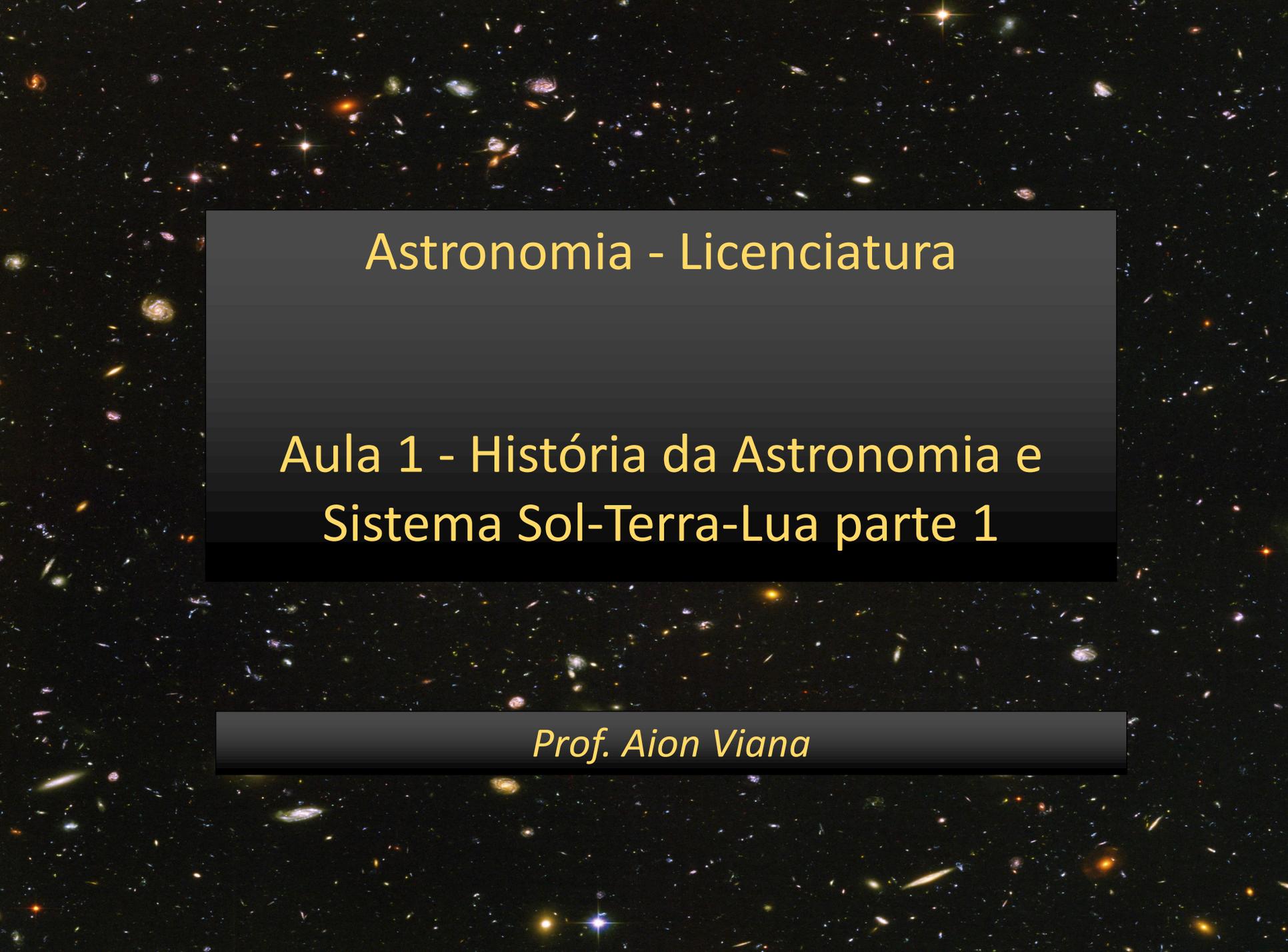


Você não sabe que o verdadeiro astrônomo deve ser uma pessoa de grande sabedoria? Portanto, haverá a necessidade de várias ciências. A primeira e mais importante é aquela que trata de números puros. Para aqueles que prosseguem seus estudos da maneira adequada, todas as construções geométricas, todos os sistemas de números, todas as progressões melódicas evidentemente constituídas, o esquema único ordenado de todas as revoluções celestes deve se revelar. E, acredite em mim, ninguém jamais verá aquele espetáculo sem os estudos que descrevemos, e assim poderá se gabar de que o conquistou por um caminho fácil.

Fílipos de Opus (Platão), Epinomis (séc. 4 a.C.)

Agradecimentos

Estas aulas contou com o material do Professor Valter Líbero do IFSC-USP que teve a colaboração do Professor Roberto Boczko, do Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo, IAG-USP e da equipe do Centro de Divulgação da Astronomia, CDA



Astronomia - Licenciatura

Aula 1 - História da Astronomia e
Sistema Sol-Terra-Lua parte 1

Prof. Aion Viana

Todo ser vivo com olhos, olha pro céu



Mundo na Antiguidade

Estrelas (~6000)

Lua

Marte

Mercúrio

Júpiter

Vênus

Saturno

S I



Antiguidade da Astronomia



Stonehenge 3100 A.C.

Mesopotâmia
Tábua de Vênus de Amisaduca 1600 A.C
21 anos de horários nascer e ocaso de
Venus

Antiguidade da Astronomia

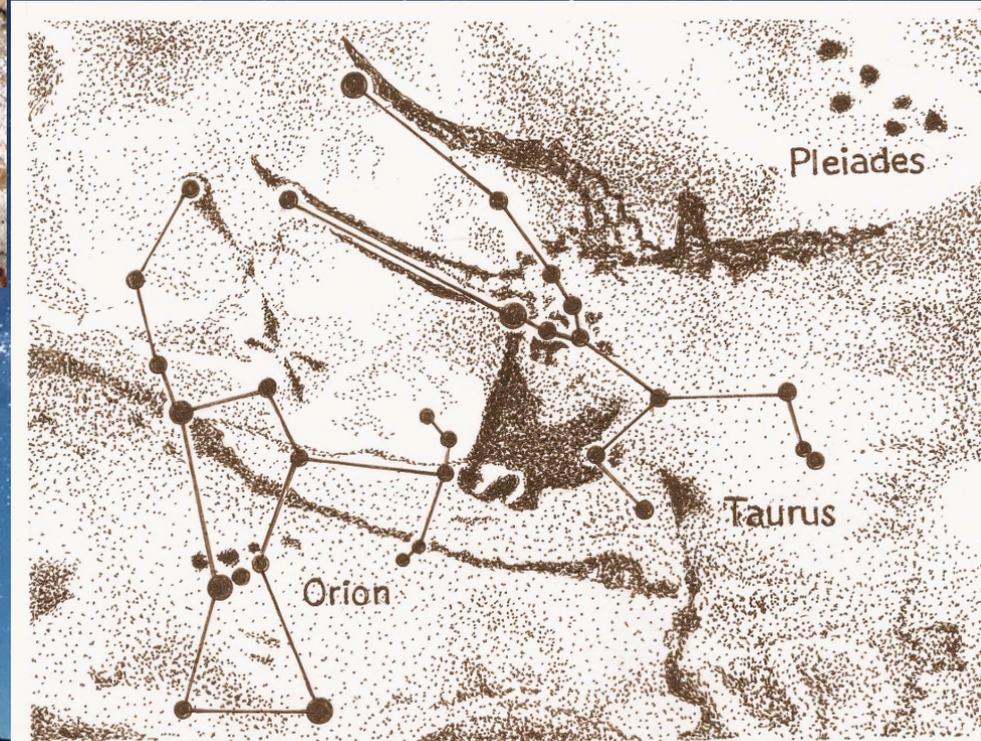


Stonehenge brasileiro - Amapá (idade 500-2000 anos anos)

Antiguidade da Astronomia



Caverna de Lascaux
17 000 A.C



Antiguidade da Astronomia

Dados observacionais: Mesopotâmia 1600A.C.

Lascaux - Pleiades: 17000 A.C.

presa de mamute com Orion: 32000A.C.

Anterior ao início da humanidade?

- Plantas: fototropismo
- Abelhas navegam usando o Sol
- Aves migratórias cruzam a trajetória diurna do Sol com muita antecedência
- Andorinhas reconhecem constelações

Uma espécie de sucesso como o Homem não a teria usado?

- Uso místico (universal em todas as culturas)
- Conhecimento dos astros: subproduto da cultura urbana? FALSO
- Viagens, caça, pesca, pastoreio, agricultura

Como a Astronomia se tornou ciência

A tradição astronômica grega

- Somente a partir do século VII a.C., na Grécia, que verdadeiras teorias cosmológicas começaram a serem criadas com o intuito de não apenas descrever as observações mas explicá-las a partir de princípios básicos.

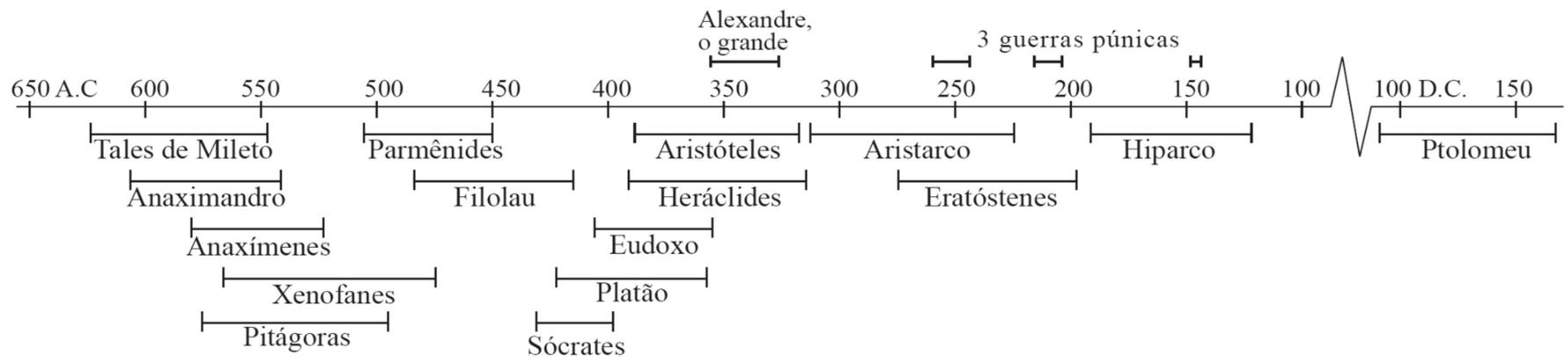


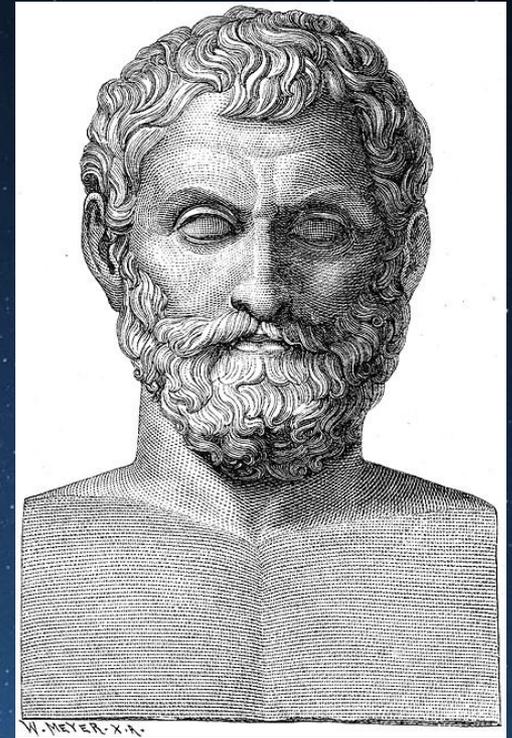
Figura 4.1: Linha do tempo dos principais filósofos da Grécia clássica que tiveram destaque na astronomia.

A night sky filled with stars and the Milky Way galaxy, with a dark silhouette of a horizon at the bottom. A semi-transparent dark blue banner is overlaid across the middle of the image, containing the text.

Universo Geocêntrico Puro

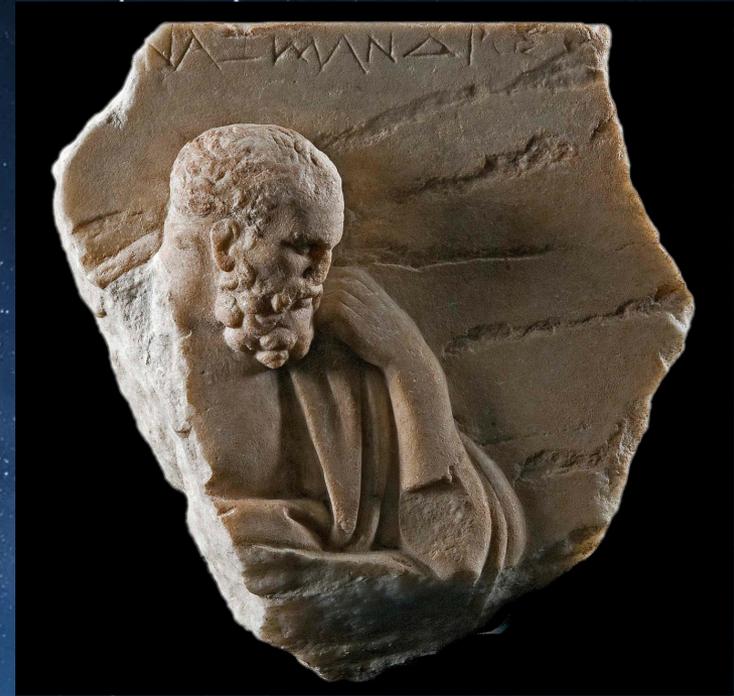
Tales de Mileto (~600 a.C., escola jônica)

- A Terra é um disco achatado flutuando como uma madeira em um oceano cuja a água seria o princípio de tudo e limitado pela abóbada celeste.
- Alega-se que ele foi capaz de prever um eclipse solar. Como ???!!!!
- Tudo o resto gira em torno da Terra



Anaximandro (~550 a.C.)

- Terra esta em equilíbrio no centro do Universo porque só assim ela não cairá;
- A Terra é um cilindro;
- O céu é esférico;
- Os objetos estão em diferentes camadas no céu a distancias diferentes, onde o Sol se encontraria na mais distante e as estrelas fixas na camada mais proxima;
- A Lua estaria numa camada intermediaria.
- As estrelas são furos na esfera sólida;



Universo de Anaximandro

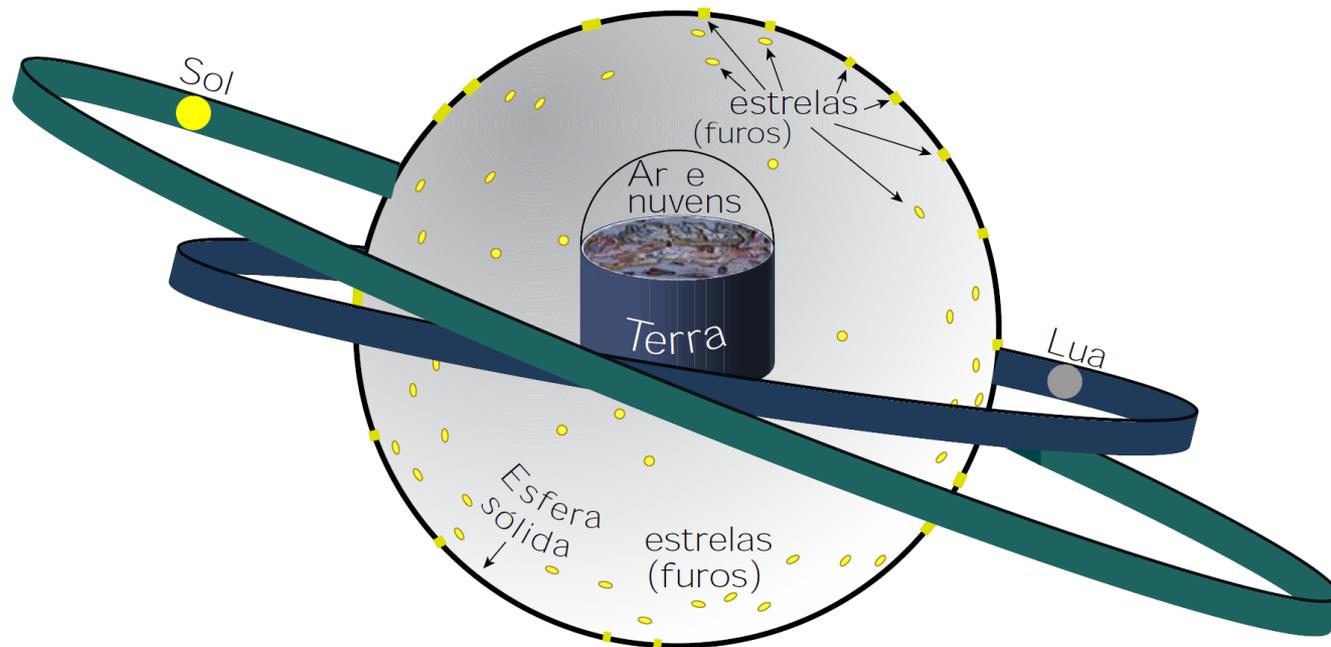


Figura 4.2: Universo de Anaximandro. A Terra fica no centro do Universo, as estrelas são furos em uma esfera sólida, por onde escapa a luz. Em seguida vem um anel com a Lua e um anel mais distante com o Sol.

Anaxímenes de Mileto (~500 a.C.)

- Estrelas estão “pregadas” na esfera celeste, que seria um sólido cristalino
- Terra seria um disco achatado flutuando no ar



Leucipo de Mileto (~450 a.C.)

- a Terra é o hemisfério de uma esfera
- Acima da Terra o ar preenche o hemisfério superior

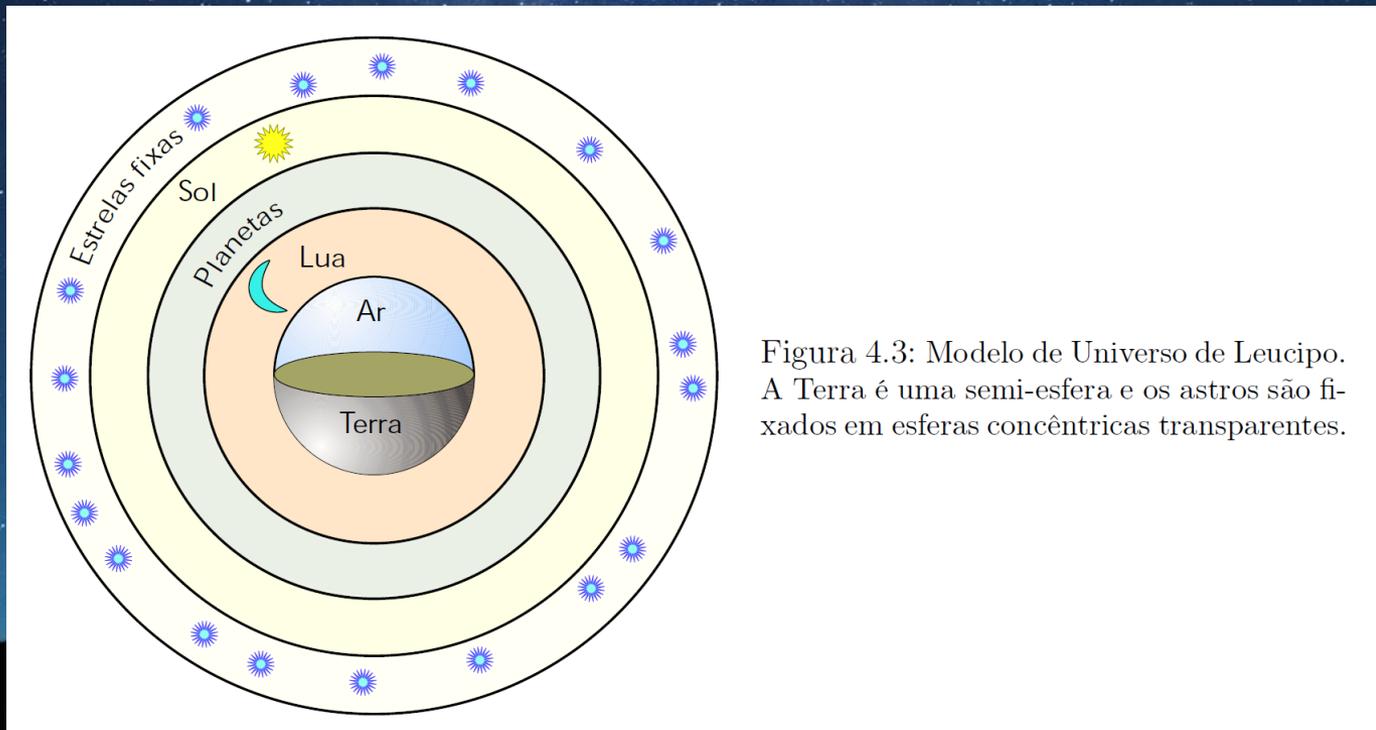
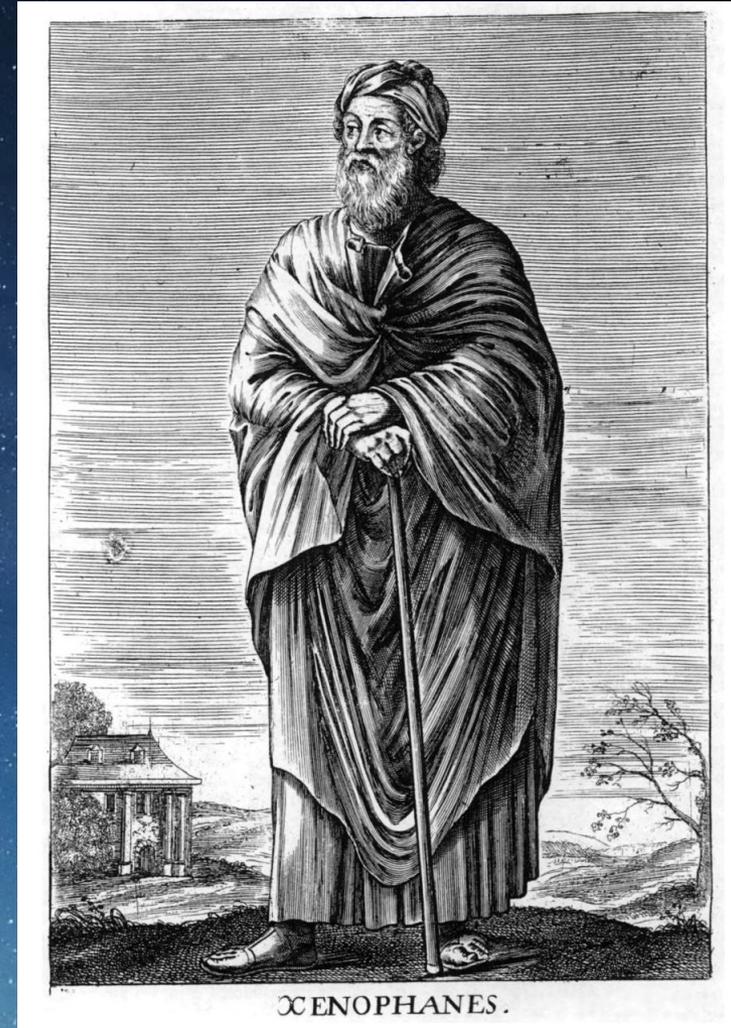


Figura 4.3: Modelo de Universo de Leucipo. A Terra é uma semi-esfera e os astros são fixados em esferas concêntricas transparentes.

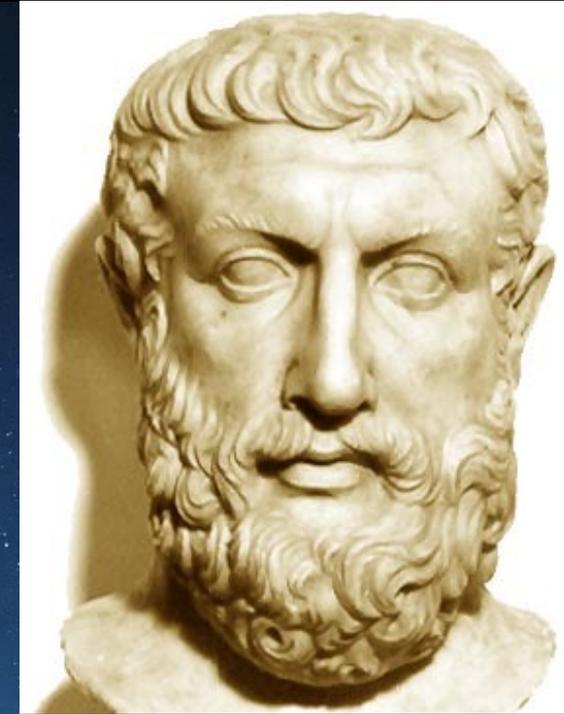
Xenofanes de Colophon (~500 A.C., escola eleática)

- Terra plana e sem limites, ancorado no infinito;
- Sol e estrelas são nuvens condensadas;
- A trajetória dos astros são retilíneas e a aparência circular é ilusão devido à distância



Parmênides (~450 a.C.)

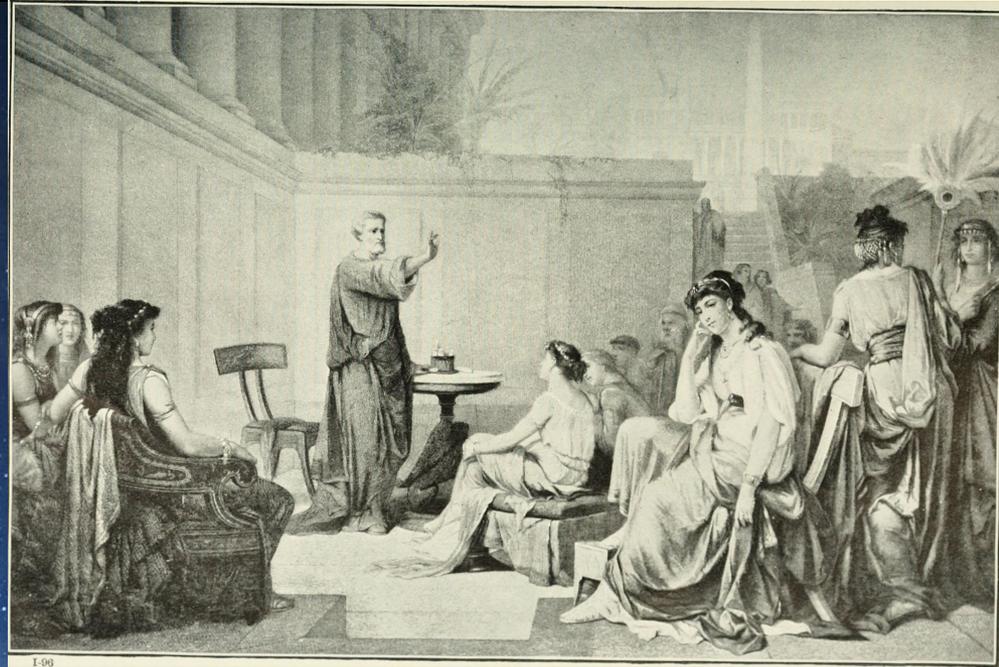
- Terra era uma esfera → grande avanço
- dividiu a Terra em cinco zonas: tropical, temperadas e glaciais;
- O universo é uma série de camadas concêntricas;
- A Lua reflete a luz do Sol;
- A Lua e o Sol se desprenderam da Via Láctea;
- As estrelas estão mais próximas da Terra do que a Lua e o Sol;



(Por essa época surge a teoria atomística (Leucipo, Empédocles, Demócrito, ...))

Pitágoras (~500 a.C. , escola pitagórica)

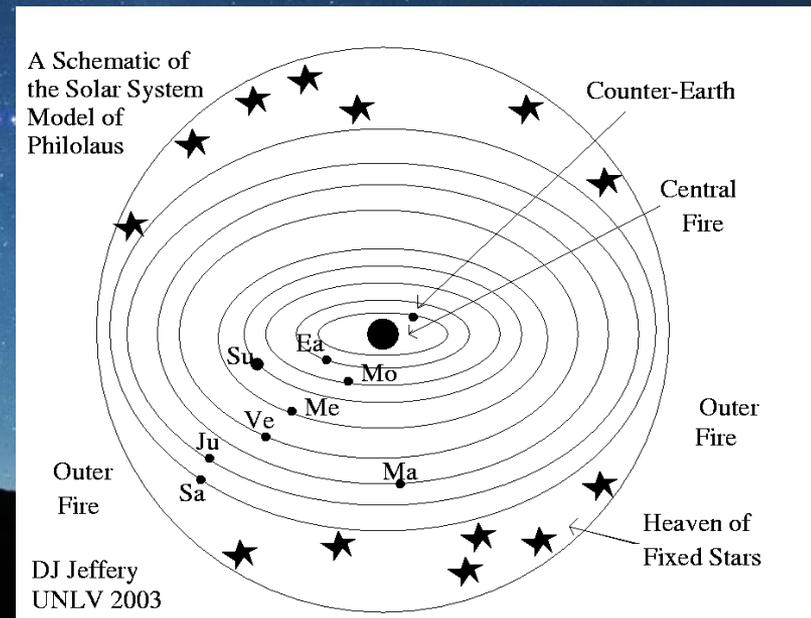
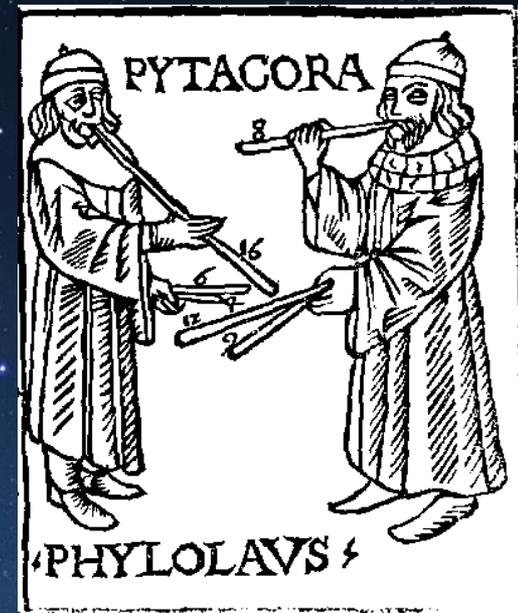
- O Universo é governado pela Matemática;
- Terra, água, ar e fogo;
- Identificou Vênus;
- Lua reflete a luz do Sol;
- Planetas têm órbita inclinada em relação ao equador celeste;



A regularidade dos movimentos celestes e os intervalos regulares das harmonias musicais levou os pitagóricos a conclusão de que cada um dos planetas, assim como as estrelas, estariam em esferas cujo movimento produziriam uma nota musical. Esta musica celestial seria, e claro, impossível de ser escutada pelos seres humanos.

Filolau (~480 a.C.)

- Primeiro filósofo a propor que a Terra não está no centro do Universo;
- No centro tem um fogo: Héstia;
- A Terra é esférica e gira em torno do fogo central;
- Lua, sol e planetas também giram em torno do fogo central: Terra, a Lua, o Sol, Vênus, Mercúrio, Marte, Júpiter e Saturno;
- Existe uma Anti-Terra entre a Terra e o fogo central;



Eudoxo (~350 a.C.)

- Ciclo solar = $(3 \times 365 + 366)$ dias;
- A Terra está no centro do Universo;
- Cada planeta está ligado a várias esferas homocentricas;
- Explicava a diferença de duração das estações:
 - Verão = 88.99 dias
 - Primavera = 92.75 dias
 - Inverno = 93.65 dias
 - Outono = 89.95 dias
- Primeiro filósofo a tentar dar uma explicação matemática para o movimento dos planetas

Sistema de Eudoxo

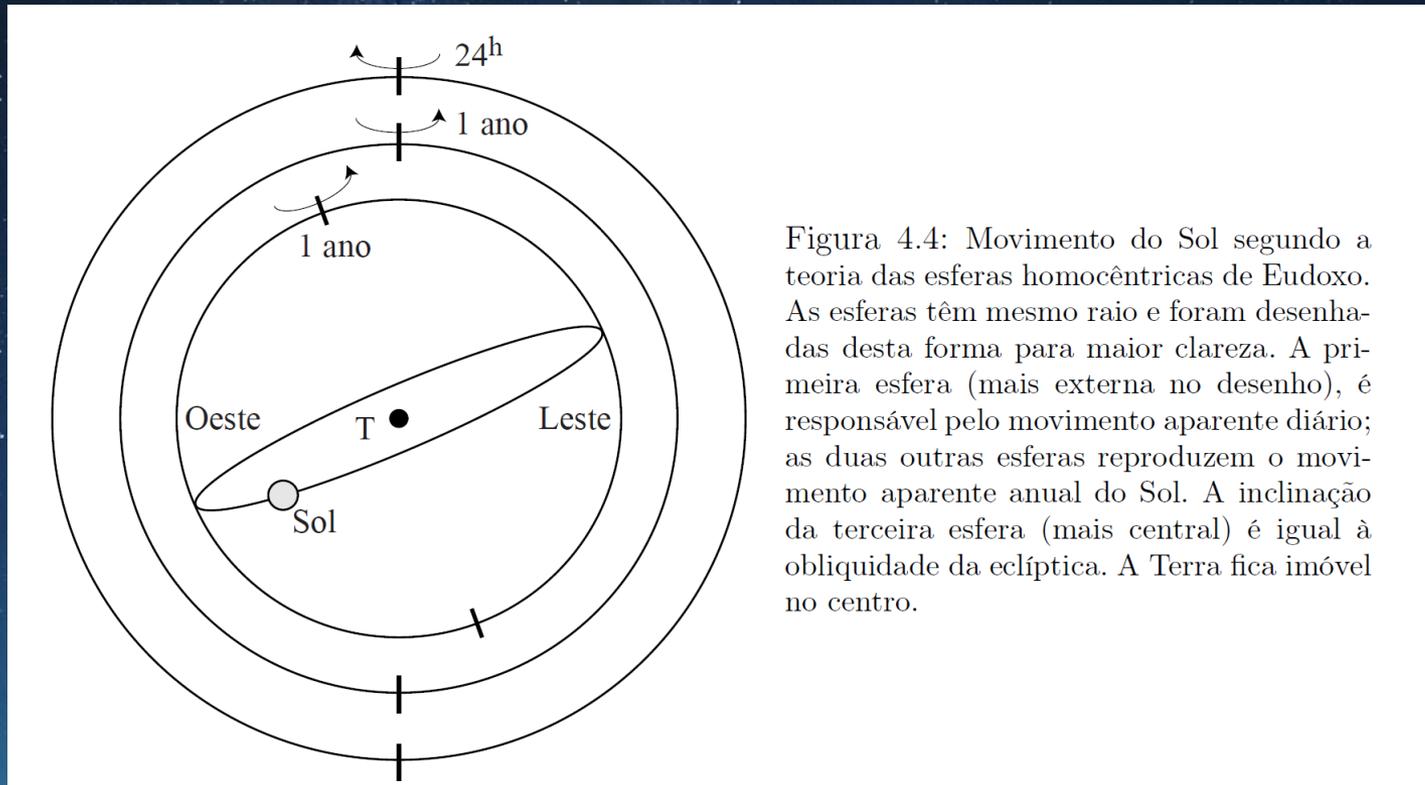


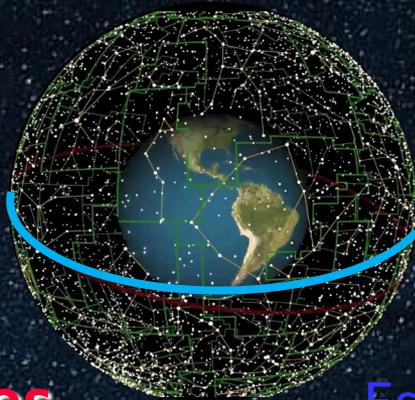
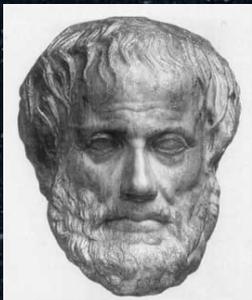
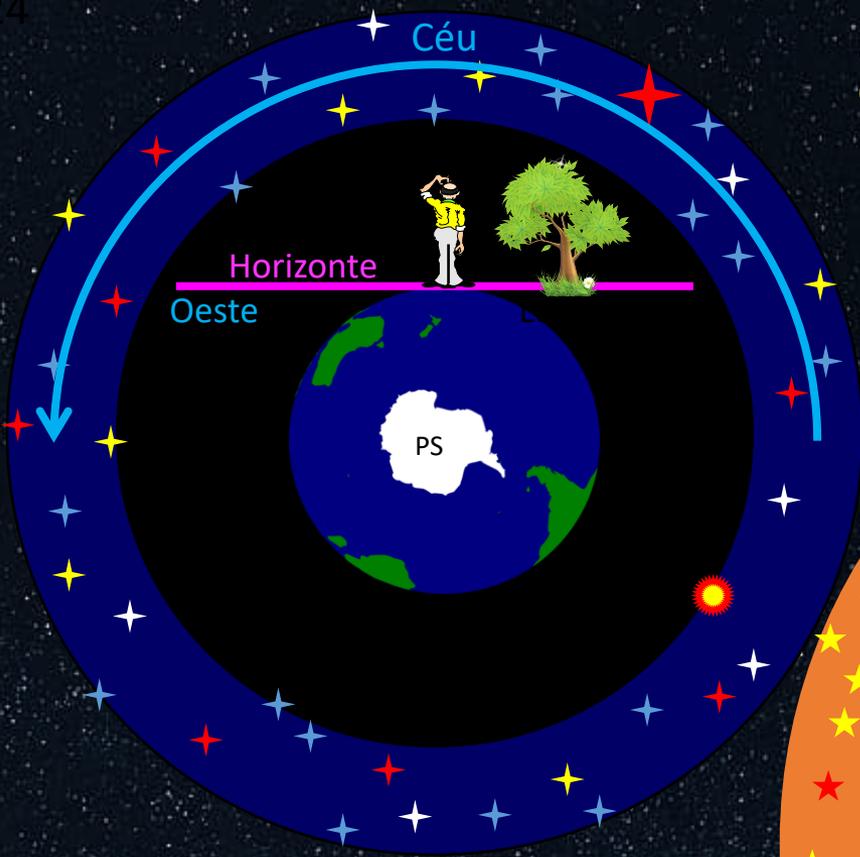
Figura 4.4: Movimento do Sol segundo a teoria das esferas homocêntricas de Eudoxo. As esferas têm mesmo raio e foram desenhadas desta forma para maior clareza. A primeira esfera (mais externa no desenho), é responsável pelo movimento aparente diário; as duas outras esferas reproduzem o movimento aparente anual do Sol. A inclinação da terceira esfera (mais central) é igual à obliquidade da eclíptica. A Terra fica imóvel no centro.

Aristóteles (~350 a.C.)

- Universo esférico e finito;
- Quatro elementos;
- Terra imóvel no centro;
- Esferas homocêntricas de Eudoxo;
- Esferas eram reais de cristal transparente;
- Acrescentou esferas pra Marte;
- “Explicou” eclipses do Sol e da Lua;
- Sombra da Terra na Lua -> Terra é esférica-
Também porque estrelas visíveis no Egito não
o são da Grécia.

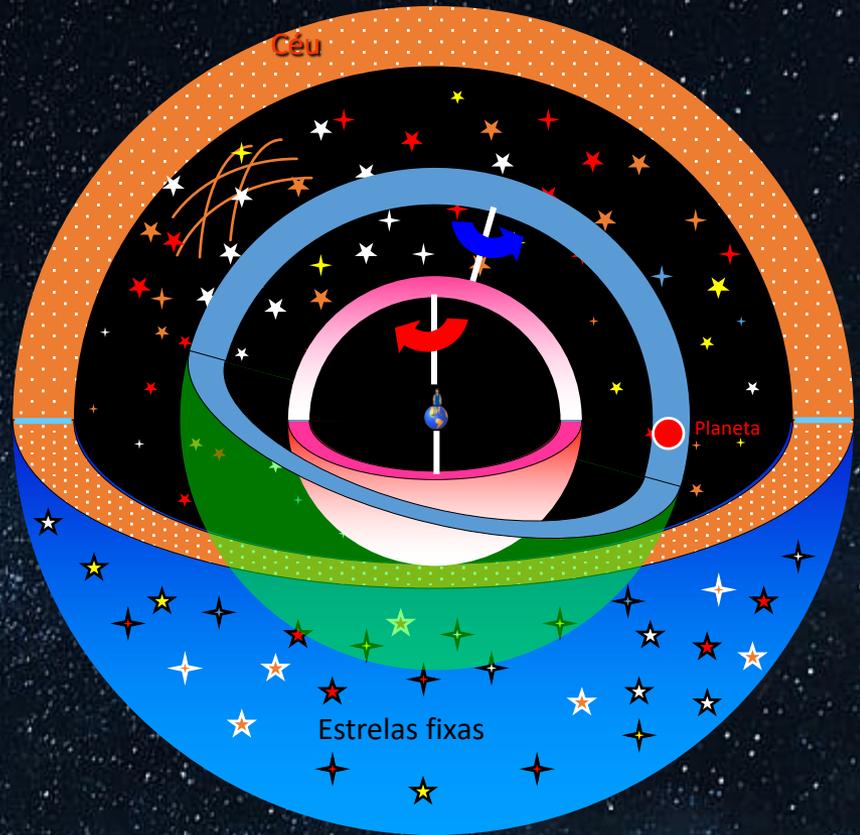
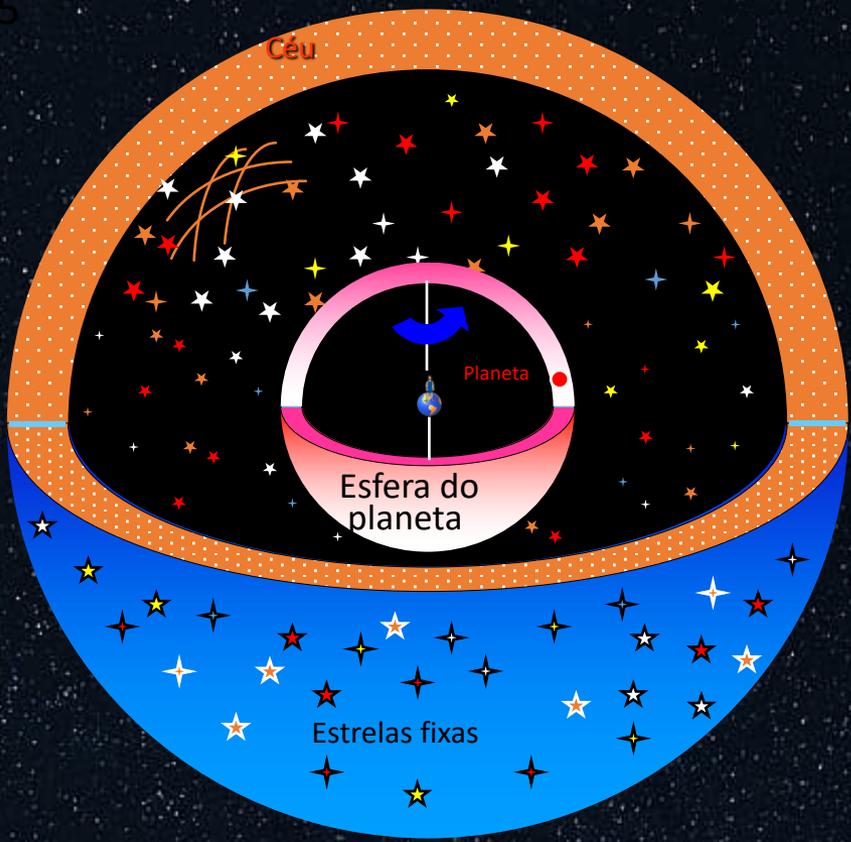


Sistema Geocêntrico Puro

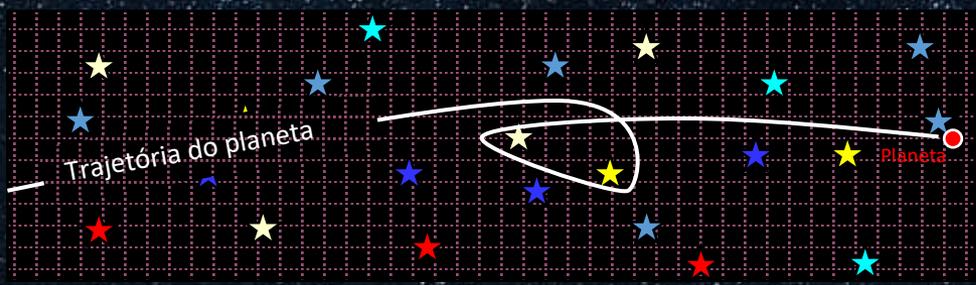


Aristóteles
séc. IV a.C.

Esfera das
estrelas fixas



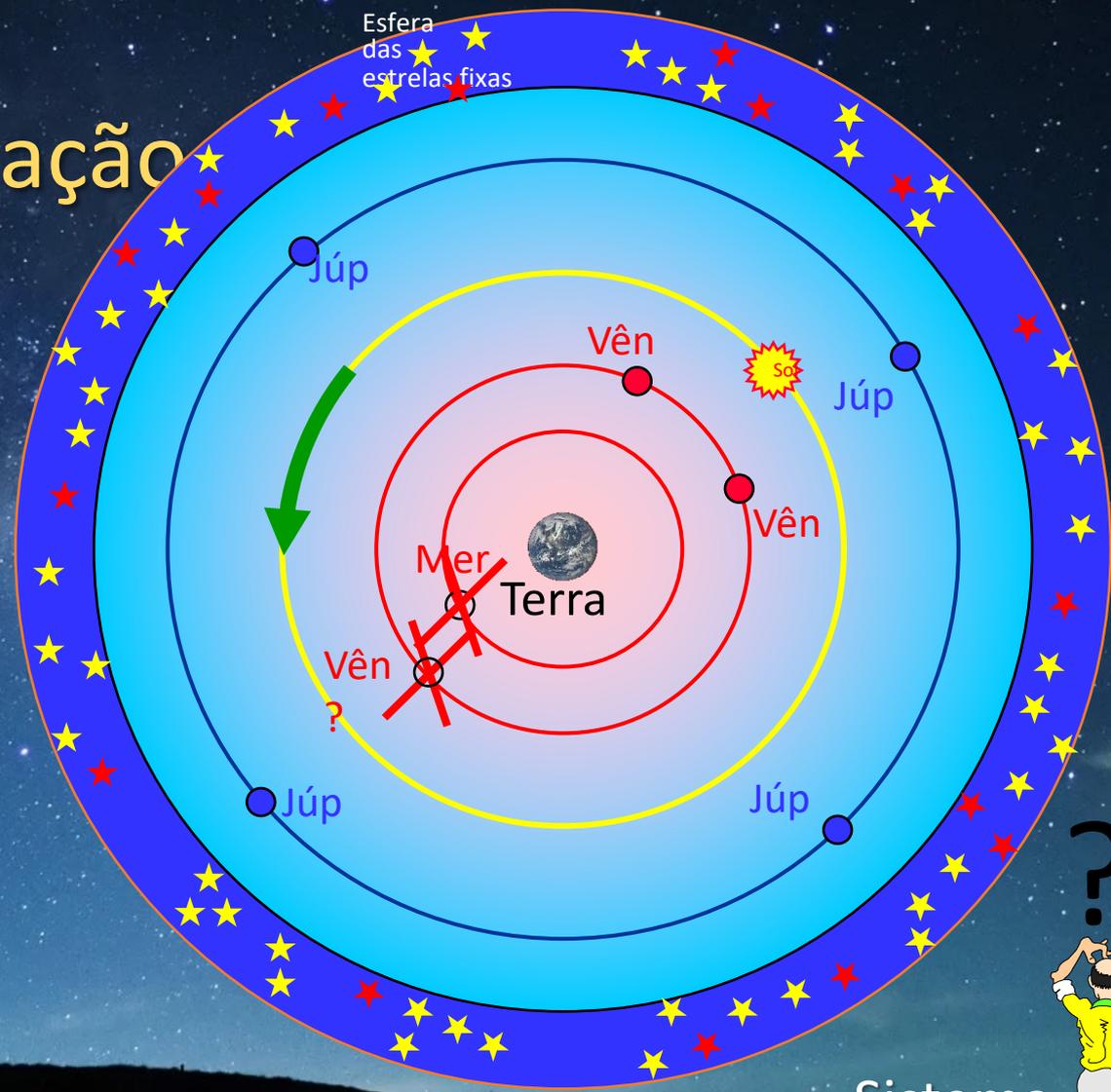
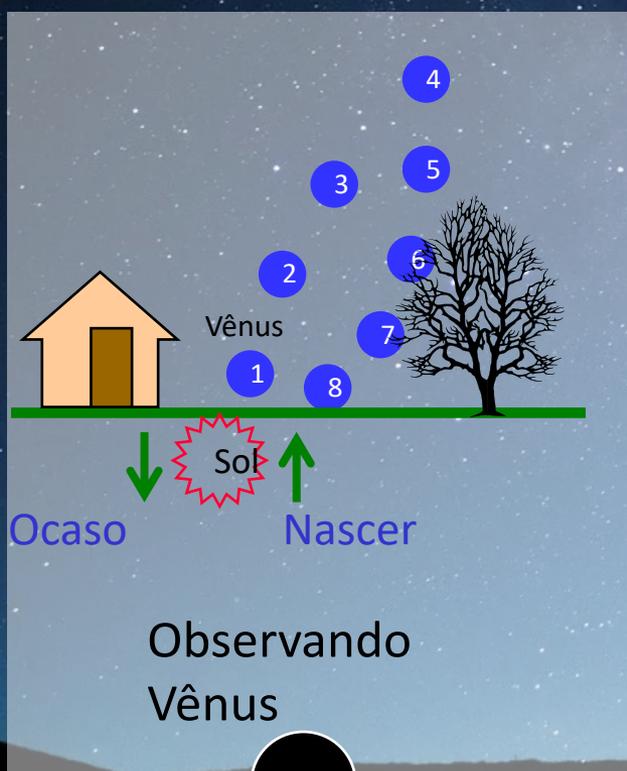
Explicar as trajetórias de certos planetas





Geocêntrismo com ressalvas...

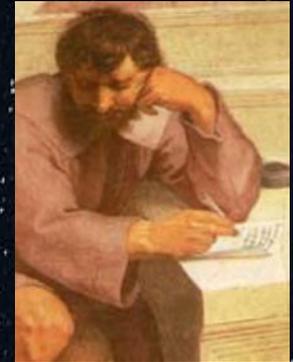
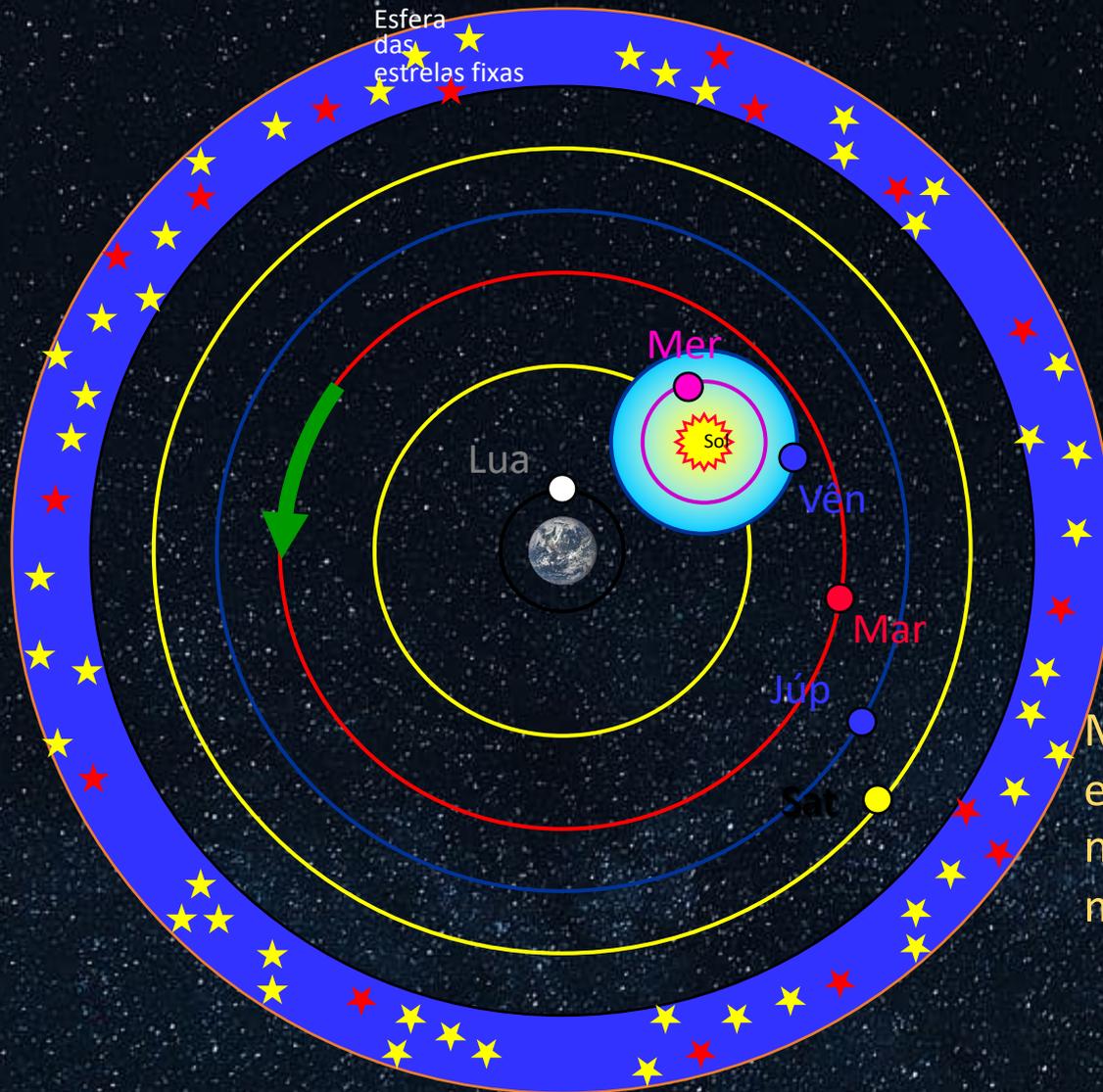
Posicionamentos (im)possíveis de planetas com relação ao Sol



Sistema
geocêntrico puro



Heráclides Ponticus (~350 a.C.)



Contemporâneo de
Aristóteles

Sistema Híbrido:

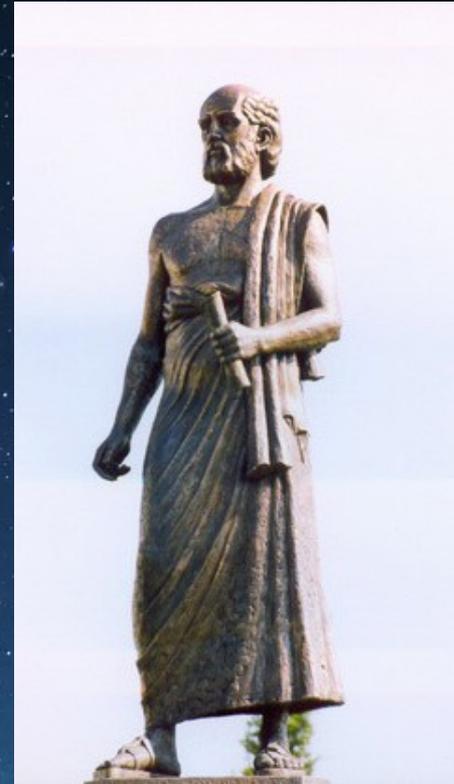
Modelo de estrutura do Mundo que explicava porque Mercúrio e Vênus nunca estavam, angularmente, muito longe do Sol.

A night sky filled with stars and the Milky Way galaxy, with a dark silhouette of a landscape at the bottom. A semi-transparent dark grey banner is overlaid across the middle of the image, containing the text.

Abaixo o Geocentrismo!

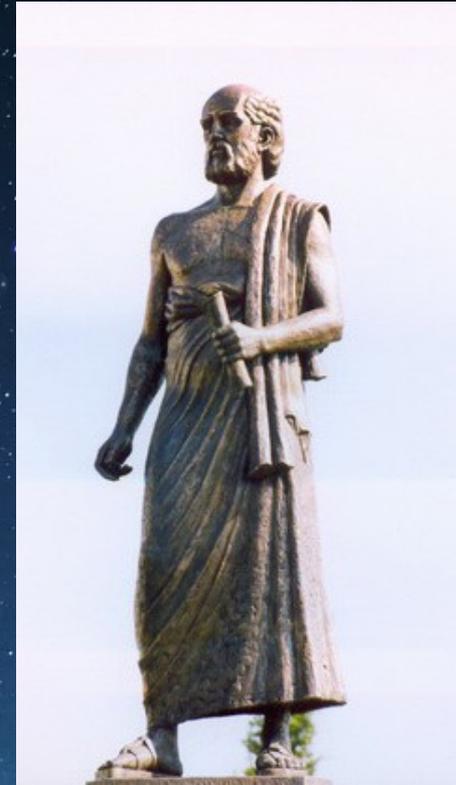
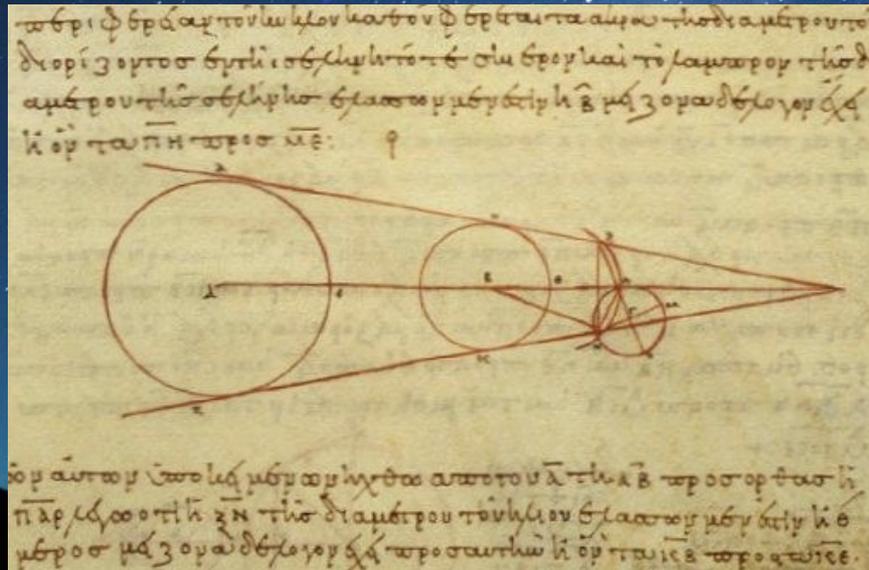
Aristarco de Samos (~260 a.C.)

- Primeiro filósofo a propor que o Sol estava no centro do Universo;
- Dava os mesmos resultados que Aristóteles;
- Mediu o tamanho e as distâncias relativas do sistema Sol, Terra e Lua

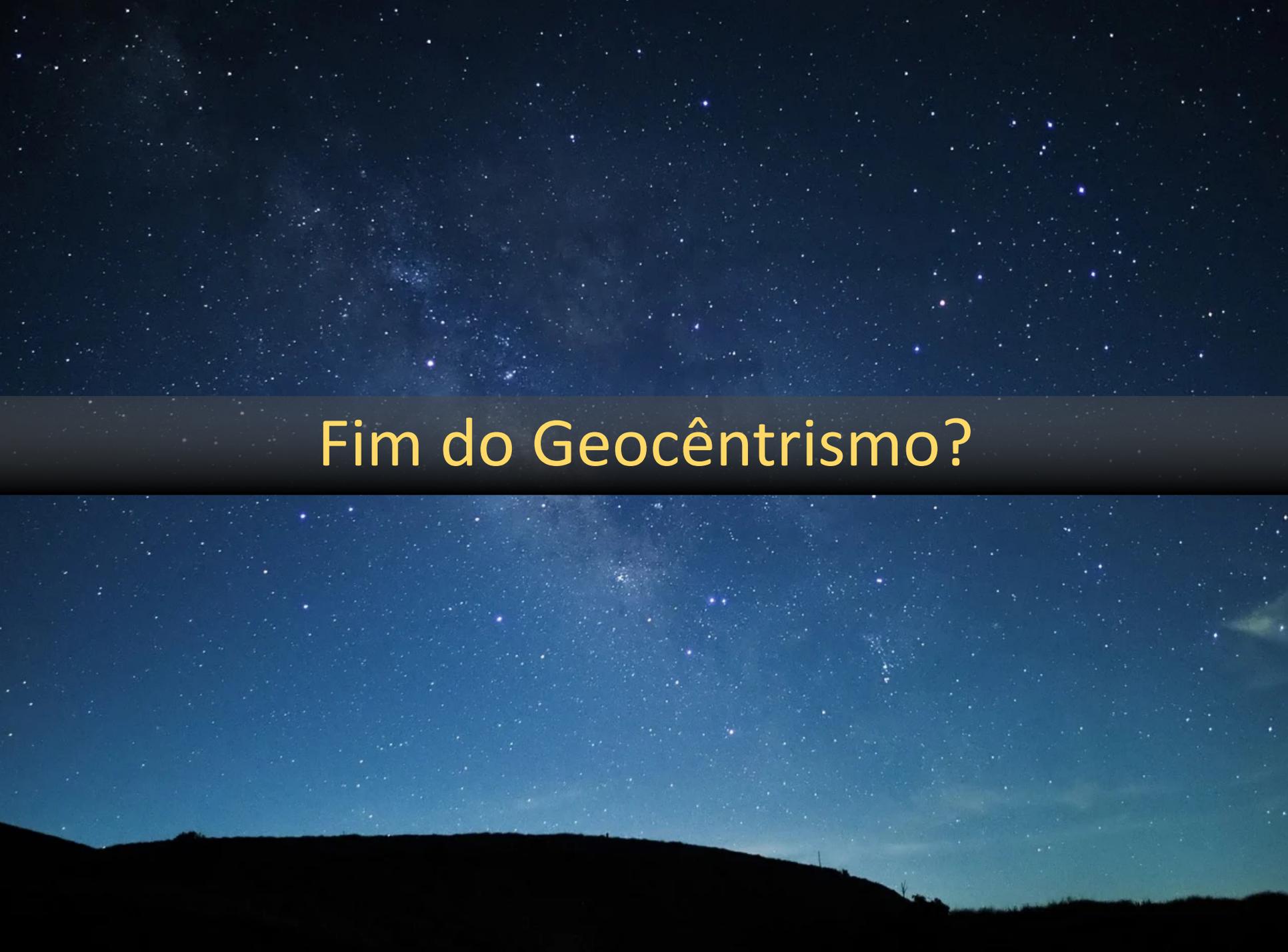


Aristarco de Samos (~260 a.C.)

- Primeiro filósofo a propor que o Sol estava no centro do Universo;
- Dava os mesmos resultados que Aristóteles;
- Mediu o tamanho e as distâncias relativas do sistema Sol, Terra e Lua



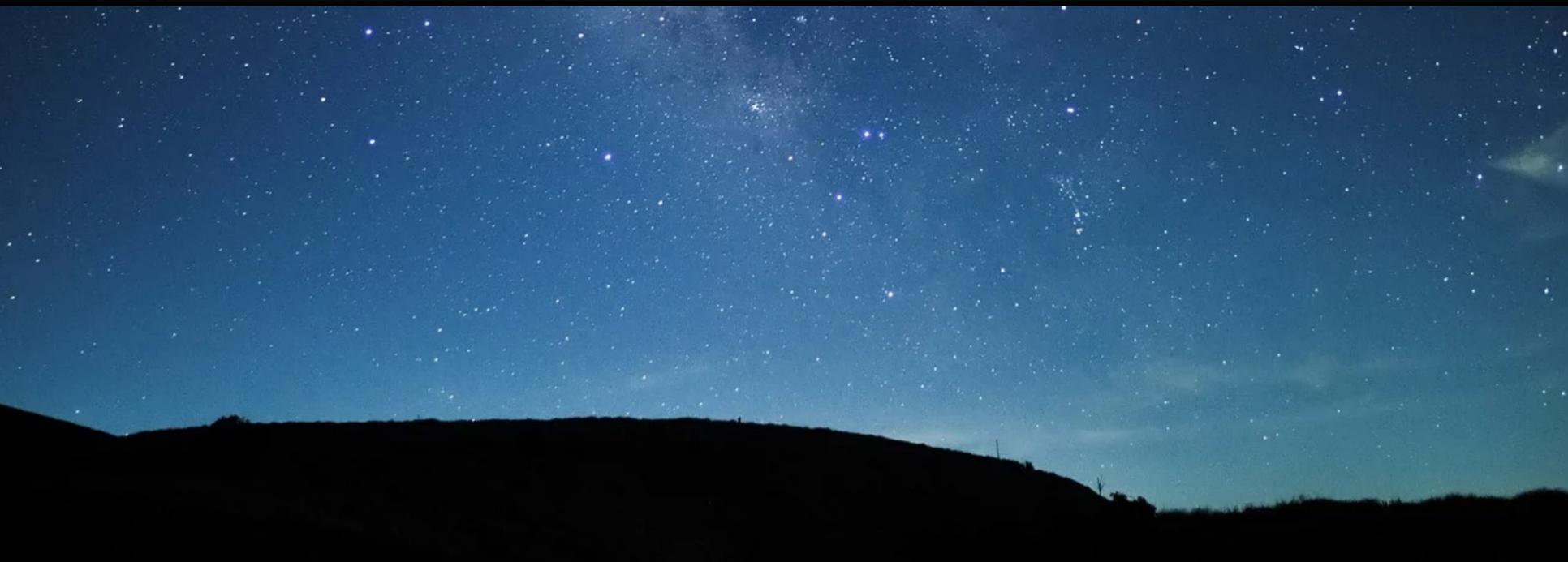
Semelhança de triângulos
+
Tamanho angular do sol e da lua são iguais

A night sky filled with stars and the Milky Way galaxy, with a dark silhouette of a landscape at the bottom. The text "Fim do Geocentrismo?" is overlaid in the center.

Fim do Geocentrismo?

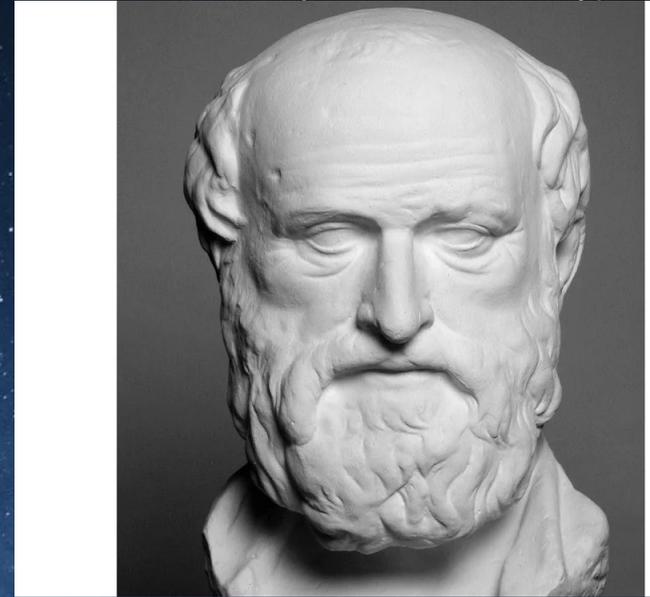


Nãõ



Erastóstenes (~276 a.C.)

- Mediu o tamanho da Terra: 252.000 *stadia*
- 1 *stadium* ~185 m em Attic → 16% de erro.
- 1 *stadium* ~ 157.5 m no Egito → 1% de erro.



Erastóstenes (~276 a.C.)

- Mediu o tamanho da Terra: 252.000 *stadia*
- 1 *stadium* ~185 m em Attic → 16% de erro.
- 1 *stadium* ~ 157.5 m no Egito → 1% de erro.

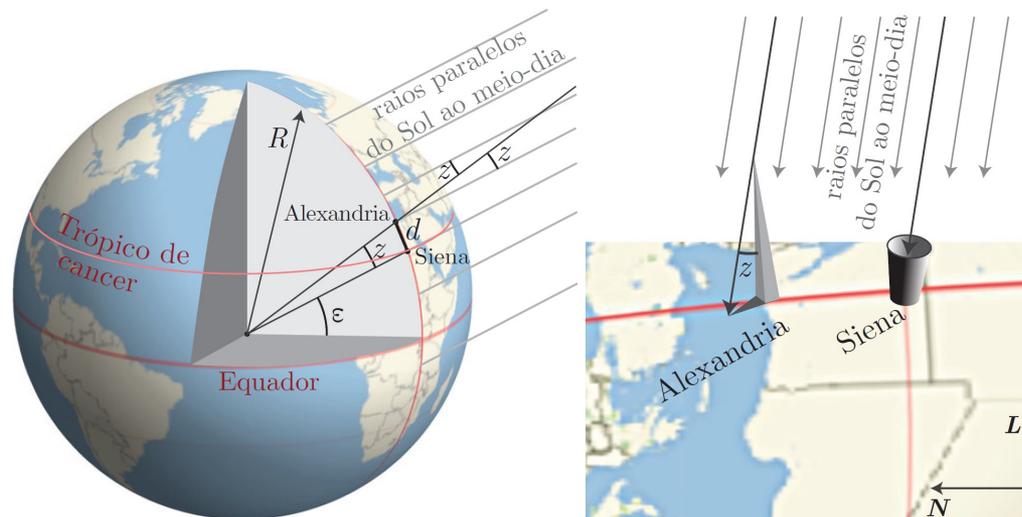
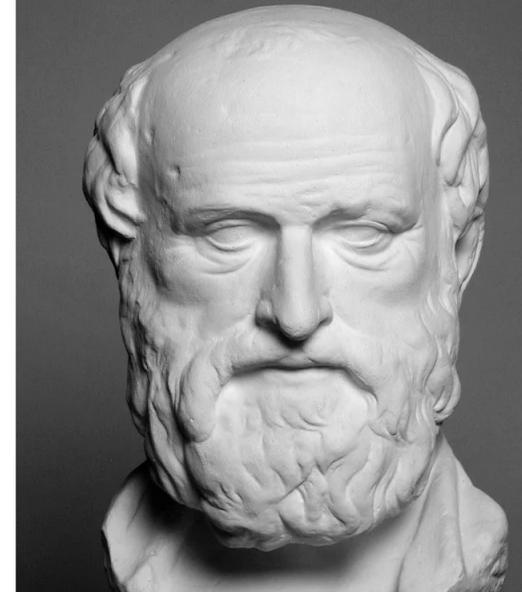


Figura 4.25: Ao meio-dia do solstício de Verão no hemisfério norte, o Sol tem um ângulo zenital z em Alexandria e zero em Siena (hoje, Assuã). A distância entre as duas cidades é d , R é o raio da Terra e ε é a obliquidade da eclíptica na época de Eratóstenes.

Hiparcos (~150 a.C.)

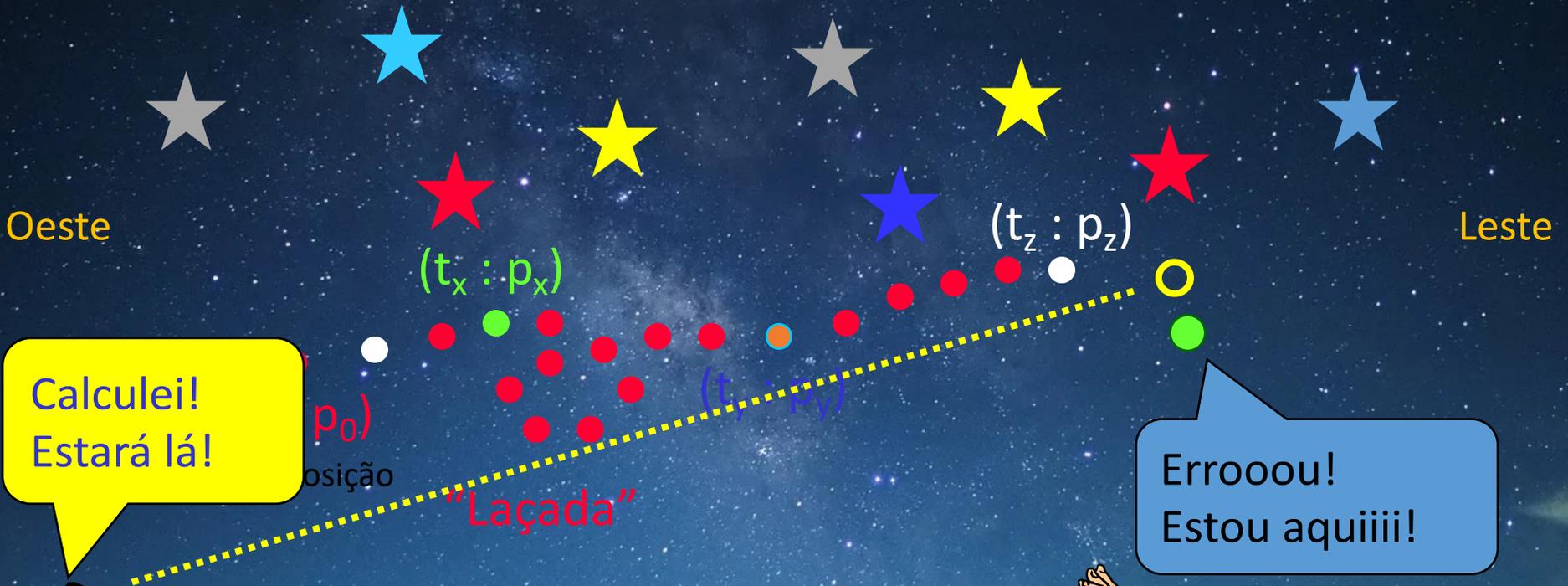
- Construiu um observatório na ilha de Rodas;
- Fez medidas precisas
- Fez um catálogo de estrelas;
- Criou um sistema de magnitudes;
- Mediu a precessão da Terra (~26000 anos);
- Mediu precisamente a distância da Terra a Lua.





Problemas de precisão com o Geocentrismo

Matematizando o movimento dos astros



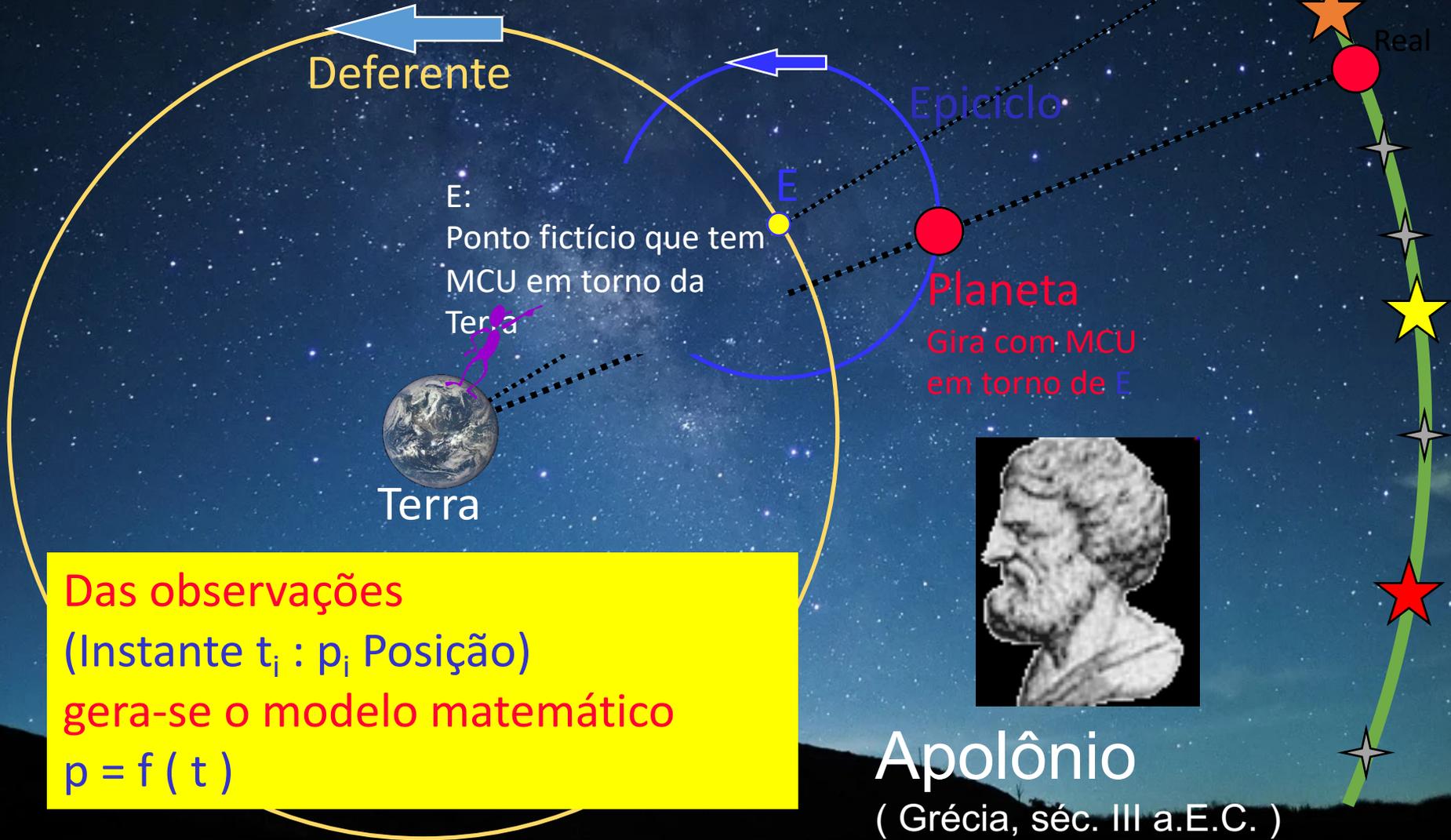
Calculei!
Estará lá!

Erroou!
Estou aquiiii!

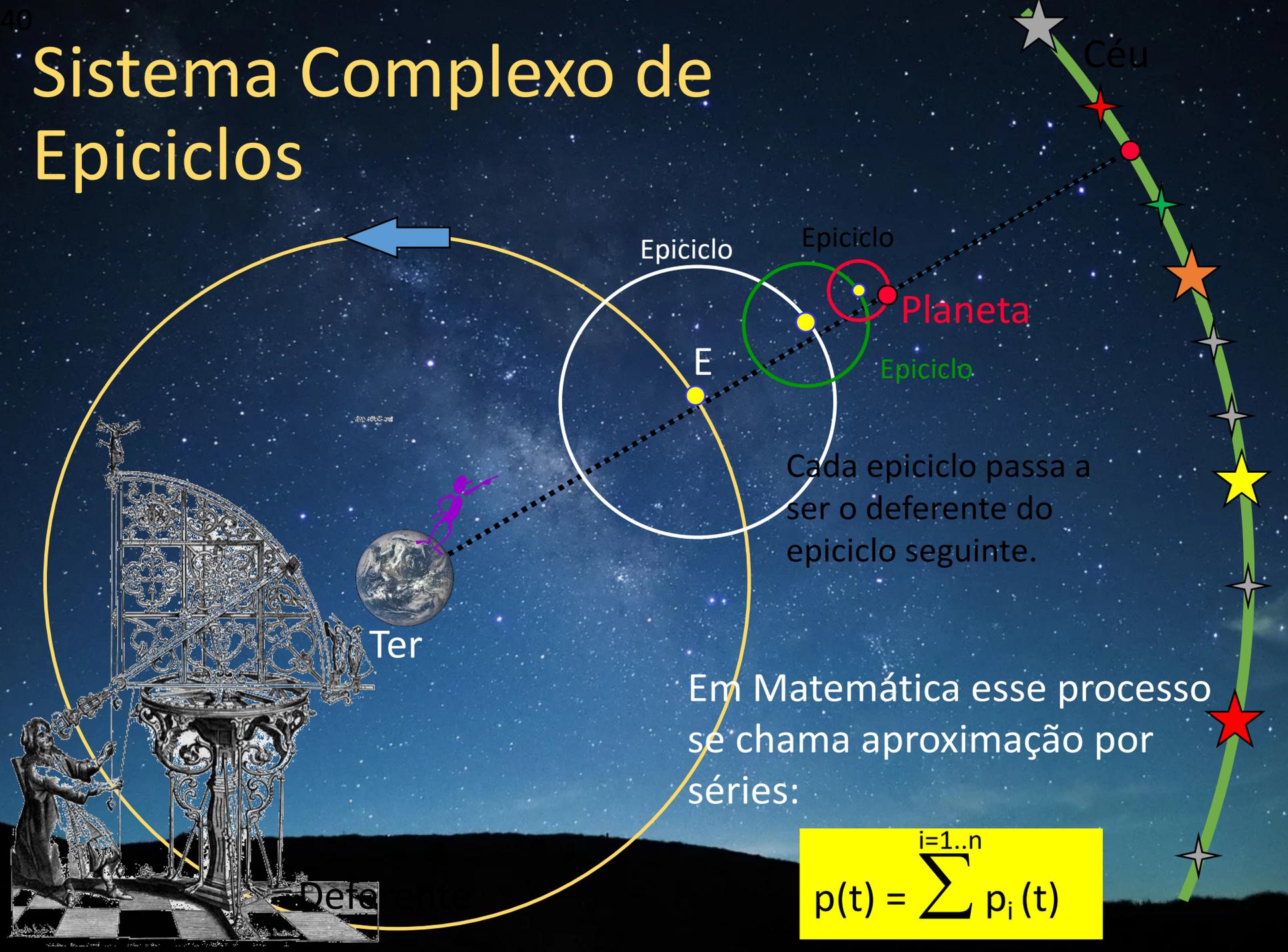
Das observações
 $(t_i : p_i)$
 gera-se o modelo matemático
 $p = f(t)$



Sistema de Epiciclos



Sistema Complexo de Epiciclos

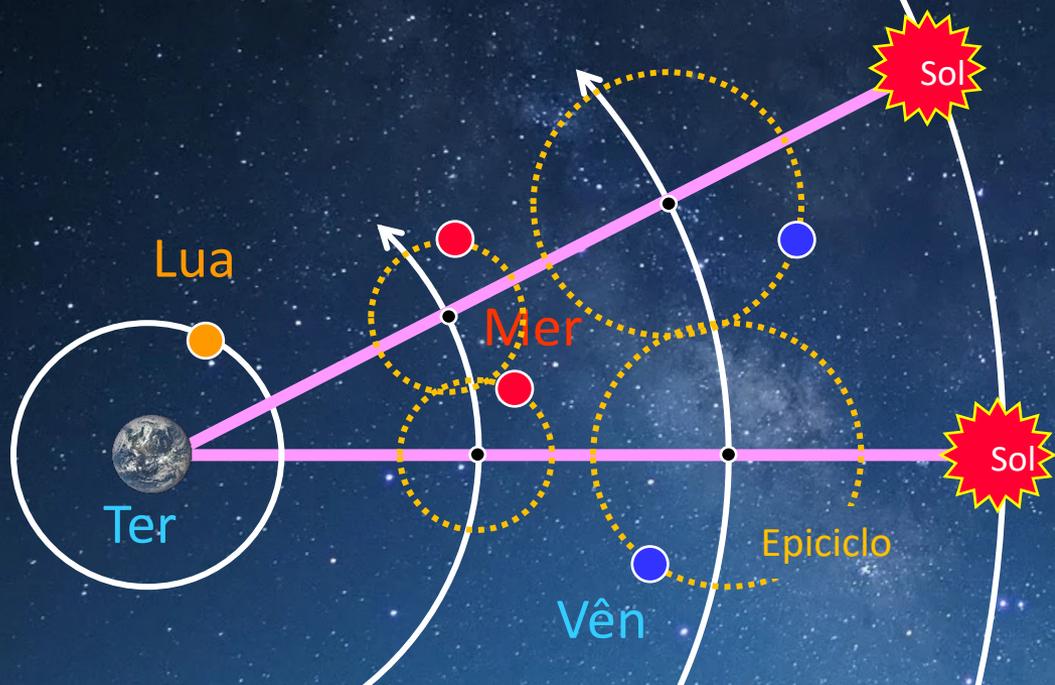


Cada epicyclo passa a ser o deferente do epicyclo seguinte.

Em Matemática esse processo se chama aproximação por séries:

$$p(t) = \sum_{i=1..n} p_i(t)$$

Geocentrismo com epiciclos



Foi o sistema usado pelos 1.500 anos seguintes!

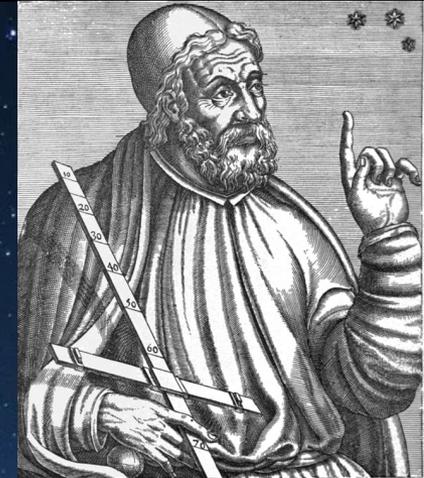
Ptolomeu
~85 d.C.



Sistema matematicamente trabalhoso!

Ptolomeu (~85 d.C.)

- Compilou o Almagesto (iniciado por Hiparcos);
- Epiciclos: representação em série de funções circulares (senos e cossenos) da posição dos planetas
- Se manteve por 1500 anos por razões religiosas: perfeição divina (círculo) e geocentrismo

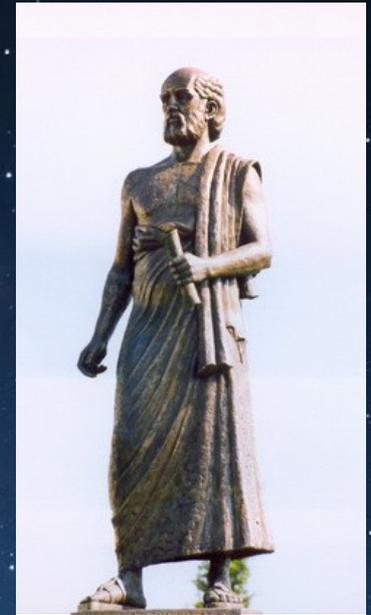




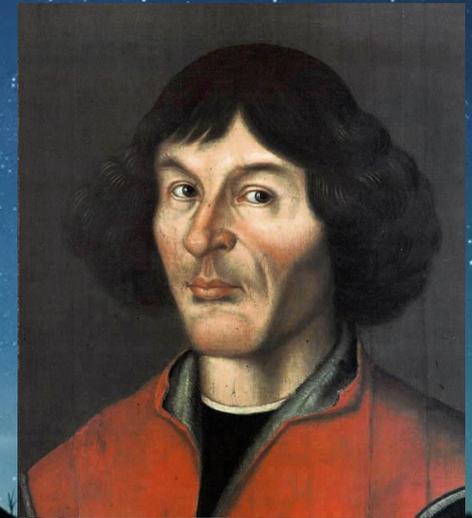
O Advento do Heliocentrismo

Modelo heliocêntrico

- **Aristarco (~260 a.C)**
 - Universo heliocêntrico
 - A Terra se move em torno do Sol



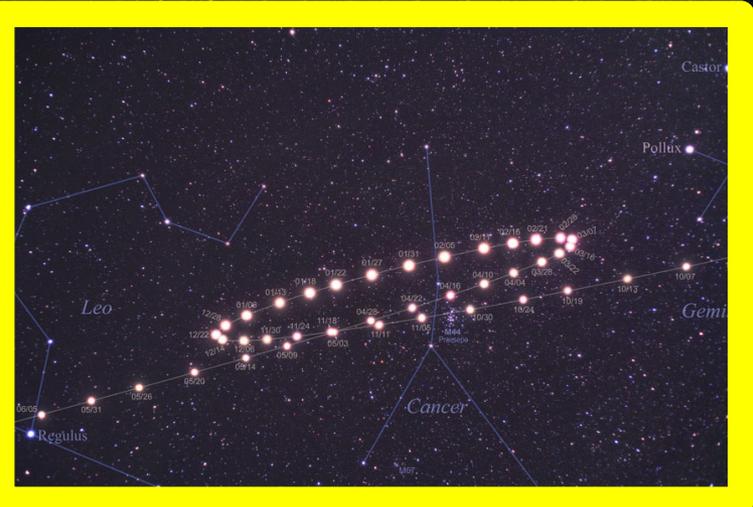
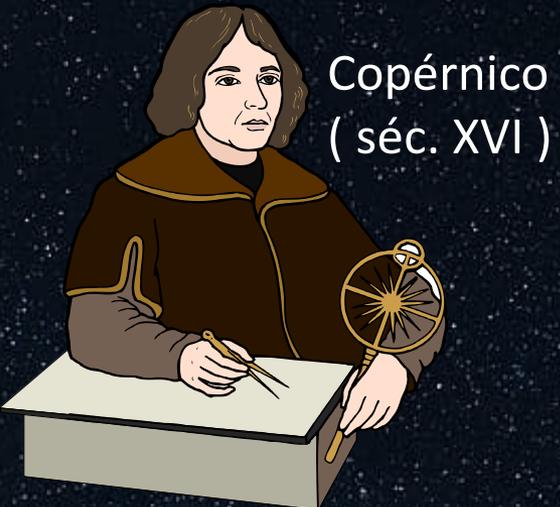
- **Nicolau Copérnico (1543)**
 - Órbitas circulares em torno do Sol



Sistema Heliocêntrico

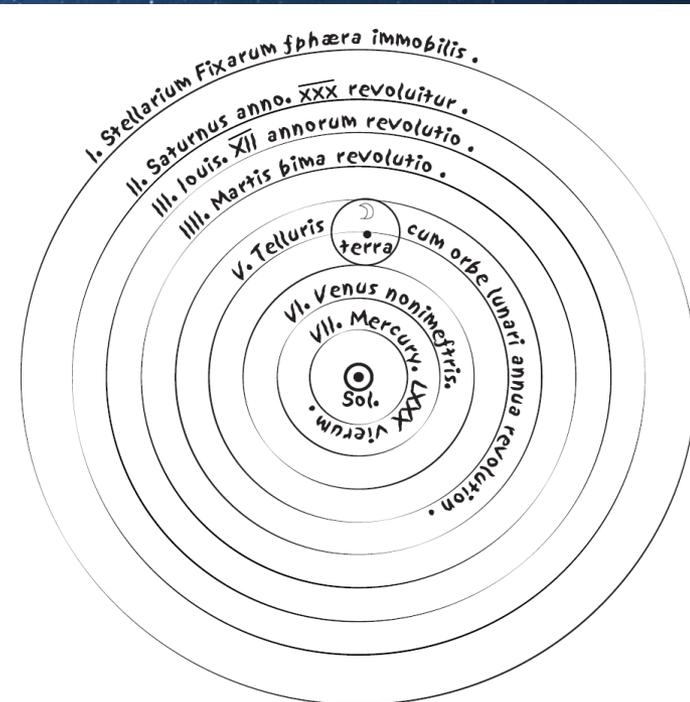
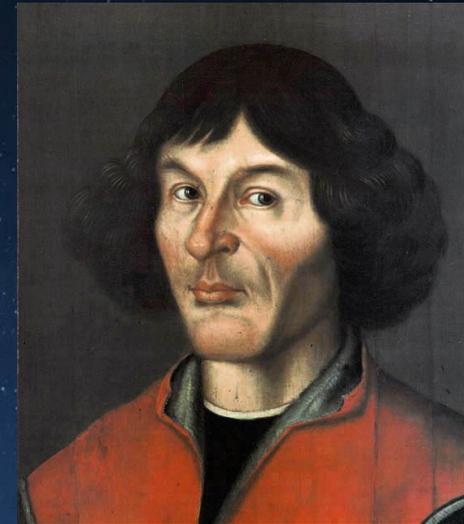
Simplificação matemática

~~Geocentrismo~~
Sem epiciclos → impreciso
com epiciclos → trabalhoso



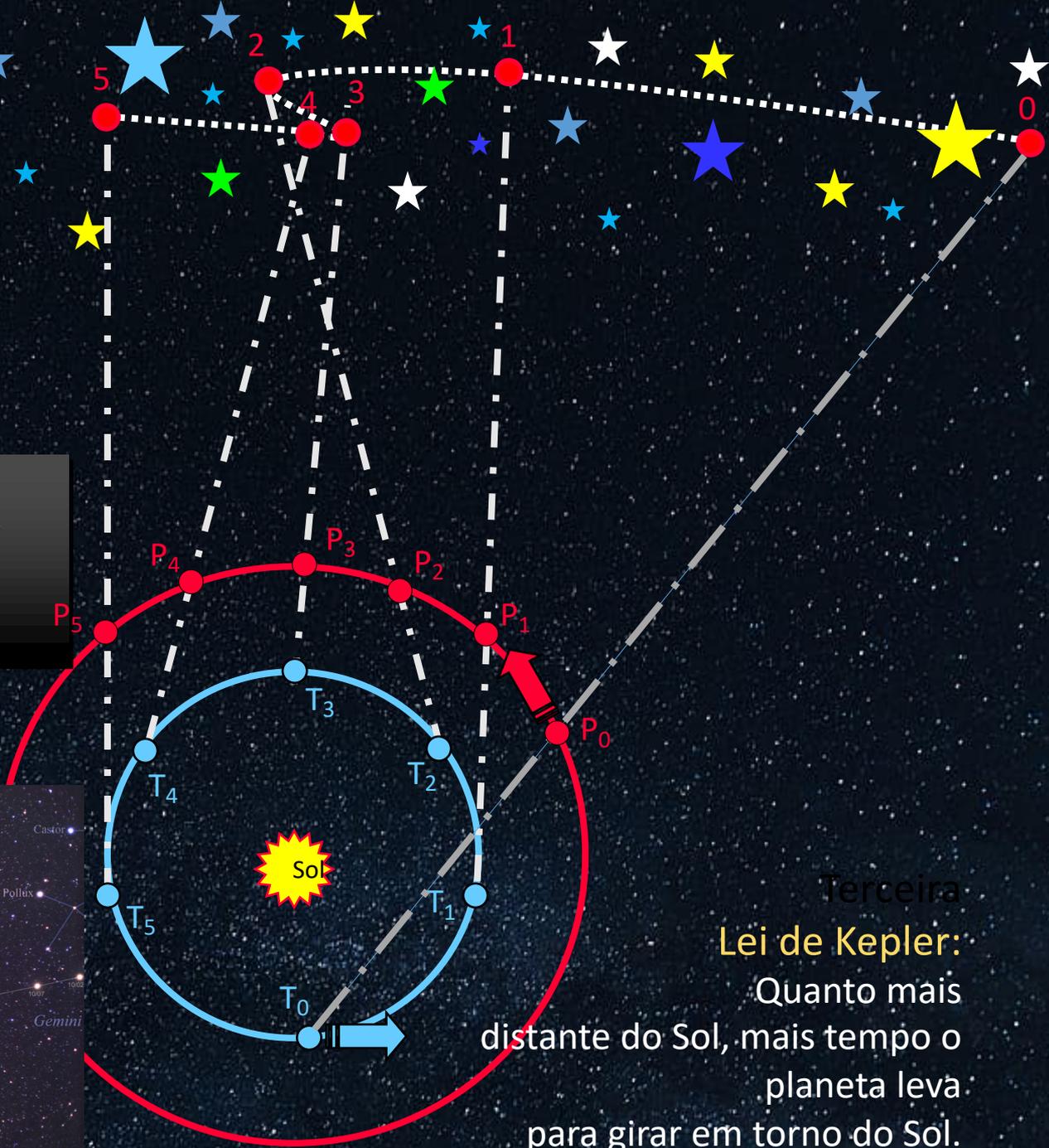
Nicolau Copérnico (1543)

- Sol no centro (baseando-se em Filolau, Heráclides e, principalmente, Aristarco de Samos);
- Terra gira em torno do próprio eixo e do Sol;
- Planetas tem movimento circular e uniforme;
- Ordem correta dos planetas: período proporcional a distância.
- Explica o movimento retrógrado.



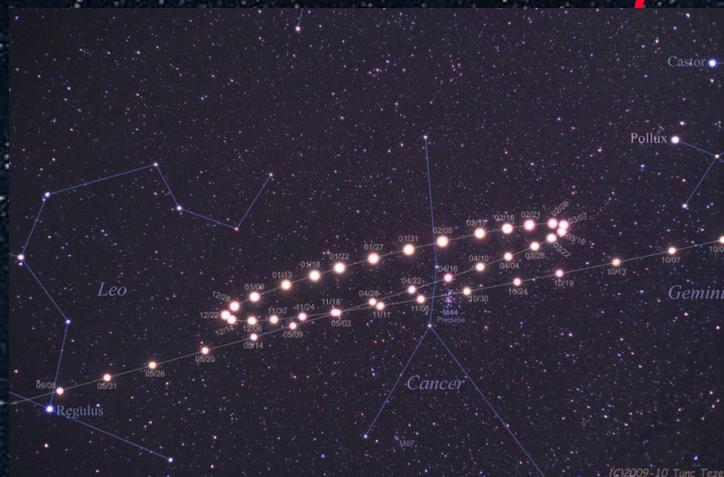
Estrelas "fixas"

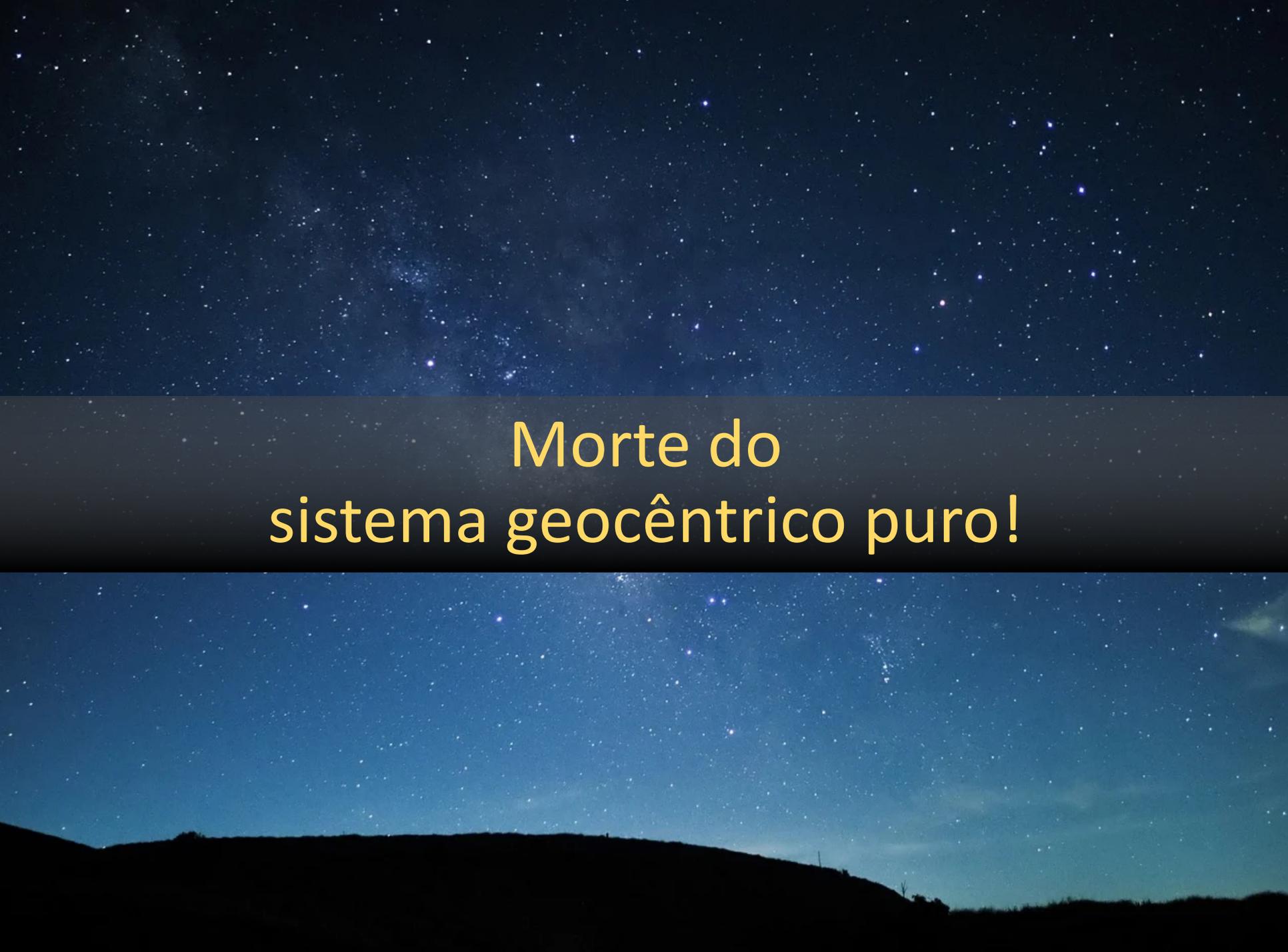
Explicação das 'laçadas'



Terceira Lei de Kepler:

Quanto mais distante do Sol, mais tempo o planeta leva para girar em torno do Sol.





Morte do
sistema geocêntrico puro!

Observações a olho nu e com telescópios



Galileu

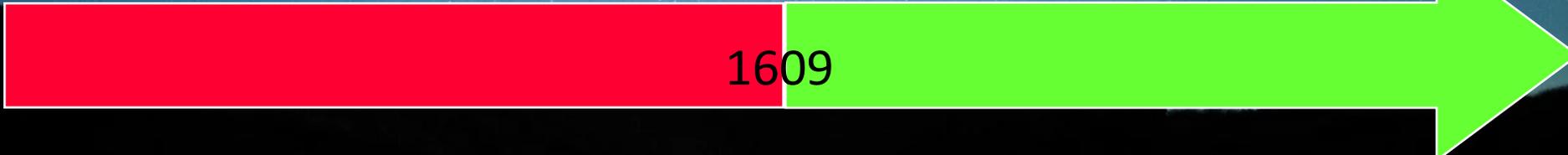


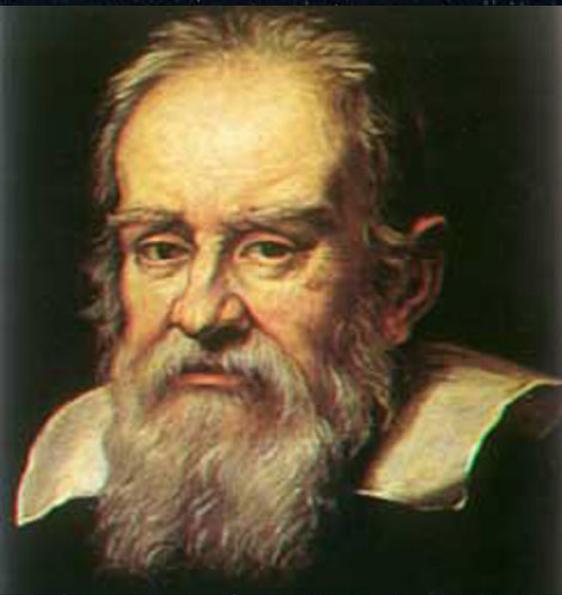
Era pré-telescópio



Era pós-telescópio

1609





1564 - 1642

A grande luneta

- satelites de Júpiter
- fases de Vênus
- Fim do Geocentrismo



Perto da
conjunção
inferior

1241 UT
23/10/02

1342 UT
12/10/02

1352 UT
5/10/02

1352 UT
23/9/02

1519 UT
16/9/02

1541 UT
10/9/02

1548 UT
31/8/02

1350 UT
12/8/02

1803 UT
1/8/02

1630 UT
20/7/02

1940 UT
3/7/02

1525 UT
19/6/02

1902 UT
1/6/02

1810 UT
3/5/02

Perto da
máxima
elongação

Perto da
conjunção
superior

Fases de Vênus

VENUS 2002

Photographed at the TBGS Observatory
by Chris Proctor

Satélites galileanos de Júpiter





Morte do geocentrismo puro

(Galileu, séc. XVII)

Júpiter

Estrélas fixas

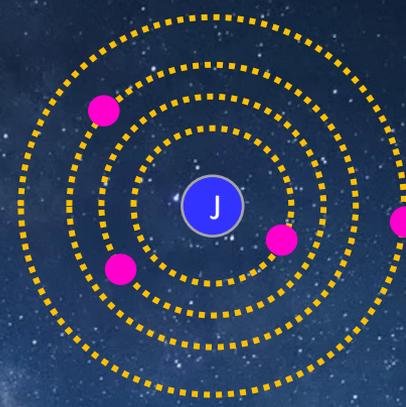
Noite 1

Noite 2

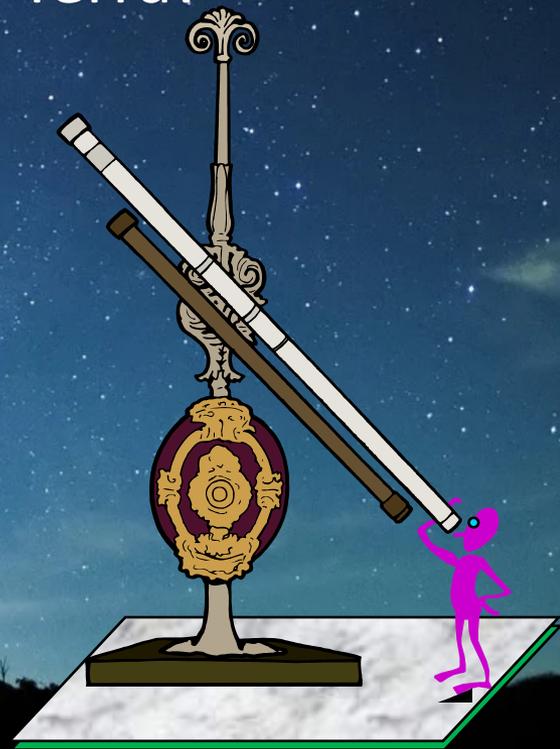
Noite 3

Noite 4

Noite 5



Os satélites giram em torno de Júpiter, e não da Terra!



Anotações: superfície da Lua



Observações da Lua feita por Galileu em 1616. Note nos desenhos que Galileu foi capaz de observar pela primeira vez o relevo do solo lunar através das sombras irregulares.

Modelo heliocêntrico pós-Copérnico

- **Tycho Brahe (~ 1590)**

- observações detalhadas do movimento dos planetas, em particular de Marte. (mas acreditava no universo geocêntrico)



- **Johannes Kepler (1609)**

- Utiliza dados de Tycho Brahe.
- Inicialmente acredita no universo geocêntrico, mas adota a visão heliocêntrica devido à sua própria análise
- Observando dados: abandona movimento circular do SS: adota elipses



Modelo heliocêntrico moderno

