

# ASTRONOMIA ANTES DOS TELESCÓPIOS

PROF. ROBERTO D.D. COSTA

DEPARTAMENTO DE ASTRONOMIA

INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

# UMA BREVE INTRODUÇÃO

- A primeira tentativa de patentear uma luneta (para uso em navegação) foi feita por Hans Lipperhey, um fabricante de óculos holandês/alemão em 1608, mas não se sabe ele realmente foi o primeiro a construir uma luneta funcional.
- O primeiro telescópio astronômico, um aperfeiçoamento da luneta naval de Lipperhey, foi construído por Galileu e usado pela primeira vez em 1609.
- Antes disso, literalmente ao longo de milênios um ENORME volume de resultados astronômicos, muitos deles válidos e usados até hoje, foi obtido. Sem o uso de instrumentos de magnificação!
- Muitos destes resultados, em particular os mais antigos, não podem ser atribuídos a uma única pessoa. Exemplos típicos deles são o estabelecimento dos calendários e a descoberta dos ciclos dos eclipses solares e lunares.

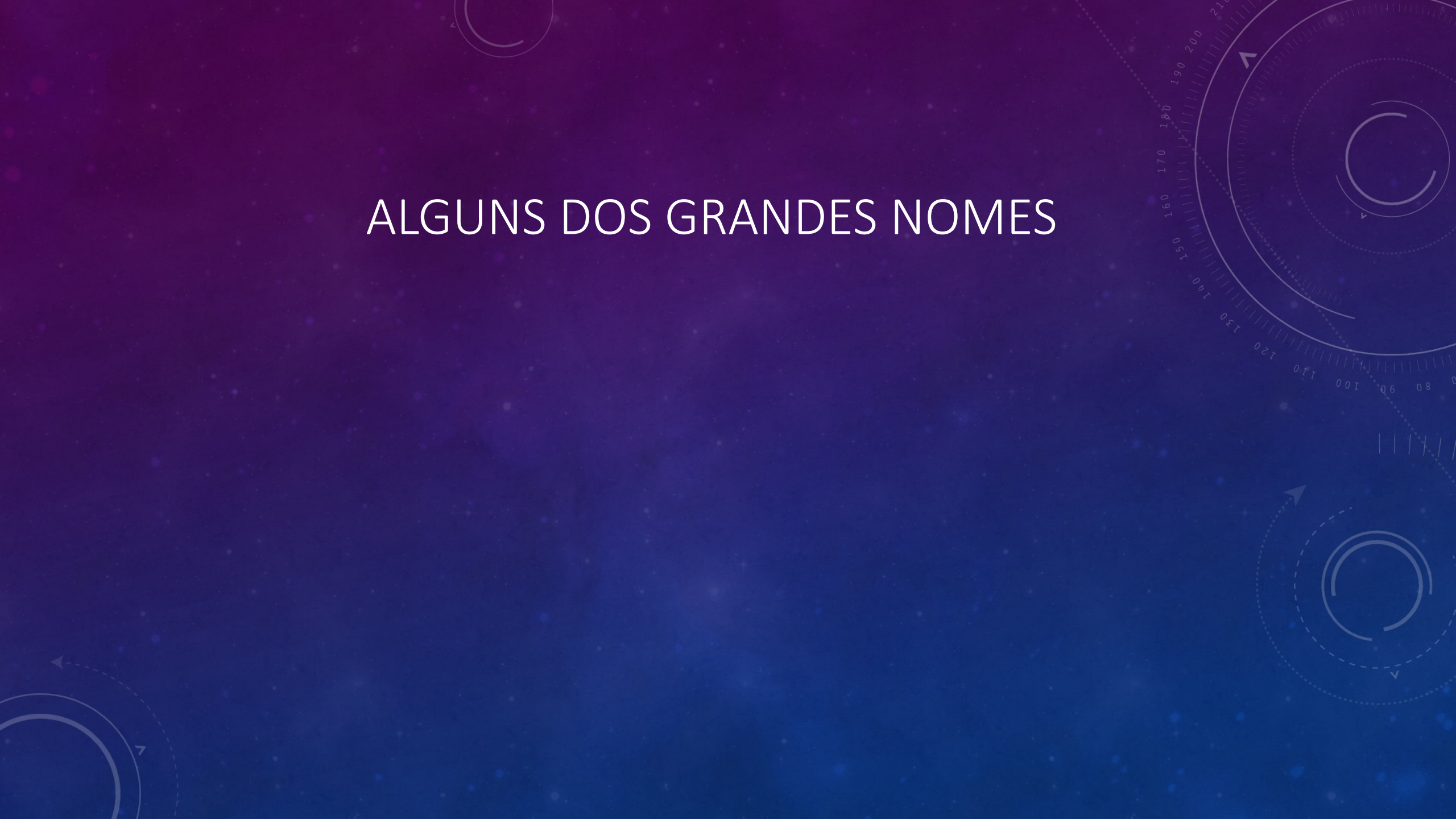
# DESCOBERTAS ASTRONÔMICAS CLÁSSICAS SEM TELESCÓPIOS

- O registro da passagem do tempo → desde a pré-história
- O estabelecimento dos calendários → Egito
- A descoberta do ciclo dos eclipses e sua predição → Babilônia
- A prova da esfericidade da Terra e a medida de seu diâmetro → Eratóstenes
- A descoberta da precessão do eixo de rotação da Terra → Hiparco
- A determinação da distância da Lua → Hiparco
- A determinação da obliquidade da eclíptica → Ulugh Beg
- As leis empíricas do movimento planetário → Kepler (Tycho)
- A prova da não—circularidade das órbitas planetárias → Kepler (Tycho)

# COMO ESSAS INFORMAÇÕES ERAM OBTIDAS? QUAL A NATUREZA DOS INSTRUMENTOS USADOS?

- Existiam vários tipos de instrumentos astronômicos sem magnificação. Todos eles mediam essencialmente ângulos.
- Os resultados eram obtidos associando medidas de ângulos com medidas de tempo. Os registros eram feitos normalmente na forma de tabelas.
- Em muitos casos os instrumentos eram muito grandes, com vários metros de raio, para garantir a precisão das medidas de arco.

# ALGUNS DOS GRANDES NOMES





# HIPARCO: O PRIMEIRO DOS GRANDES OBSERVADORES

Hiparco de Nicea foi o principal astrônomo da antiguidade clássica. Trabalhou por 33 anos no seu observatório na ilha de Rodas. Era ao mesmo tempo um observador minucioso e um matemático muito habilidoso.

Elaborou um catálogo com cerca de 1000 estrelas que foi o mais completo do mundo por 1500 anos

- Estabeleceu a escala de magnitude das estrelas, definindo como magnitude 1 as mais brilhantes e 6 as mais fracas. Essa escala continua sendo usada até hoje
- Descobriu a precessão dos equinócios da Terra e calculou o período dessa precessão (cerca de 26000 anos). Para fazer isso, comparou suas medidas com as de outros catálogos feitos cerca de 150 anos antes
- Elaborou fórmulas para explicar a variação da velocidade da Lua no céu em relação às estrelas, baseando-se na hipótese de que ela descrevia um círculo excêntrico em torno da Terra (na verdade é uma elipse)
- Determinou a distância da Lua usando um método desenvolvido por ele, baseado no tempo de duração dos eclipses lunares e no diâmetro da Terra. A distância obtida difere menos de 10% do valor verdadeiro.
- Entendeu que havia uma diferença entre o ano sideral (definido pela órbita da Terra) e o ano trópico (definido pelo ciclo das estações).
- Calculou o ano trópico como sendo  $365 + 1/4 - 1/300$  dias (365,2467 dias). Valor real: 365,2422 dias. Diferença: 6 minutos

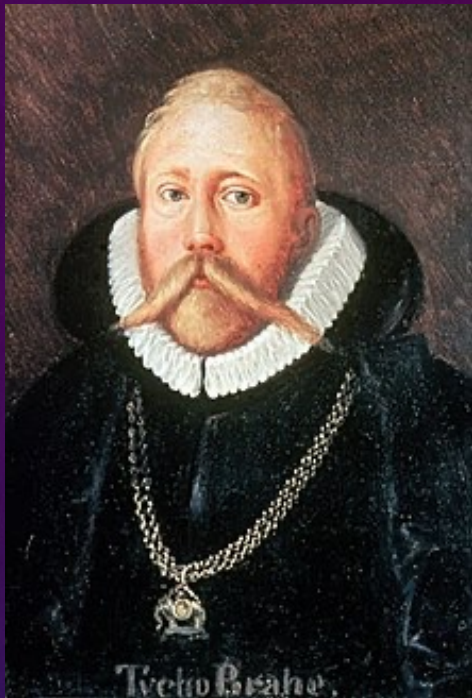
Hiparco de Nicea  
(190 – 120 AC)

# ULUGH BEG: A ASTRONOMIA NÃO É EXCLUSIVIDADE EUROPEIA



Ulugh Beg (1394 – 1449)

- Mirza Muhammad Taraghay (Ulugh Beg) era neto do conquistador Tamerlão (Timur), chefe das tribos da Ásia Central que atacaram a Europa e o Oriente Médio no final do século XIV
- Aos 16 anos já era governador de Samarkand (hoje no Uzbequistão). Como era apaixonado por matemática e astronomia, chamou sábios árabes para montar uma escola e observatório
- Construiu grandes instrumentos de mira. O quadrante com 11 metros de raio existe até hoje
- Refez todo o catálogo estelar de Hiparco, corrigindo vários erros no mesmo, resultantes de cópias repetidas por mais de um milênio e meio.
- Determinou a duração do ano trópico com uma diferença de 25 segundos (!!) em relação ao valor real.
- Mediu corretamente a inclinação do eixo da Terra em relação ao plano de sua órbita (a obliquidade da eclíptica).
- Elaborou tabelas de funções trigonométricas que são corretas até a 8ª casa decimal



Tycho Brahe (1546 – 1601)

## TYCHO: O ÚLTIMO ASTRÔNOMO SEM TELESCÓPIO

- Tyge Ottesen Brahe era da alta nobreza dinamarquesa, de família muito rica e influente
- Ganhou uma ilha do rei da Dinamarca e nela construiu um observatório pessoal que era o maior e mais bem equipado do mundo na sua época. O local, denominado Uraniborg, era também um centro de estudo e de formação de astrônomos e matemáticos.
- Foi o último dos grandes astrônomos que não usou telescópios. Trabalhava com instrumentos de mira como todos os seus antecessores dos milênios anteriores
- Seu principal legado foi uma imensa base de dados observacionais sobre a posição dos planetas no céu, em particular sobre Marte, coletada ao longo de mais de 20 anos. Esses dados permitiram que Kepler, um de seus últimos alunos, formulasse as leis empíricas do movimento planetário



# KEPLER: A MATEMATIZAÇÃO DAS LEIS NATURAIS



Johannes Kepler (1571 – 1630)

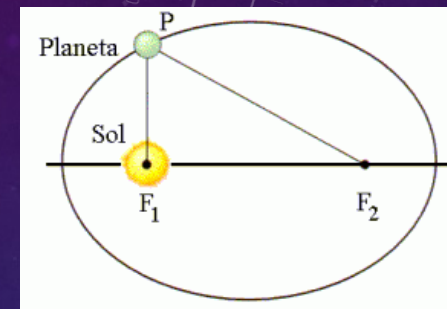
- Johann Kepler foi uma das figuras-chave da revolução científica do século 17
- Foi aluno de Tycho Brahe e herdou sua base de dados sobre os movimentos planetários
- Deixou dois livros principais:
  - *Mysterium Cosmographicum* (Mistério Cosmográfico) onde relaciona os raios orbitais dos planetas com os sólidos regulares, numa tentativa de dar uma explicação geométrica para a estrutura do Sistema Solar
  - *Astronomia Nova*, onde introduz as duas primeiras leis do movimento planetário
- Suas leis do movimento planetário representam a primeira iniciativa de matematização de um fenômeno natural, o que representa um passo fundamental na evolução das ciências naturais

Sua obra prima: as leis empíricas do movimento planetário

# As Leis de Kepler

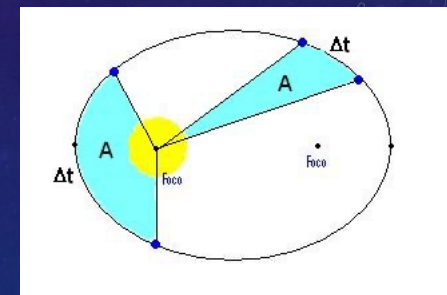
1. A órbita de cada planeta em torno do Sol é uma elipse, com o Sol num dos focos.

*As órbitas não são circulares! Essa conclusão quebrou 2000 de tradição (desde Platão) de ver os corpos celestes como esferas e suas órbitas como círculos*



2. O raio-vetor que une o Sol a um planeta varre áreas iguais em tempos iguais

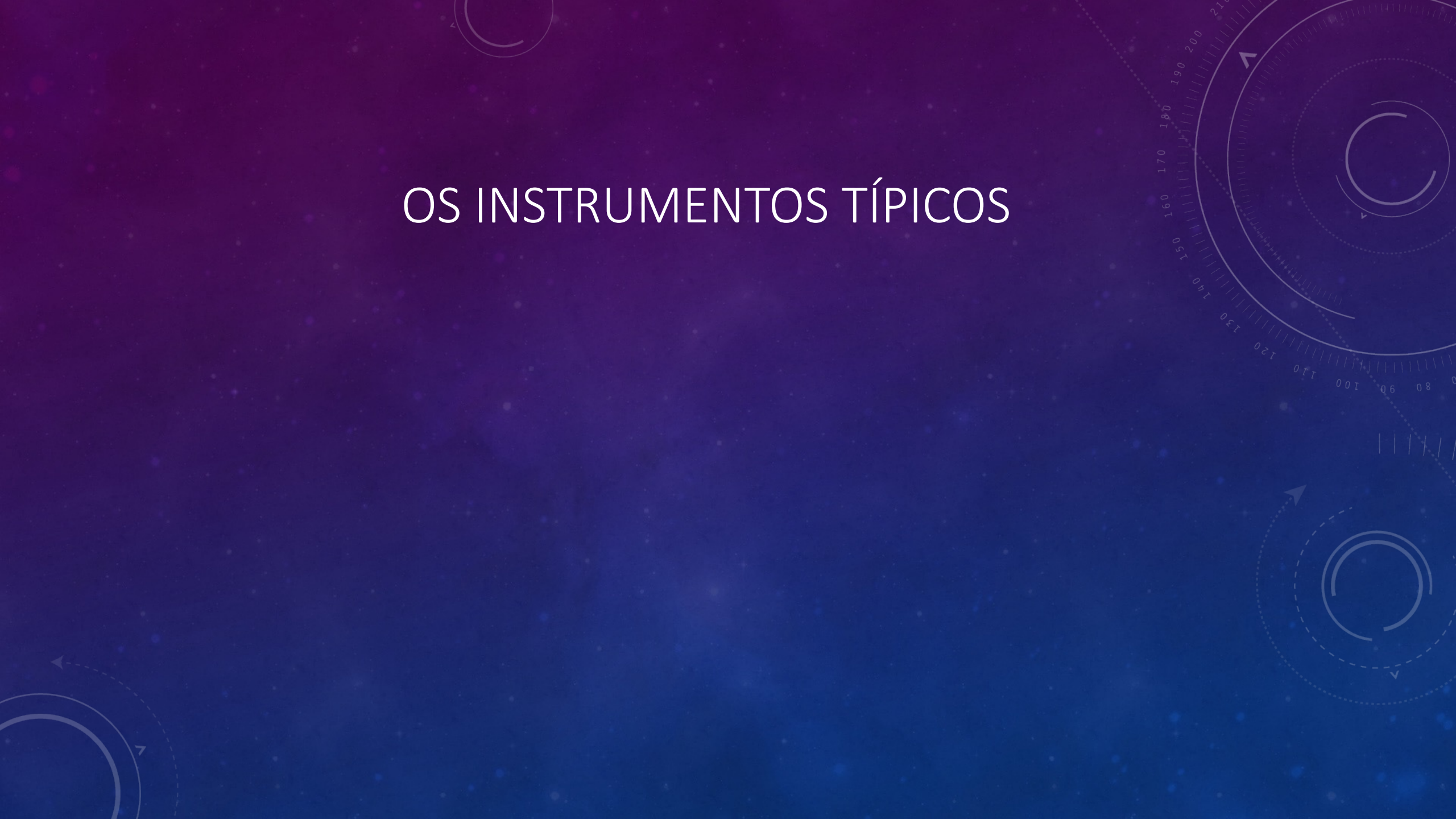
*A velocidade orbital muda ao longo da órbita. Mais perto do periélio a velocidade orbital é maior*



3. Os quadrados dos períodos orbitais dos planetas são proporcionais aos cubos dos semi-eixos maiores das órbitas ( $P^2=ka^3$ ).

*A partir das medidas dos períodos orbitais é possível calcular as distâncias dos planetas ao Sol*

# OS INSTRUMENTOS TÍPICOS



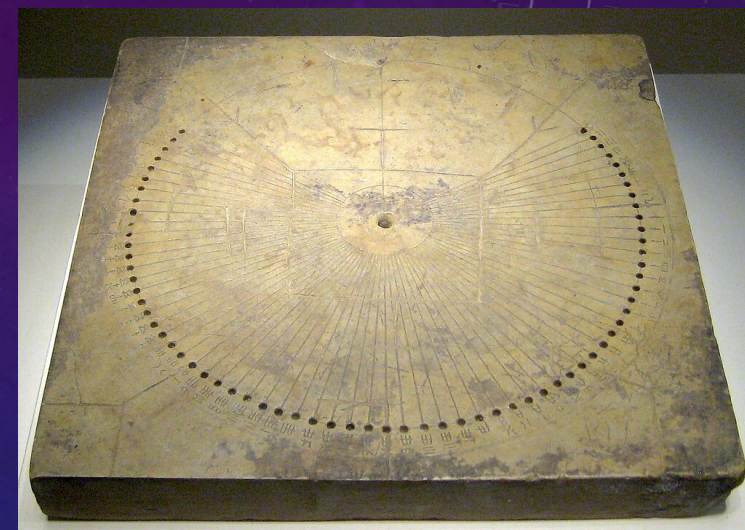
# GNÔMON: A DETERMINAÇÃO DA HORA E DO ANO TRÓPICO



Relógio de sol egípcio  
(sec. 15 AEC)



Relógio de sol grego  
(sec. 3-2 AEC)



Relógio de sol chinês da dinastia Han (sec. 2 EC)



Relógio de sol árabe da mesquita de Kairouan, Tunísia. (sec. 7 EC)



Relógio de sol moderno de precisão (30 s) feito na Bélgica

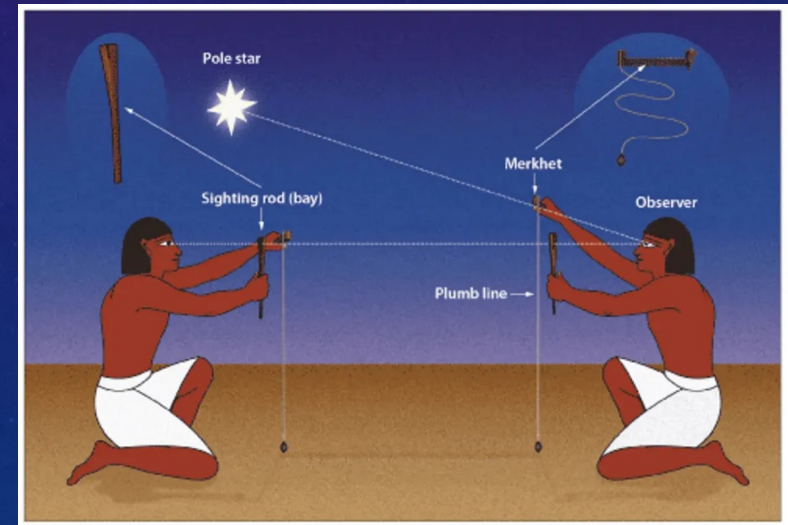
# “RELÓGIOS” PARA USO NOTURNO



**Clepsidra** (relógio d'água) egípcio da época dos faraós

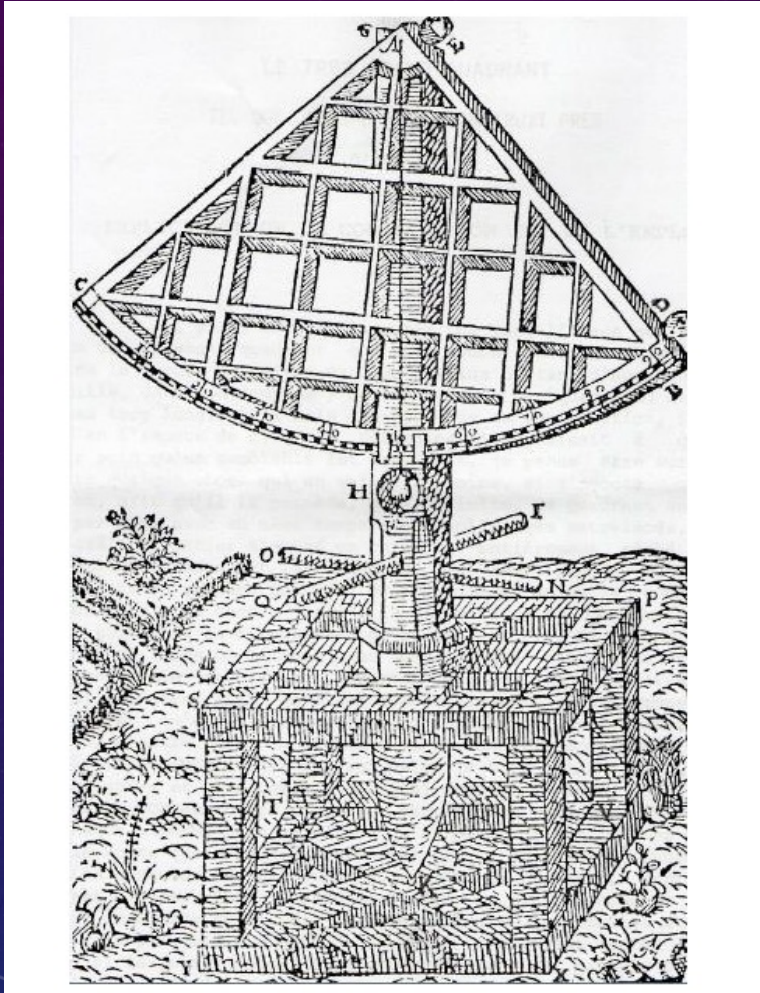


**Ampulheta** de marinheiro

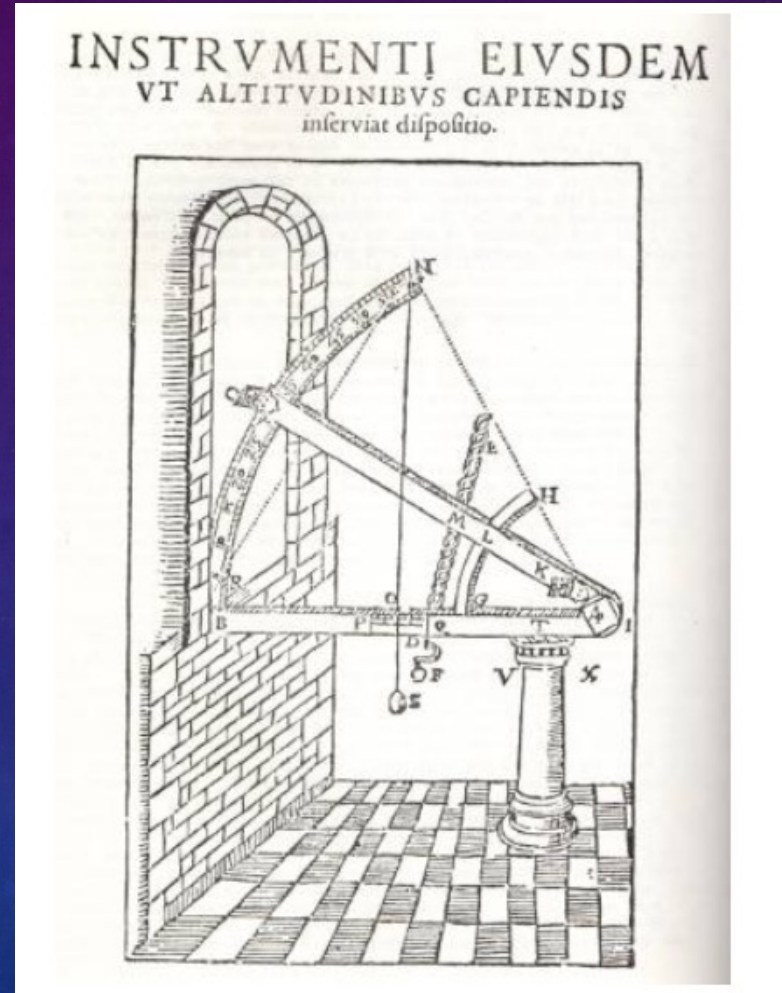


**Merkhet** e seu uso

# SEXTANTES E QUADRANTES



Grande quadrante de Tycho Brahe, descrito em *Astronomiae Instauratae Mechanica*, 1598

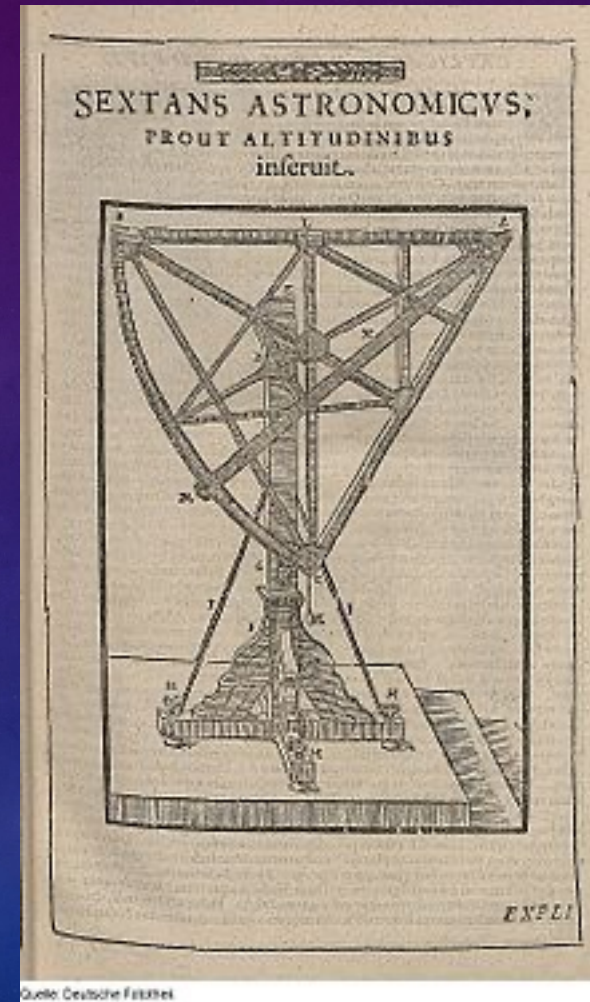


Sextante de Tycho Brahe usado para medir a supernova de 1572, descrito em *Astronomiae Instauratae Mechanica*, 1598

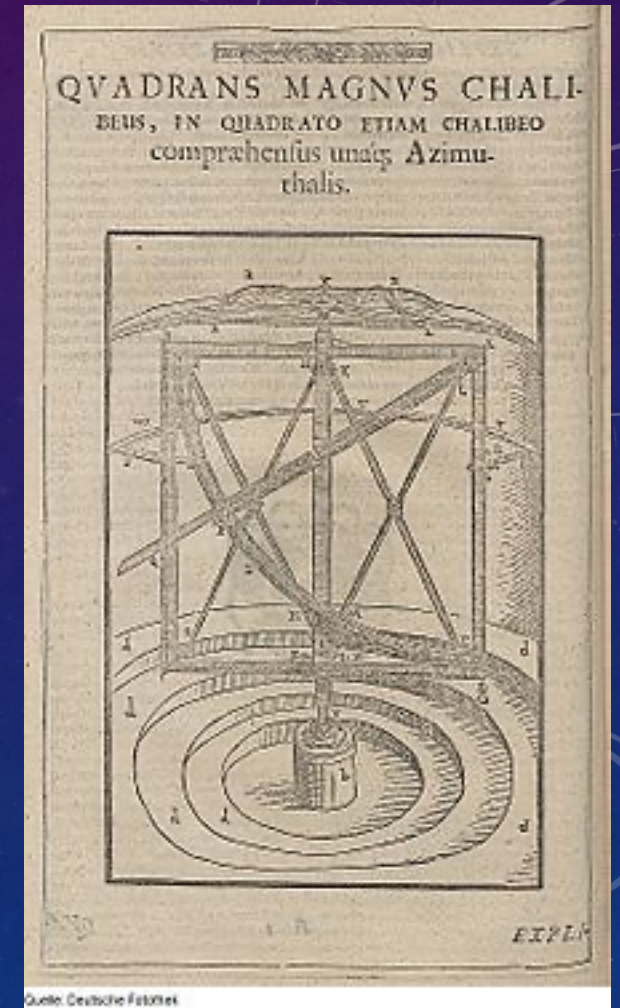
# Os instrumentos de mira de Tycho Brahe



Grande quadrante de Tycho em ilustração da época



Quelle: Deutsche Fotothek



Quelle: Deutsche Fotothek

Projetos de Tycho para um sextante e um quadrante que foram construídos em seu observatório

# Os instrumentos de Ulugh Beg



Madrasa (escola) de Ulugh Beg em Samarkand, no Uzbequistão



Quadrante de Ulugh Beg, com 11 metros de raio (Samarkand)



# Observatório de *Jantar Mantar*, em Jaipur, Índia

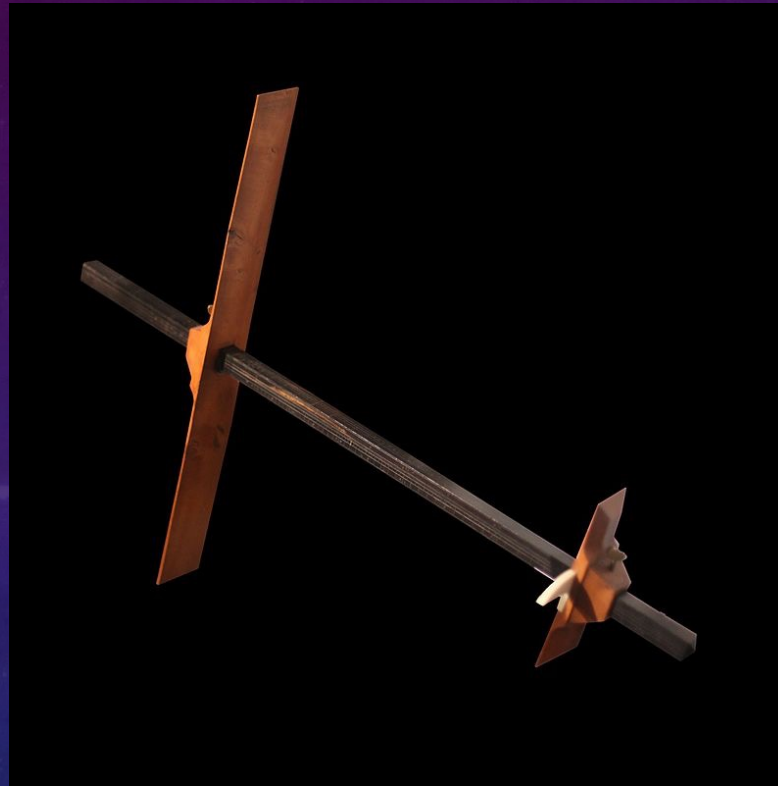
O observatório, cujo nome significa “instrumento de calcular” em sânscrito, foi construído pelo marajá de Jaipur, Sawal Jai Singh II, e concluído ao redor de 1734. Ele contém 19 instrumentos astronômicos de mira, incluindo relógios de sol, miras e astrolábios. Era usado para prever eclipses, determinar com precisão as posições dos corpos celestes, incluindo os planetas, bem como para determinação da hora local.



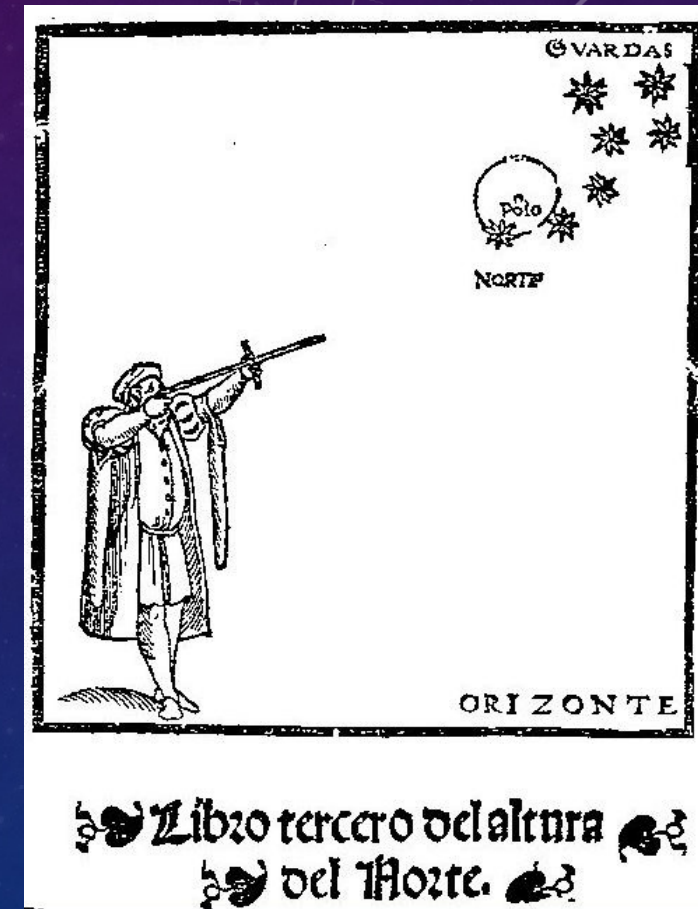
# OS INSTRUMENTOS PORTÁTEIS



Quadrante portátil de Tycho Brahe, descrito em *Astronomiae Instauratae Mechanica*, 1598



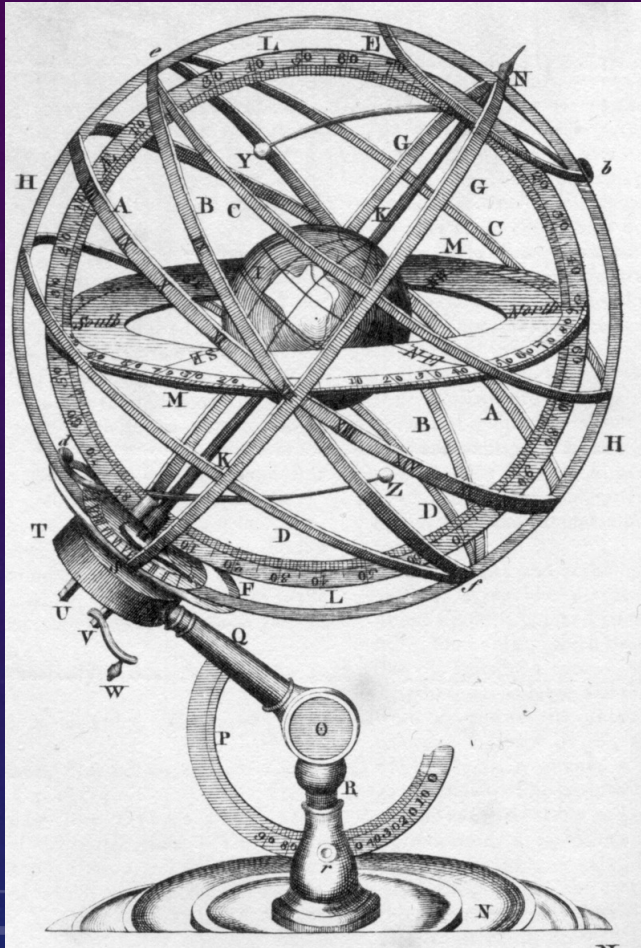
Balestilha (reprodução moderna) usada para medir a distância angular de um astro ao horizonte. Era o instrumento típico usado pelos navegadores europeus durante o período das grandes navegações, entre os séculos 15 e 17



Uso da balestilha para determinar a latitude, descrito no *Regimento de Navegacion* de Pedro Medina (Córdoba, 1552)

# ESFERA ARMILAR: UM CÉU PORTÁTIL

A esfera armilar, também chamada de astrolábio esférico, é uma representação tridimensional da esfera celeste que reproduz as linhas e pontos de referência do céu (equador e polos celestes, eclíptica, etc). É usada para navegação e ensino de astronomia.



Esfera armilar da edição de 1929 da Enciclopédia Britânica.



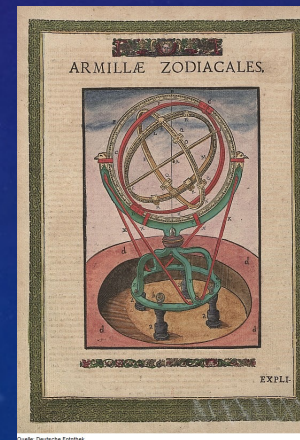
Esfera armilar árabe do século XV



Esfera armilar turca do século XVI



Esfera armilar do observatório de Pequim (reprodução da original construída durante a dinastia Ming, no século XVII)



Esfera armilar de Tycho (século XVI)



Bandeira da República Portuguesa (1910)

# Esferas armilares como elemento decorativo



Rockefeller Center, New York, EUA



Palais des Nations – ONU, Genève, Suíça



Pelourinho de Constância, Portugal

## Carta de Mestre João Faras a D. Manuel I, Rei de Portugal

A certidão de nascimento da astronomia brasileira (feita em 01 de maio de 1500)

O bacharel mestre João, físico e cirurgião de Vossa Alteza, beijo vossas reais mãos. Senhor: porque, de tudo o cá passado, largamente escreveram a Vossa Alteza, assim Aires Correia como todos os outros, somente escreverei sobre dois pontos. Senhor: **ontem, segunda-feira, que foram 27 de abril**, descemos em terra, eu e o piloto do capitão-mor e o piloto de Sancho de Tovar; tomamos a altura do sol ao meio-dia e achamos 56 graus, e a sombra era setentrional, pelo que, **segundo as regras do astrolábio, julgamos estar afastados da equinocial por 17° e ter por conseguinte a altura do pólo antártico em 17°**, [real: 16° 26' ] segundo é manifesto na esfera.

(...)

Tornando, Senhor, ao propósito, **estas Guardas nunca se escondem, antes sempre andam ao derredor sobre o horizonte**, e ainda estou em dúvida que não sei qual de aquelas duas mais baixas seja o pólo antártico; e estas estrelas, principalmente as da Cruz, são grandes quase como as do Carro; e a estrela do pólo antártico, ou Sul, é pequena como a do Norte e muito clara, e a estrela que está em cima de toda a Cruz é muito pequena.

Não quero alargar mais, para não importunar a Vossa Alteza, salvo que fico rogando a Nosso Senhor Jesus Cristo que a vida e estado de Vossa Alteza acrescente como Vossa Alteza deseja. **Feita em Vera Cruz no primeiro de maio de 1500**. Para o mar, melhor é dirigir-se pela altura do sol, que não por nenhuma estrela; e **melhor com astrolábio, que não com quadrante nem com outro nenhum instrumento**.

Do criado de Vossa Alteza e vosso leal servidor.

Johannes  
artium et medicine bachalarius

## Texto original em português do século 15, com muitos erros

O bacharel mestre Johan fisico e cirurgyano de Vosa Alteza beso vosas reales manos. Señor porque de todo lo aca pasado largamente escrivieron a vosa alteza asy arias correa como todos los otros solamente escrevire dos puntos señor ayer segunda feria que fueron 27 de abril descendimos em terra yo e el, pyloto do capitan moor e el pyloto de Sancho de touar e tomamos el altura del sol al medyodya e fallamos 56 grados e la sonbra era septentrional por lo qual segund las reglas del estrolabio jugamos ser afastados de la equinocial por 17 grados, e por consyguiente tener el altura del polo antarctico en 17 grados, segund que es magnifiesto en el espera

(...)

Tornando Señor al proposito estas guardas nunca se esconden antes syenpre andan en derredor sobre el orizonte, e aun esto dudoso que non se qual de aquellas dos mas baxas sea el polo antartyco, e estas estrellas principalmente las de la crus son grandes casy como las del carro, e la estrella del polo antartyco, o sul es pequena como la del norte e muy clara, e la estrella que esta en riba de toda la crus es mucho pequena:

Non quiero mas alargiar por non ynportunar a vosa alteza, saluo que quedo rogando a noso Señor ihesu christo la la vyda e estado de vosa alteza acresciente como vosa alteza desea. Fecha en uera crus a primero de maio de 500. pera la mar mejor es regyrse por el altura del sol que non por ninguna estrella e mejor con estrolabio que non con quadrante nin con otro ningud estrumento. do criado de vosa alteza e voso leal servidor.

Johannes  
artium el medicine bachalarius.

Nota acrescentada na época:

A el Rey nosso señor  
De mestre Johã q vay ha Callect.

# QUER SABER MAIS SOBRE ASTRONOMIA?

- [Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP](#)



- [Departamento de Astronomia](#)



- [Atividades de Extensão: cursos, projetos, visitas, dúvidas, livros ...](#)

