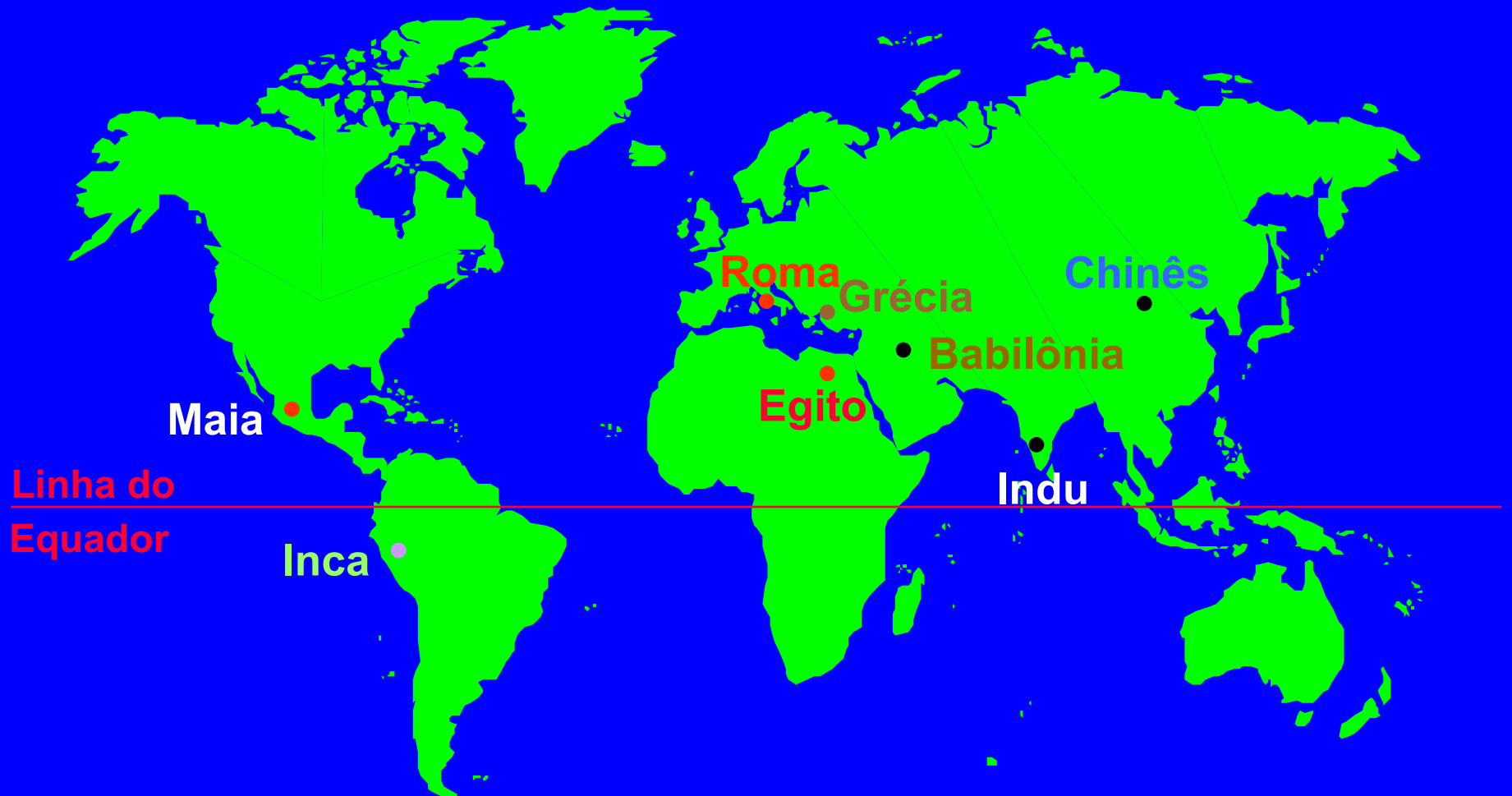


A medida do Tempo

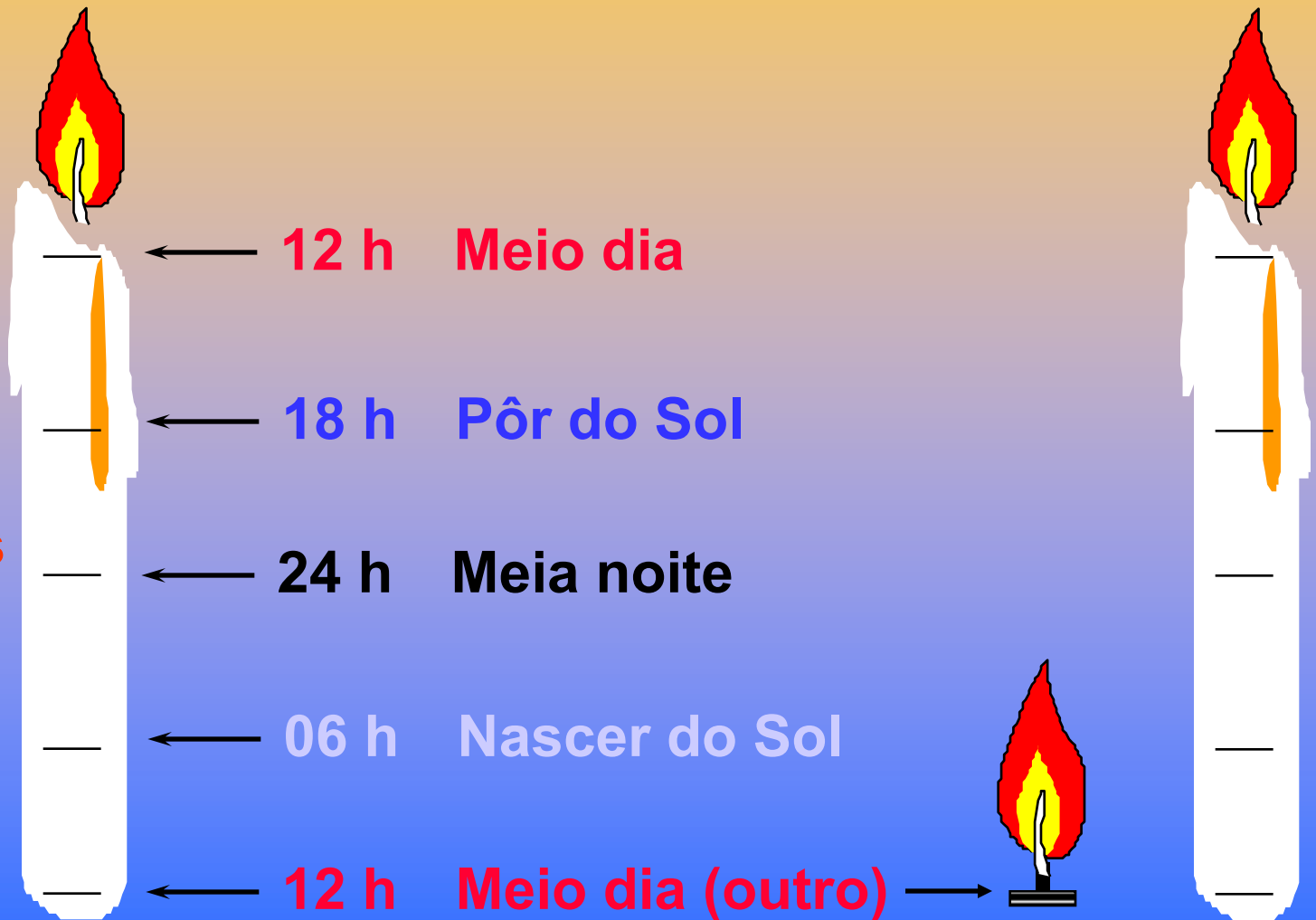
R. Boczko
R.Costa
IAG - USP

Berços da Astronomia



Relógio de Vela

Babilônicos
e Caldeus



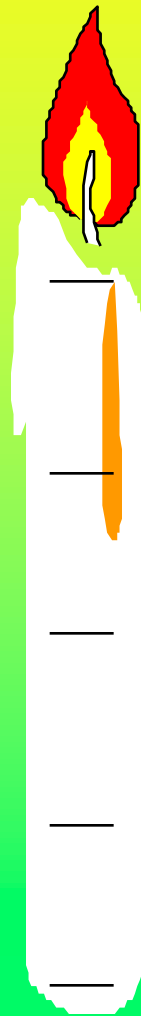
Minutos e segundos

**Babilônicos
e Caldeus**

**Sistema Sexagesimal
(60)**

(12 = 60 / 5)

Dia = 12 + 12 horas



12 h Meio dia

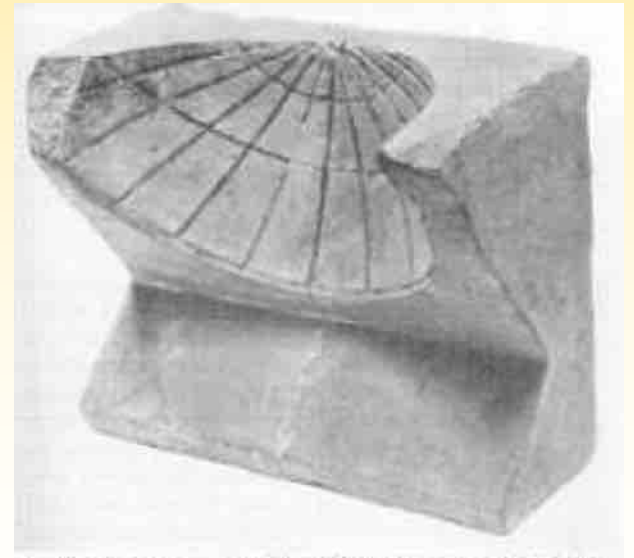
18 h Pôr do Sol

24 h Meia noite

06 h Nascer do Sol

12 h Meio dia

Relógios de Sol da Grécia (período clássico)

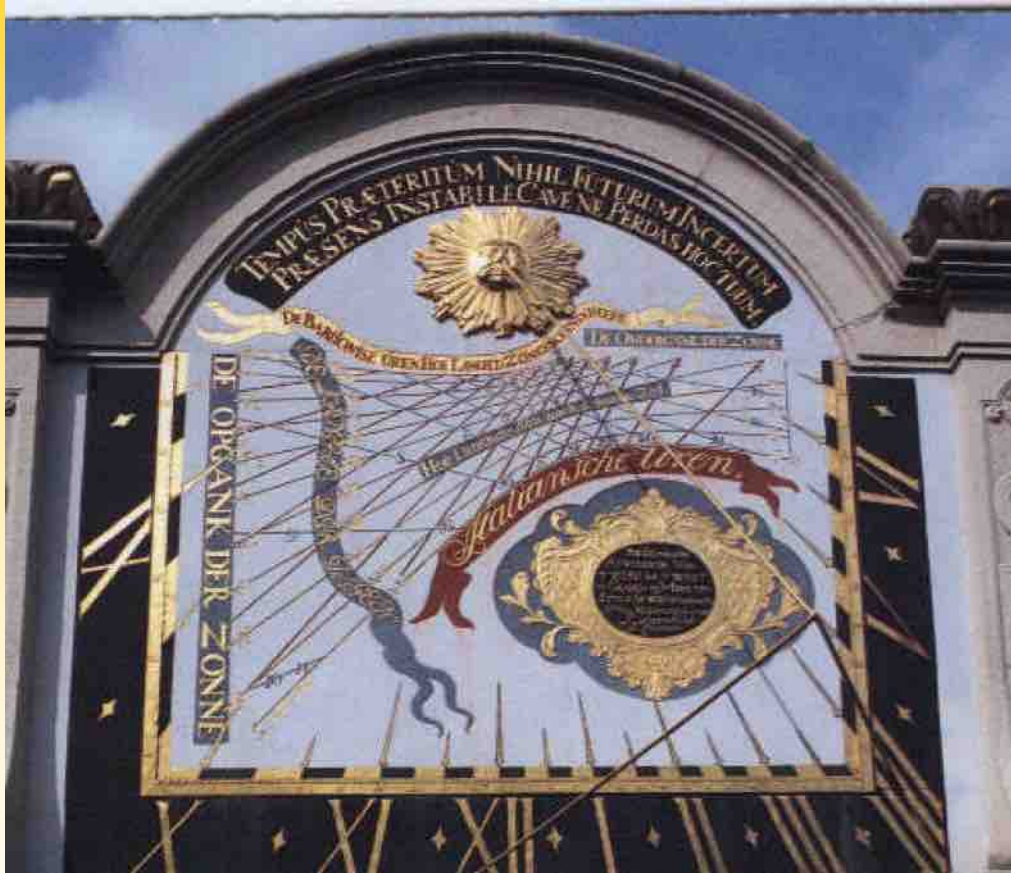


Torre dos Ventos - Atenas



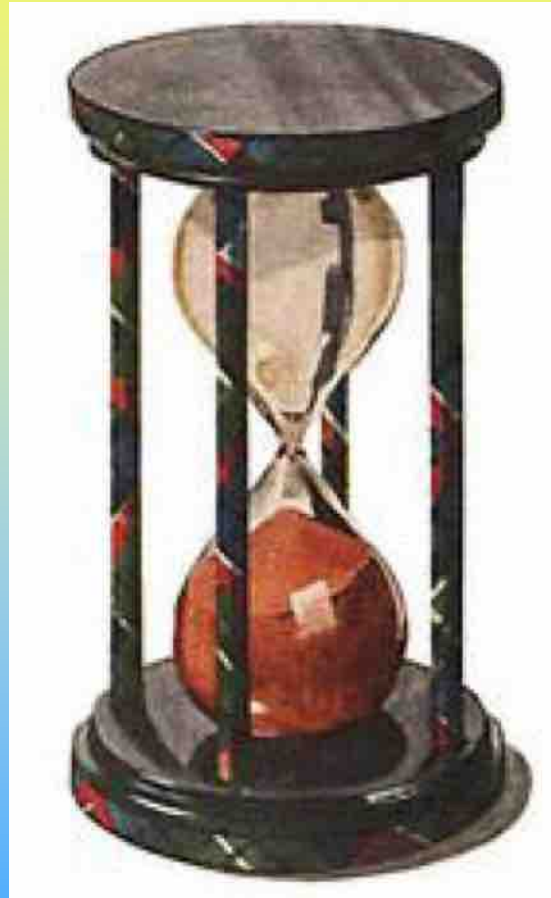
Fig 3. Tower of the winds, Athens (from a drawing in De Solla Price 1967).





Ampulheta

**Relógio com
escoamento de areia**



Clepsidra

Reservatório de reposição

Nível constante

h

Relógio com escoamento de água

v

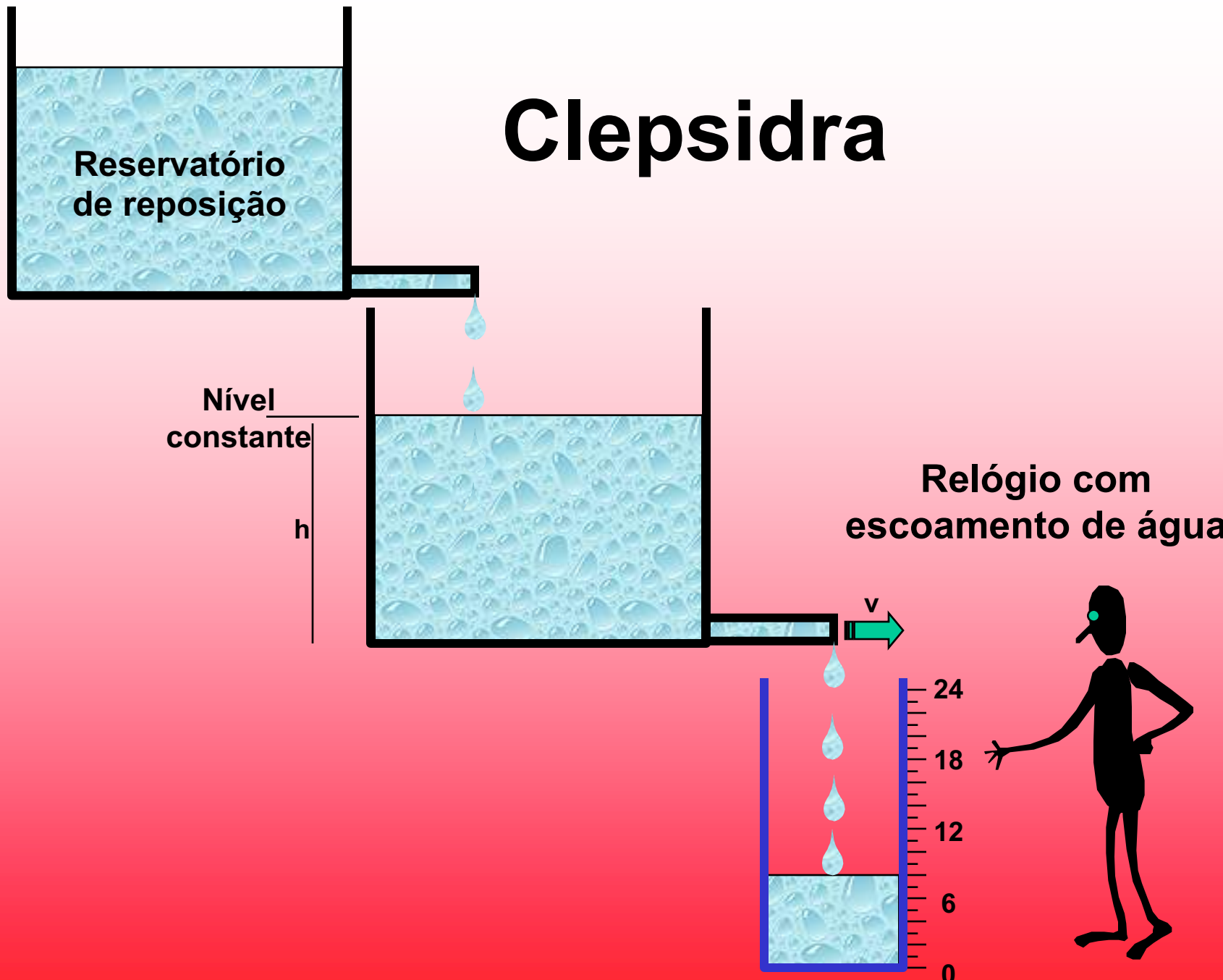
24

18

12

6

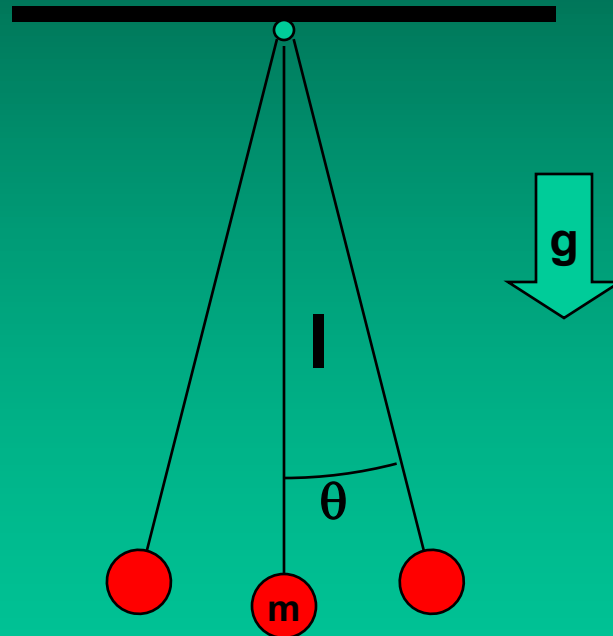
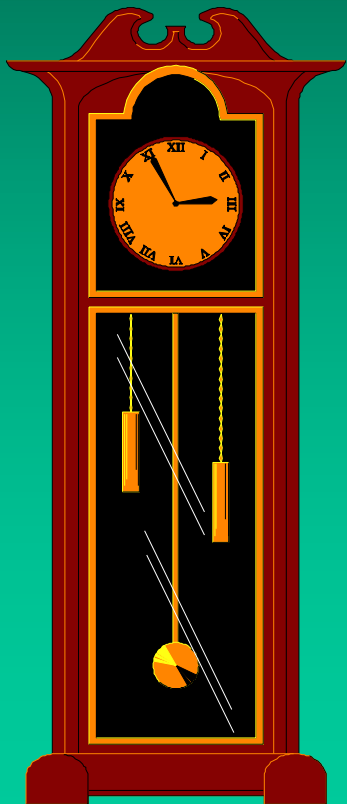
0



Clepsidra encontrada no túmulo de Amenhotep I (1500 A.C.)



Relógio de pêndulo

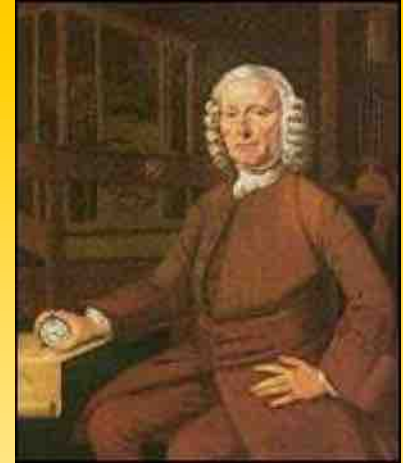


$$T = 2\pi \sqrt{l/g}$$



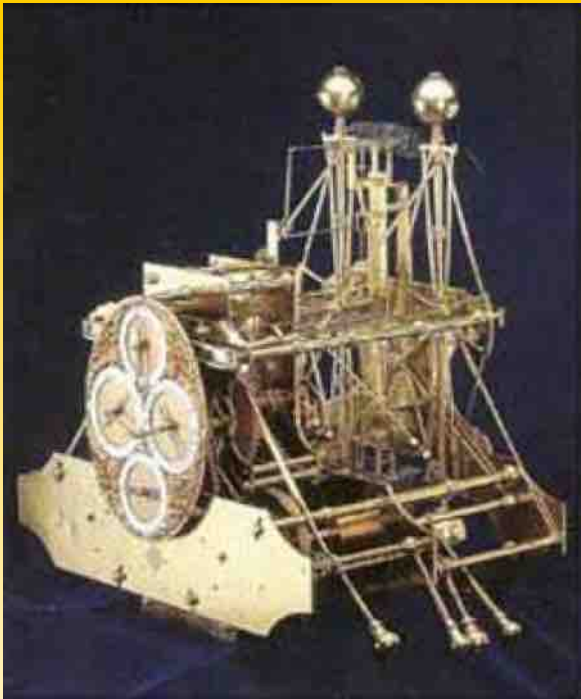
Relógio de pêndulo desenvolvido de acordo com o princípio descoberto por Galileo em 1582 e formulado por Christiaan Huygens em 1656

Cronômetro de corda



**John Harrison
(1693-1776)**

Primeiro crononômetro construído por John Harrison, que construiu relógios suficientemente estáveis para resolver o problema da determinação das longitudes.



Cronômetro marítimo H1 de Harrison (1730)



Cronômetro marítimo H4 (1760)

Relógios Atômicos



NIST – F1 (2005)

Base de tempo: átomo de césio

Precisão de 1 segundo em 80 milhões de anos (10^{-15} s)

Relógio do NIST (2013):

Base de tempo: átomo de itérbio

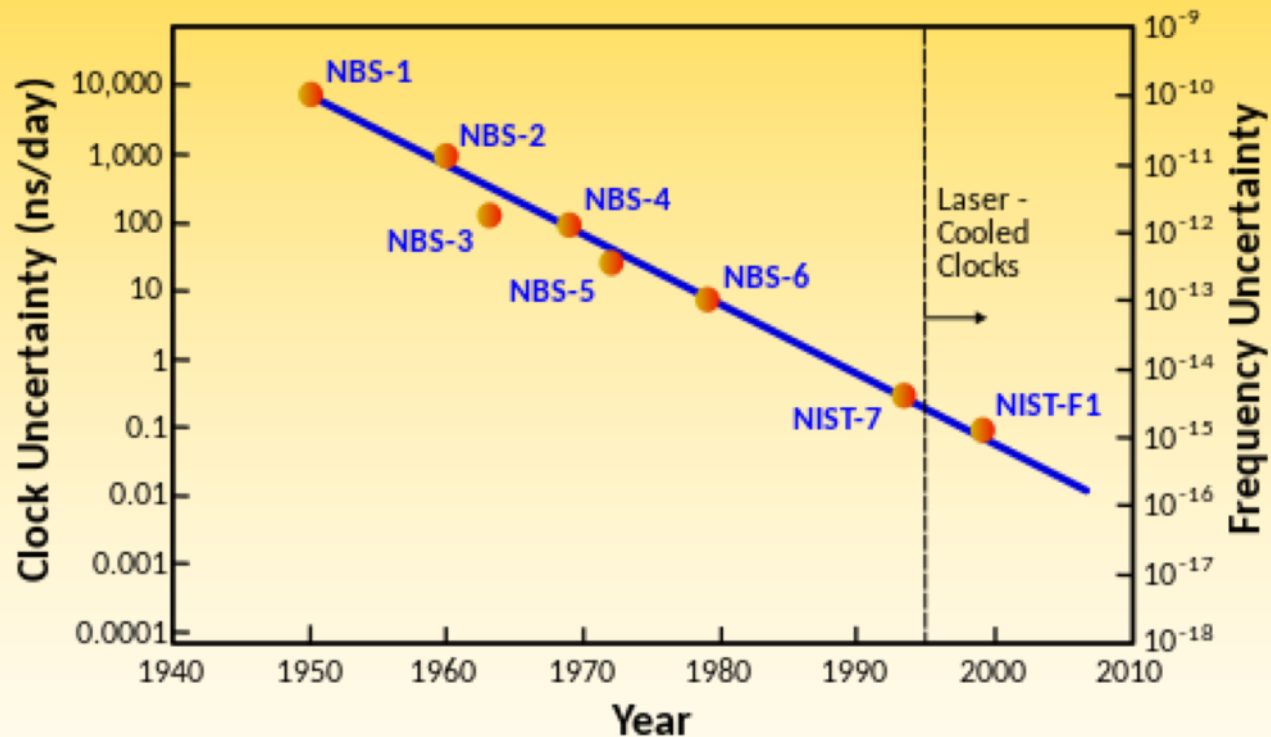
Precisão de 1 segundo em 100 bilhões de anos (10^{-18} s)

Relógio do NIST (2019):

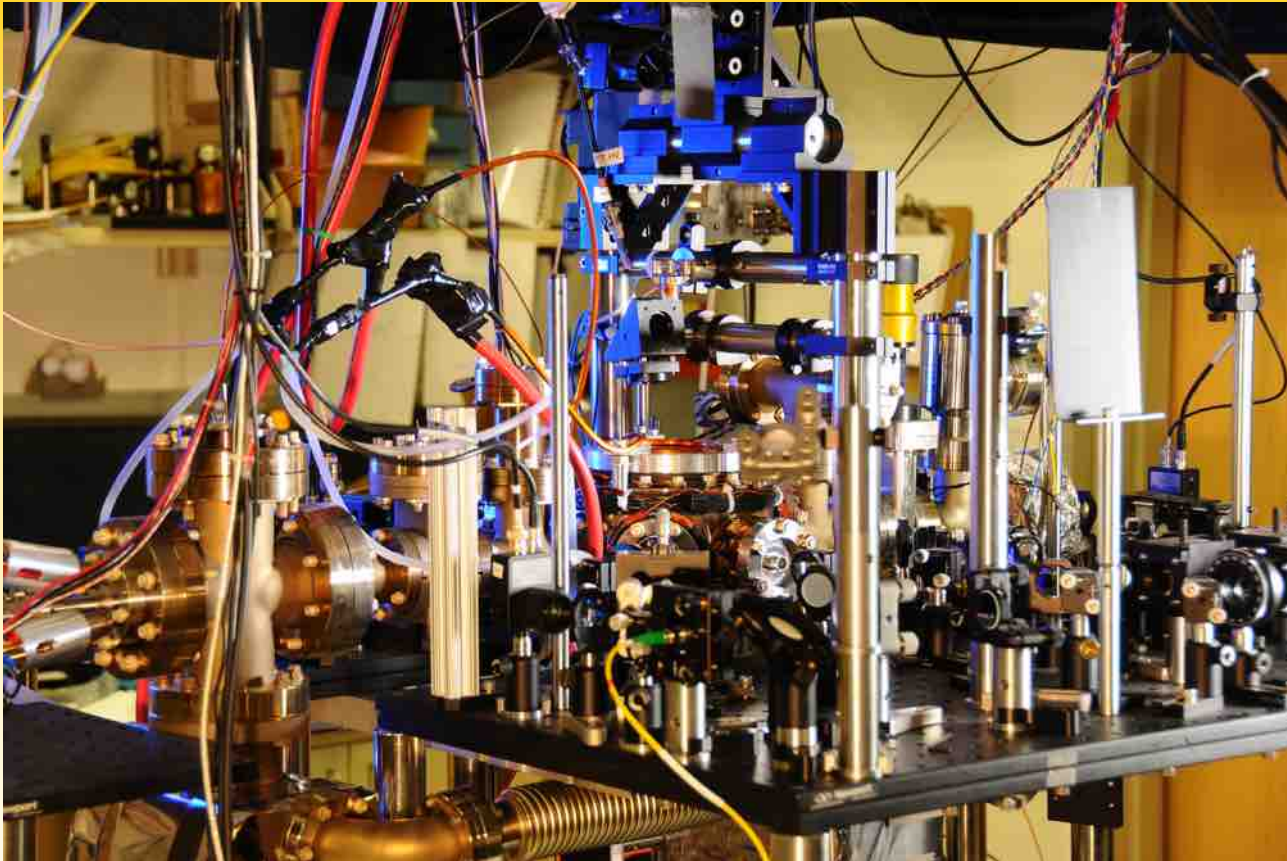
Base de tempo: átomo de estrôncio

Precisão de 1 segundo em 1 trilhão de anos (10^{-19} s)

Evolução da precisão dos relógios atômicos



Na edição 777 do Jornal da USP (18/09/2006) tem a descrição de um relógio atômico construído no Instituto de Física de São Carlos da USP, cuja precisão é de 10^{-17} s, ou um segundo em 3 bilhões de anos



Relógio atômico de Ytérbio do NIST, com precisão de 10^{-18} s

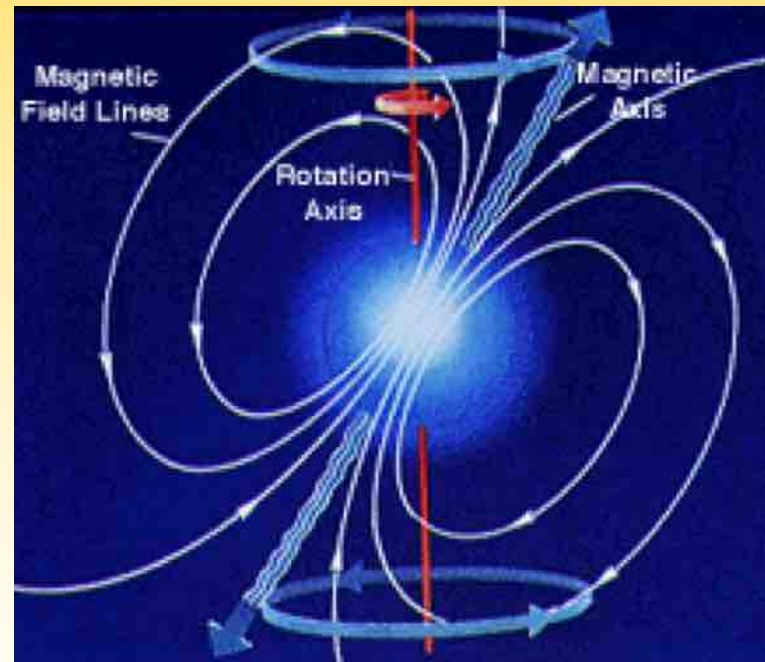
Qual o limite superior para a precisão da base de tempo?

Pulsar

estrela de nêutrons em rotação
Período de rotação: 10^{-1} a 10^{-6} s

Regularidade (precisão) da rotação:

Até 10^{-22} segundos !



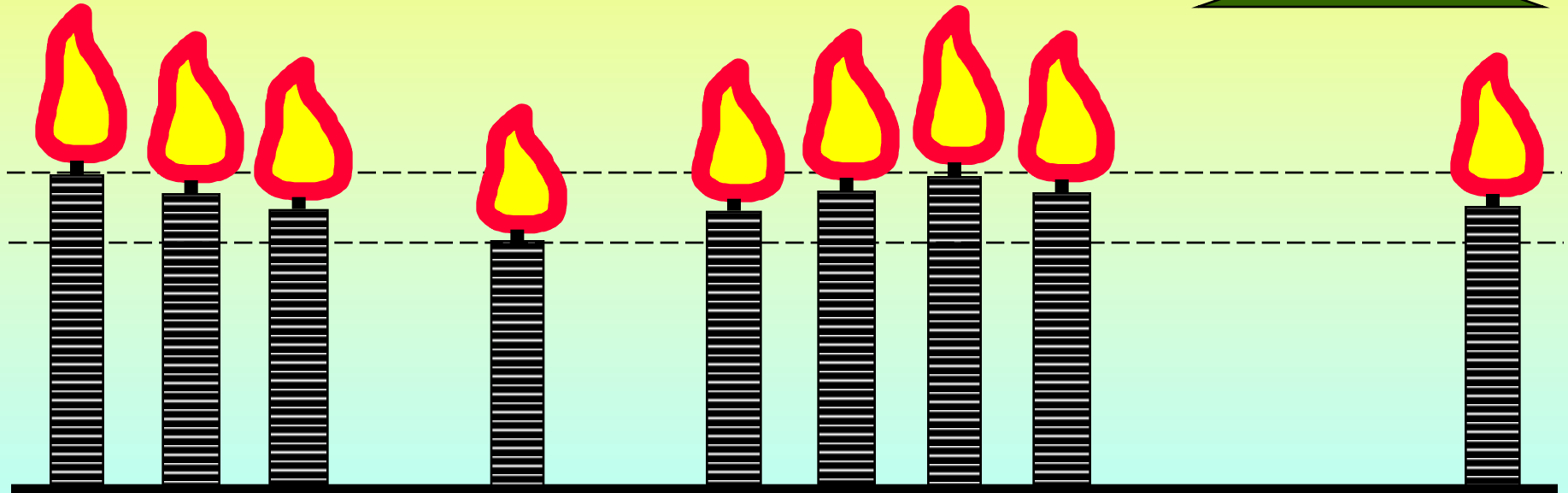
Até agora não existe uma base de tempo formal definida com pulsares. Se (quando) isto for feito será necessário definir um conjunto de pulsares como base já que não está descartada a possibilidade de um único objeto sofrer perturbações súbitas no período

Variação no “comprimento” do Dia

Dia Médio

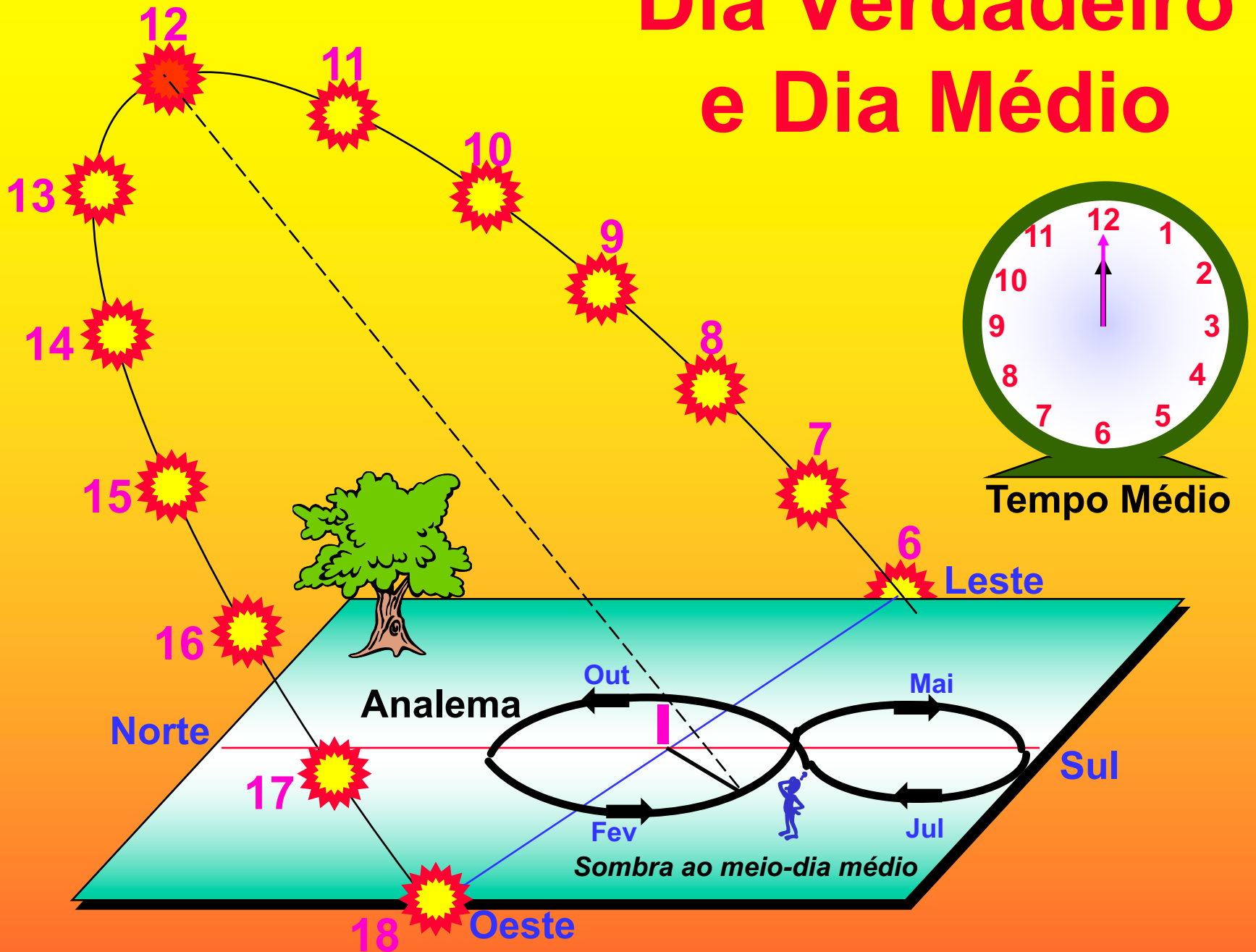


Vela de
1 dia

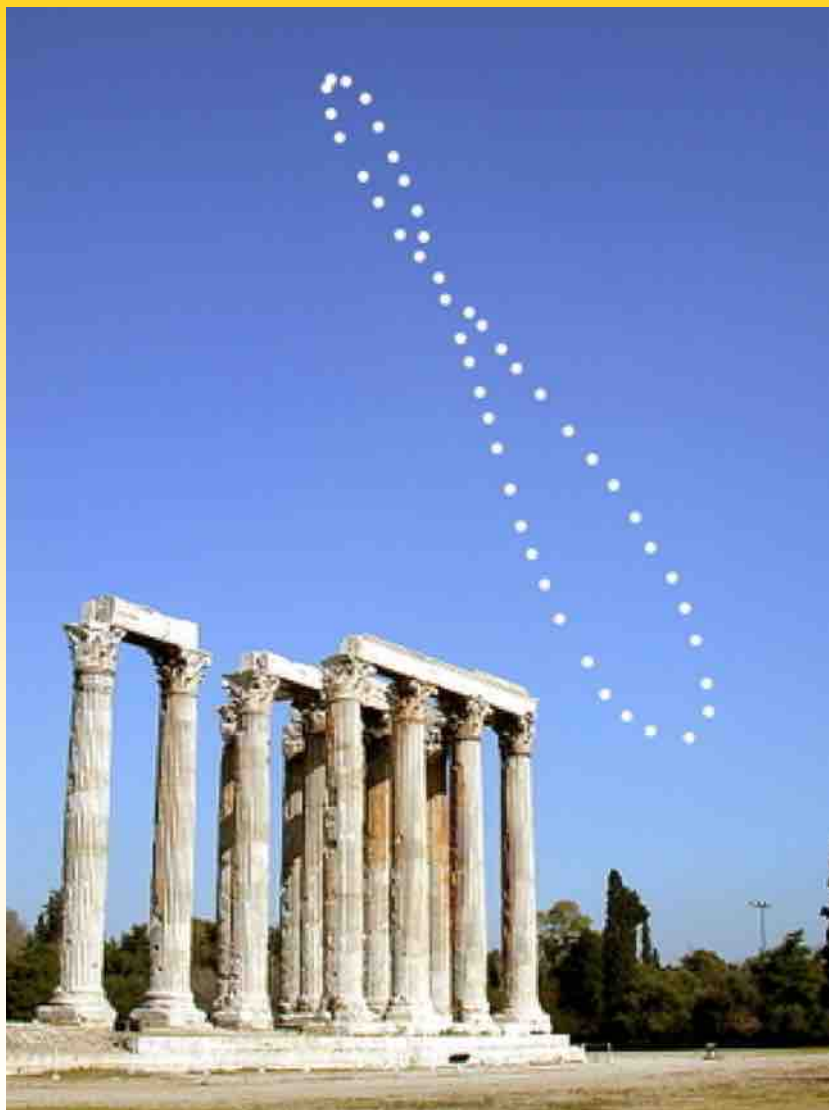


1 2 3 183 365 Vela Média (24 h)

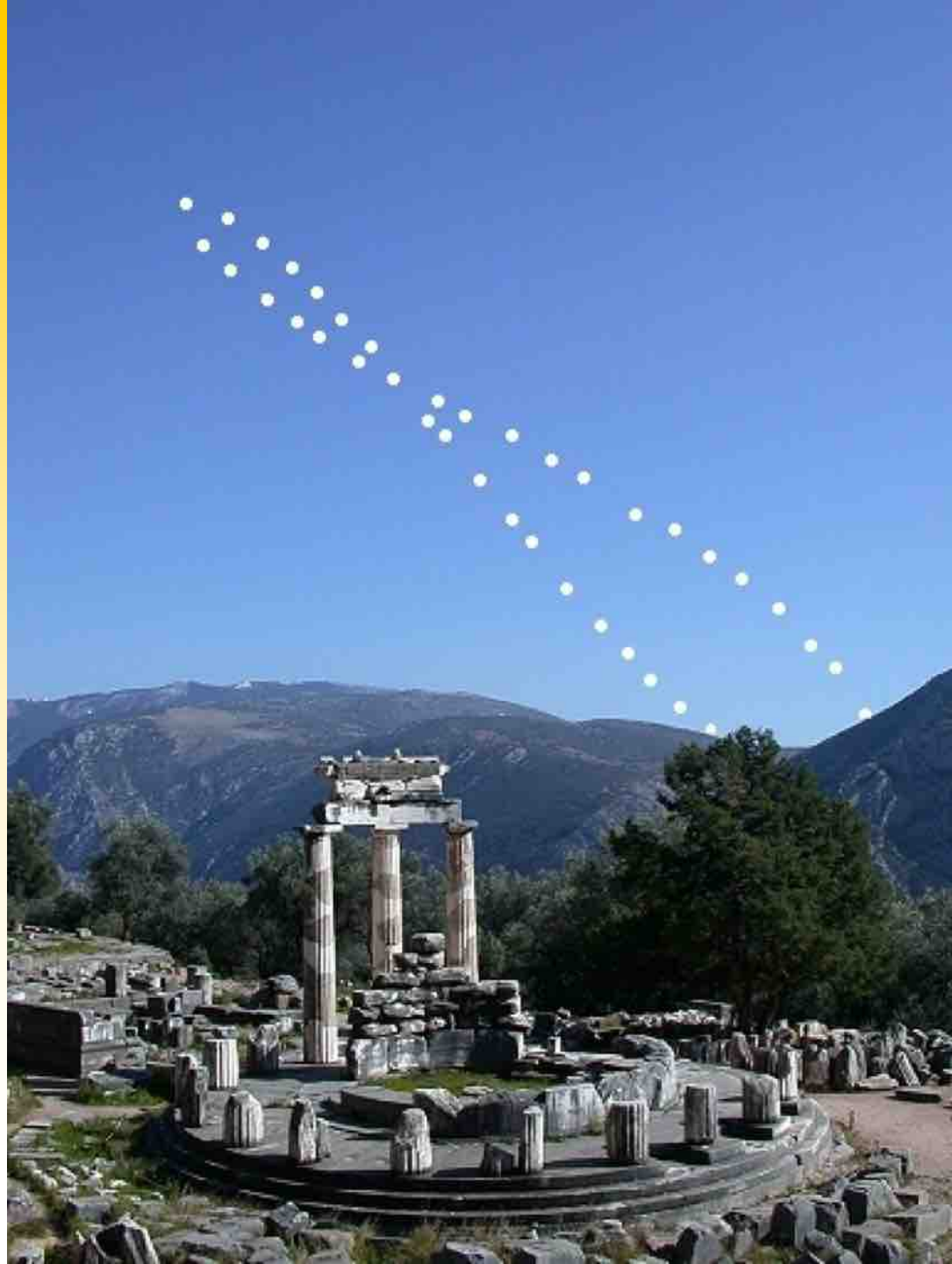
Dia Verdadeiro e Dia Médio



Analema



**Analema feito na Grécia,
entre 30/3/2003 e 24/3/2004**

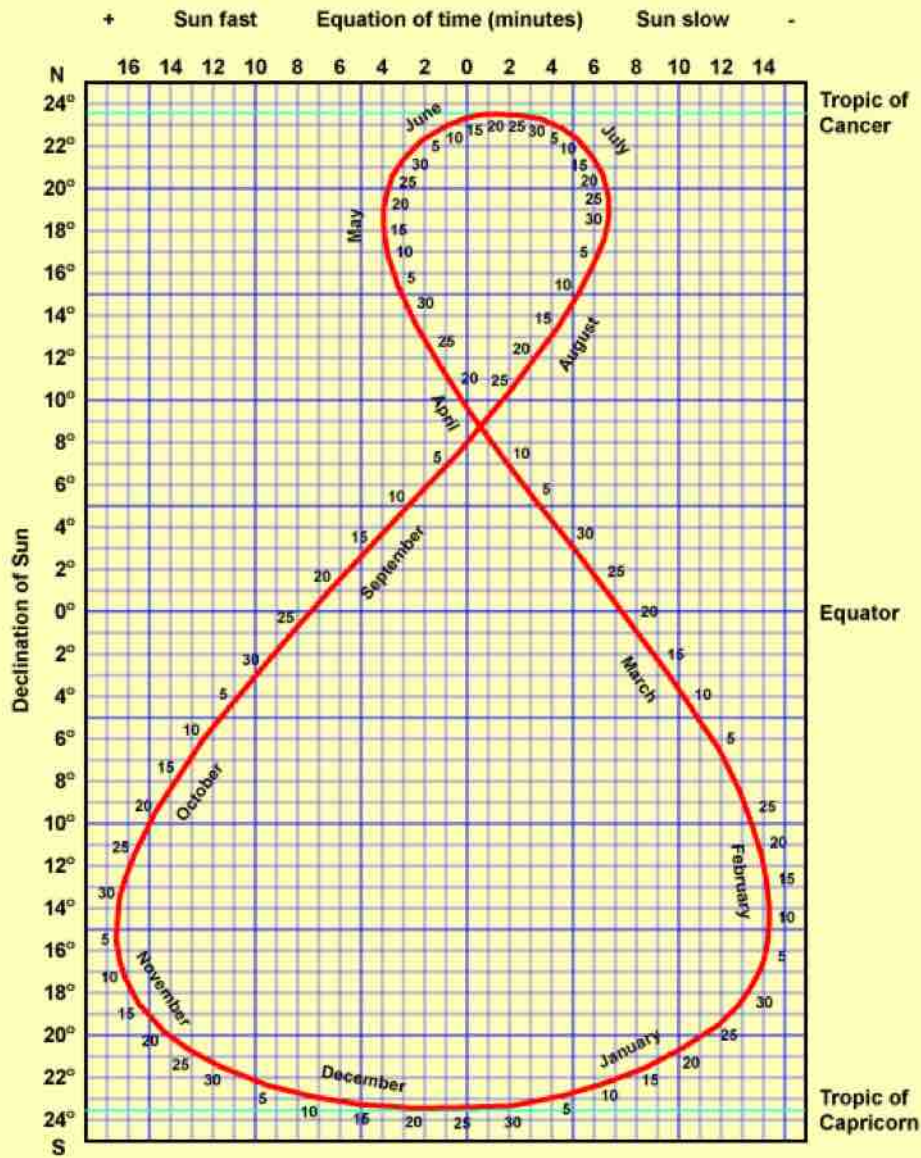




**from 1998 August through
1999 August from Ukraine**



Callanish, Escócia



The *analemma* (redrawn using data from the U.S. Coast and Geodetic Survey)

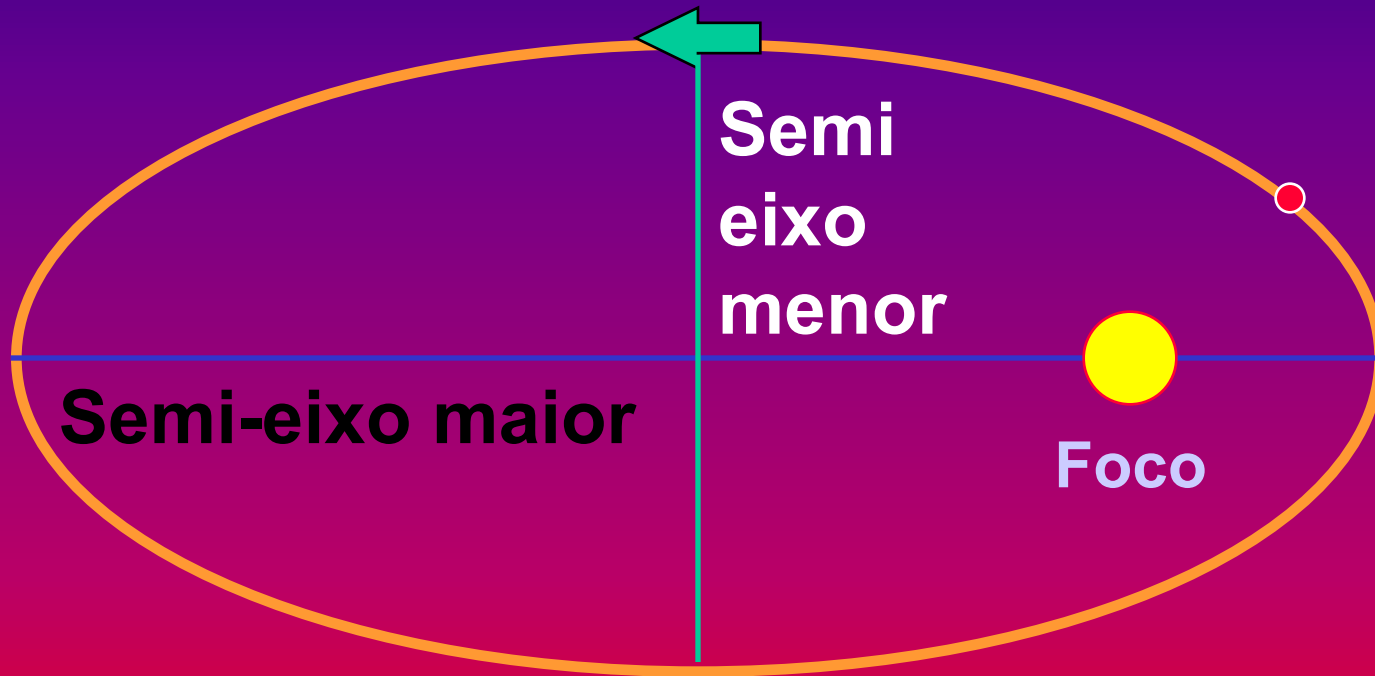
Varição anual da declinação do Sol

Causas do Analema

**Inclinação do eixo de rotação da Terra
Elipticidade da órbita (2a lei de Kepler)**

Primeira Lei de Kepler

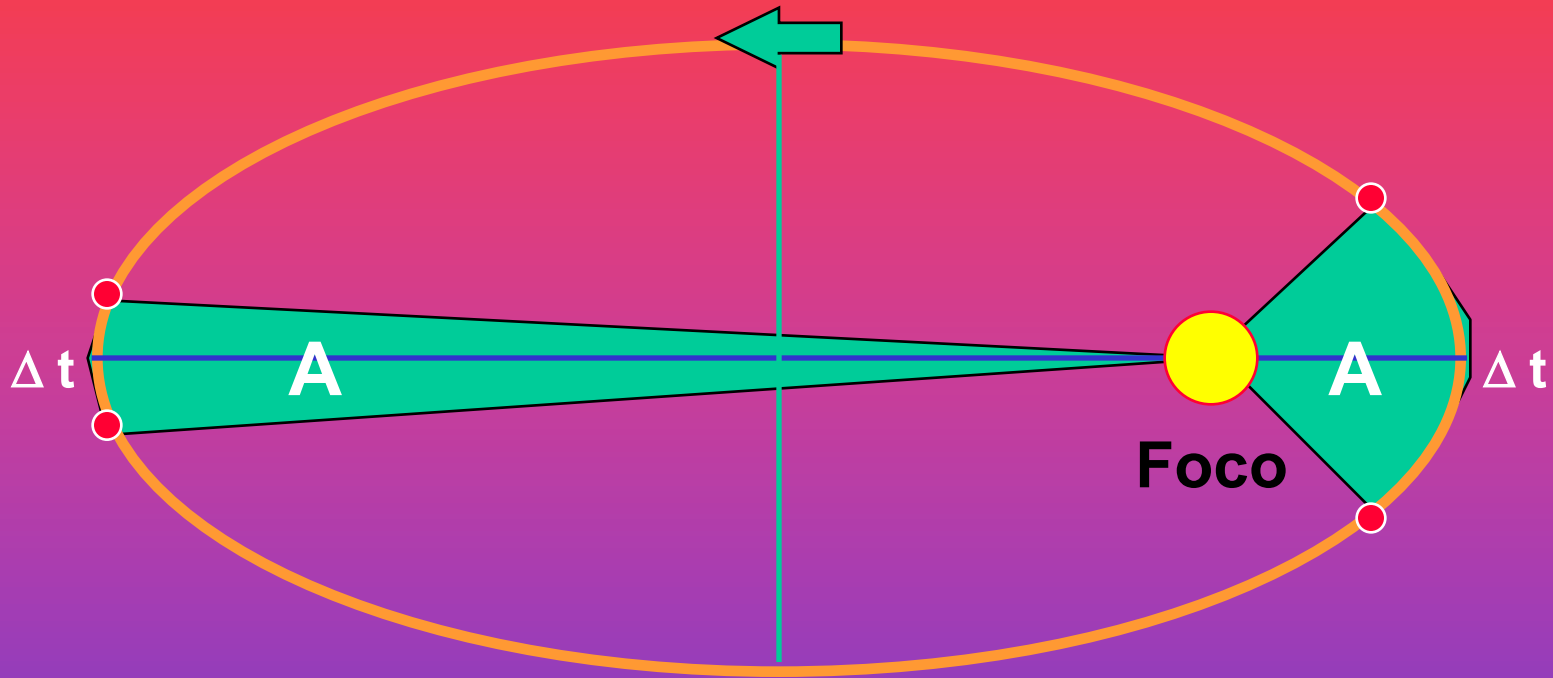
(1571 - 1630)



Um corpo ligado a outro gravitacionalmente gira em torno dele numa órbita elíptica, sendo que um deles ocupa o foco da elipse.

Segunda Lei de Kepler

(1571 - 1630)

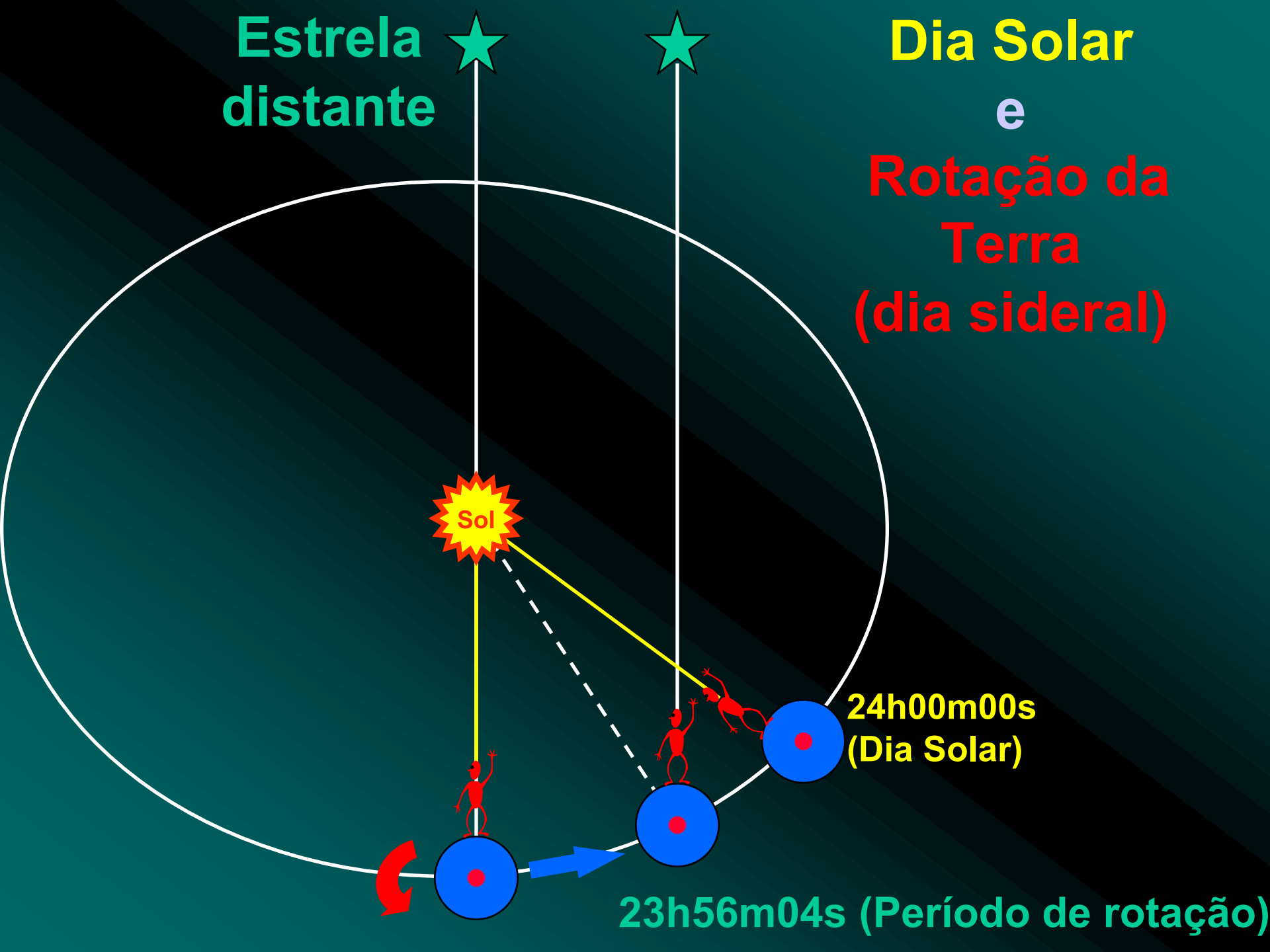


Um corpo ligado a outro gravitacionalmente gira em torno dele, com seu raio vetor varrendo áreas iguais em tempos iguais.

Qual o período de rotação da Terra ?

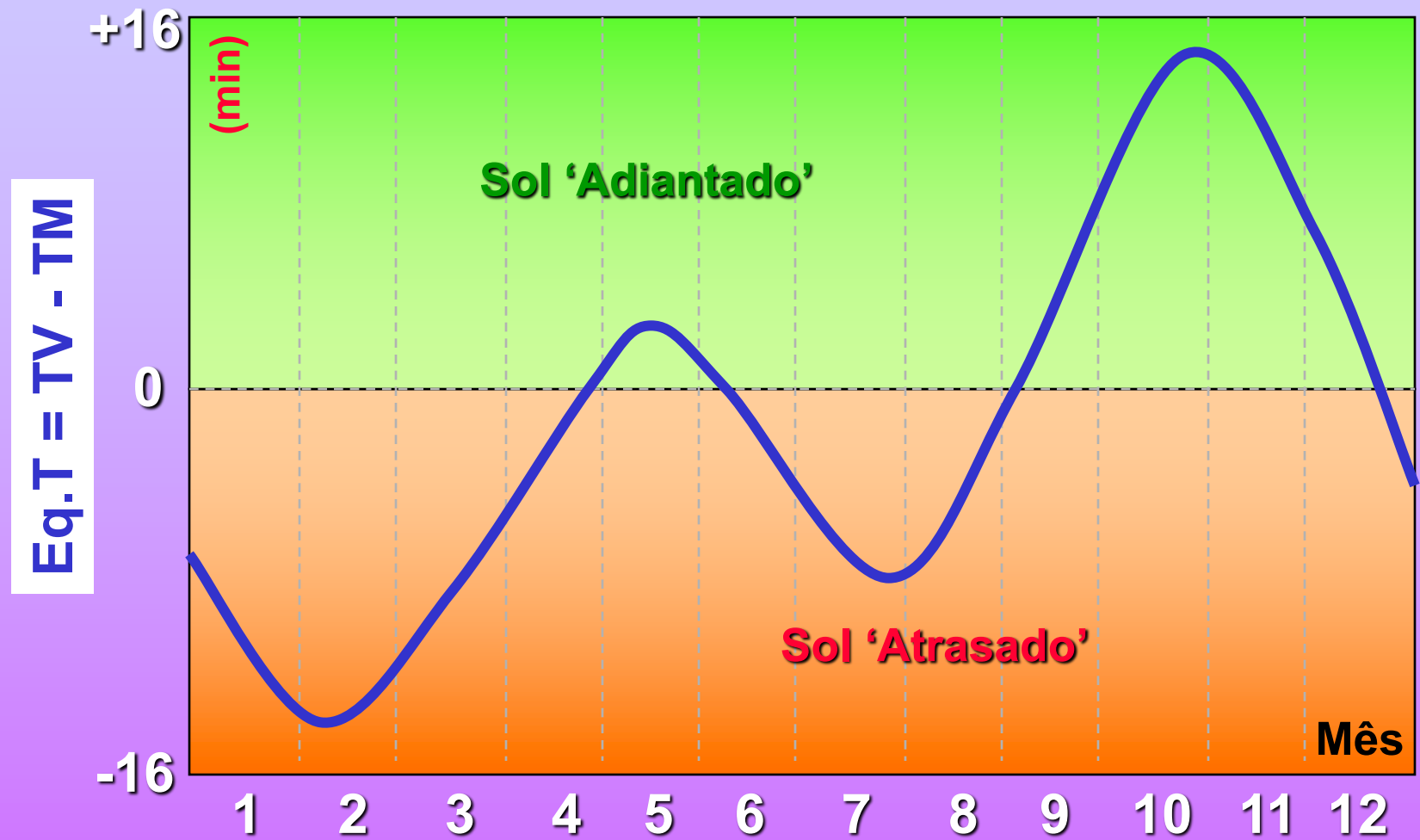
Estrela distante ★

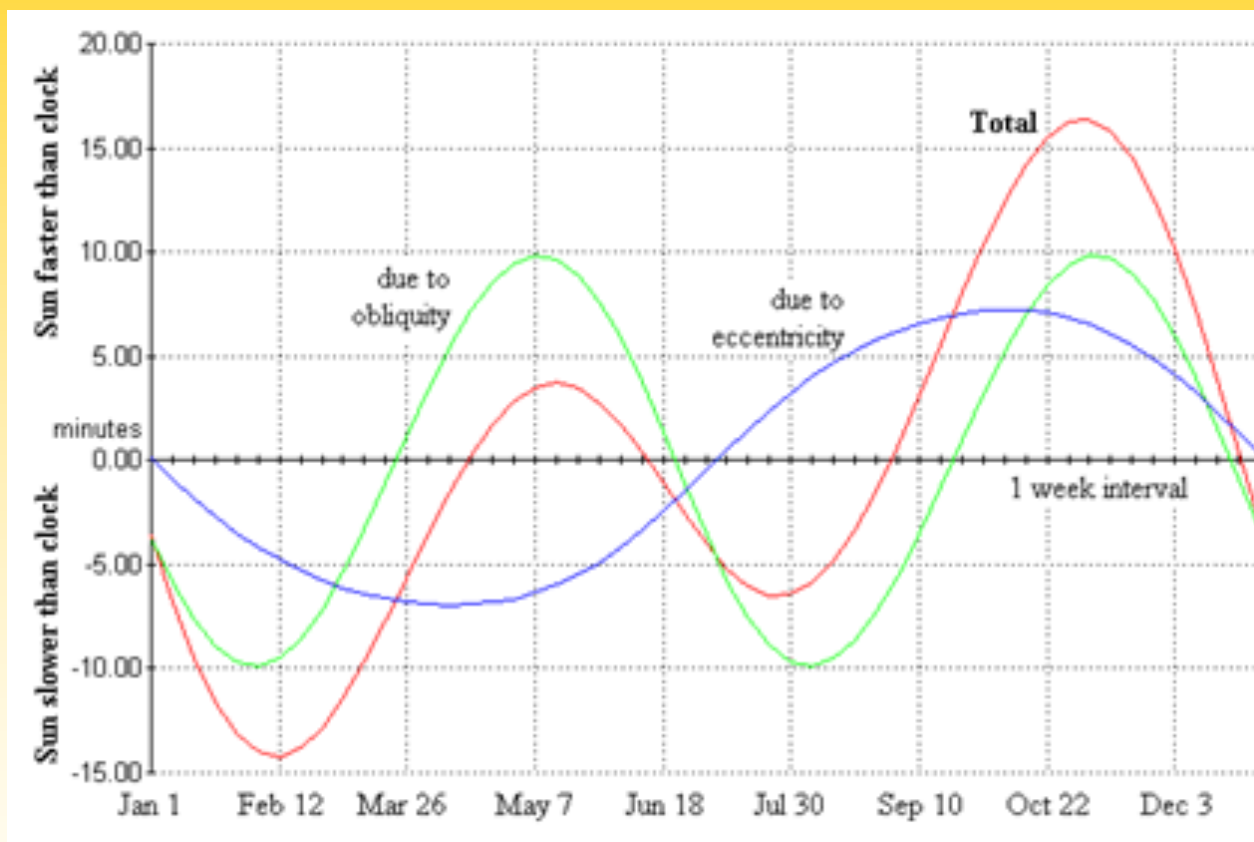
Dia Solar e Rotação da Terra (dia sideral)



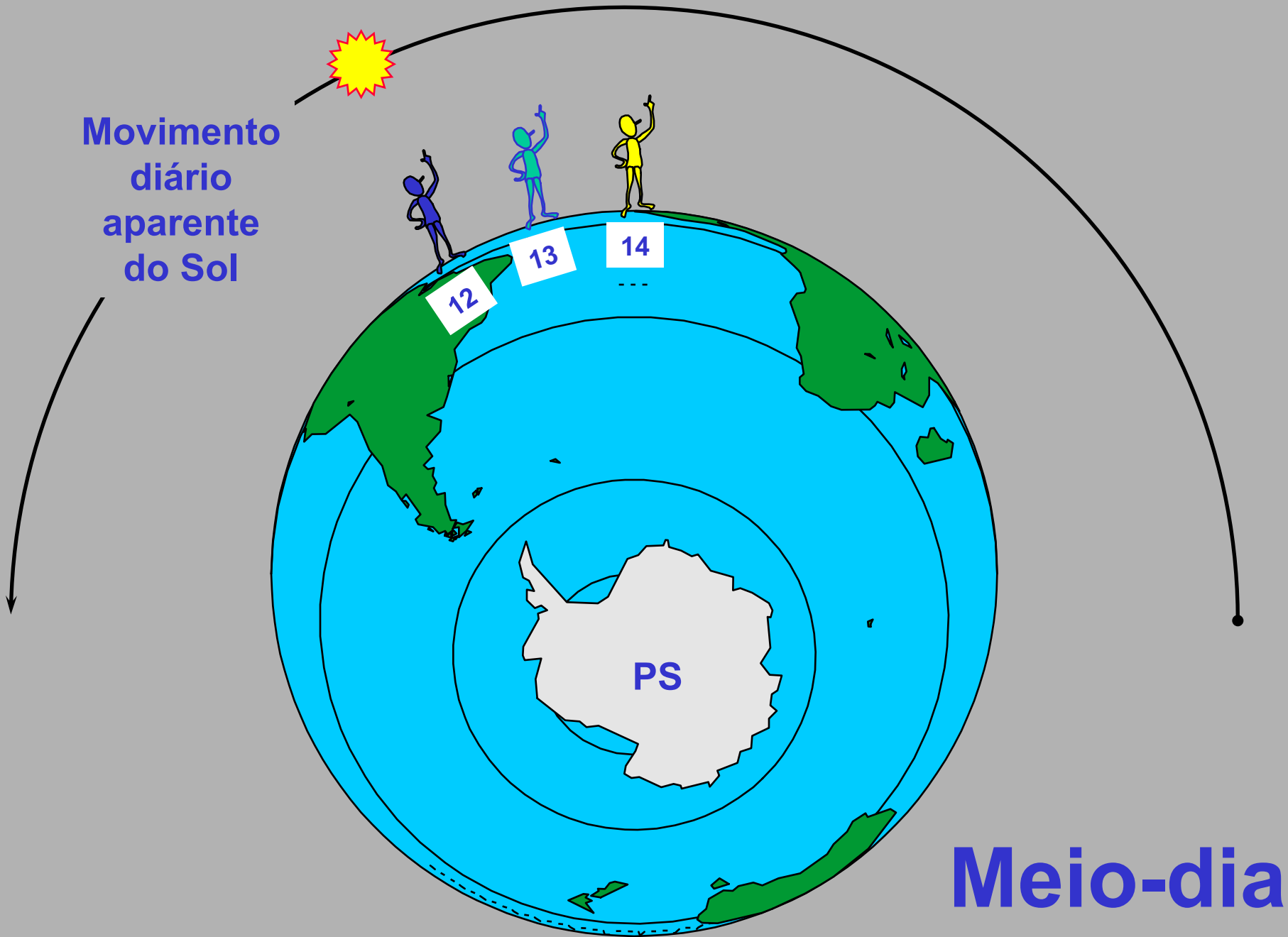
Tempo Solar Verdadeiro

Equação do tempo

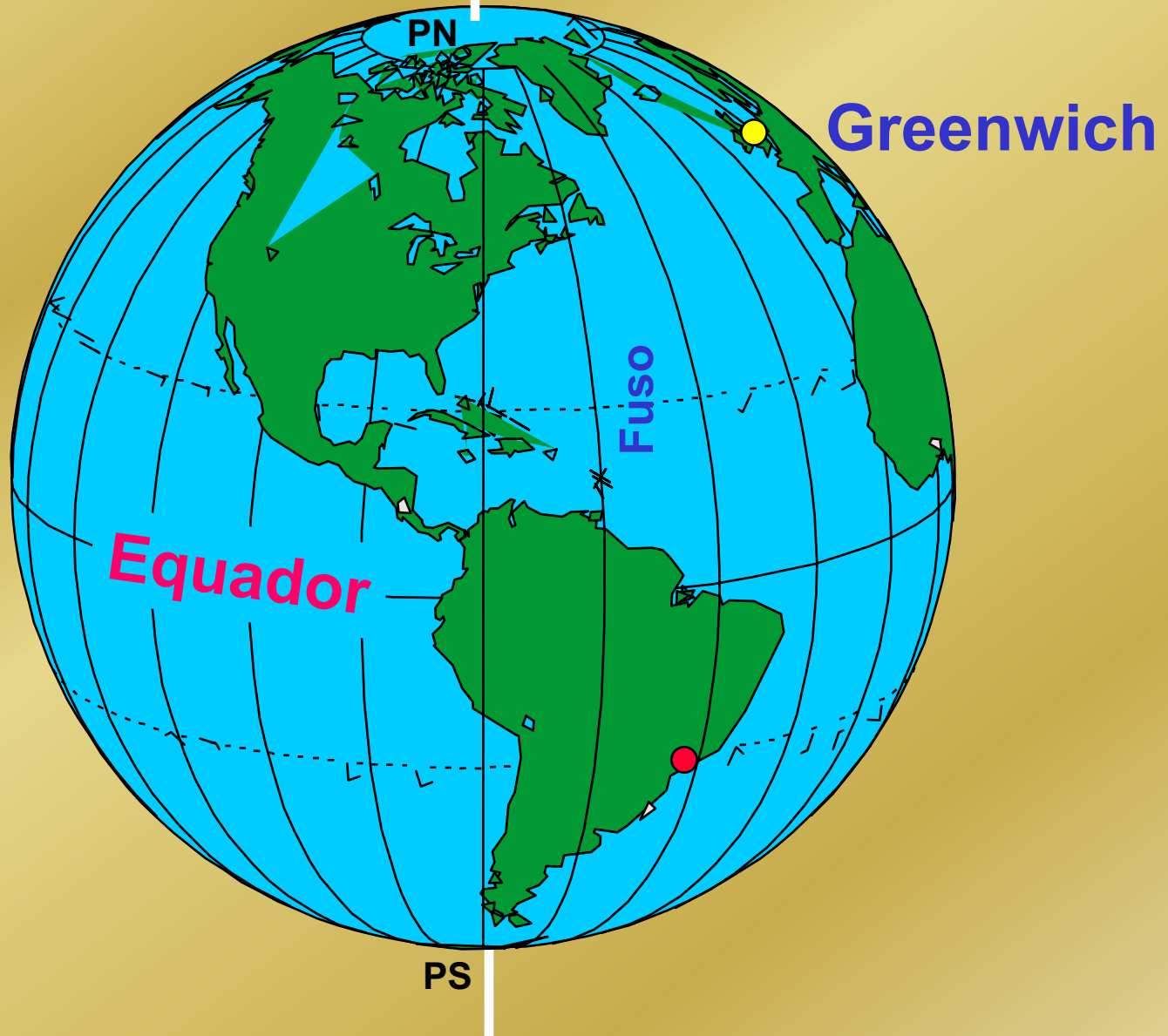




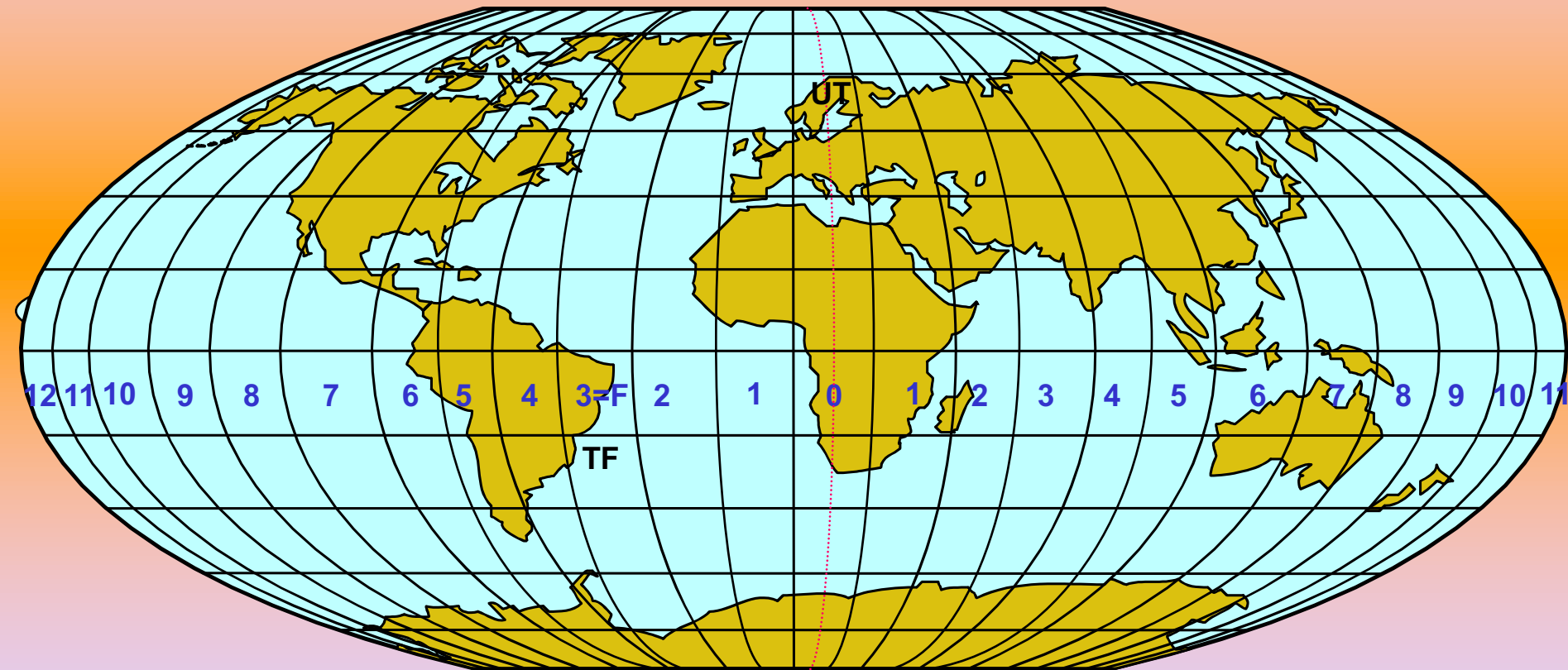
Fusos Horários



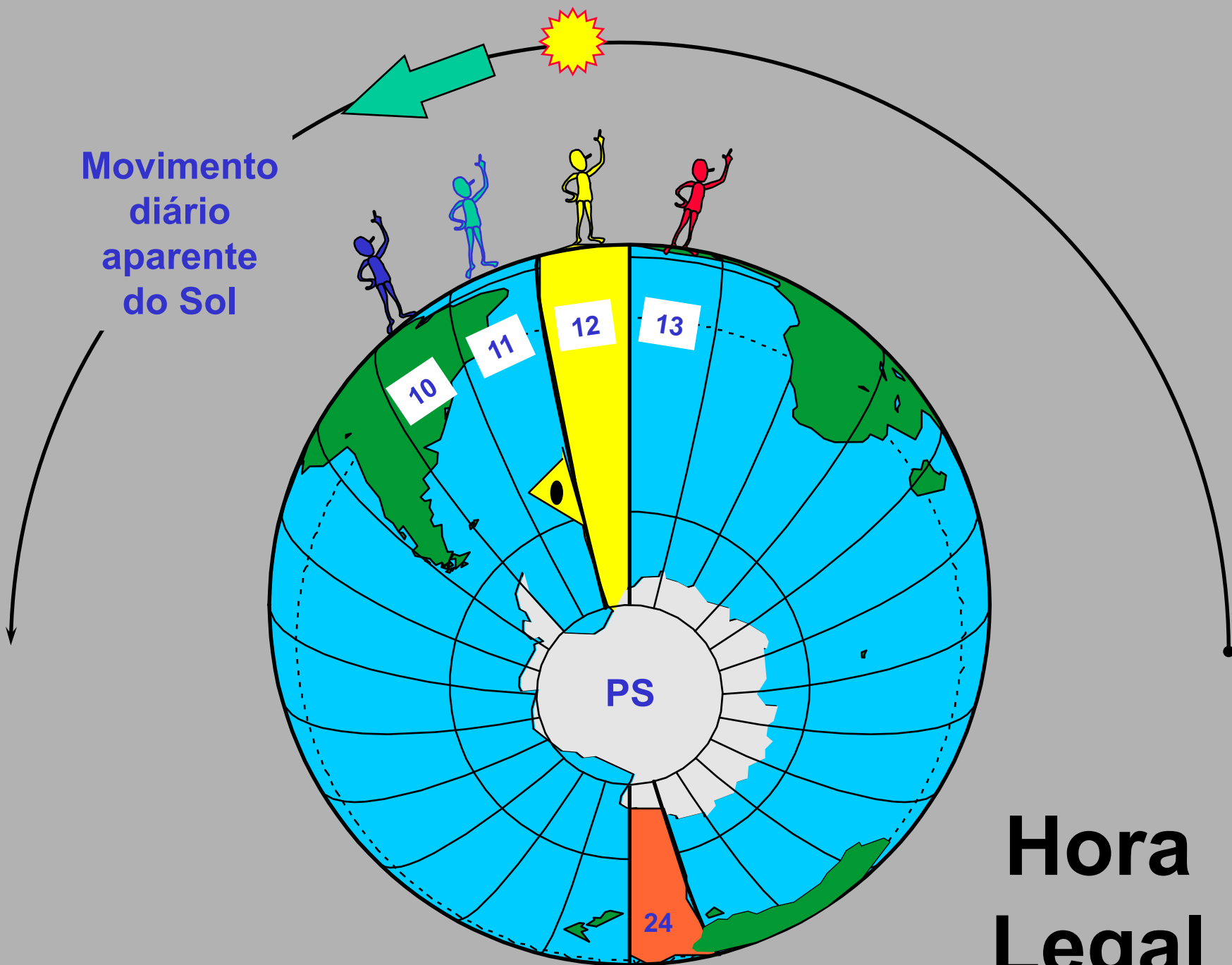
Fusos Horários



Planisfério com Fusos Horários



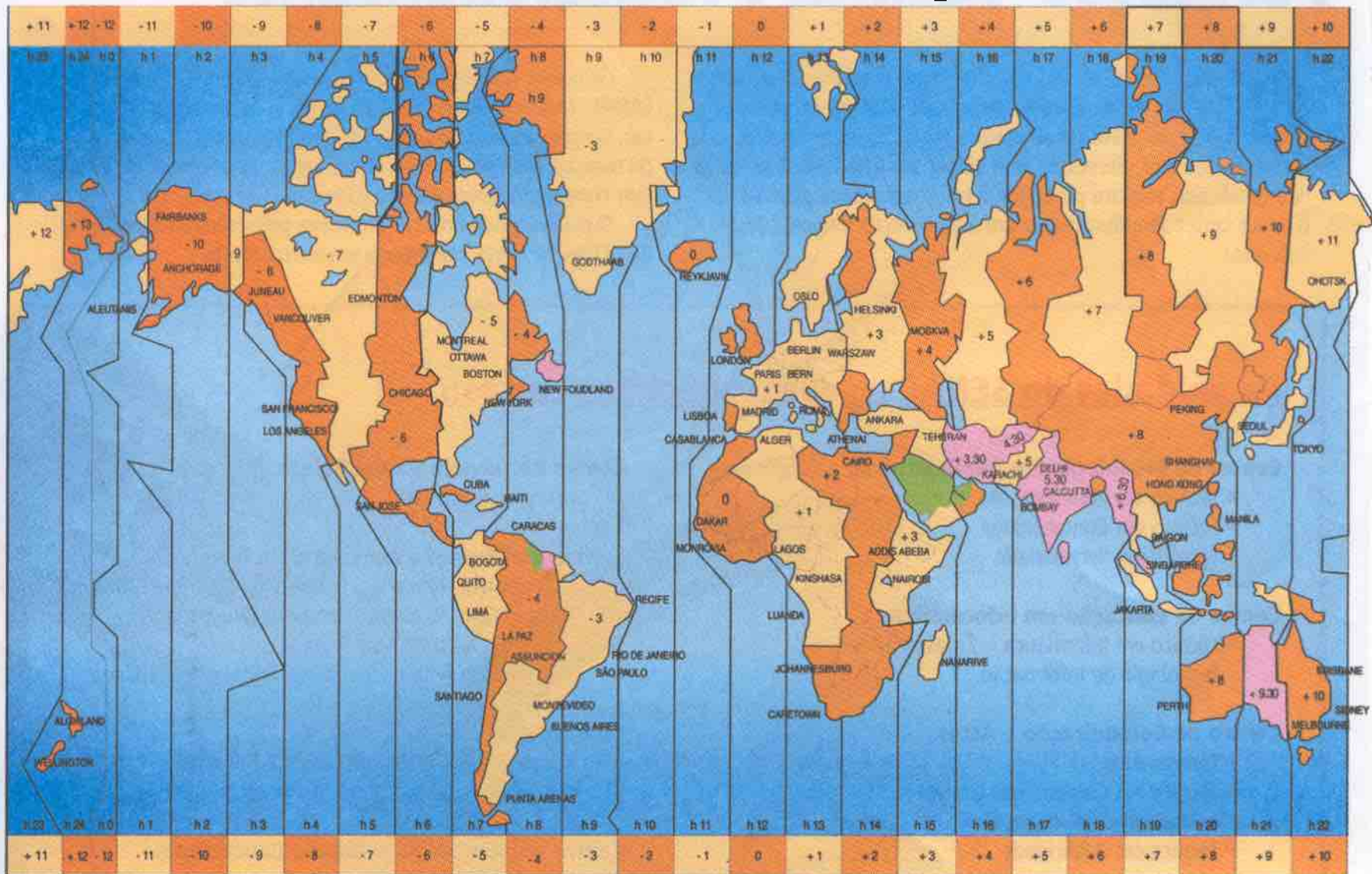
$$UT = TF + F_w$$





Movimento
diário
aparente
do Sol


Hora
Legal

Fusos horários no planeta

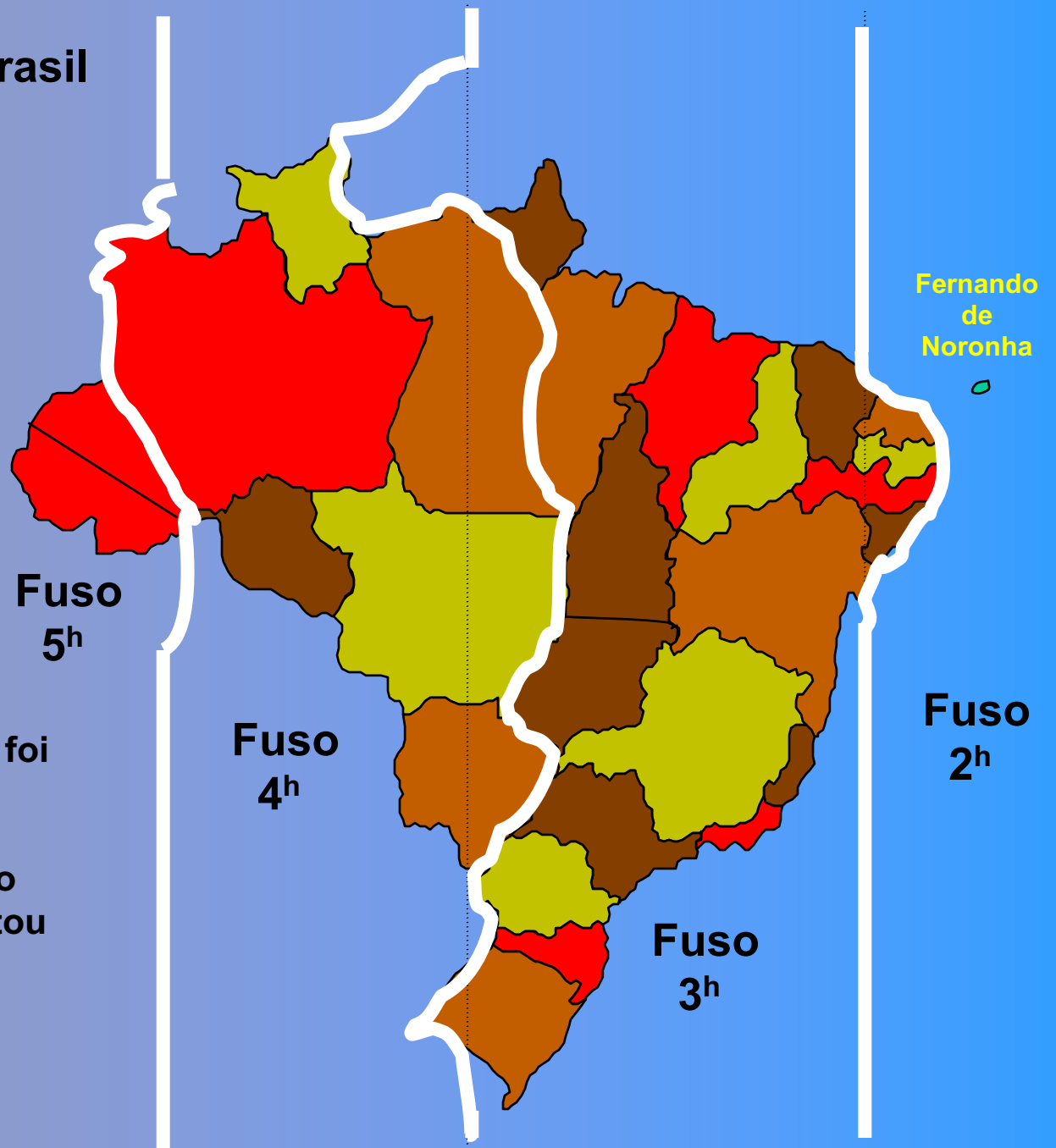


 Países que adotam horário aproximado (horários legais) de um ou mais fusos horários.

 Países que não adotam o sistema de fuso horário e utilizam um horário local.

 Países que adotam fusos de meia em meia hora.

Fusos horários no Brasil (até 2008)



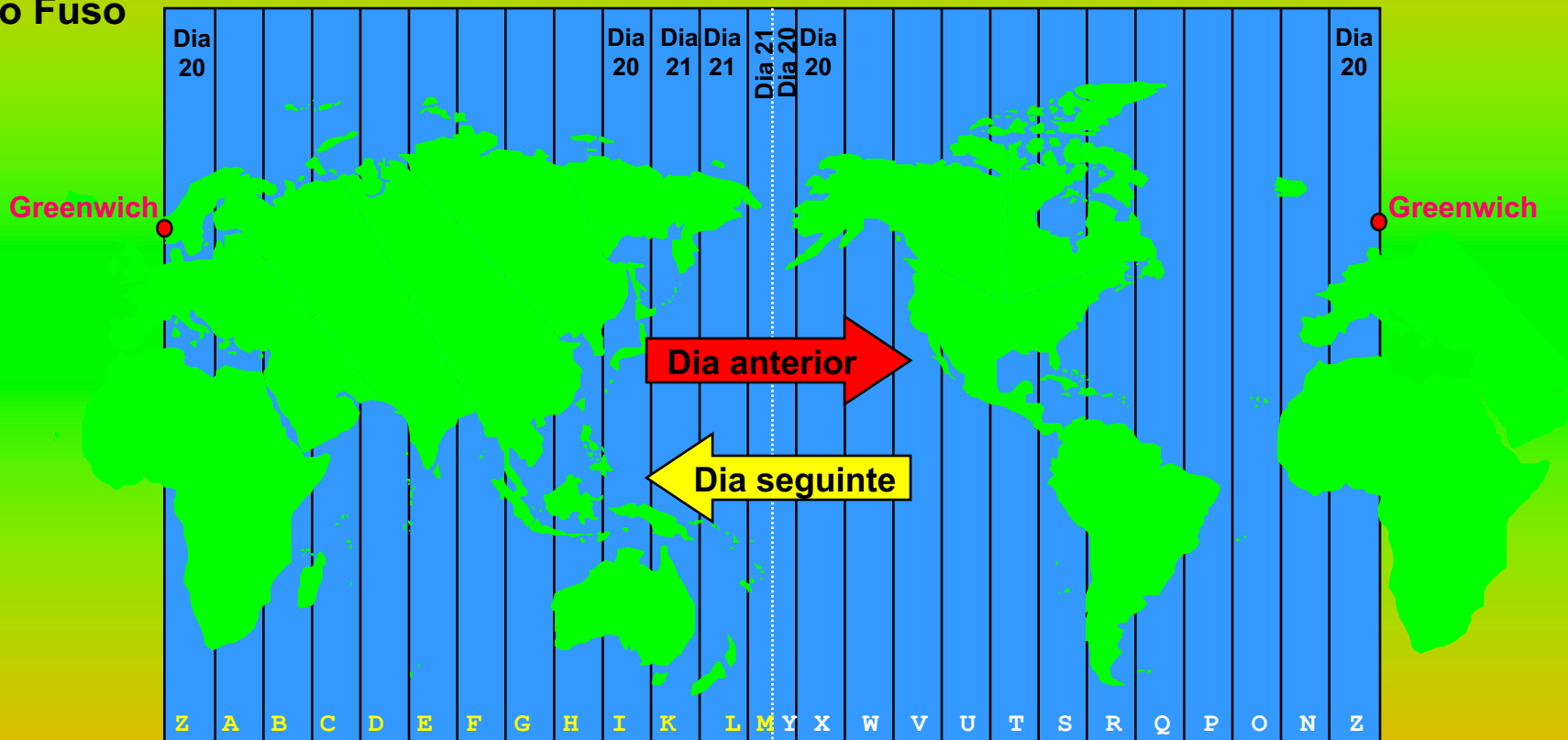
Em 2008 a zona do fuso 5^h foi incorporada à do fuso 4^h.

Em 2013 essa incorporação foi revogada e o Brasil voltou a ter 4 fusos

Linha de mudança de data

Hora do Fuso

14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10 11 12 13 14



Número do Fuso

00 -1 -2 -3 -4 -5 -6 -7 -8 -9 -10 -11 -12 12 11 10 09 08 07 06 05 04 03 02 01 00

Linha de mudança de data

Hora de Verão

Noite **Dia claro** Noite

Nascer
do Sol

Ocaso
do Sol

Hora do Fuso

5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23

Período de atividades

Iluminação 3,5 h

Hora de Verão

6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24

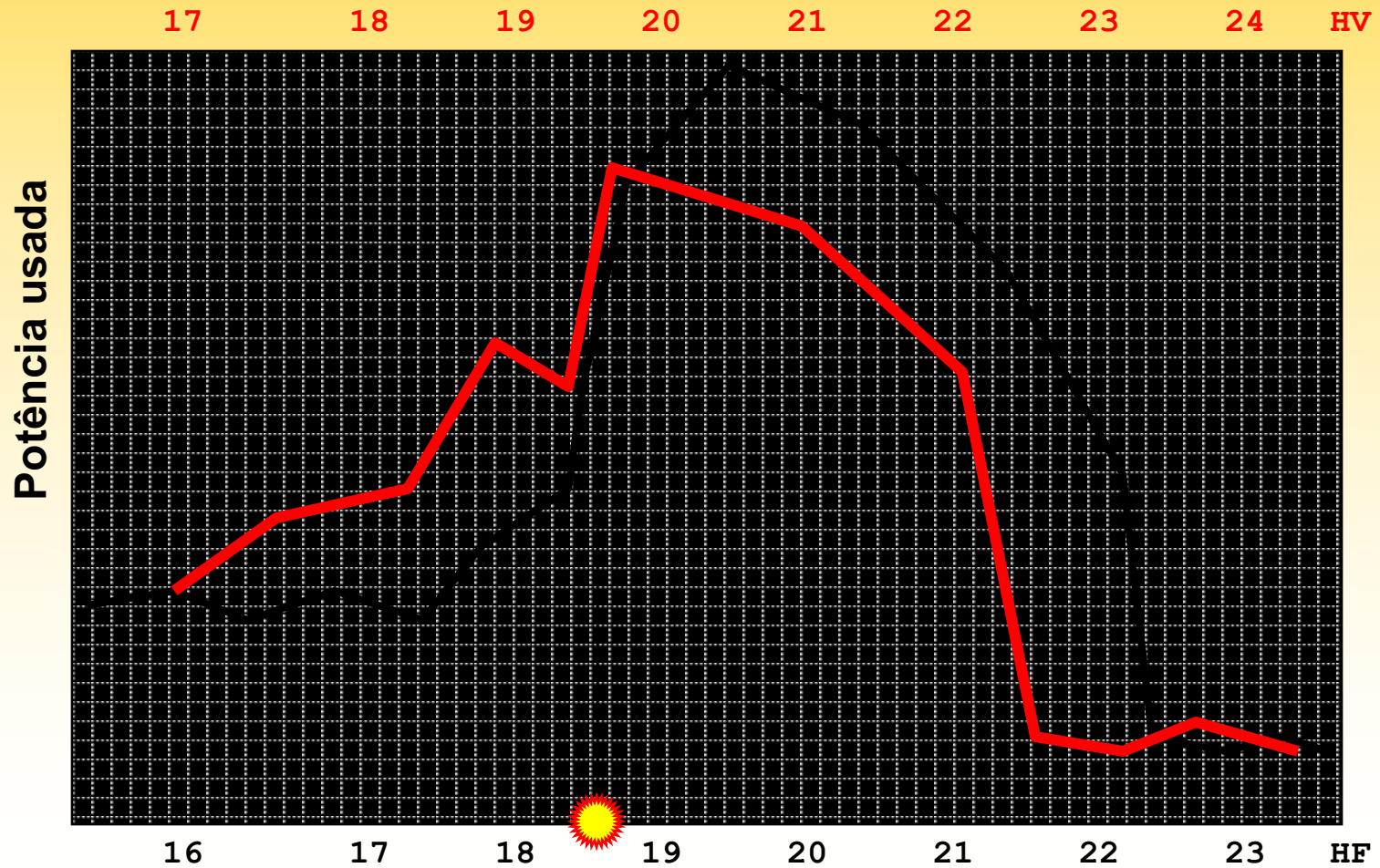
Período de atividades

Iluminação 2,5 + 0,5 = 3h

$$HV = HF + 1 \text{ h}$$

Amenização do pico de demanda de energia elétrica

Informação prática: Horário de Verão 2013-14: de 20/10/2013 a 16/02/2014



Resumo das escalas de tempo solar

Ano a.C.
e
Ano Algébrico

Ano a.C. e Ano Negativo

A = nomenclatura a.C.

N = ano algébrico

Nascimento
de Cristo



A a.C.	4 a.C.	3 a.C.	2 a.C.	1 a.C.	1 d.C.	2 d.C.	3 d.C.	4 d.C.
N	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4

$$A = -N + 1$$

$$N = -(A - 1)$$

Data Juliana

Origem:

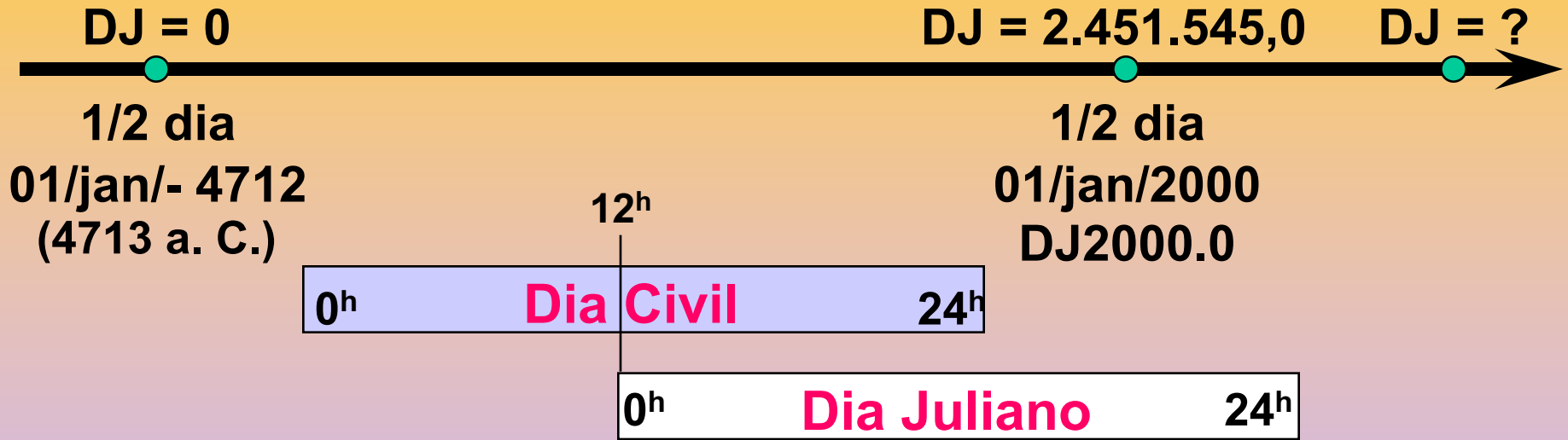
- Criado em 1583 por Josephus Justus Scaliger
- Tem como característica a contagem corrida dos dias, sem dividi-los em meses e anos, seguida pela fração de dia em horas divididas em frações decimais
- A origem é baseada na coincidência do início dos ciclos metônico (19 a.), da indicação (15 a.) e do ciclo solar (28 a.). Isto ocorreu em 4713 A.C.
- O ciclo juliano tem $19 \times 15 \times 28 = 7980$ anos, após o que ele reinicia a contagem dos dias.
- A contagem dos dias inicia-se ao meio-dia

Alternativas

- Dia juliano modificado = $DJ - 2400000.5$ (a diferença de 0.5 é para que o dia inicie-se à meia-noite)
- Dia juliano reduzido = $DJ - 2400000$
- Dia juliano heliocêntrico: tem a mesma duração do dia juliano, porém é ajustado ao sistema de referência do Sol, diferindo de 8.3 minutos deste, equivalente ao tempo para a luz deslocar-se do Sol à Terra
- Dia liliano : análogo ao dia juliano, mas a contagem dos dias inicia-se em 15 de outubro de 1582, data do início da validade do calendário gregoriano

Data Juliana

(Josephus Justus Scaliger séc. XVI)



Data Gregoriana: A M D h m s $UT = (h + m/60 + s/3600) + F$

Convenção: $\{ x/y \}$ = parte inteira da divisão de x por y

$$\begin{aligned}
 DJ = & + \{ (- \{ (14-M)/12 \} + A + 4800) * 1461/4 \} \\
 & + \{ (\{ (14-M)/12 \} * 12 + M - 2) * 367/12 \} \\
 & - \{ \{ (- \{ (14-M)/12 \} + A + 4900) / 100 \} * 3/4 \} \\
 & + D - 32075,5 + UT/24
 \end{aligned}$$



Dados:

A = 2004

M = 10

D = 6

h = 10 (hora do fuso)

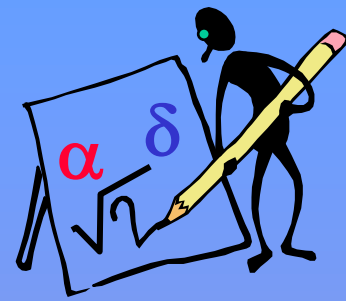
m = 51

s = 15,25

F = +3^h

Obter: **DJ**

Data Juliana



$$UT = (h + m/60 + s/3600) + F$$

$$UT = (10 + 51/60 + 15,25/3600) + 3$$

$$UT = 13,854\ 236\ 11\ ^h$$

$$UT/24 = 13,854\ 236\ 11\ ^h / 24$$

$$UT/24 = 0,577\ 259\ 837\ 9\ \text{dias}$$

Convenção: { x/y } = parte inteira da divisão de x por y

$$\begin{aligned} DJ = & + \{ (- \{ (14-M)/12 \} + A + 4800) * 1461/4 \} \\ & + \{ (\{ (14-M)/12 \} * 12 + M - 2) * 367/12 \} \\ & - \{ \{ (- \{ (14-M)/12 \} + A + 4900) / 100 \} * 3/4 \} \\ & + D - 32075,5 + UT/24 \end{aligned}$$

Dados:

A = 2004

M = 10

D = 6

h = 10

m = 51

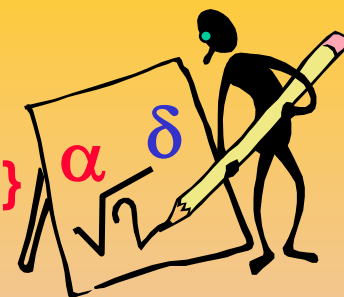
s = 15,25

F = +3^h

Data Juliana

UT/24 = 0,577 259 837 9 dias

$$\begin{aligned} DJ = & + \{ (- \{ (14-M)/12 \} + A + 4800) * 1461/4 \} \\ & + \{ (\{ (14-M)/12 \} * 12 + M - 2) * 367/12 \} \\ & - \{ \{ (- \{ (14-M)/12 \} + A + 4900) / 100 \} * 3/4 \} \\ & + D - 32075,5 + UT/24 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} DJ = & + \{ (- \{ (14-10)/12 \} + 2004 + 4800) * 1461/4 \} \\ & + \{ (\{ (14-10)/12 \} * 12 + 10 - 2) * 367/12 \} \\ & - \{ \{ (- \{ (14-10)/12 \} + 2004 + 4900) / 100 \} * 3/4 \} \\ & + 6 - 32075,5 + 0,577 259 837 9 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} DJ = & + \{ (- \{ 0,333... \} + 2004 + 4800) * 1461/4 \} \\ & + \{ (\{ 0,333... \} * 12 + 10 - 2) * 367/12 \} \\ & - \{ \{ (- \{ 0,333... \} + 2004 + 4900) / 100 \} * 3/4 \} \\ & + 6 - 32075,5 + 0,577 259 837 9 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} DJ = & + \{ (- 0 + 2004 + 4800) * 1461/4 \} \\ & + \{ (0 * 12 + 10 - 2) * 367/12 \} \\ & - \{ \{ (- 0 + 2004 + 4900) / 100 \} * 3/4 \} \\ & + 6 - 32075,5 + 0,577 259 837 9 \end{aligned}$$

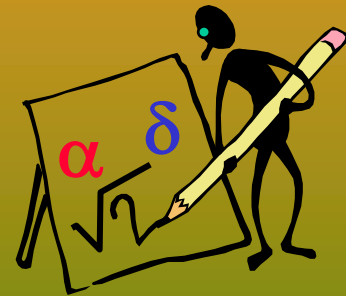
Data Juliana

$$\begin{aligned} \text{DJ} = & + \{ (-\underline{0} + \underline{2004} + 4800) * 1461/4 \} \\ & + \{ (\underline{0} * 12 + \underline{10} - 2) * 367/12 \} \\ & - \{ \{ (-\underline{0} + \underline{2004} + 4900) / 100 \} * 3/4 \} \\ & + \underline{6} - 32075,5 + \underline{0,577\ 259\ 837\ 9} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{DJ} = & + \{ (6804) * 1461/4 \} \\ & + \{ (8) * 367/12 \} \\ & - \{ \{ (6904) / 100 \} * 3/4 \} \\ & + \underline{6} - 32075,5 + \underline{0,577\ 259\ 837\ 9} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{DJ} = & + \{ 2485161 \} \\ & + \{ 244,666... \} \\ & - \{ \{ 69,04 \} * 3/4 \} \\ & + \underline{6} - 32075,5 + \underline{0,577\ 259\ 837\ 9} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{DJ} = & + 2485161 \\ & + 244 \\ & - \{ 69 * 3/4 \} \\ & + \underline{6} - 32075,5 + \underline{0,577\ 259\ 837\ 9} \end{aligned}$$



Data Juliana

$$\begin{aligned} \text{DJ} = & + 2485161 \\ & + 244 \\ & - \{ 69 * 3/4 \} \\ & + \underline{6} - 32075,5 + \underline{0,577\ 259\ 837\ 9} \end{aligned}$$

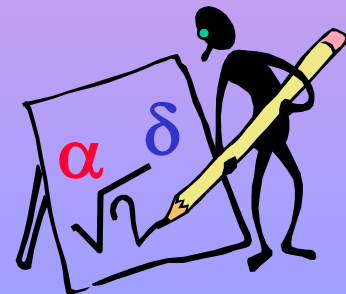
$$\begin{aligned} \text{DJ} = & + 2485161 \\ & + 244 \\ & - \{ 51,75 \} \\ & + \underline{6} - 32075,5 + \underline{0,577\ 259\ 837\ 9} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{DJ} = & + 2485161 \\ & + 244 \\ & - 51 \\ & + \underline{6} - 32075,5 + \underline{0,577\ 259\ 837\ 9} \end{aligned}$$

$$\text{DJ}_{\text{ohUT}} = 2.453.284,5$$

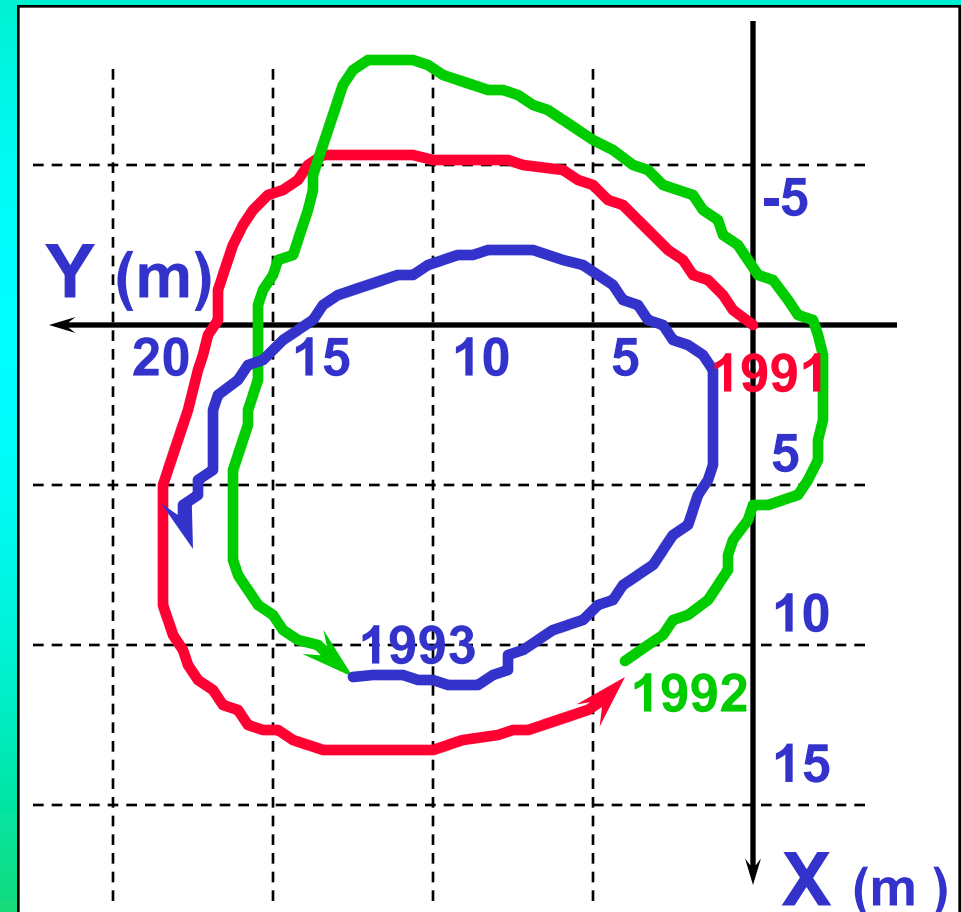
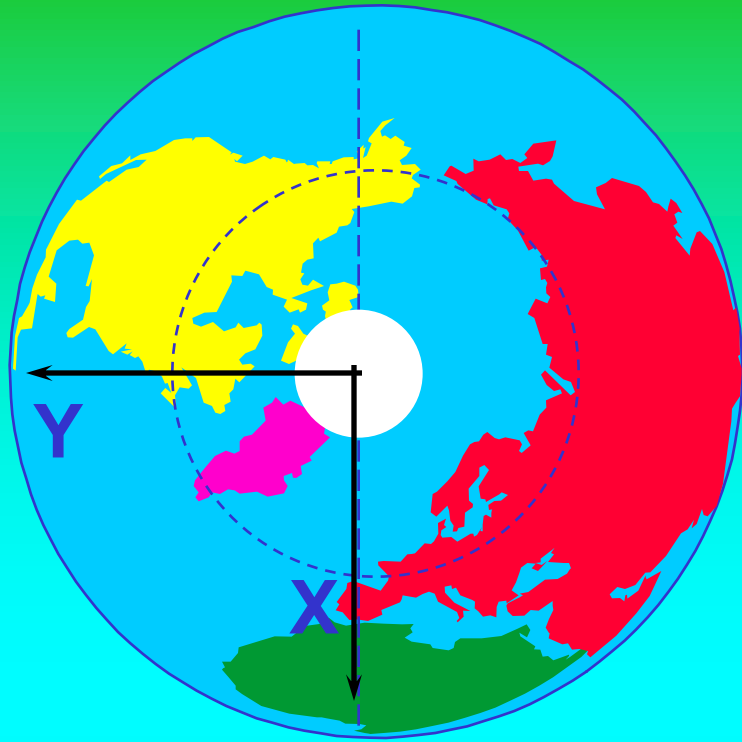
$$\text{DJ} = 2.453.284,5 + \underline{0,577\ 259\ 837\ 9}$$

$$\text{DJ} = 2.453.285,07725984$$



Movimento dos Pólos

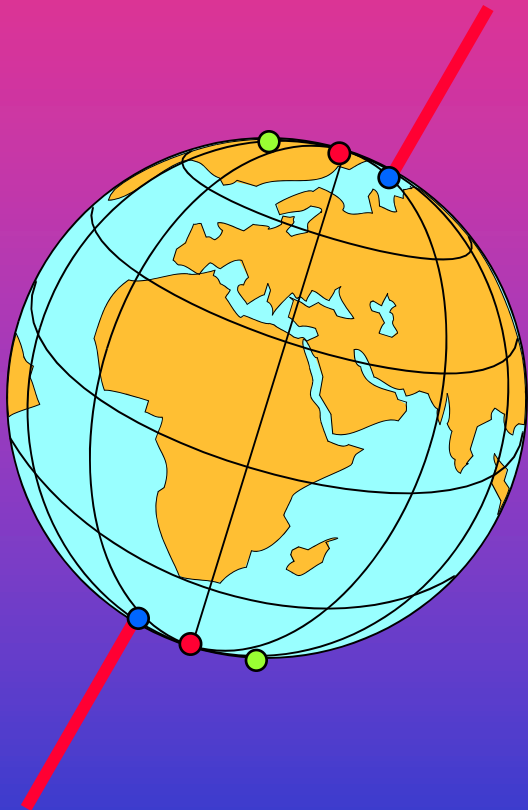
Movimento dos pólos



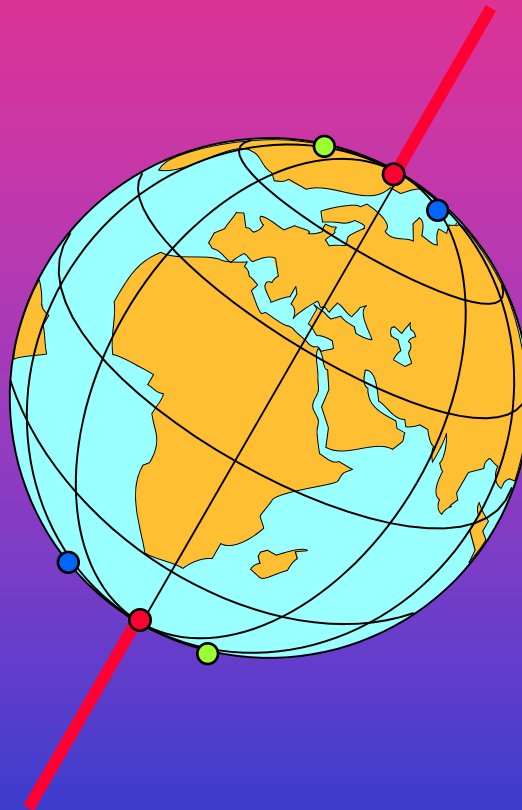
$T_{\text{principal}} \cong 14 \text{ meses} \cong 428 \text{ dias}$

Movimento dos Pólos

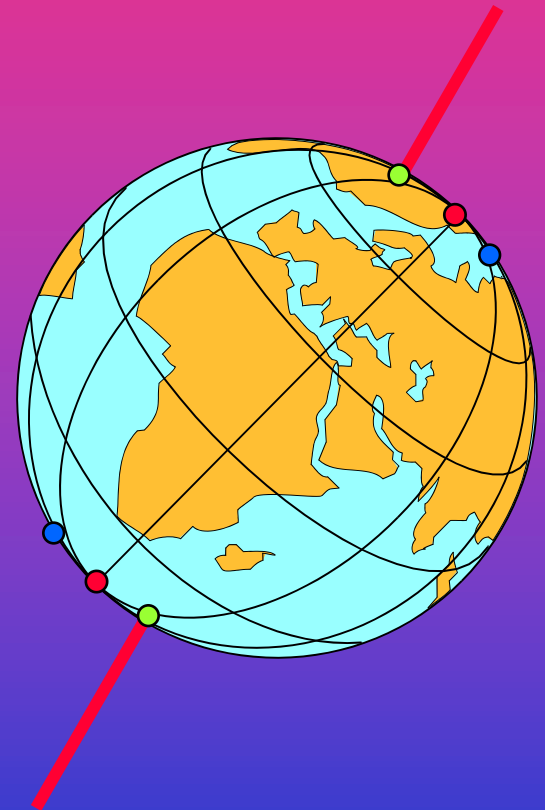
Eixo de rotação
fixo no espaço



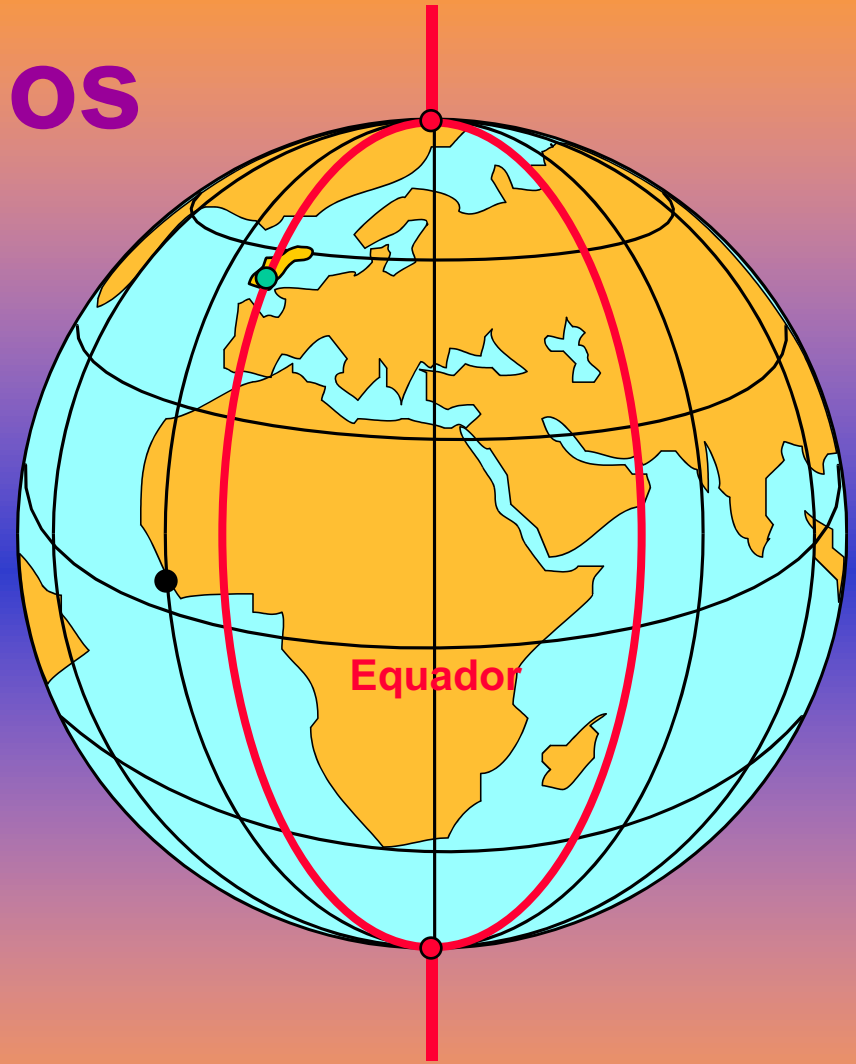
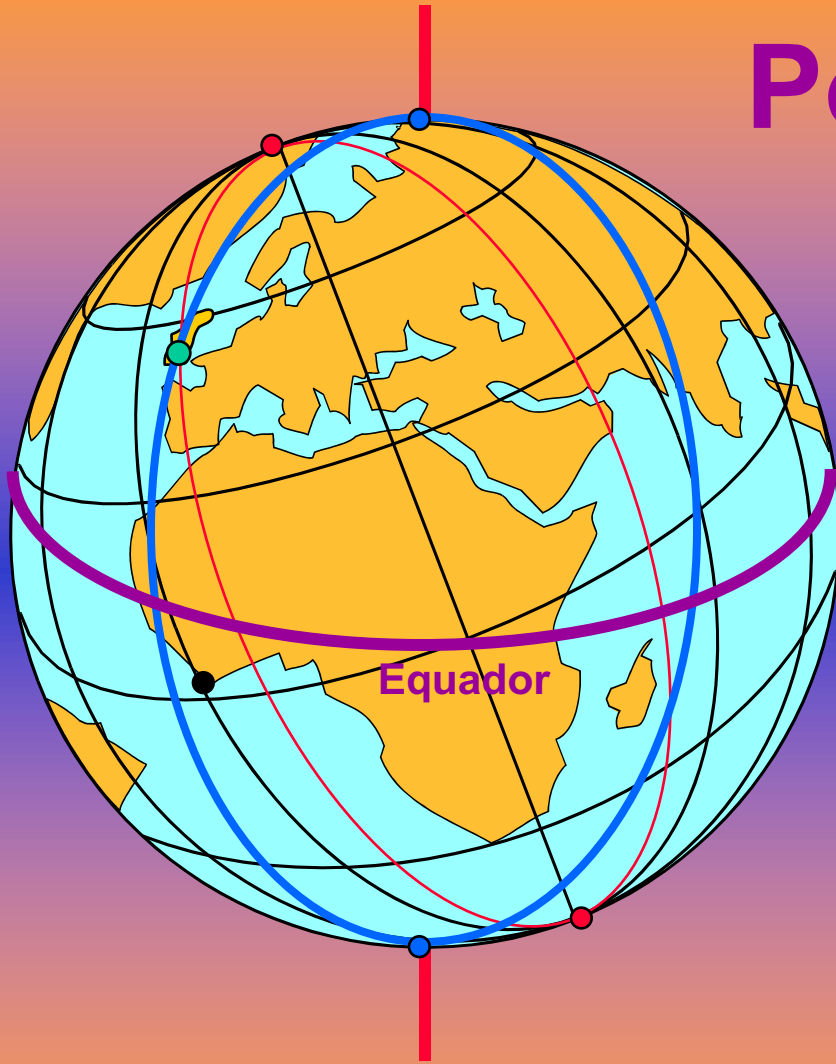
Eixo de rotação
fixo no espaço



Eixo de rotação
fixo no espaço

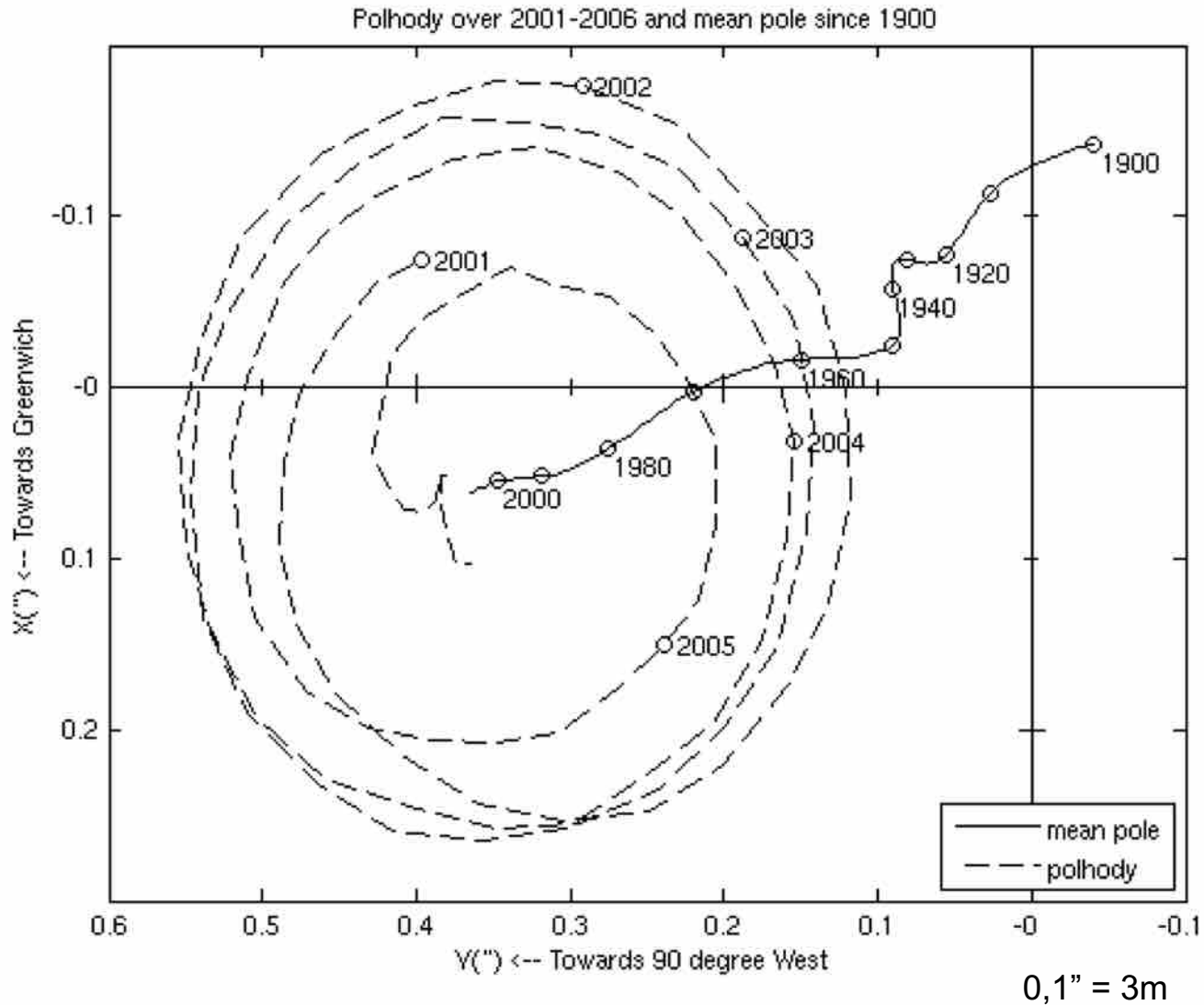


Efeitos do movimento dos Pólos



- Mudança na Latitude de um local
- Mudança na Longitude de um local
- Efeitos na hora baseada na passagem meridiana

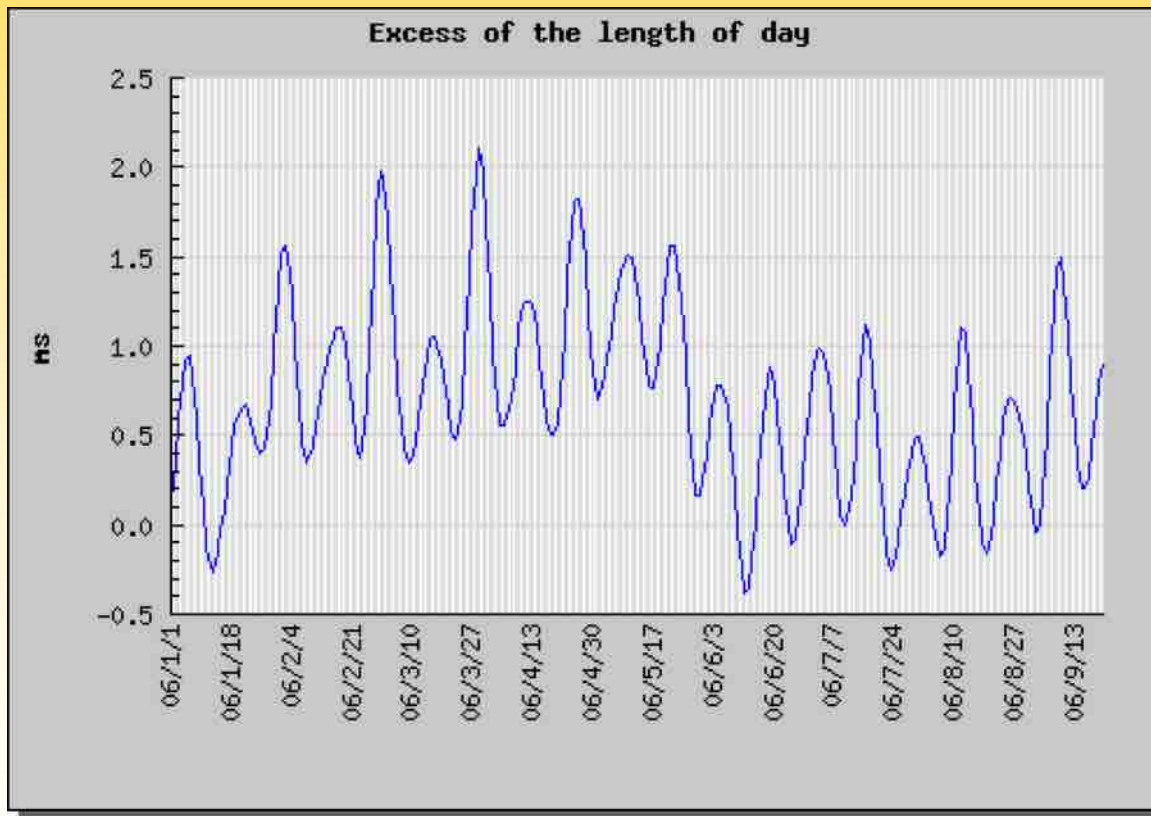
Variação da posição do Pólo Norte



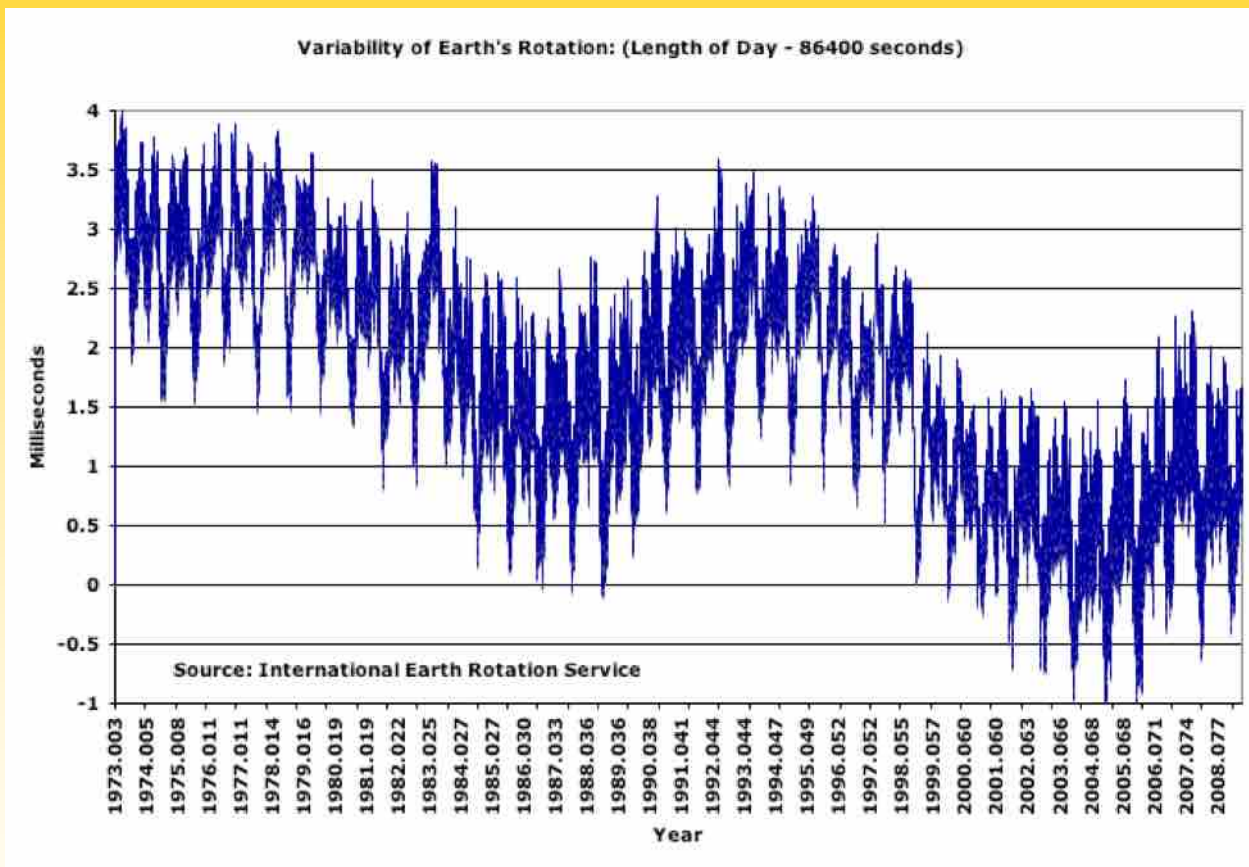
Linha cheia: variação média entre 1900 e 2000.

Linha tracejada: variação ao longo dos anos, entre 2001 e 2006

Variação do período de rotação da Terra em 120 dias



Variação do período de rotação da Terra em 35 anos



Fonte: International Earth Rotation Service - www.iers.org

Tipos de Tempo Universal

UT0

É o Tempo Universal calculado diretamente a partir das observações astronômicas

H : dado observado

$$\text{TSVL} = \alpha + H$$

$$\text{TSML} = \text{TSVL} - \text{Eq.E}$$

→Equação dos equinócios:
Diferença entre TSML e TSVL

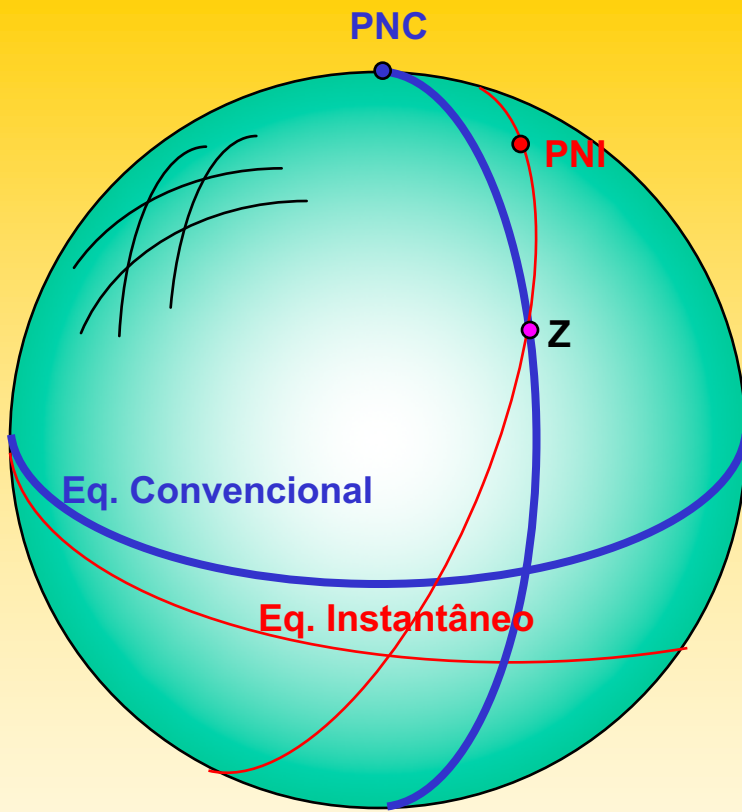
$$\text{TSMG} = \text{TSML} + \lambda$$

Lembrar: TSV leva em conta a precessão e a nutação
TSM leva em conta apenas a precessão

$$\text{UT0} = [\text{TSMG} - \text{TSMG0}^{\text{hUT}}] / f$$

Razão Dia Solar / Dia Sideral ← $f = 1,00273790935$

UT1



Teoria de Euler

(séc. XVIII)

Se um corpo não esférico é posto em rotação em torno de um eixo que não coincide com o eixo de simetria (eixo de figura), então o pólo instantâneo de rotação roda em torno do eixo de figura com movimento circular.

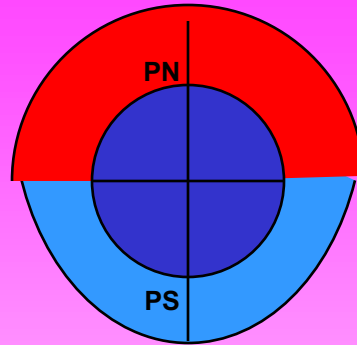
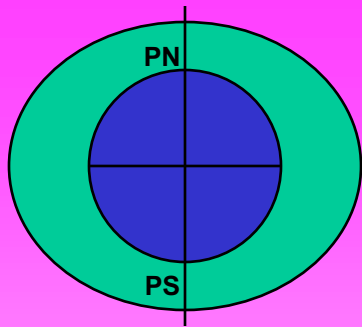
Se muda a posição do PNI

Muda a posição do meridiano local

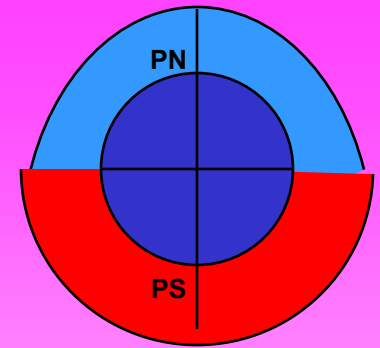
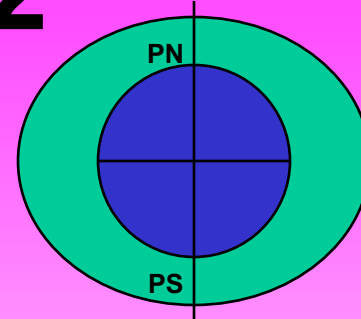
Muda o ângulo horário do astro

Muda o UT

$$UT1 = UT0 + [\text{Correções devido ao Movimento dos Pólos}]$$

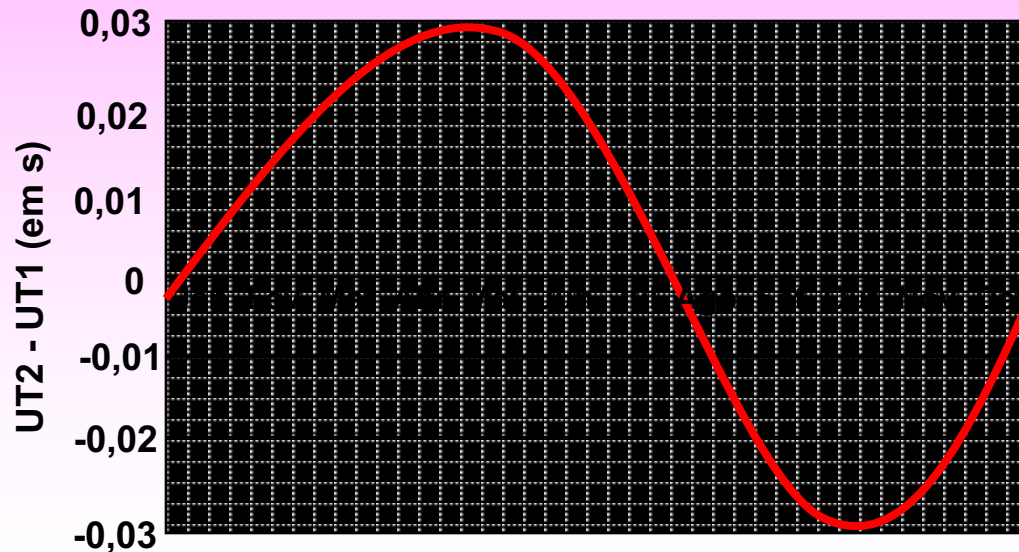


UT2



A redistribuição de massas da atmosfera em diferentes estações causa variações na velocidade de rotação da Terra

O UT2 é o UT1 corrigido dos efeitos causados pelas irregularidades na rotação da Terra por causa de efeitos sazonais



$$\text{UT2} = \text{UT1} + [\text{Cor. devido aos Efeitos Sazonais}]$$

Definições de tempo

Tempo das Efemérides

É o tempo
perfeitamente uniforme
das equações de movimento
da mecânica clássica.

Unidade do Tempo ds Efemérides:

$$1^{\text{s}} \text{ TE} = (\text{AT1900}) / 31.556.925,9747$$

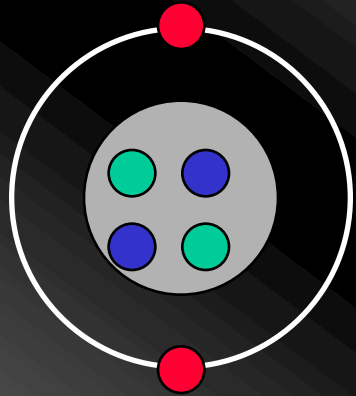
Tempo Dinâmico

É o tempo obtido a partir das equações dos movimentos dos corpos do Sistema Solar estudados sob o ponto de vista da Mecânica Clássica

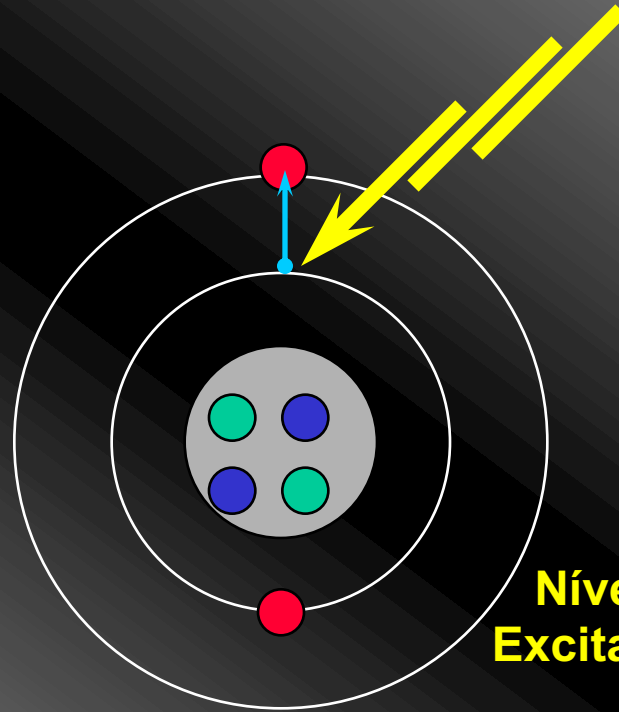
ATENÇÃO: Existem outras definições de tempo que incluem os postulados da Teoria da Relatividade Geral

Tempo Atômico

Nível Fundamental

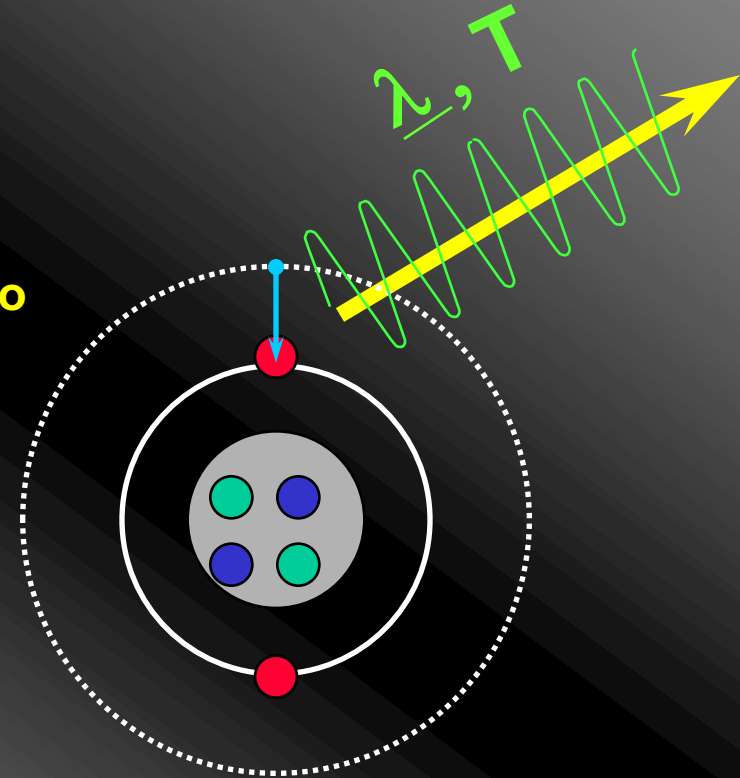


Átomo nêutro



Nível Excitado

Átomo excitado



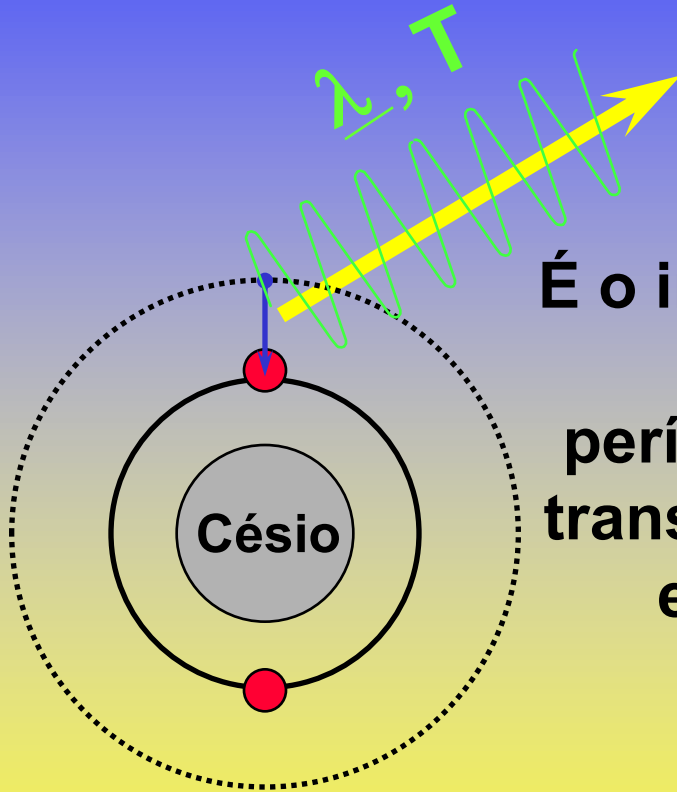
Átomo neutro

Convenção

- Próton +
- Nêutron
- Elétron -

Segundo Internacional

(01 jan 1972)



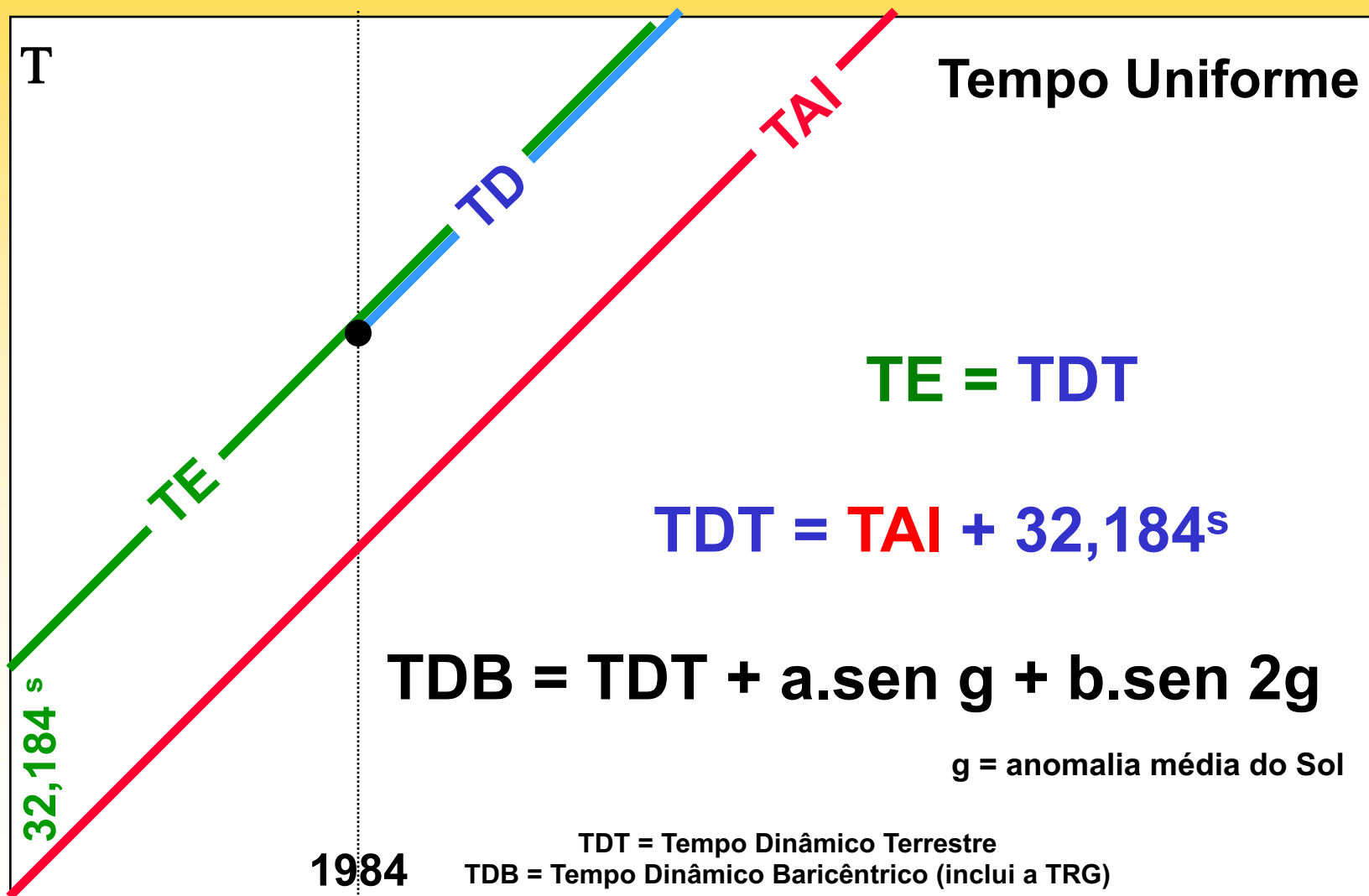
É o intervalo de tempo correspondente a

9.192.631.770

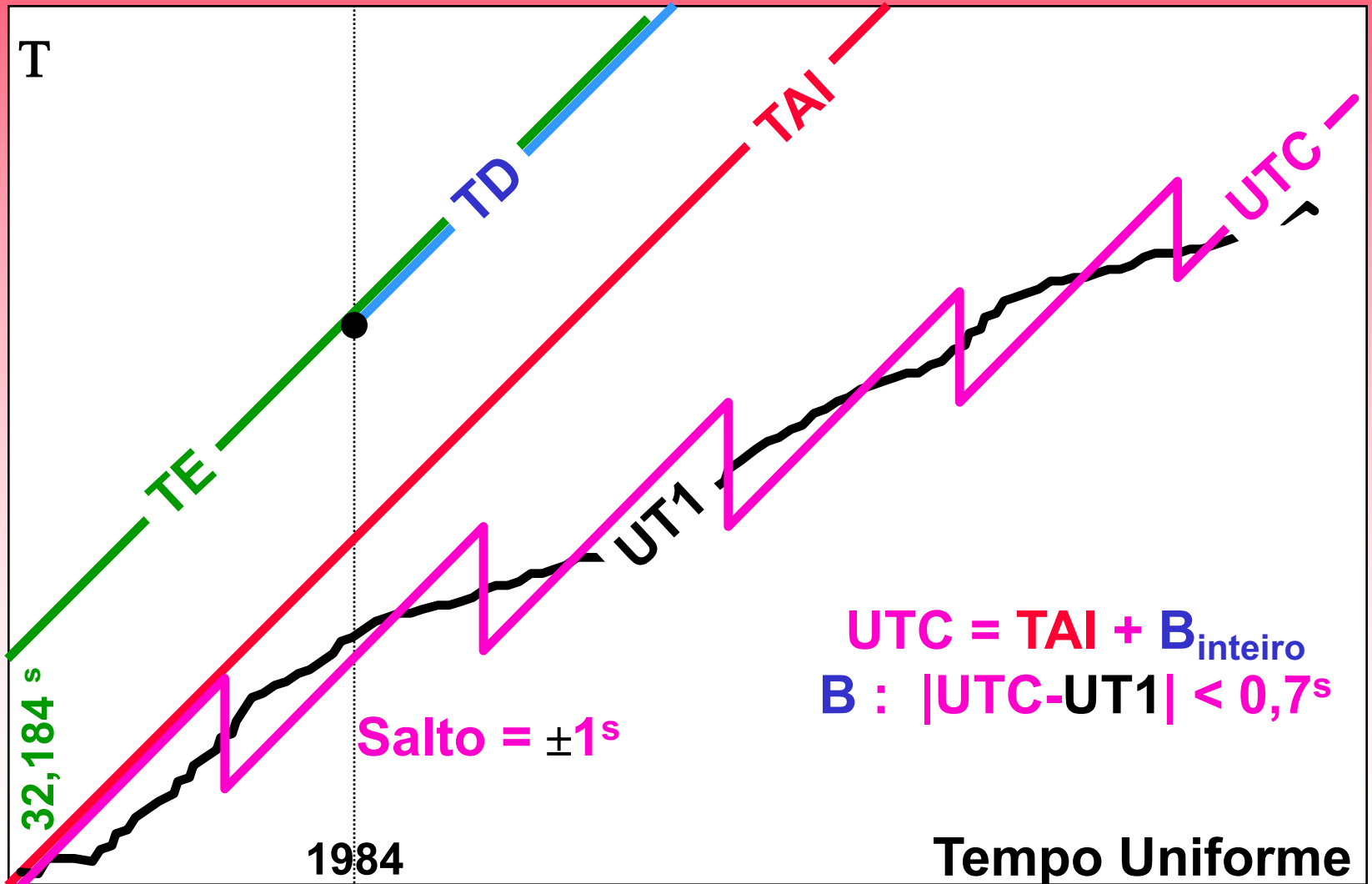
períodos da radiação emitida durante a
transição entre dois níveis hiperfinos do
estado fundamental do átomo de

Césio 133

Tempo Dinâmico e Atômico



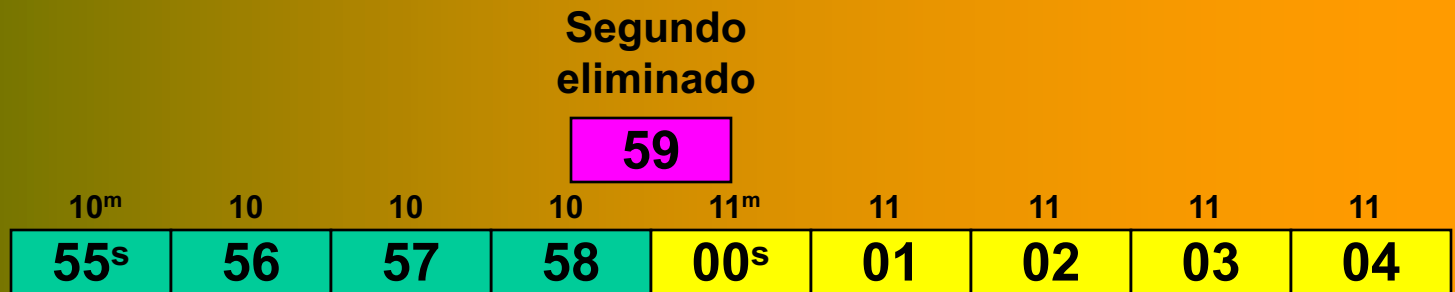
Tempo Universal Coordenado



Sucessão dos segundos no UTC

Segundo intercalado e retirado

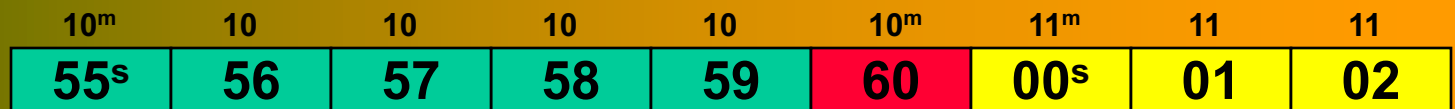
Adiantar de 1 segundo



Seqüência normal



Atrasar de 1 segundo



Segundo intercalado