

# POR QUE GEOCENTRISMO PREVALECEU?

- Não percebemos a Terra se movendo – contraintuitivo
- Modelo heliocêntrico contrariava frontalmente o pensamento aristotélico.
- Aristóteles:
  - Sol jamais poderia ocupar o centro do Universo pois ele era formado de éter.
  - A Terra, constituída pelos quatro elementos, não poderia ser comparada aos outros planetas, todos formados de éter.
  - Portanto, somente a Terra poderia ocupar o centro do Universo.
- Pensamento aristotélico era muito influente.
- Geocentrismo favorecia o pensamento religioso por colocar a Terra, e portanto o ser humano, no centro do universo.
- Trabalho de Aristarco foi esquecido durante quase dois mil anos.

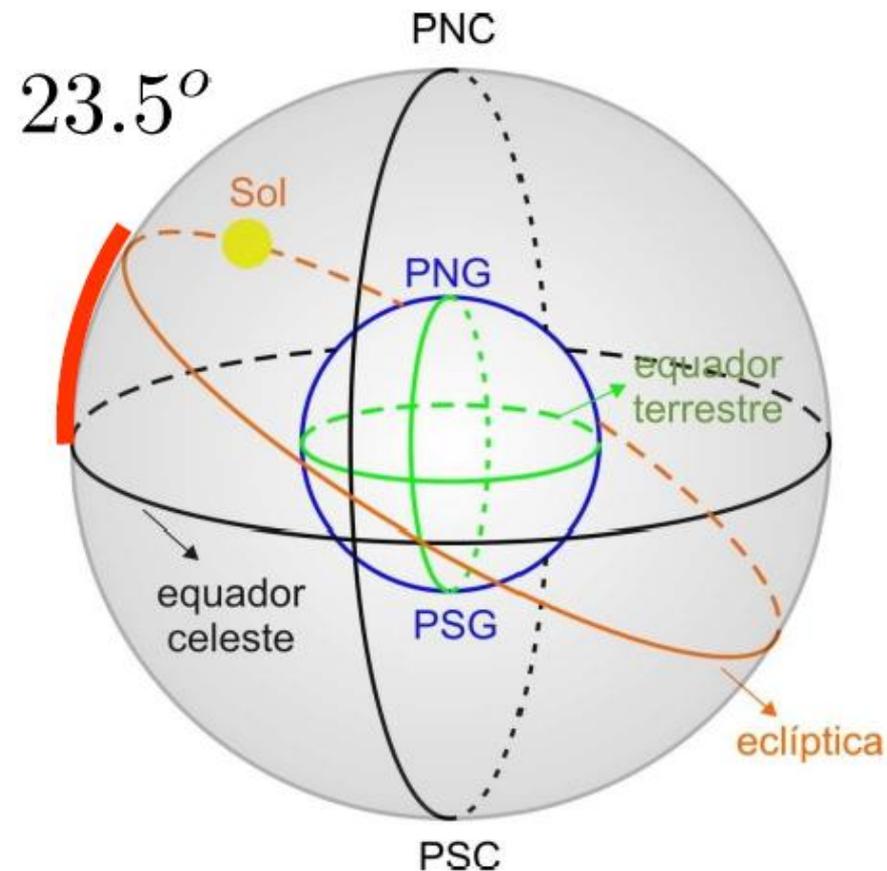
# GEOCENTRISMO EXPLICAVA PROBLEMAS BÁSICOS

- Muito utilizado na localização de navios em alto mar através da posição das estrelas.

- Estações do ano possuíam explicação simples: plano da órbita do Sol (Eclíptica) inclinado de cerca de  $23,5^\circ$  com relação ao equador celeste.

Obs1: latitude dos Trópicos de Câncer e Capricórnio  $\sim 23,5^\circ$ .

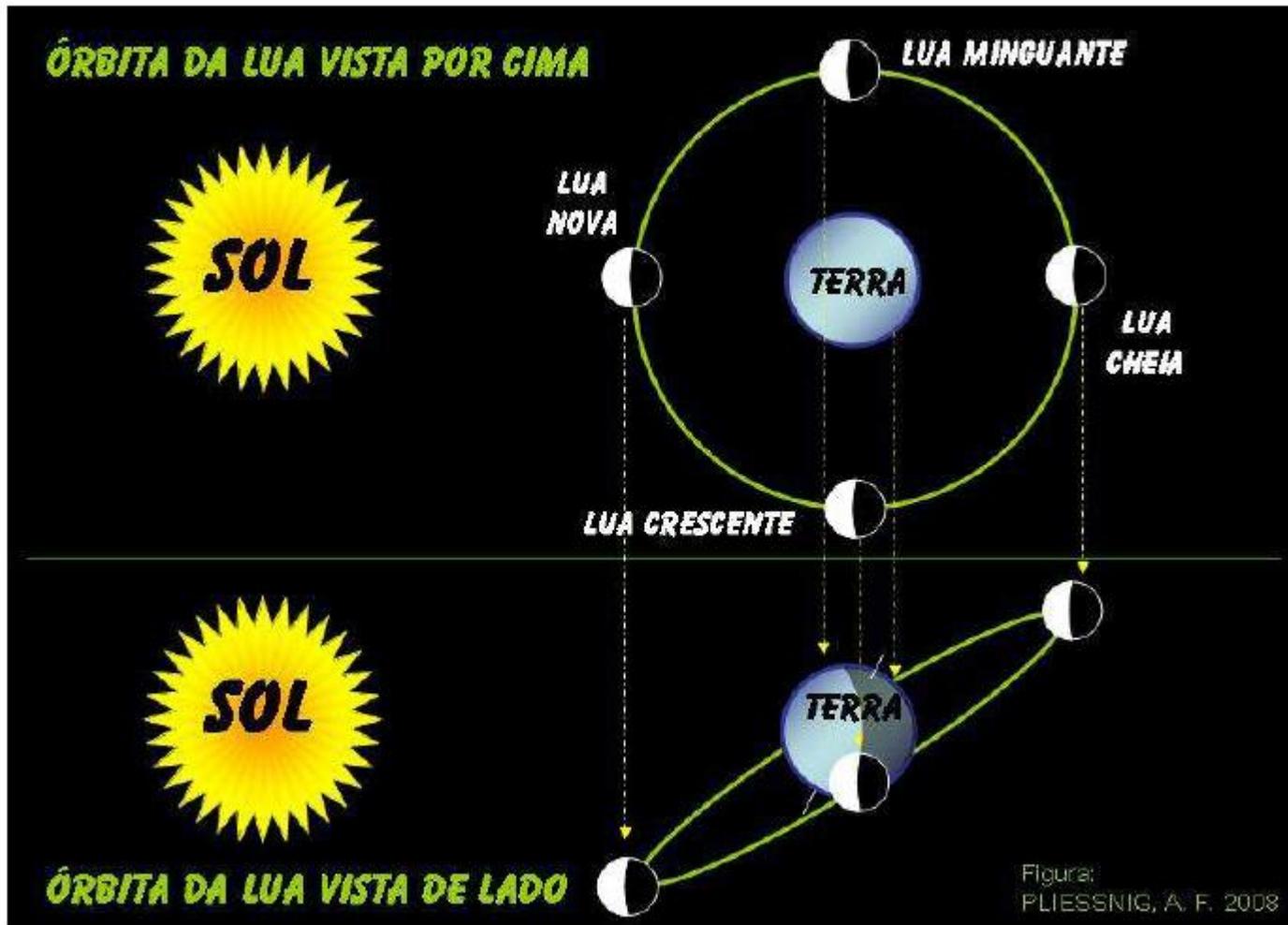
Obs2: Hoje sabemos que o eixo de rotação da Terra possui uma inclinação de cerca de  $23,5^\circ$ .



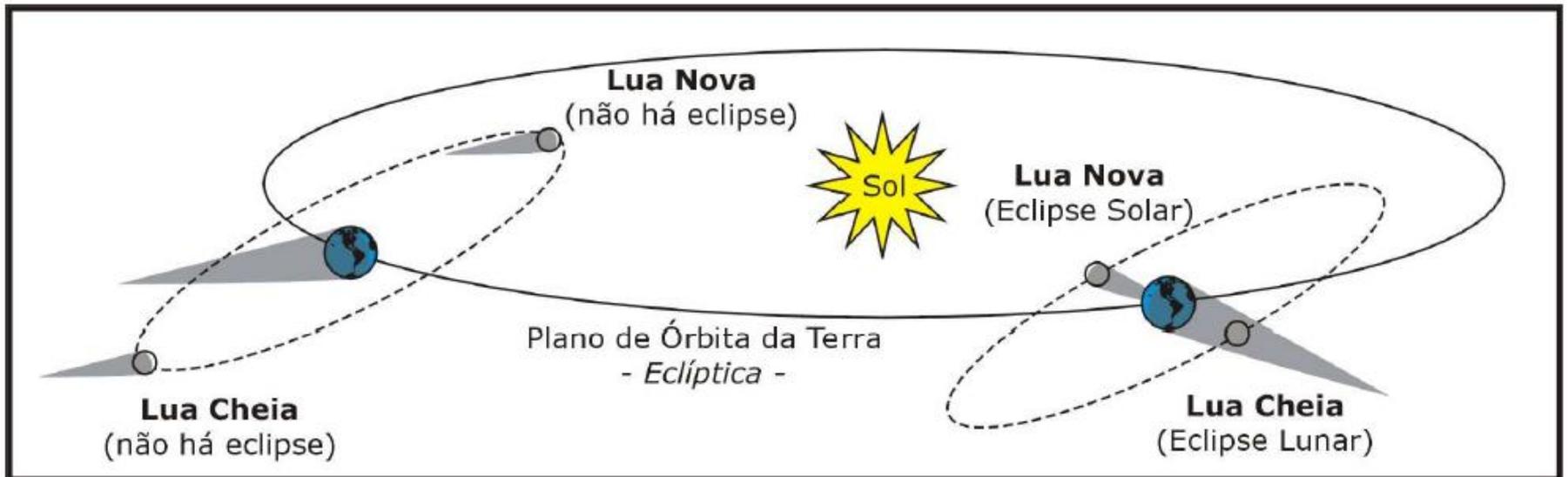
- Previsão de eclipses lunares e solares
- Fases da Lua



- Por que não temos eclipse lunar em toda lua cheia e eclipse solar em toda lua nova?



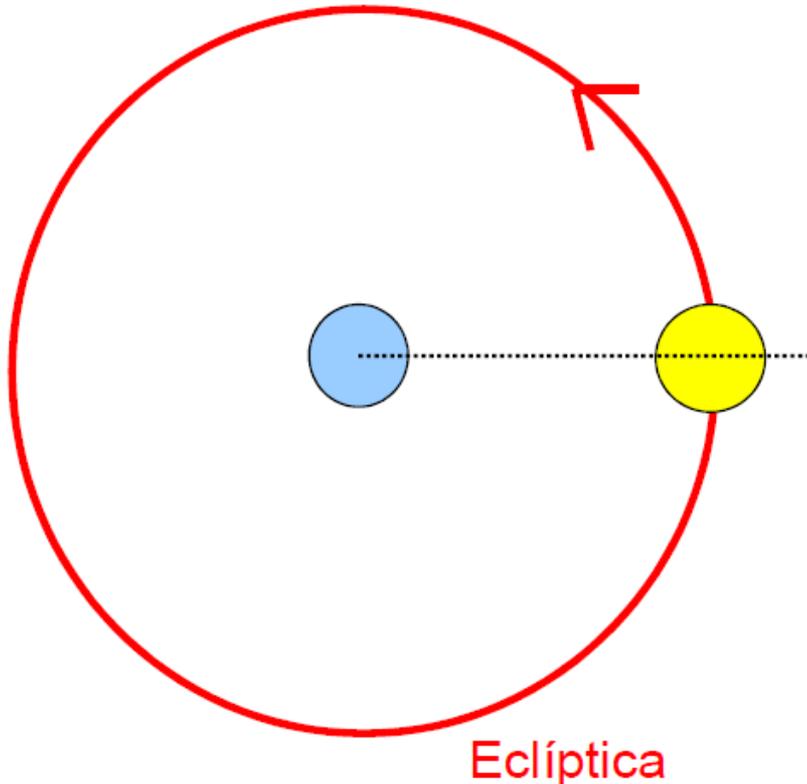
- Modelo atual:



<http://www.planetario.ufrgs.br/eclipselunar.html>

# PROBLEMAS DO GEOCENTRISMO

- Ao longo do ano, o Sol traça uma trajetória na eclíptica
- Modelo das “esferas celestes”: movimento do Sol ao longo da eclíptica é circular e uniforme.



- Período do movimento do sol:

Hiparco (190 - 120 A.C.):  
 $365 + 1/4$  dias

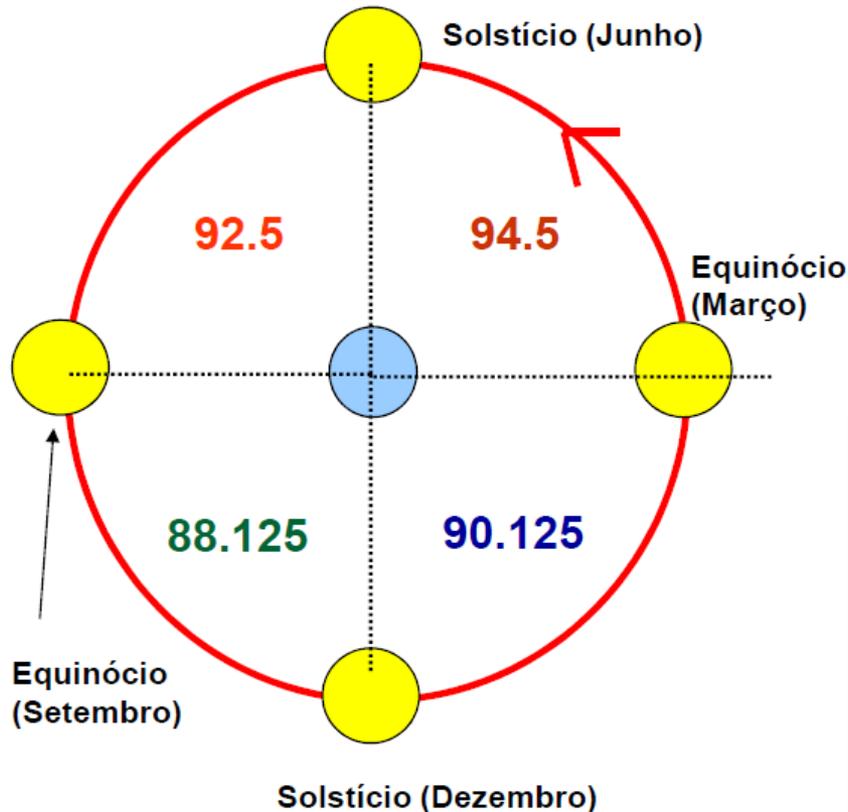
Ptolomeu (90 - 168 D.C.):  
 $365 + 1/4 - 1/300$  dias

Valor atual:  
 $365 + 1/4 - 1/133$  dias

Ex: qual a diferença entre esses valores (em minutos)?

# HIPARCO (190 – 120 A.C.)

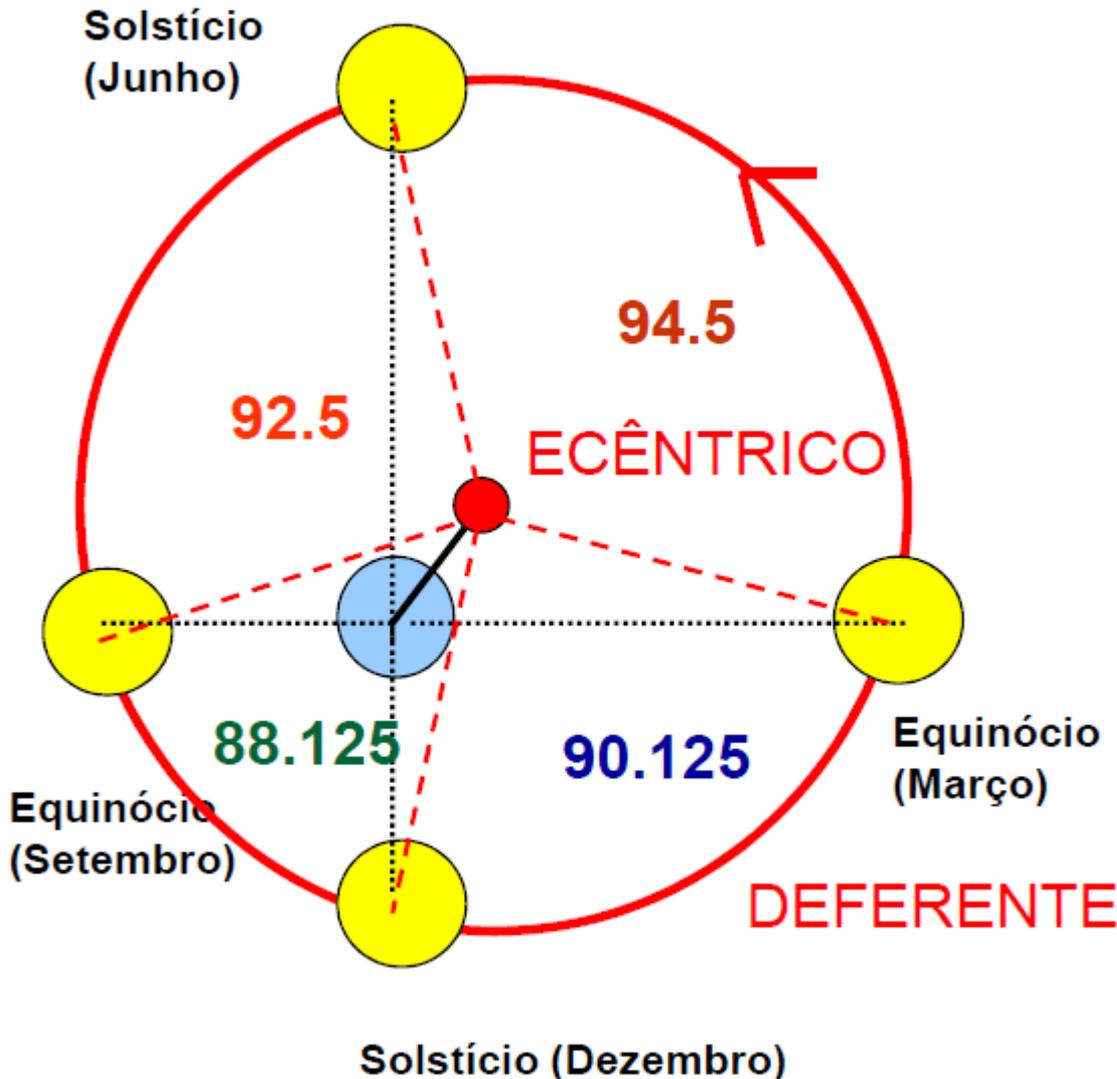
- Grande astrônomo da Antiguidade, responsável pela obtenção dos melhores dados astronômicos de seu tempo.
- Medidas da duração de cada estação do ano:



- Se o movimento do Sol na eclíptica for circular e uniforme, o número de dias entre solstícios e equinócios deveria ser igual.

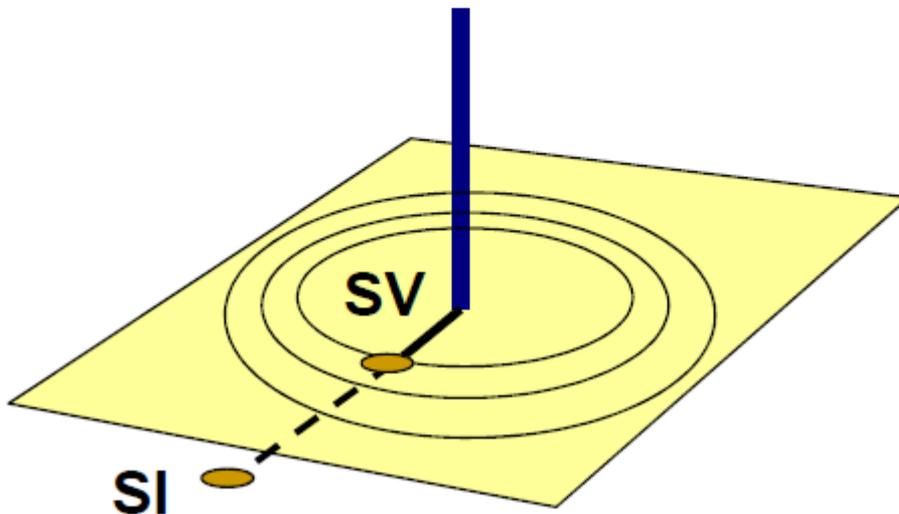
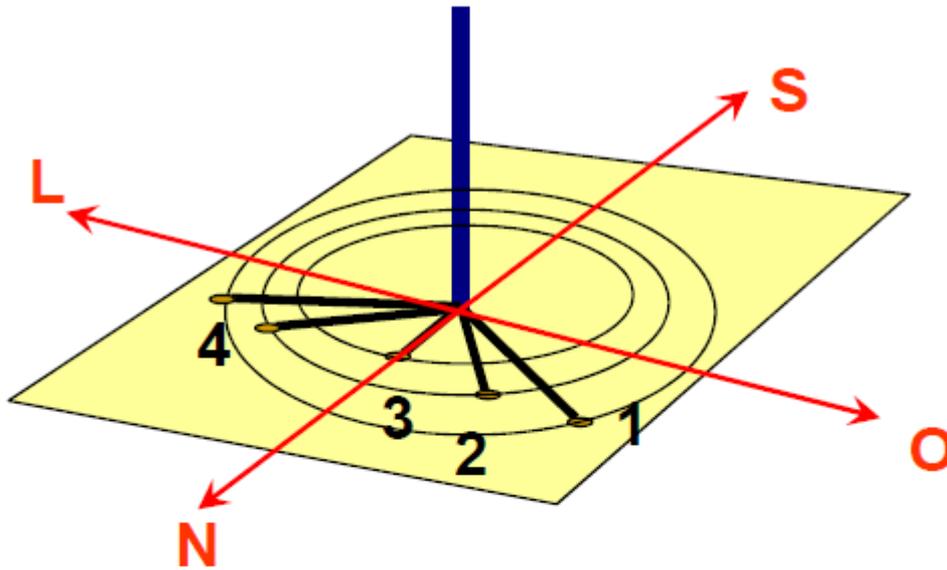
Estações (H.Norte)	Hiparco (130 ac)	Atual
<b>Verão</b>	92 ½ dias	93.65 dias
<b>Outono</b>	88 1/8 dias	89.85 dias
<b>Inverno</b>	90 1/8 dias	88.99 dias
<b>Primavera</b>	94 ½ dias	92.75 dias
<b>Total</b>	<b>365 ¼</b>	<b>365.24</b>

# MODELO DO CÍRCULO EXCÊNTRICO

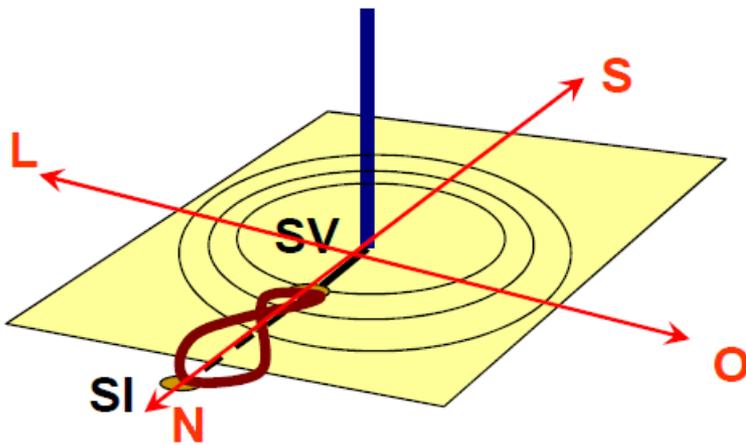


- Terra não está no centro da órbita circular do Sol.
- O círculo da trajetória circular e uniforme do Sol é o deferente.
- O centro do deferente é o excêntrico.

# DURAÇÃO DO DIA: ANALEMA

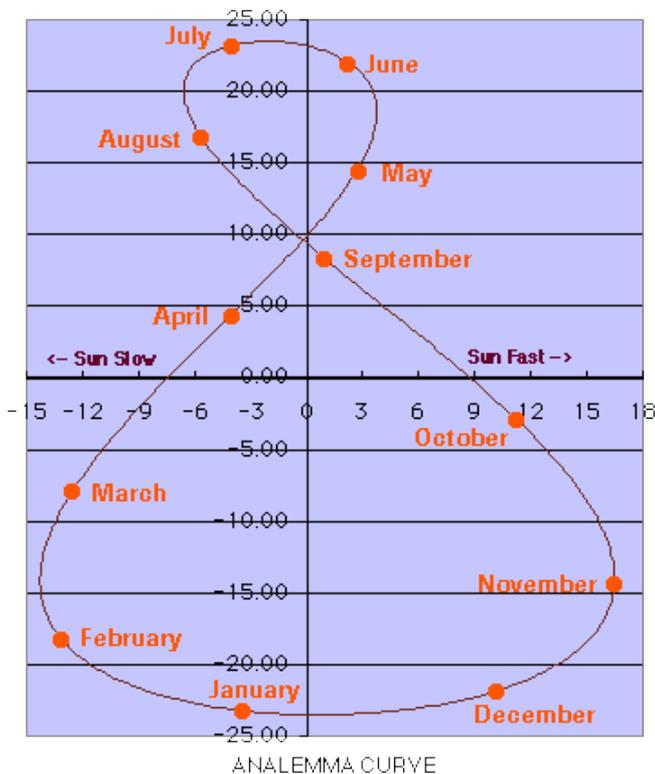


- Menor sombra do dia: meio-dia solar (posição 3).
- Essa sombra varia de comprimento ao longo do ano (linha tracejada):  
Mais longa no Solstício de Inverno (SI)  
Mais curta no Solstício de Verão (SV).
- Sombra mais curta sempre ao longo da linha norte-sul (vermelha), por definição do meio-dia solar (sol mais alto no horizonte).

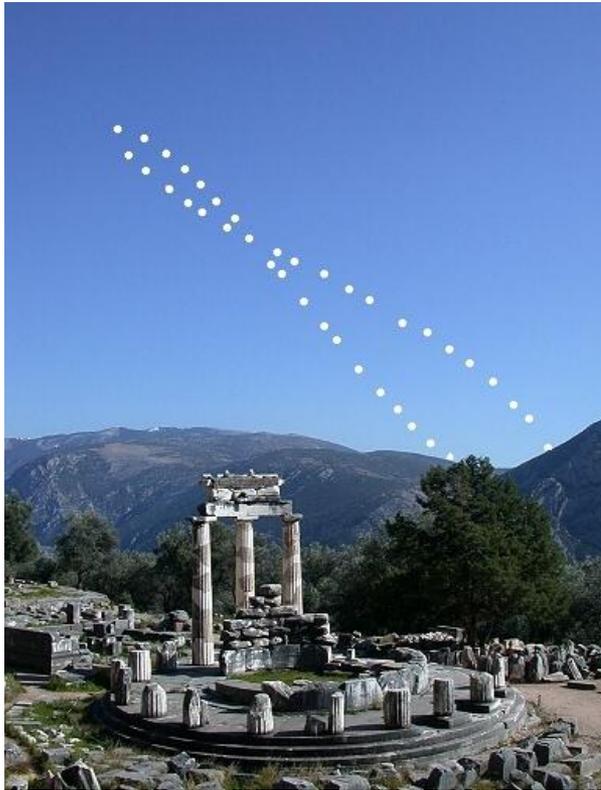


Luis G. D. da Silva (IFUSP), *Notas de aula Gravitação* (2014)

- Marcar a posição da sombra ao longo do ano sempre ao meio-dia no relógio: ela não será a sombra mais curta na linha norte-sul.
- Ela formará um “8” ao longo do ano: **“curva analema”**.
- Isso significa que o Sol “se atrasa” ou “se adianta” em relação ao relógio dependendo da época do ano. **Meio-dia solar não coincide com meio-dia do relógio!**
- Por conta da inclinação da eclíptica, essa diferença ocorreria mesmo se o movimento do Sol em torno da Terra fosse circular e uniforme. Nesse caso, a analema seria um “8” simétrico, sem a assimetria da figura.



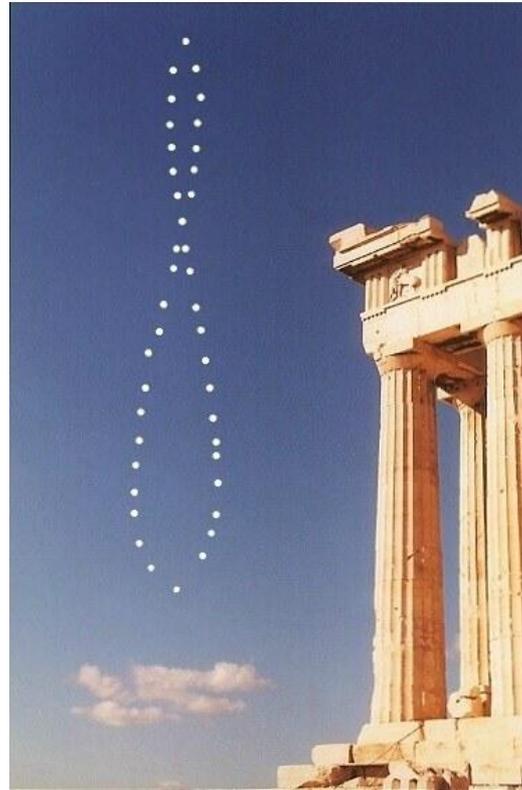
- **Analema:** Fotos da posição do sol tiradas ao longo do ano sempre no mesmo horário.



Tholos at Ancient Delphi  
Athens, Greece

02/02/2002 – 01/12/2002

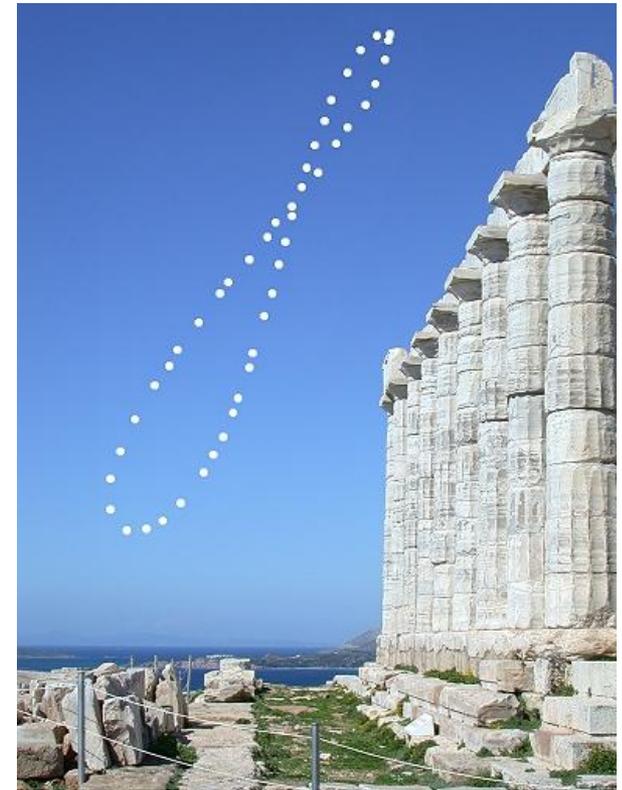
08:00:00 UT+2



Parthenon  
Athens, Greece

12/01/02 – 21/12/02

12:28:16 UT+2

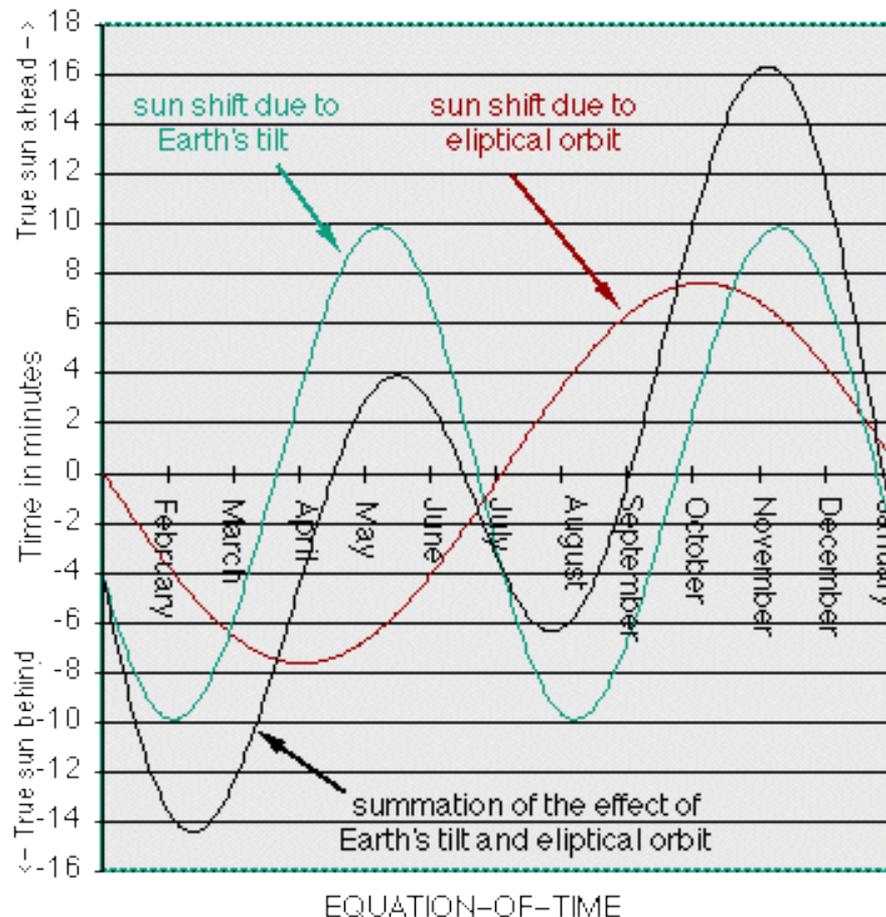


Temple of Poseidon  
Athens, Greece

06/01/2004 – 20/12/2004

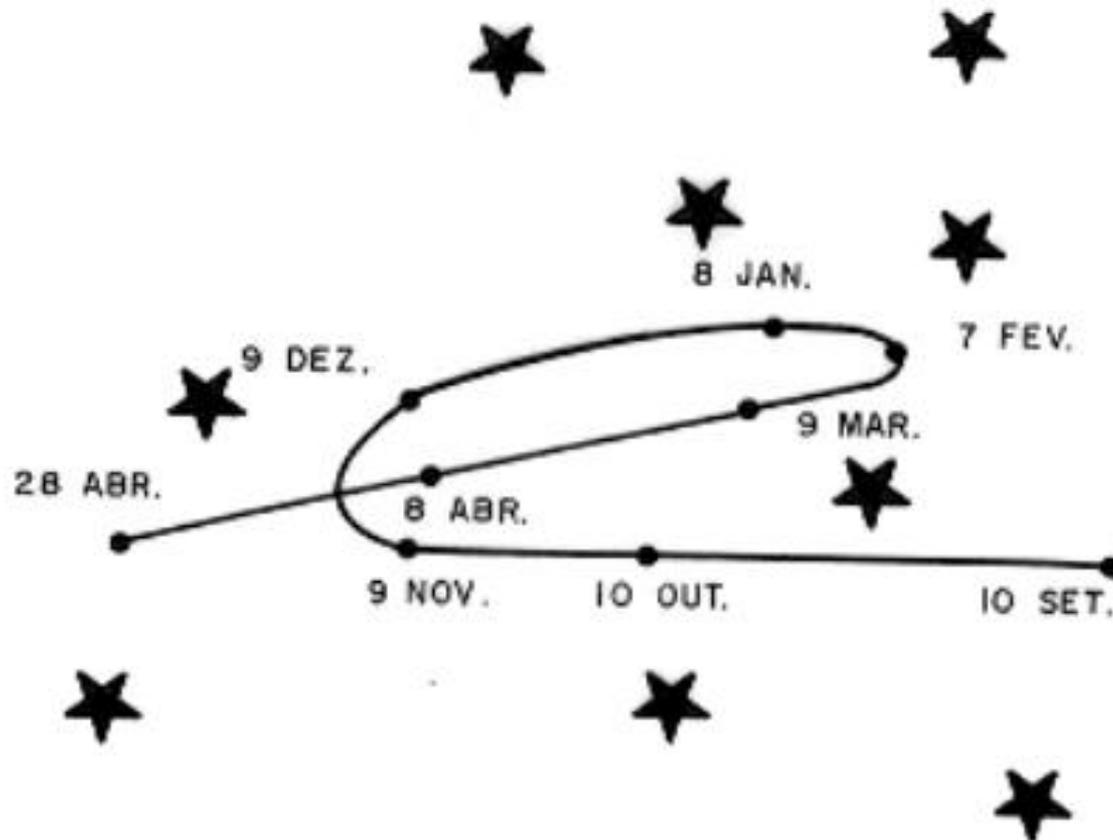
13:00:00 UT+2

- **Equação dos Tempos:** diferença entre o “tempo solar verdadeiro” e o “tempo local” medido pelo relógio ao longo do ano.



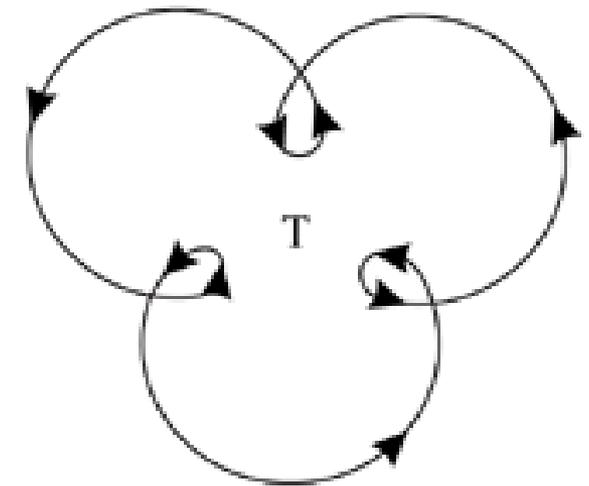
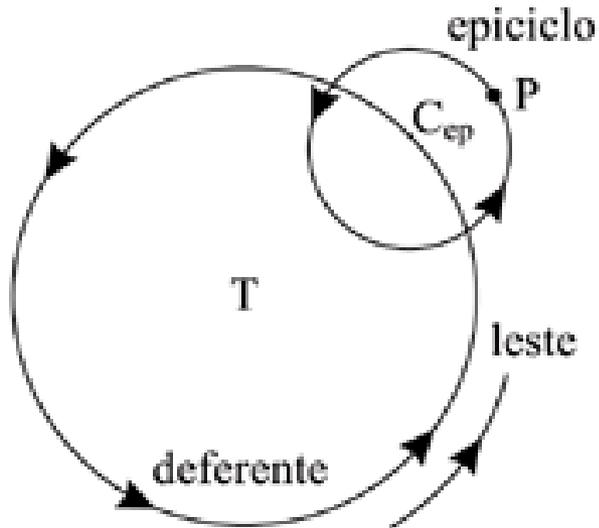
# PRINCIPAL PROBLEMA GEOCENTRISMO

- Movimento retrógrado dos planetas
- Trajetória aparente de Marte:

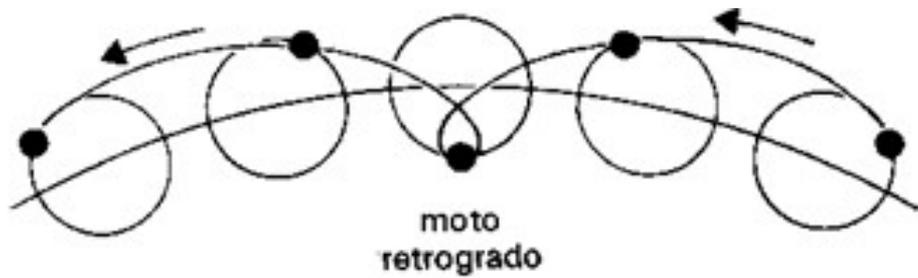


# MODELO EPICICLO E DEFERENTE

- **Epiciclo:** planeta P em movimento circular uniforme ao redor de  $C_{ep}$ .
- **Deferente:** centro do epiciclo descreve um movimento circular e uniforme ao redor da Terra, que é o centro do deferente.



Curva descrita pelo ponto P



# MODELO EPICICLO E DEFERENTE

- Equivalente ao Modelo do Círculo Excêntrico.
- Provavelmente desenvolvido por Apolônio de Perga (265-190 A.C.).
- Utilizado por Hiparco (190-120 A.C.) para descrever o movimento retrógrado dos planetas.
- Também explica a variação no brilho aparente dos planetas: planetas se afastam e se aproximam da Terra em seu movimento combinado de epiciclo e deferente.



# PTOLOMEU DE ALEXANDRIA (90-168 D.C.)

- Fortemente influenciado pelo pensamento geocentrista de Platão, Aristóteles e Hiparco.
- Cláudio Ptolomeu realizou a grande síntese da astronomia grega em seu livro [Almagesto](#), que se transformou numa verdadeira bíblia da astronomia até o começo do século XVII.

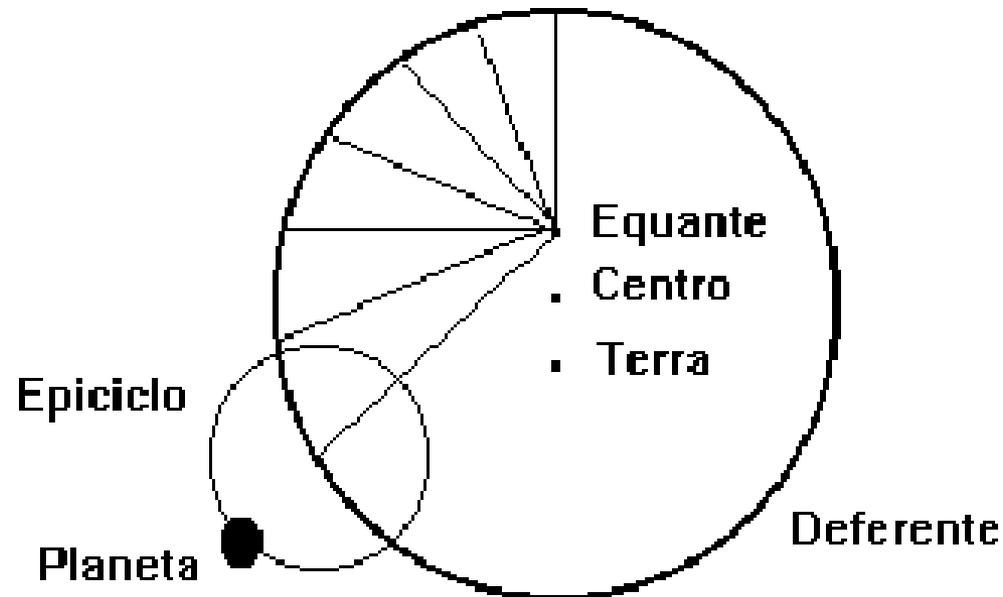


# ALMAGESTO

O Almagesto é formado por 13 livros:

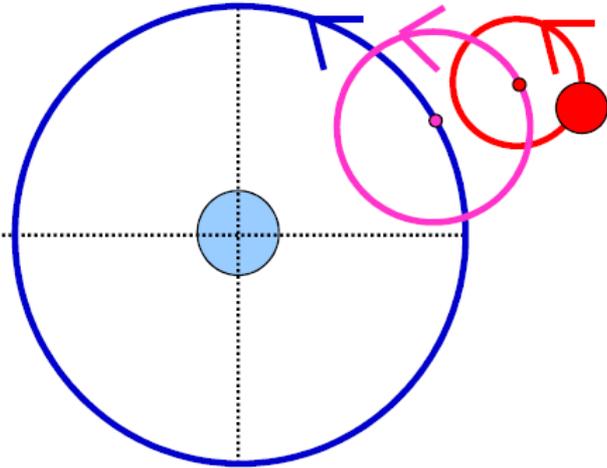
- **Livros I e II:** Defesa da visão aristotélica (modelo geocêntrico); explicação sobre ângulos e cordas; obliquidade da Eclíptica, movimento dos corpos celestes.
- **Livro III:** movimento do Sol; duração do ano e das estações; descreve em detalhe as medições de Hiparco; variação da duração do dia (“Equação dos Tempos”), modelos geométricos.
- **Livros IV e V:** movimento da Lua.
- **Livro VI:** Eclipses.
- **Livro VII e VIII:** movimento das estrelas fixas; catálogo de constelações.
- **Livros IX a XI:** movimento dos 5 planetas visíveis a olho nu: Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno. Modelo planetário.
- **Livros XII e XIII:** movimento retrógrado dos planetas.

- Ptolomeu desenvolveu o sistema de epiciclos.
- Adição do Equante: ponto ao redor do qual a velocidade angular do centro do epiciclo é constante.
- Terra e Equante igualmente afastados do centro do Deferente.
- Ajustando a distância entre o Equante e o centro do Deferente para cada corpo, era possível descrever seu movimento e prever com grande precisão suas posições futuras.



- Embora Ptolomeu não tenha feito grandes contribuições originais, foi o responsável pela grande síntese da astronomia geocêntrica.
- Baseando-se nas idéias de Platão, Aristóteles e Hiparco, ele criou uma descrição completa dos movimentos celestes que estava de acordo com os dados astronômicos observados para todos os corpos celestes conhecidos à sua época.
- O Almagesto possui um “enorme número de dados cuidadosamente selecionados, um rigoroso tratamento matemático, uma genial intuição para vislumbrar arranjos geométricos simples capazes de descrever os fenômenos, o uso desses arranjos para fazer previsões astronômicas” (Roberto Martins).
- Por esses motivos, o modelo de Ptolomeu é considerado a obra máxima da astronomia grega, e foi utilizado praticamente sem modificações até o final do século XVI.
- O nome Almagesto foi atribuídos pelos árabes e significa “o maior dos livros”

# PROBLEMA NO MODELO DE PTOLOMEU



Luis Gregório Dias da Silva (IFUSP),  
*Notas de aula de Gravitação (2014)*

- Apesar do imenso sucesso, o sistema de Ptolomeu teve que ser adaptado à medida que observações mais precisas eram feitas.
- Uma saída comum era adicionar epiciclos para descrever com maior precisão o movimento observado.

• Na verdade, é possível mostrar que adicionando um número suficientemente grande de epiciclos é possível descrever qualquer trajetória, desde que ela seja contínua e periódica:

<https://www.youtube.com/watch?v=QVuU2YCwHjw>

(Equivalente de uma série de Fourier para uma curva contínua)

• No séc. XVI, o número de epiciclos adicionados era tão grande que tornava o modelo de Ptolomeu impraticável.