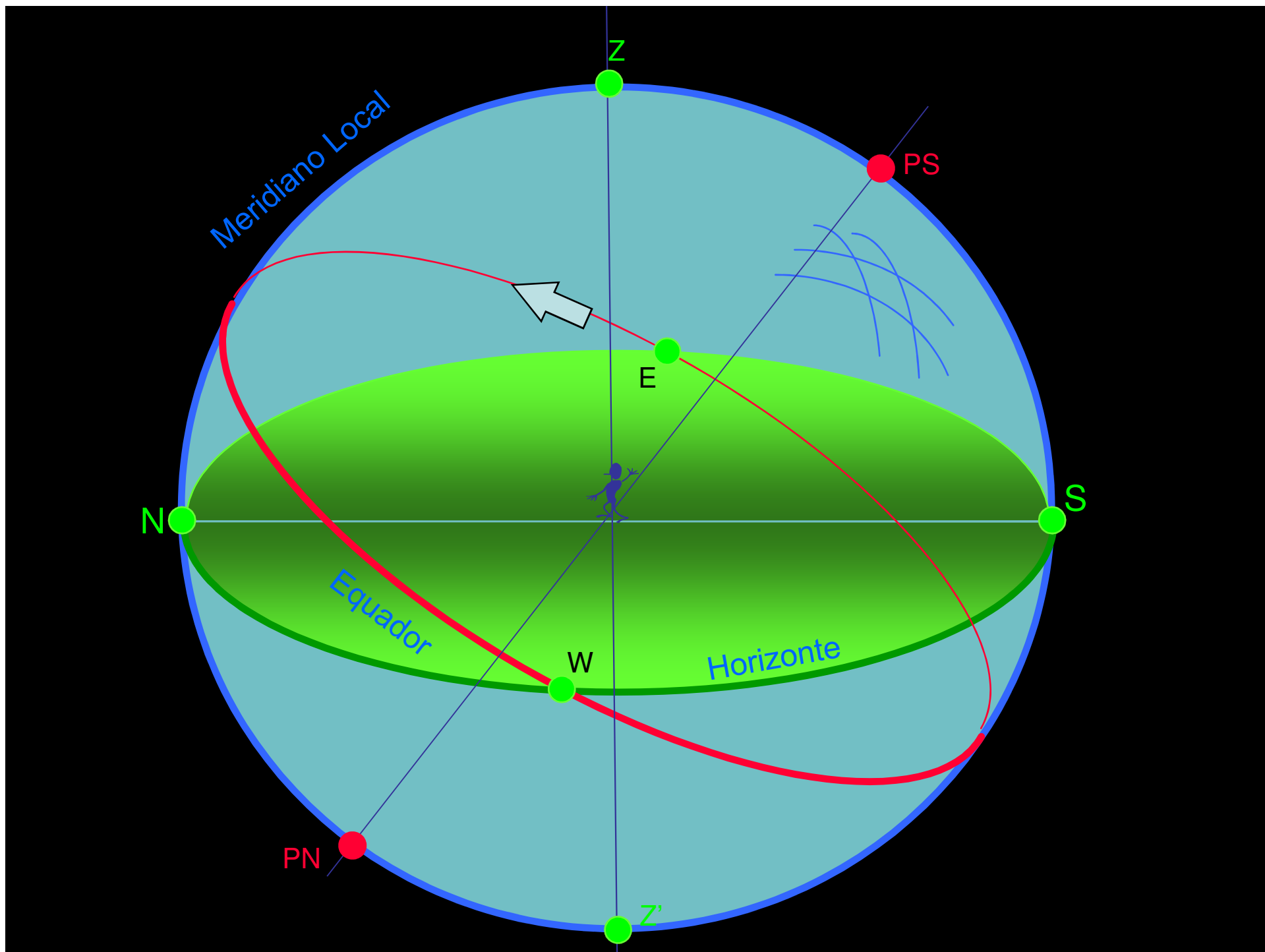
Oeste

Leste





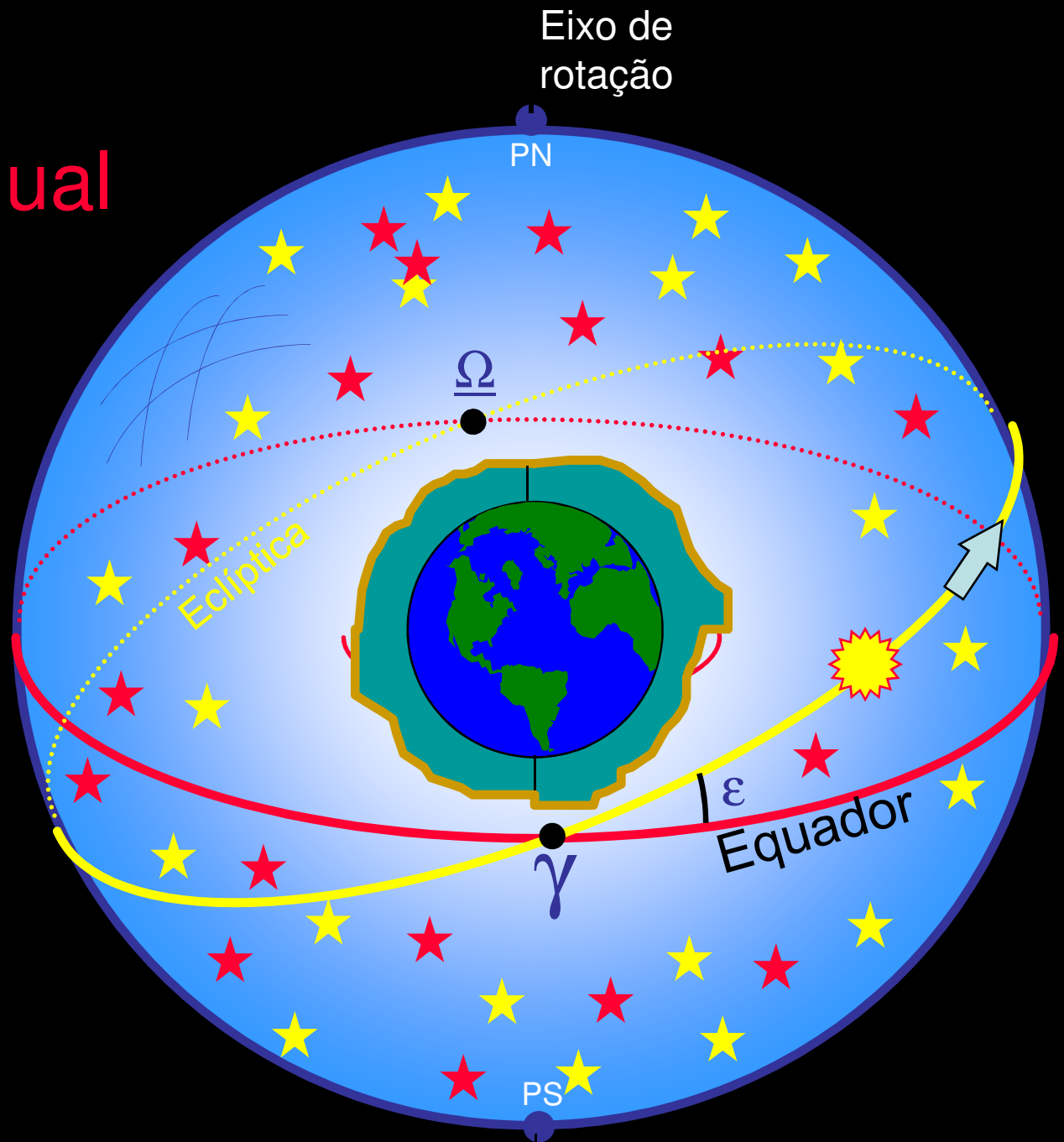






# Eclíptica: Trajetória anual aparente do Sol

$$\varepsilon \cong 23,5^\circ$$



# Sistema Equatorial de Coordenadas

$(\alpha, \delta)$

Ascensão reta

$$0^h \leq \alpha < 24^h$$

Declinação

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

