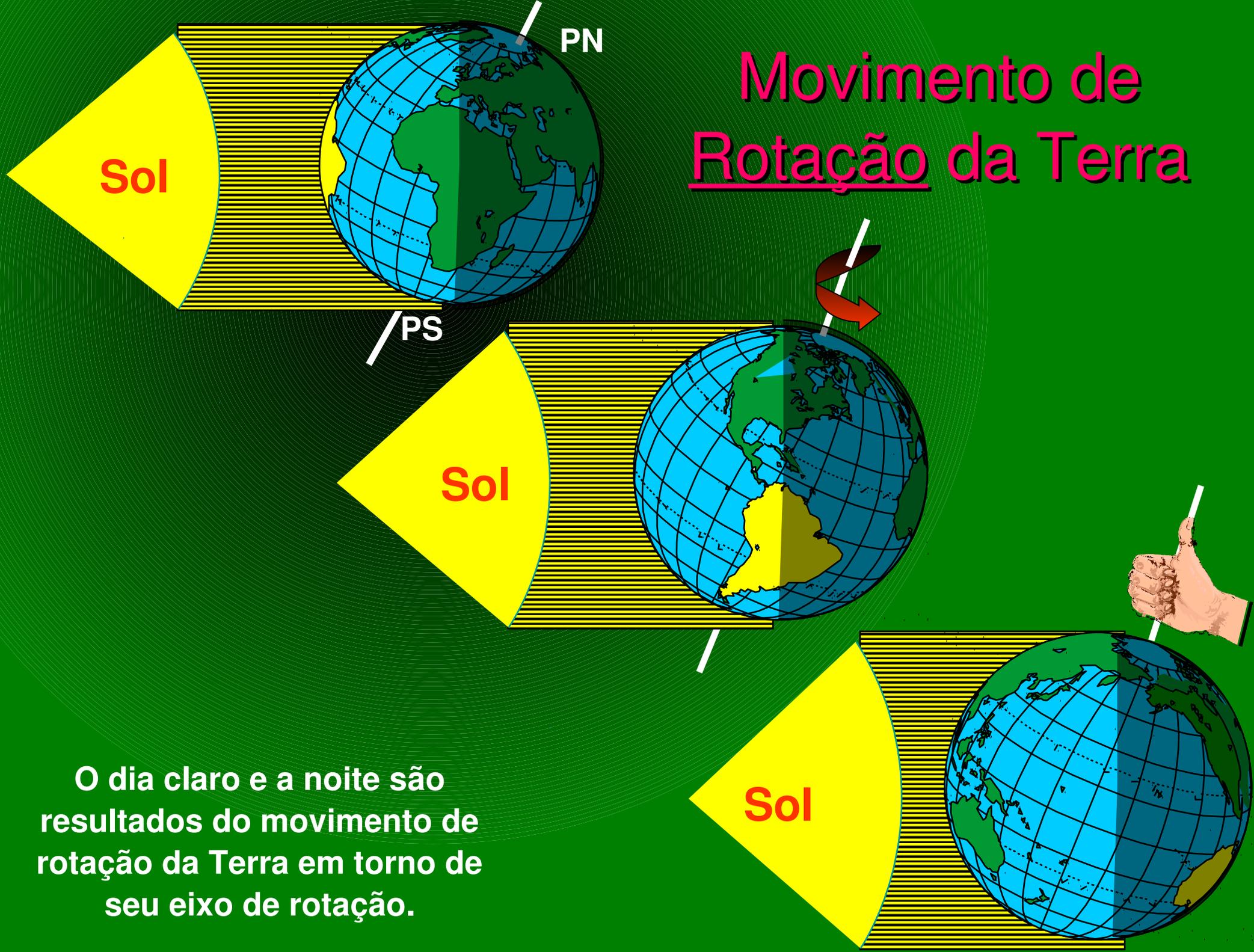


Os movimentos da Terra

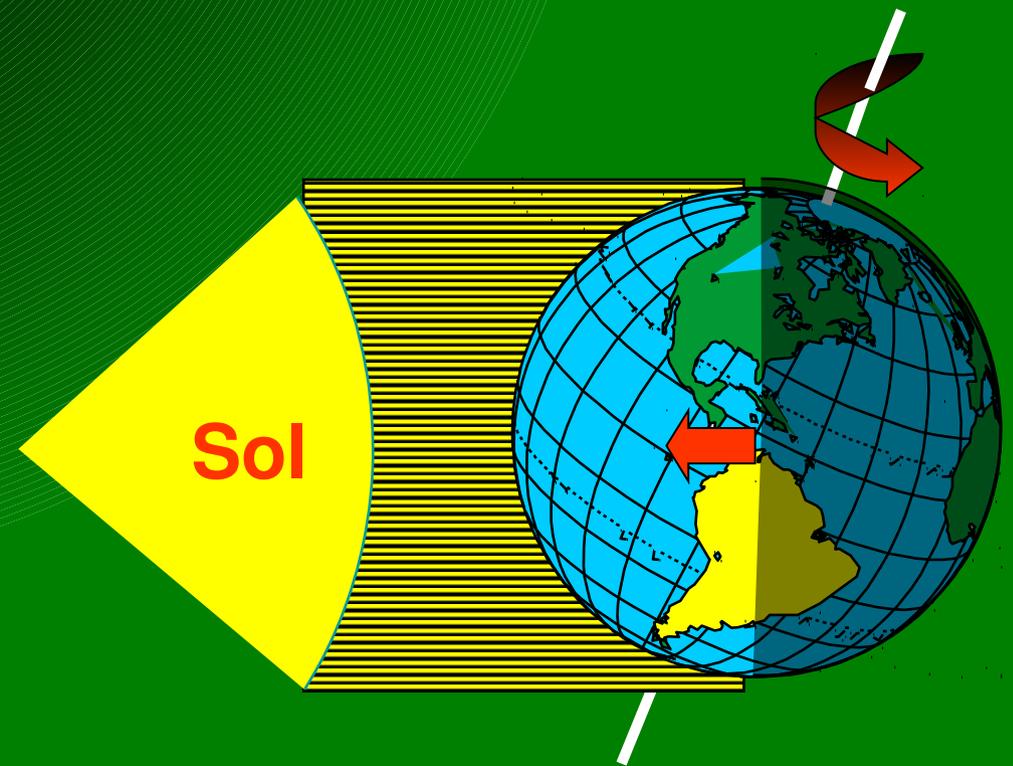
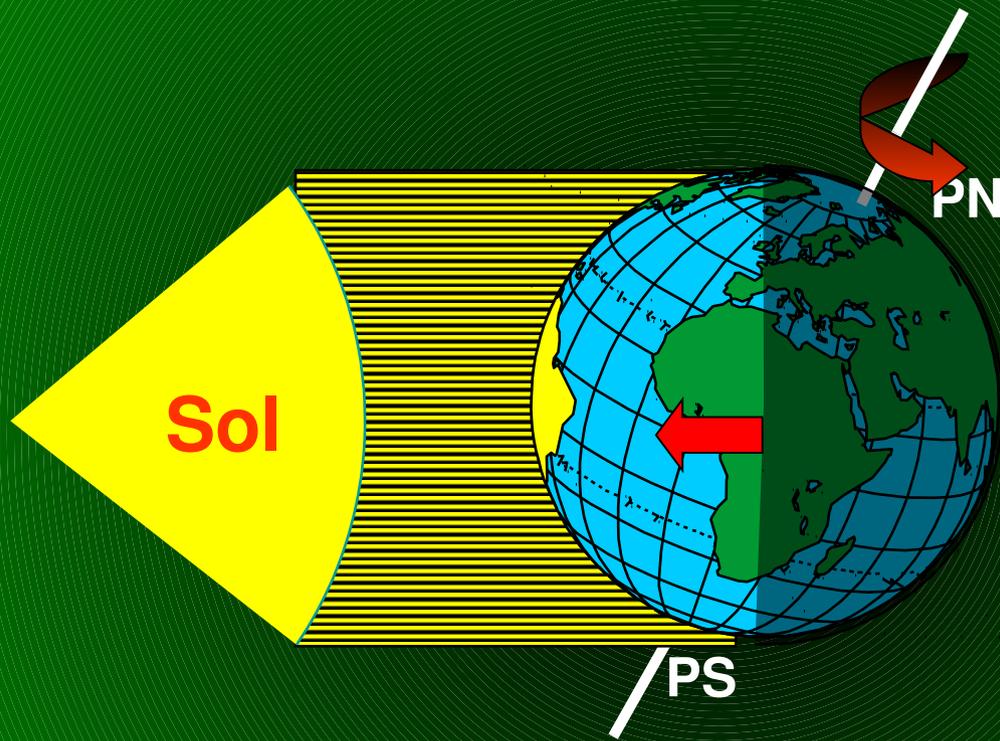
Roberto Ortiz - EACH/USP

Movimento de Rotação da Terra



O dia claro e a noite são resultados do movimento de rotação da Terra em torno de seu eixo de rotação.

Movimento aparente da sombra sobre a superfície da Terra



Curvatura da Terra

Essa região azul mais clara é a plataforma continental brasileira.



Oceano Atlântico

Salvador

Belo Horizonte

Rio de Janeiro

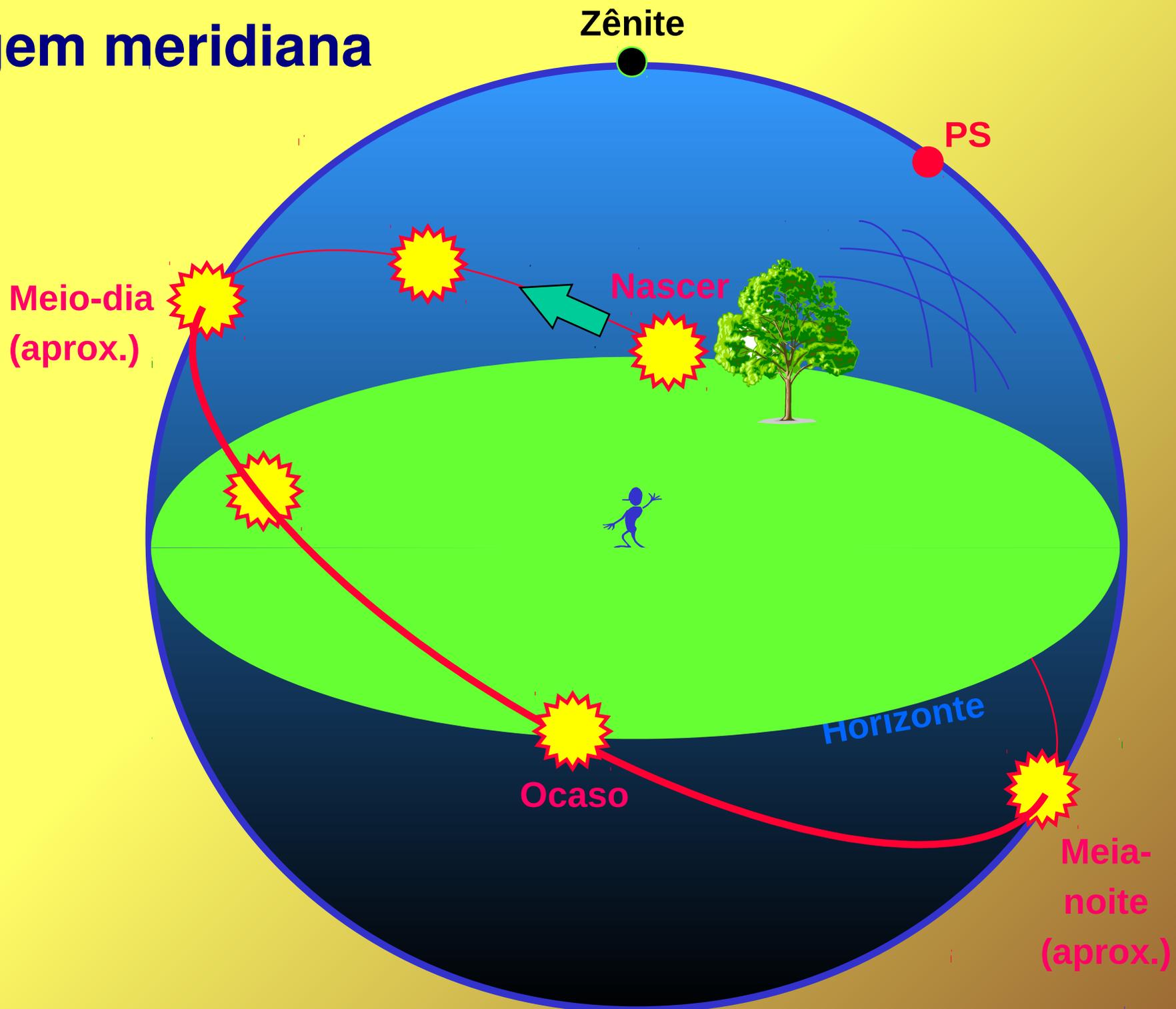
Grande São Paulo

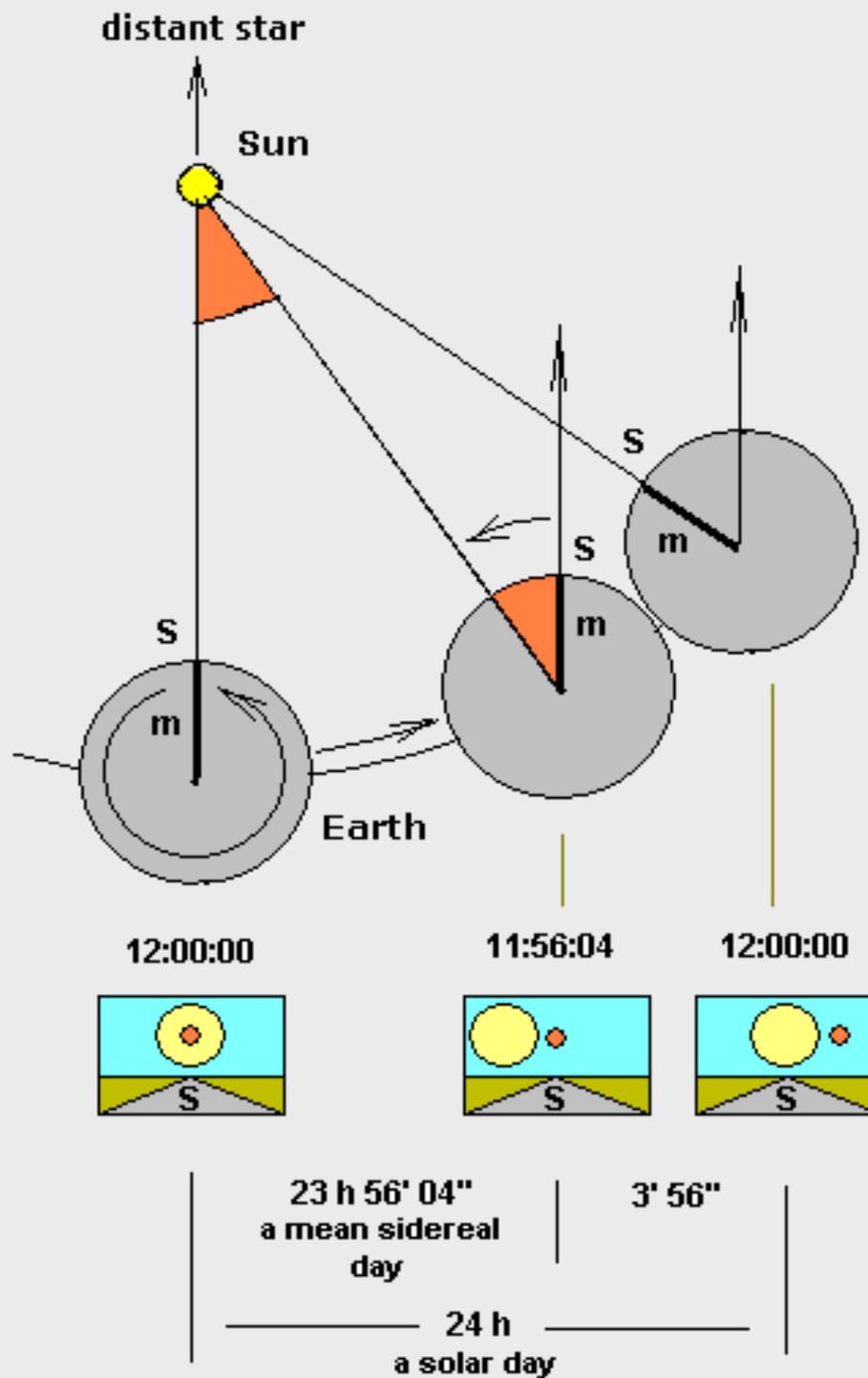
Separação do dia e da noite



Dia Solar
e
Dia Sideral

Passagem meridiana do Sol





Dia Sideral:

**Período decorrido entre duas passagens
meridianas da mesma estrela:**

23h 56m 04s

Este é o período de rotação da Terra

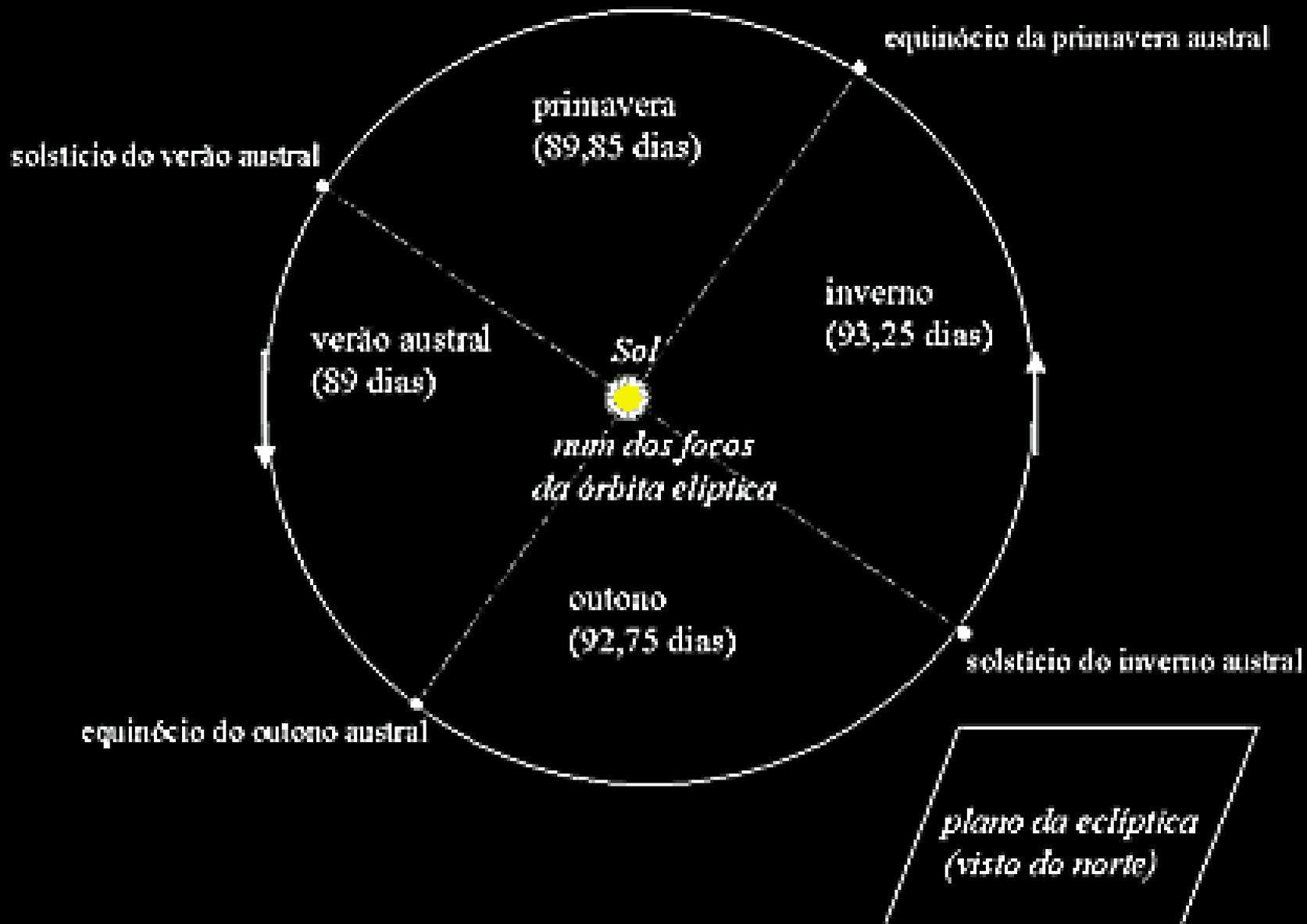
Dia Solar (médico)

**Período (médico) decorrido entre duas
passagens meridianas do Sol:**

24h 00m 00s

Movimento de Revolução (ou Translação)

A Terra descreve uma órbita elíptica em torno do Sol



Grandes mitos da Astronomia



As estações do ano são devidas ao achatamento da órbita da Terra em torno do Sol.

Fatos:

O achatamento da elipse é muito discreto: no periélio a Terra dista 147,1 milhões de km do Sol. No afélio a distância é de 152,1 milhões de km.

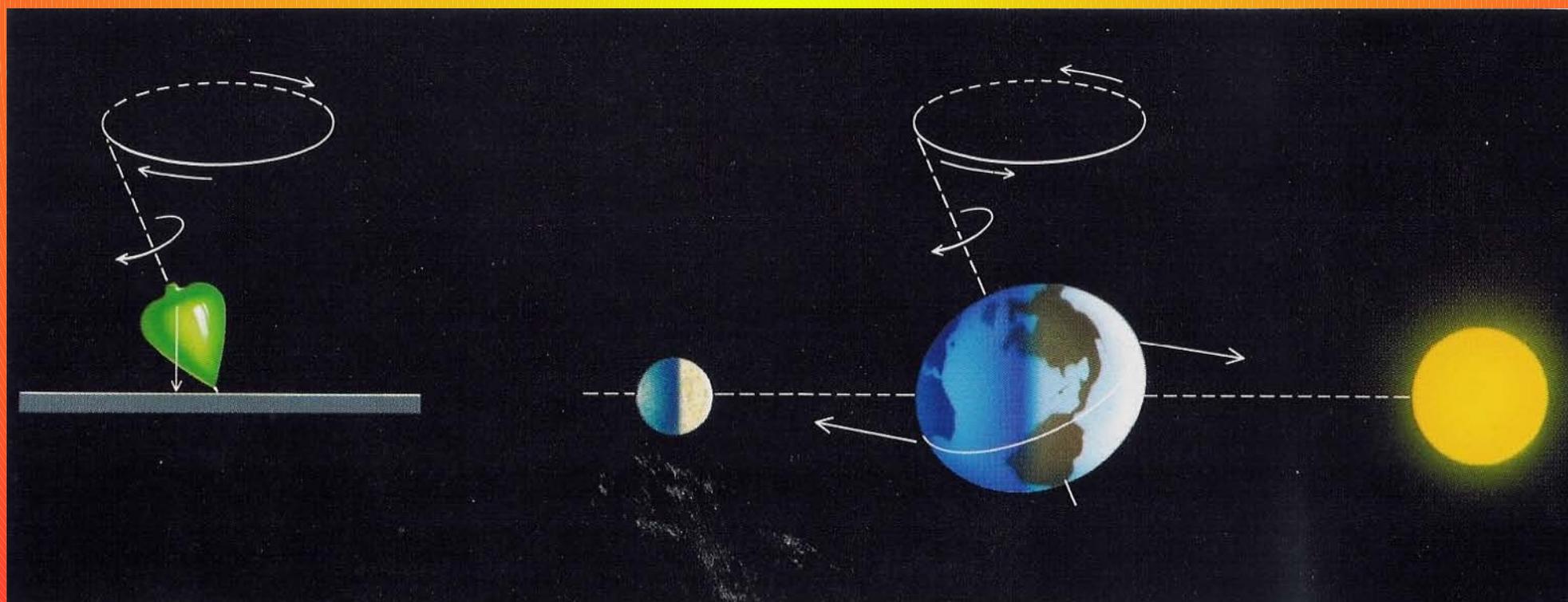
Se a causa das estações do ano fosse o achatamento da órbita terrestre, as estações seriam as mesmas nos dois hemisférios.

O periélio ocorre em janeiro. Logo o verão no hemisfério austral é um pouco mais curto (89 dias) do que no hemisfério boreal (93 dias).

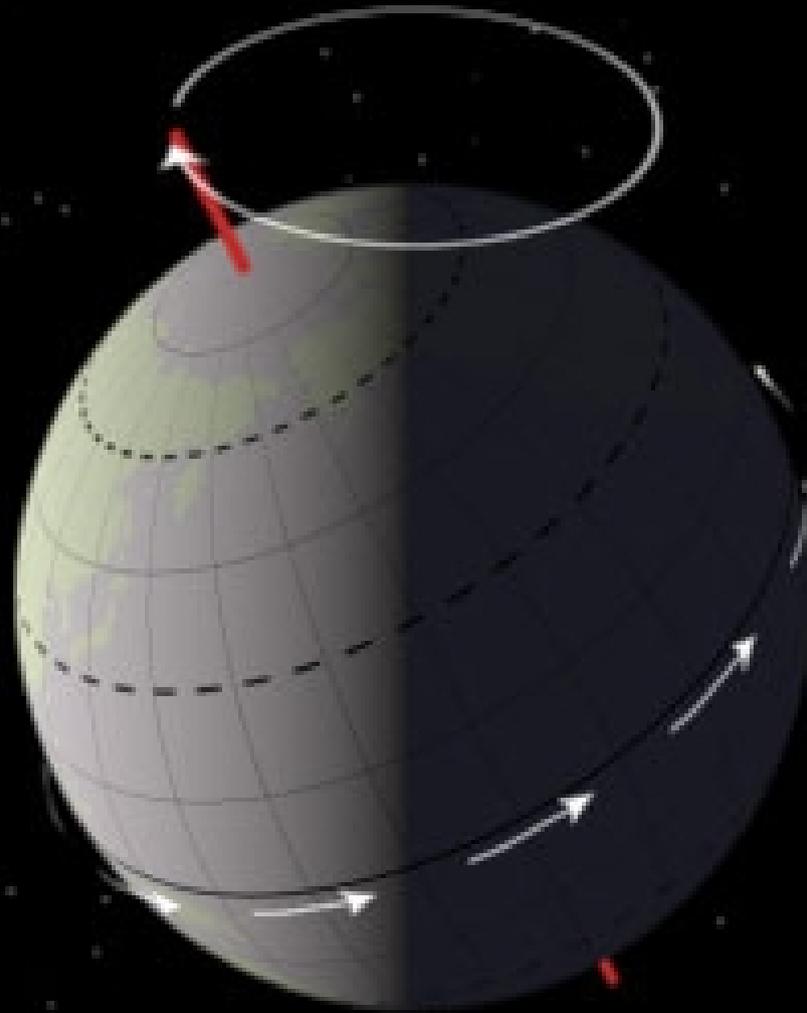
Movimento de Precessão (dos equinócios)

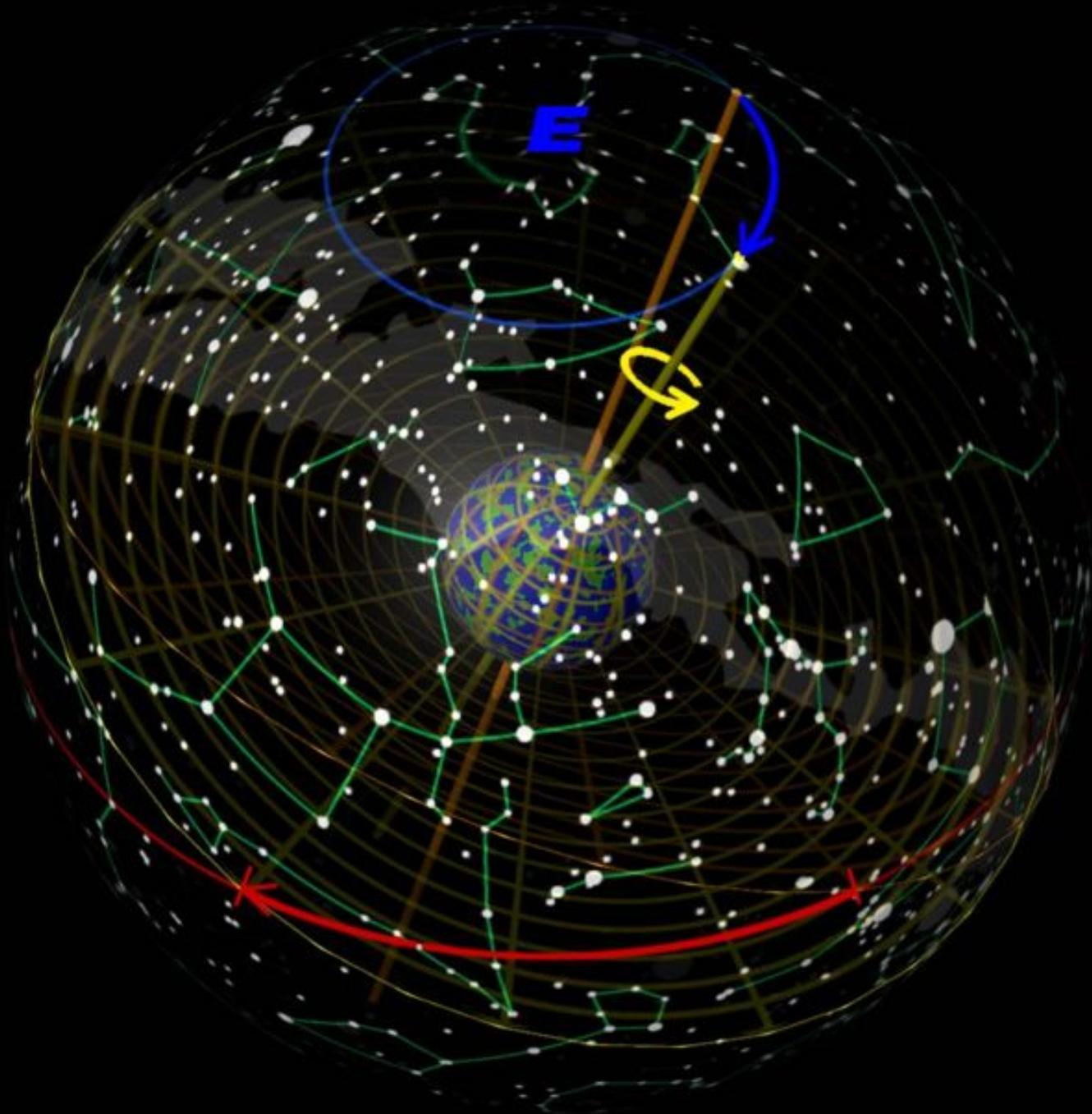
As forças gravitacionais exercidas pelo Sol e pela Lua não agem igualmente sobre a Terra devido ao seu achatamento.

Essa diferença gera um torque, que muda a direção do eixo de rotação terrestre.

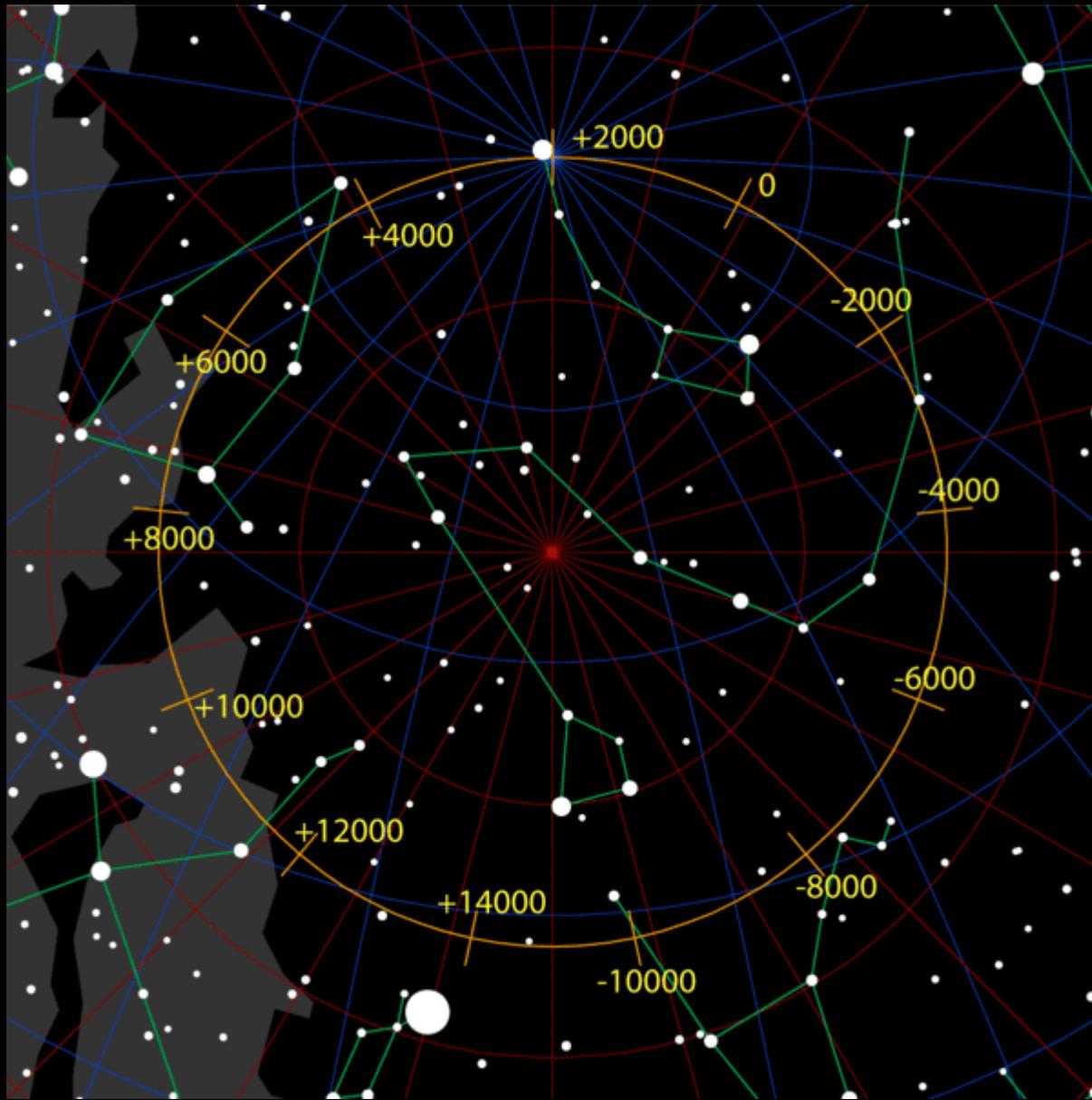


A precessão ocorre no sentido oposto à rotação da Terra.

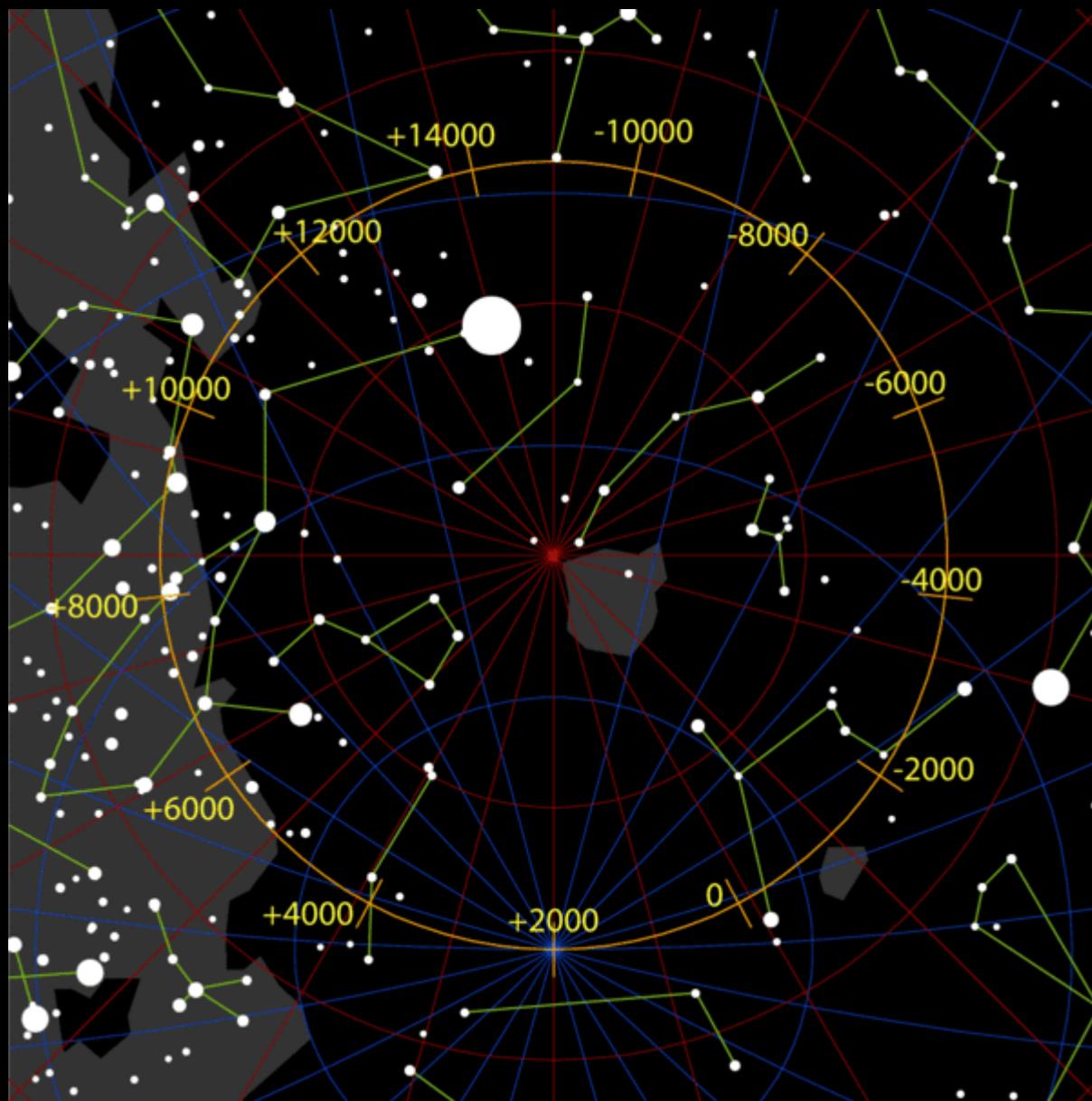




Hemisfério Celeste Norte



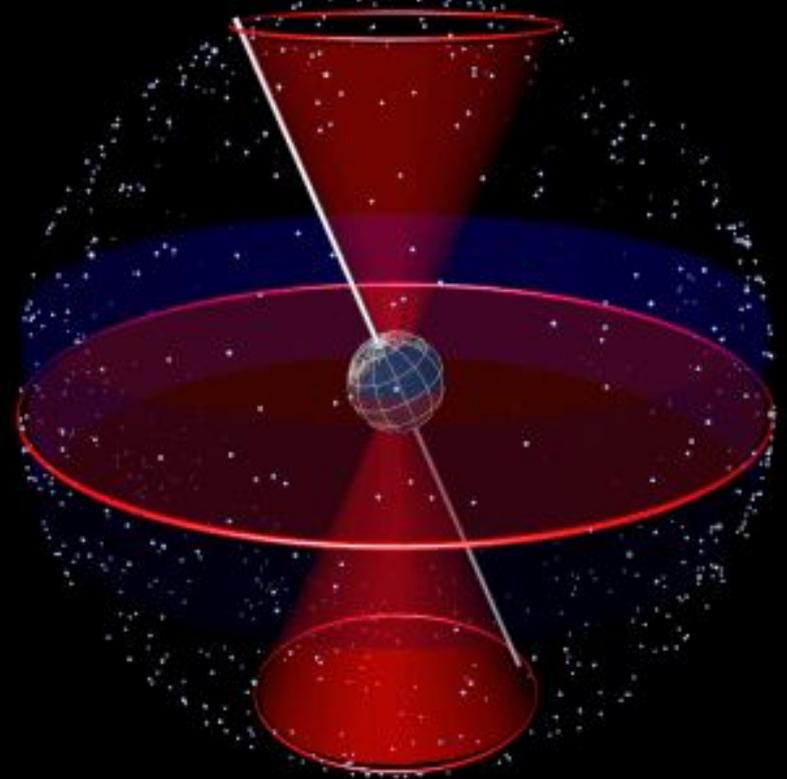
Hemisfério Celeste Sul



O movimento de precessão faz com que o eixo de rotação da Terra descreva 2 cones de revolução no espaço.

O período de precessão do eixo terrestre é de cerca de 25700 anos.

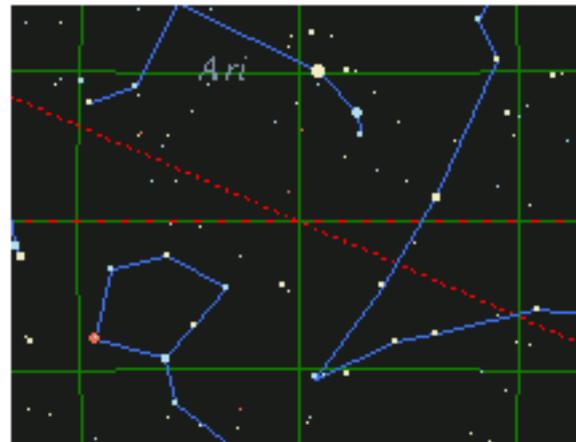
O movimento de precessão faz com a Terra tenha diferentes “estrelas polares” ao longo dos séculos.



Devido à precessão, o ponto vernal (γ , a intersecção entre o equador celeste e a eclíptica) retrocede à razão de 50" de arco por ano.



1500 BC



500 BC



AD 150

Portanto o ponto vernal se desloca entre as constelações.

Constelação

Taurus

Aries

Pisces

ano de entrada

4500 a.C.

2000 a.C.

100 a.C.

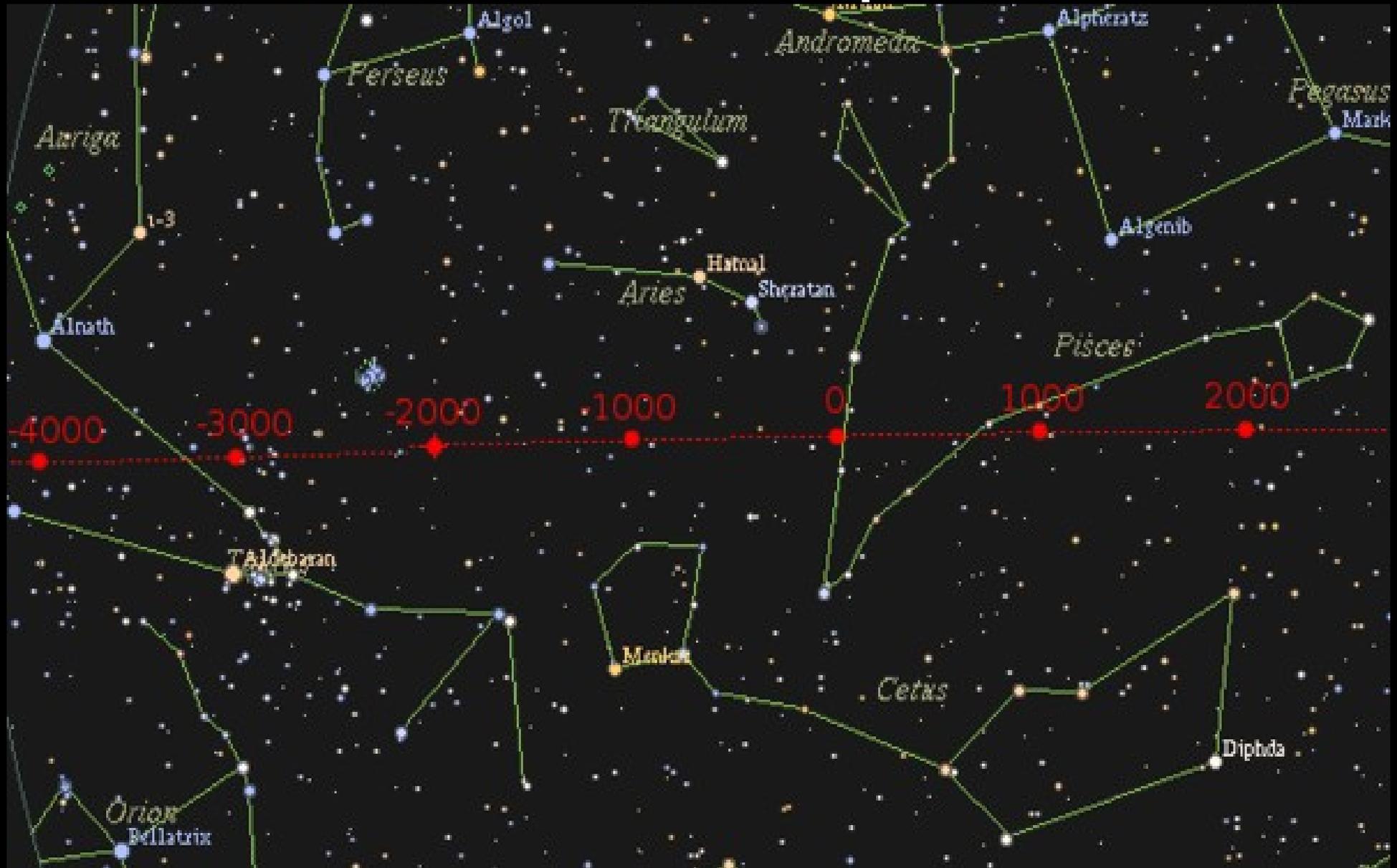
ano de saída

2000 a.C.

100 a.C.

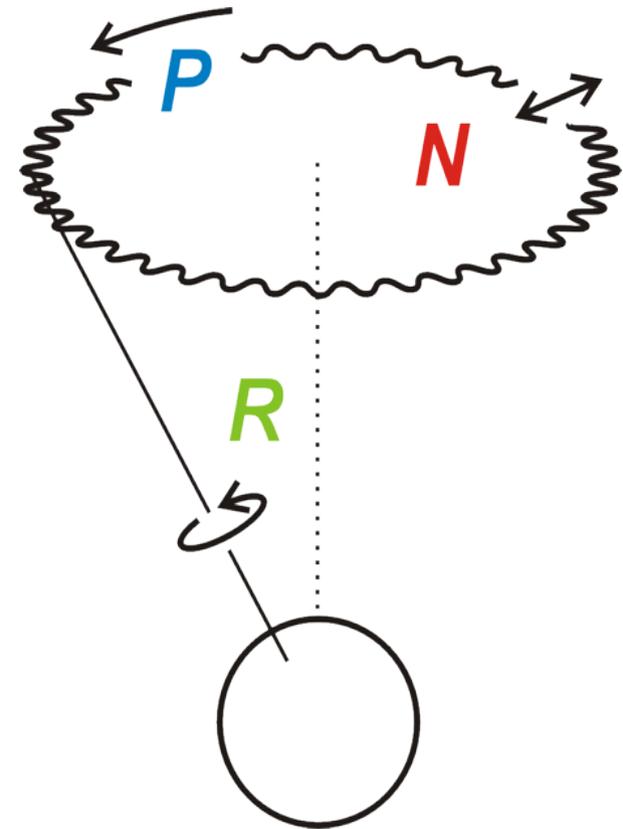
2700 d.C.

Caminho do “ponto vernal”: intersecção do equador celeste com a eclíptica.



Outros movimentos da Terra:

- Nutação
- Avanço do periélio
- Variação da excentricidade ($e = c/a$) da eclíptica
- Variação da obliquidade (inclinação do eixo) da eclíptica
- etc.



R = Rotação

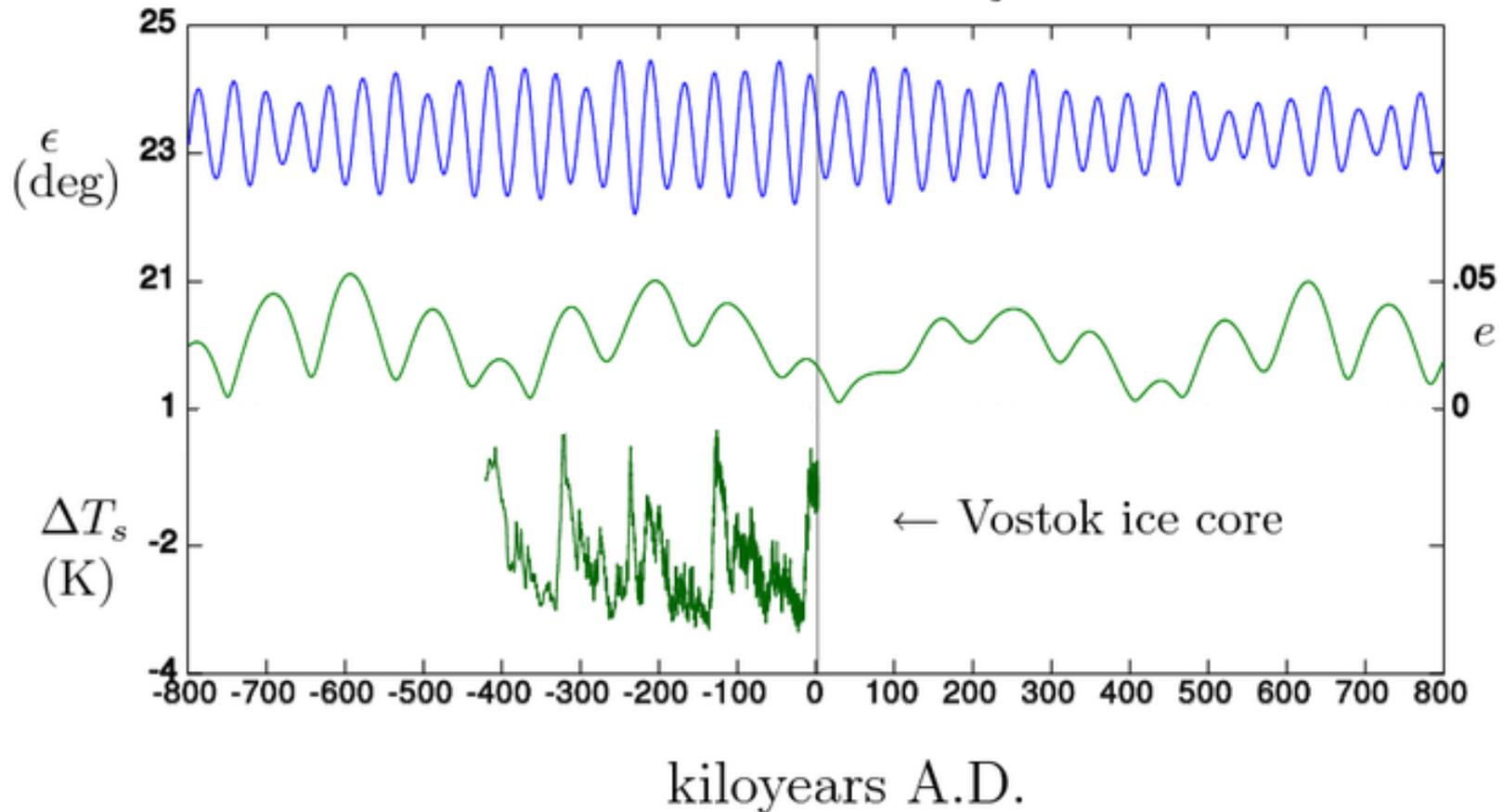
P = Precessão

N = Nutação

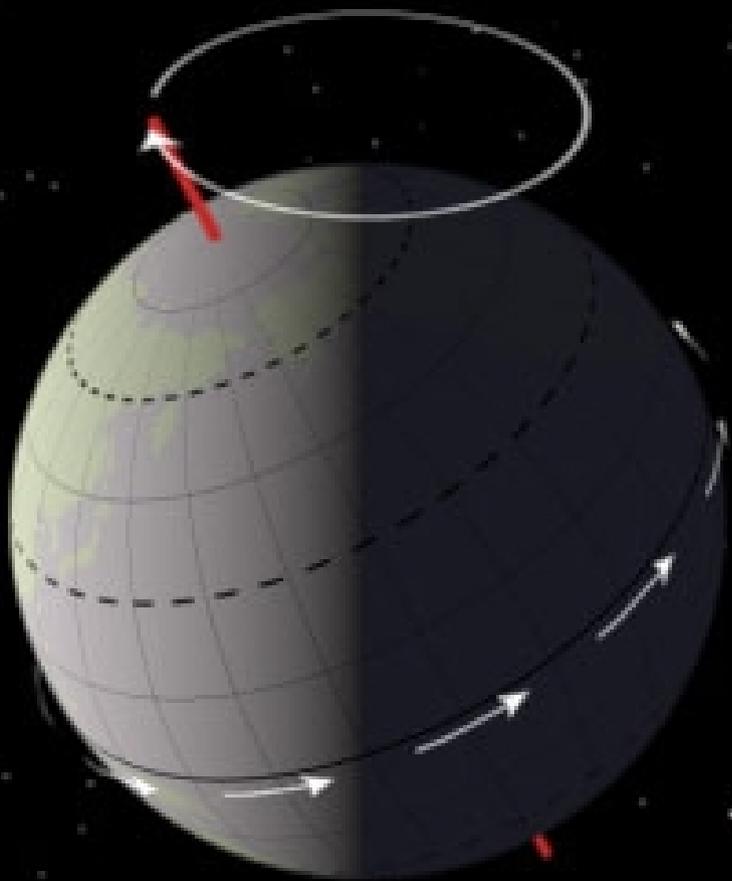
Os ciclos de Milankovitch

- O geofísico e astrônomo Milutin Milankovitch propôs, por volta dos anos 1920, que os movimentos lentos da Terra influenciariam variações a longo prazo do clima terrestre.
- Dados de fósseis mostram que existem correlações reais entre alguns desses movimentos e o clima.
- Alguns movimentos terrestres são mais importantes na mudança do clima em períodos específicos.
- Os dois movimentos mais importantes para as mudanças climáticas são:
 - Mudança da obliquidade da eclíptica
 - Mudança da excentricidade da eclíptica

Milankovitch Cycles

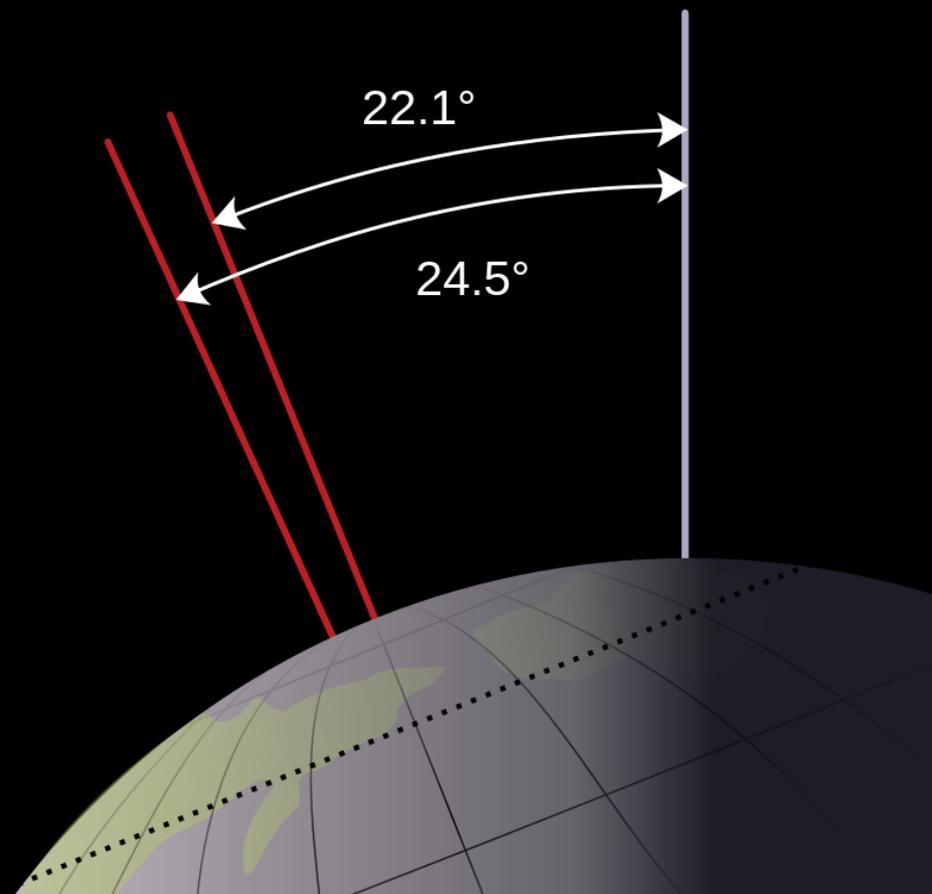


- Obliquidade da eclíptica: ϵ
- Excentricidade da eclíptica: e
- Variação da temperatura: ΔT



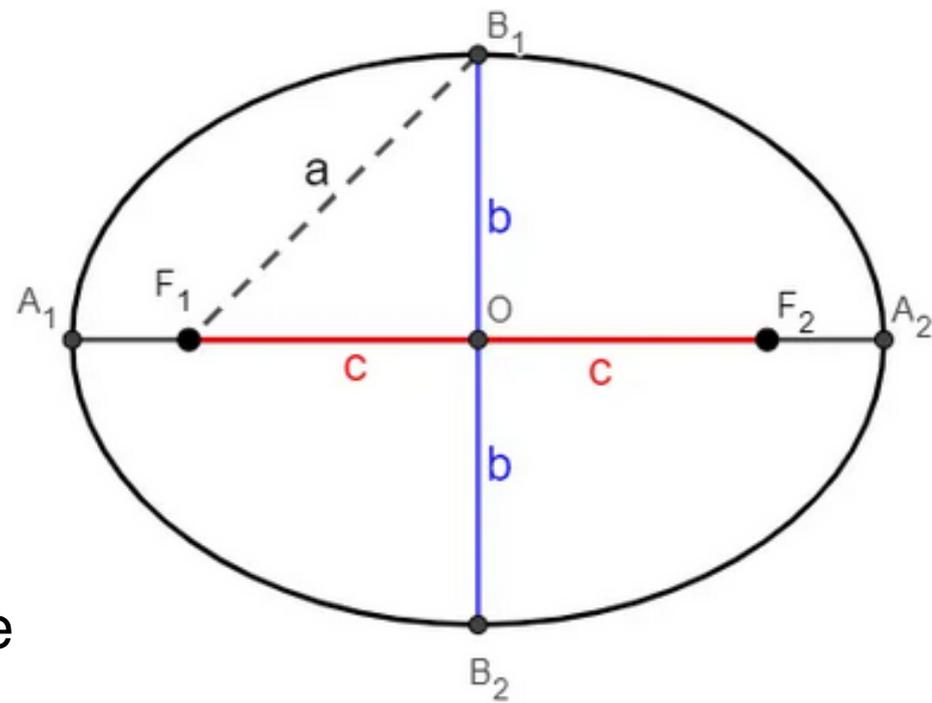
Acima: precessão dos equinócios

Abaixo: variação da obliquidade da eclíptica



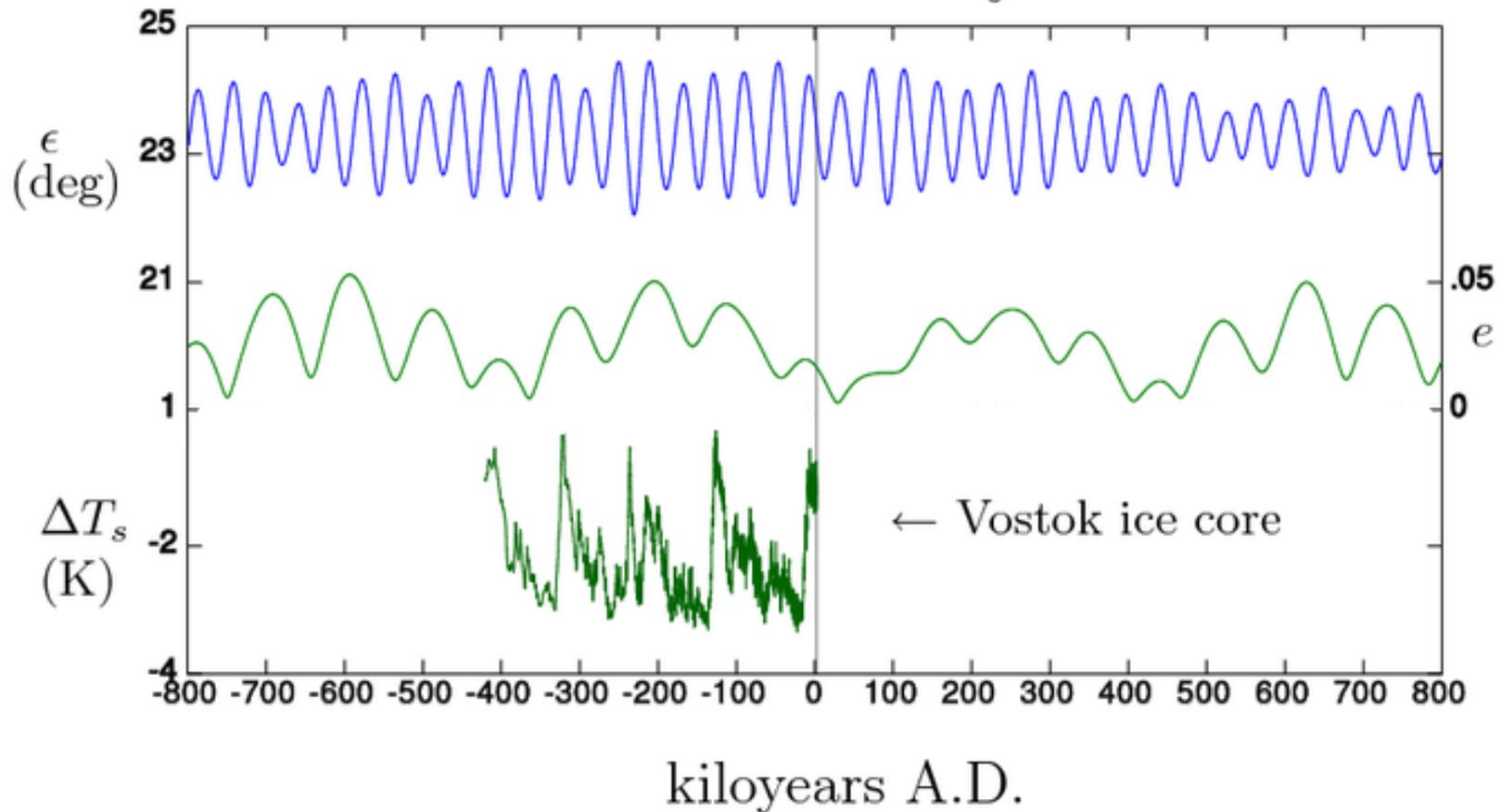
Variação da excentricidade

- A excentricidade (ou achatamento) da elipse que representa a órbita da Terra muda com múltiplos períodos. O período mais importante dura 405 mil anos. Outros períodos mais curtos, sobrepostos, são de 95 mil e 124 mil anos.
- Ao longo desses ciclos a excentricidade varia entre 0 e 0,0679.
- A excentricidade atual é de 0,0167 (e diminuindo) A variação percentual da distância (atual) é de 3,4% → a intensidade da insolação varia 6,8%.
- Uma excentricidade mais alta faz com que a distância entre a Terra e o Sol varie mais, causando maior variação de temperatura nas estações do ano.



$$e = c / a$$

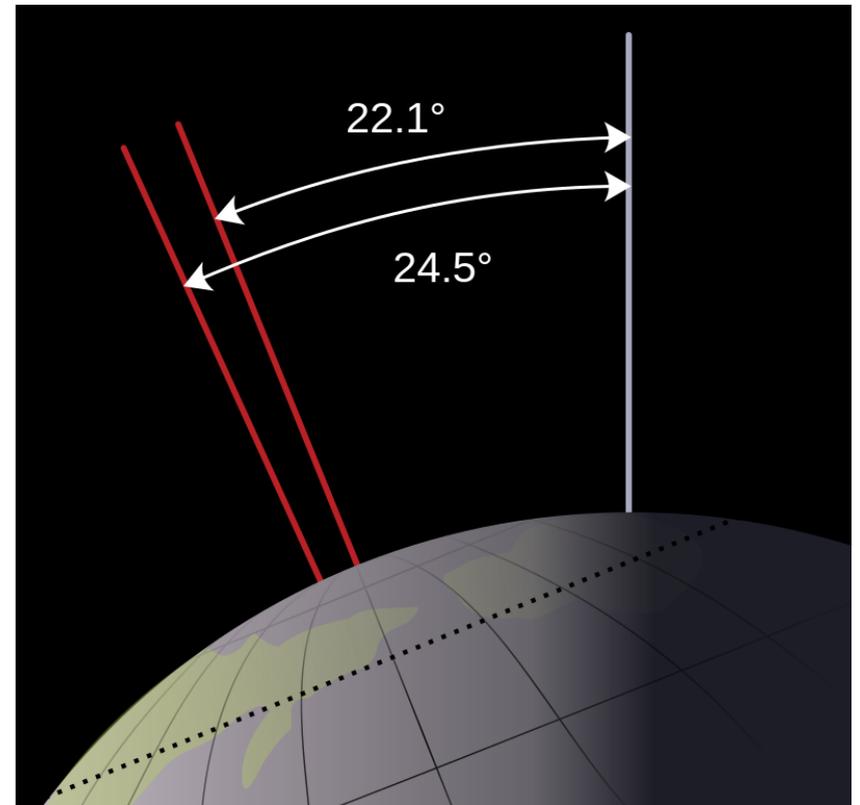
Milankovitch Cycles



- Excentricidade da eclíptica: e
- *Variação da temperatura: ΔT*

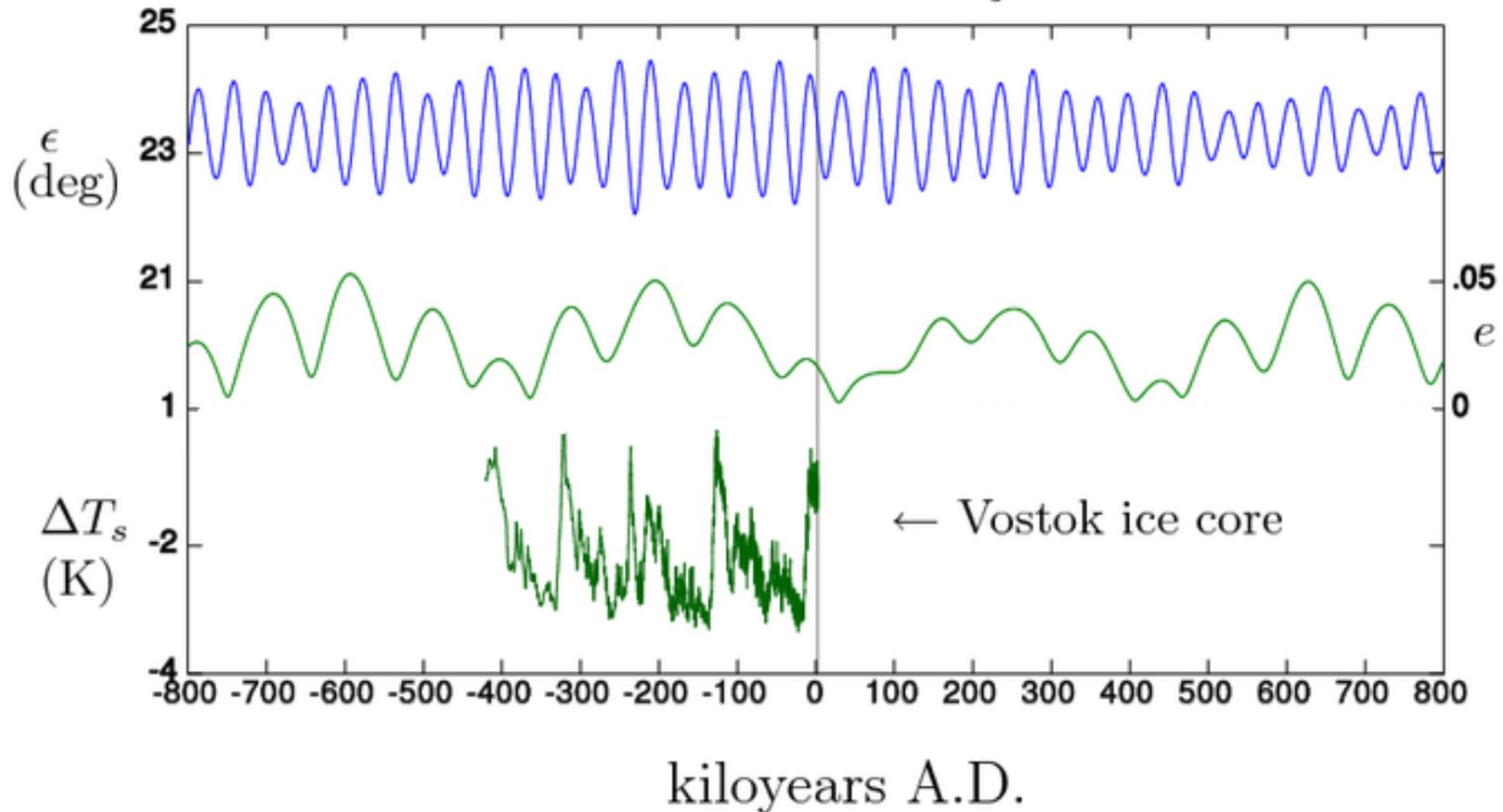
Variação da obliquidade

- Uma maior obliquidade faz com que um hemisfério seja mais ensolarado do que o outro durante as estações de verão/inverno.
- Quanto maior a obliquidade, maior o efeito da insolação sobre os hemisférios.
- A obliquidade varia com um período de 41 mil anos.



Acima: os valores extremos da obliquidade da eclíptica.

Milankovitch Cycles



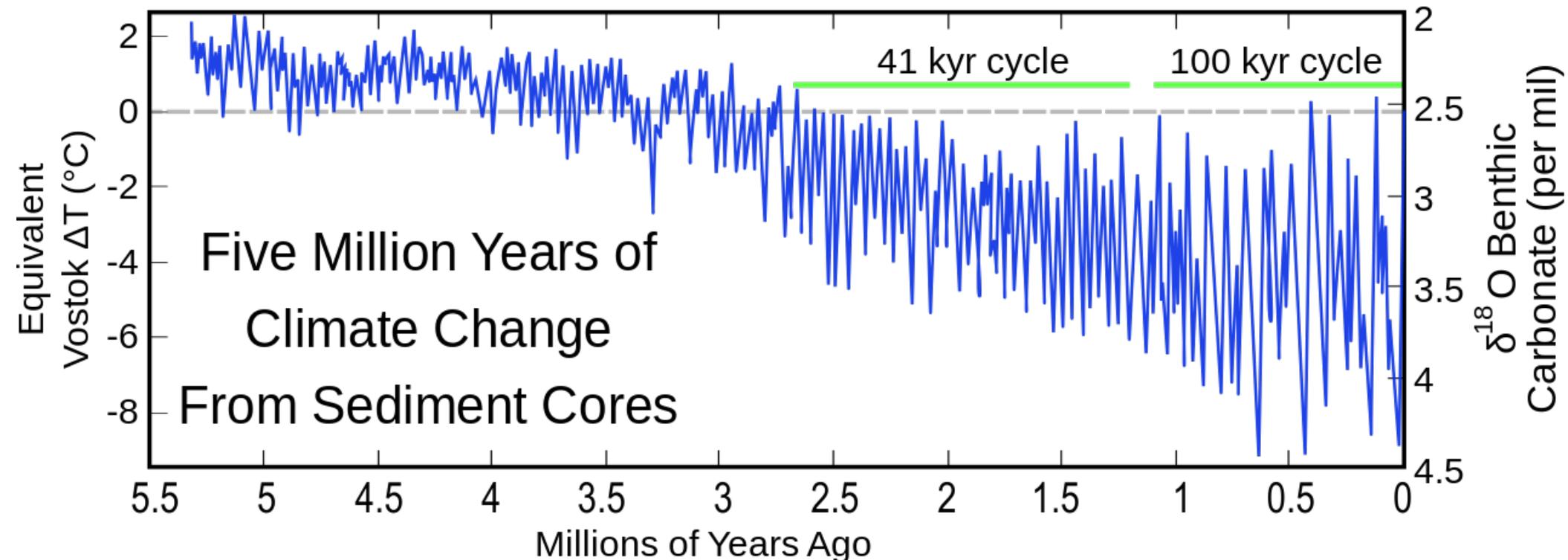
- Obliquidade da eclíptica: ϵ
- Variação da temperatura: ΔT

Precessão dos equinócios

- Atualmente, a Terra passa pelo periélio no início de janeiro.
- Nesta data é verão no hemisfério sul, logo os dois efeitos (menor distância Terra – Sol e maior insolação) contribuem ambos para aumentar a temperatura no hemisfério sul. Os verões são intensos no hemisfério sul.
- Daqui a cerca de 13 mil anos o eixo da Terra terá precessionado cerca de 180° . Conseqüentemente o periélio terrestre ocorrerá durante o verão no hemisfério norte. Os dois efeitos tornarão o verão no hemisfério norte mais intenso do que é hoje (e vice-versa)
- No entanto, a precessão dos equinócios não altera muito a temperatura global da Terra (i.e. considerando ambos os hemisférios). A data do periélio afeta a intensidade das estações do ano em cada hemisfério, individualmente.

O que dizem os fósseis?

- As pesquisas mostram que as glaciações repetem-se em um período principal de dezenas de milhares de anos (durante o período quaternário, últimos milhões de anos).
- No entanto, o período dessas oscilações de temperatura global tem mudado com o tempo: de 41 mil anos (de 1 a 2,7 milhões de anos atrás) a 100 mil anos (no último milhão de anos).



- Portanto:

- Durante o período de 1 milhão a 2,7 milhões de anos atrás, a variação da temperatura da Terra seguia a variação da obliquidade da eclíptica (41 mil anos).
- Durante o último milhão de anos, a variação da temperatura da Terra passou a variar com um período mais próximo da variação da ecentricidade da eclíptica (~100 mil anos).
- A precessão dos equinócios não altera muito a temperatura global da Terra (i.e. considerando ambos os hemisférios). A data do periélio afeta a intensidade das estações do ano em cada hemisfério, individualmente.



*Agradecimentos:
Prof. Dr. Roberto Bockzo*