



Fotografia de Stonehenge, um monumento megalítico, com idade entre 3 000 e 1 500 a.C., existente no sul da Inglaterra. O alinhamento das pedras sugere que era utilizado como observatório astronômico. Autor: Simon Wakefield. Fonte: [wikimedia commons](#).

Introdução

Prezado aluno,

Na nossa segunda aula e nas próximas duas vamos nos dedicar ao estudo dos principais conceitos astronômicos estabelecidos pelos povos da antiguidade, baseados na observação dos movimentos cíclicos do Sol, da Lua e das estrelas e na medida das posições dos astros no céu. Hoje iniciamos com um resumo sobre os primórdios da Astronomia e em seguida passamos para o estudo da esfera celeste e do seu movimento diurno.

Boa aula!



Os registros mais antigos da Astronomia datam de aproximadamente 3 000 a.C. .

Objetivos

Esperamos que ao final desta aula você possa:

- explicar o conceito de esfera celeste;
- explicar o que é o movimento diurno dos astros e qual a sua causa;
- definir estrelas circumpolares;
- descrever o movimento diurno das estrelas em diferentes latitudes;
- relacionar medidas angulares e medidas de tempo.

Quando iniciou a Astronomia?

As especulações sobre a natureza do Universo devem remontar aos tempos pré-históricos, por isso a Astronomia é frequentemente considerada a mais antiga das ciências. Desde a antiguidade, o céu vem sendo usado como mapa, calendário e relógio.

Naquela época, os astros eram estudados com objetivos práticos, como medir a passagem do tempo (fazer calendários) para prever a melhor época para o plantio e a colheita, ou com objetivos mais relacionados à astrologia, como fazer previsões do futuro, já que, não tendo qualquer conhecimento das leis da natureza (Física), acreditavam que os deuses do céu tinham o poder da colheita, da chuva e mesmo da vida.

Vários séculos antes de Cristo, os chineses sabiam a duração do ano e usavam um calendário de 365 dias. Deixaram registros de anotações precisas de cometas, meteoros e meteoritos desde 700 a.C. Mais tarde, também observaram as estrelas que atualmente chamamos de novas.

Os babilônios, assírios e egípcios também sabiam a duração do ano desde épocas pré-cristãs. Em outras partes do mundo, evidências de conhecimentos astronômicos muito antigos foram deixadas na forma de monumentos, como o de Stonehenge, construído na Inglaterra entre 3 000 e 1 500 a.C. (figura que abre a aula), e Newgrange, construído na Irlanda em 3 200 a.C. (figura 02.01).



Figura 02.01: Imagens do templo antigo de Newgrange na Irlanda, construído há 5 000 anos. No solstício de inverno o Sol ilumina o corredor e a câmara central. Fonte: <http://www.knowth.com/newgrange.htm> (esquerda) e <http://www.mythicalireland.com/ancientsites/newgrange/> (direita).

Os maias, na América Central, também tinham conhecimentos de calendário e de fenômenos celestes, e os polinésios aprenderam a navegar por meio de observações celestes.

Há milhares de anos, os astrônomos sabem que o Sol muda sua posição no céu ao longo do ano, movendo-se aproximadamente um grau por dia para leste. O tempo para o Sol completar uma volta na esfera celeste define um ano. O caminho aparente do Sol no céu durante o ano define a eclíptica (assim chamada porque os eclipses ocorrem somente quando a Lua está próxima da eclíptica).

Como a Lua e os planetas percorrem o céu em uma faixa de dezoito graus de largura centrada na eclíptica, essa região é definida como o zodíaco, dividida em doze constelações, várias com formas de animais (atualmente as constelações do zodíaco são treze: Áries, Touro, Gêmeos, Câncer, Leão, Virgem, Libra, Escorpião, Ofiúco, Sagitário, Capricórnio, Aquário e Peixes).

O ápice da ciência antiga se deu na Grécia, de 600 a.C. a 400 d.C., a níveis só ultrapassados no século XVI.

Do esforço dos astrônomos gregos em conhecer a natureza do cosmos, e com o conhecimento herdado dos povos mais antigos, surgiu o conceito de esfera celeste - uma esfera de material cristalino, incrustada de estrelas, tendo a Terra no centro. Esse conceito ainda hoje é muito útil para a determinação da posição dos astros no céu para medir a passagem do tempo.

A esfera celeste

Observando o céu em uma noite estrelada, não podemos evitar a impressão de que estamos no centro de uma grande cúpula incrustada de estrelas. Isso inspirou aos antigos gregos, a ideia do céu como uma esfera celeste, da qual só podemos ver a metade, à qual nos referimos muitas vezes como "abóboda celeste" (figura 02.02).

Zodíaco:

Faixa de aproximadamente 18° de largura centrada na eclíptica.
Região da esfera celeste por onde se movem os planetas e a Lua.

Constelações:

São agrupamentos aparentes de estrelas, nos quais os povos antigos imaginavam ver figuras de animais ou coisas associadas à sua cultura. Atualmente, todo o céu está dividido em 88 constelações, todas com bordas bem determinadas.

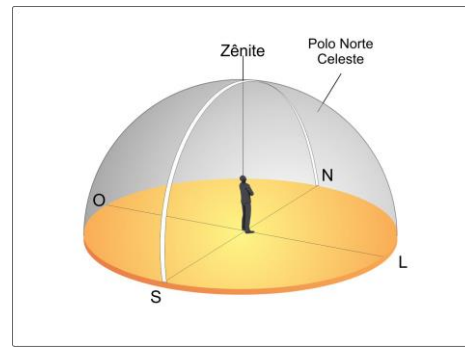


Figura 02.02: A parte visível da esfera celeste parece, para um observador situado na Terra, uma enorme cúpula - a abóboda celeste. O horizonte é o plano que separa a metade visível da não visível da esfera celeste. O zênite é o ponto da cúpula que fica acima da cabeça do observador. O meridiano do lugar é o círculo que passa pelos pontos norte e sul e também pelo zênite.

Esfera celeste:

Esfera imaginária, de raio arbitrário, centrada no centro da Terra, que gira de leste para oeste em torno de um eixo que coincide com o eixo de rotação da Terra.

Com o passar das horas, os astros se movem no céu, nascendo a leste e se pondo a oeste. Isso causa a impressão de que a esfera celeste está girando de leste para oeste, em torno de um eixo imaginário, que intercepta a esfera em dois pontos fixos, os polos celestes. O eixo de rotação da esfera celeste é o prolongamento do eixo de rotação da Terra, e os polos celestes são as projeções, na esfera celeste, dos polos geográficos da Terra. Da mesma forma, o equador celeste é a projeção do equador da Terra na esfera celeste (ver figura 02.03).

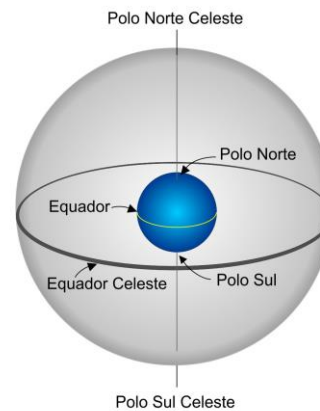


Figura 02.03: A esfera celeste é uma esfera imaginária, centrada na Terra, girando em torno de um eixo de rotação que é o prolongamento do eixo de rotação da Terra. Os polos celestes e o equador celeste são as projeções, na esfera celeste, dos polos e do equador terrestres.

Da superfície da Terra, apenas metade da esfera celeste é visível, a outra metade fica abaixo do horizonte. Dessa forma, a aparência do céu muda de lugar para lugar. A figura 02.04 mostra a esfera celeste completa e a metade visível para um observador em um determinado ponto da Terra.



Pontos e planos importantes na esfera celeste:

- Horizonte
- Zênite
- Equador celeste
- Polo norte celeste
- Polo sul celeste
- Meridiano local

Lembre-se:

A parte visível da esfera celeste parece, para um observador, uma enorme cúpula, a cúpula celeste.

O ponto da cúpula que fica acima da cabeça do observador é o zênite.

O horizonte é o plano que separa a parte visível da parte não visível da esfera celeste. O horizonte fica sempre perpendicular ao zênite.

Latitude:

A latitude de um lugar é igual à altura do polo elevado.

O **movimento diurno** dos astros é de **leste para oeste**.

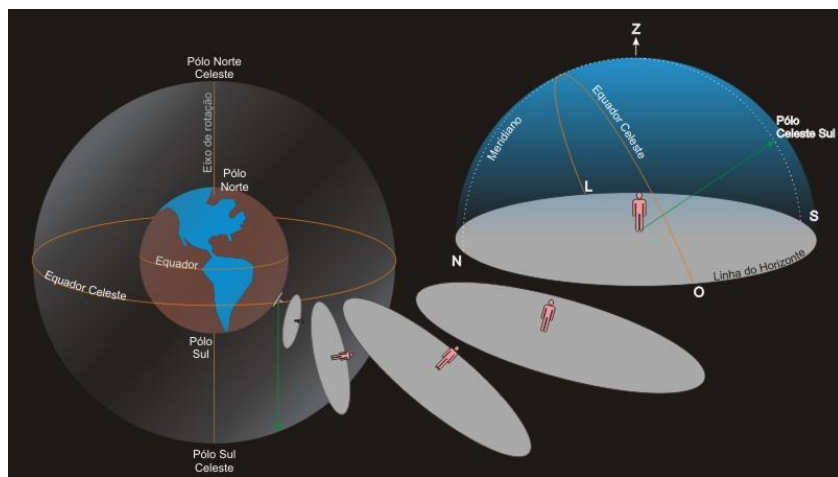


Figura 02.04. Um observador em um lugar qualquer da Terra (nesta figura, em um local do hemisfério sul) enxerga apenas a metade da esfera celeste, pois a outra metade fica abaixo de seu horizonte (a elipse cinza claro). A direção do polo celeste elevado (linha verde) faz um ângulo com a direção do zênite que depende do latitude do lugar onde se encontra o observador.

Pontos e planos importantes na esfera celeste

Horizonte: plano tangente à Terra no lugar em que se encontra o observador. A linha do horizonte é a interseção desse plano com a esfera celeste. Como o raio da Terra é desprezável frente ao raio da esfera celeste, considera-se que o horizonte passa pelo centro da esfera celeste.

Zênite: ponto da esfera celeste acima da cabeça do observador.

Equador celeste: projeção do equador da Terra na esfera celeste. O equador celeste intercepta o horizonte nos pontos cardeais leste e oeste.

Polo norte celeste: ponto em que o prolongamento do eixo de rotação da Terra intercepta a esfera celeste, no hemisfério norte.

Polo sul celeste: ponto em que o prolongamento do eixo de rotação da Terra intercepta a esfera celeste, no hemisfério sul.

Meridiano local (ou, simplesmente, **Meridiano**): círculo que passa pelos polos celestes e pelo zênite. O meridiano local intercepta o horizonte nos pontos cardeais norte e sul.

O polo celeste elevado é sempre aquele que corresponde ao hemisfério em que o observador se encontra: em lugares localizados no hemisfério norte da Terra vemos o polo celeste norte elevado; em lugares do hemisfério sul vemos o polo celeste sul elevado. O ângulo de elevação do polo sobre o horizonte é igual à latitude do lugar. Portanto, podemos definir a latitude de um lugar como a altura do polo elevado.

Movimento diurno dos astros

O movimento aparente dos astros, ao longo do dia, é chamado movimento diurno. É um reflexo do movimento de rotação da Terra; como a Terra gira no sentido de oeste para leste (sentido anti-horário para um observador externo olhando para o polo norte da Terra), vemos todos os astros girarem no sentido contrário, de leste para oeste. À medida que as horas passam, todos os astros descrevem no céu trajetórias em forma



Os arcos diurnos descritos pelos astros são sempre **paralelos ao equador celeste**.

de arcos paralelos ao equador celeste, completando um círculo em um ciclo de rotação da Terra. A orientação desses arcos em relação ao horizonte depende da latitude do lugar.

1. Nos polos (latitude = $\pm 90^\circ$): Para um observador em um dos polos da Terra o equador celeste coincide com seu horizonte, e, portanto, os arcos diurnos das estrelas são paralelos ao horizonte. Todas as estrelas do mesmo hemisfério do observador permanecem 24 h acima do horizonte (não têm nascer nem ocaso). As estrelas do hemisfério oposto nunca podem ser vistas.

2. No equador (latitude = 0°): Para um observador no equador da Terra, o equador celeste fica perpendicular ao seu horizonte, e, portanto, as trajetórias diurnas das estrelas são arcos perpendiculares ao horizonte. Todas as estrelas nascem e se põem, permanecendo 12 h acima do horizonte e 12 h abaixo dele. Todas as estrelas do céu (dos dois hemisférios) podem ser vistas ao longo do ano.

3. Em um lugar de latitude intermediária: As estrelas visíveis descrevem no céu arcos com uma certa inclinação em relação ao horizonte, a qual depende da latitude do lugar. Algumas estrelas têm nascer e ocaso, outras permanecem 24 h acima do horizonte, outras permanecem 24 h abaixo do horizonte.

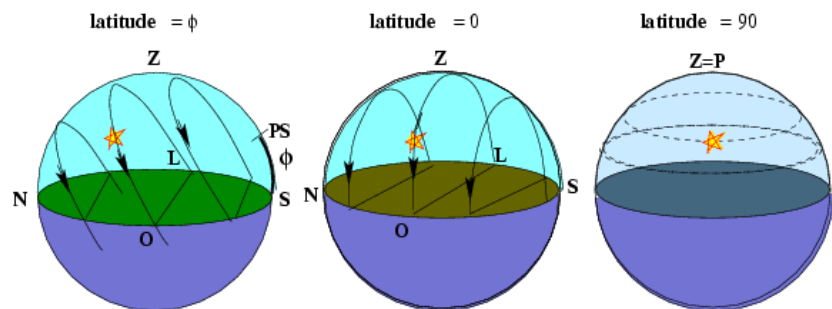


Figura 02.05: Trajetórias diurnas das estrelas em lugares de diferentes latitudes: entre 0 e 90° (esquerda), 0° (centro) e 90° (direita). A inclinação entre as trajetórias e o horizonte é sempre igual ao complemento da latitude ($90^\circ - \text{latitude}$).

Simulação de movimento diurno.



Figura 02.06: Movimento diurno das estrelas em Mauna Kea (Havaí). É mostrado o céu próximo ao horizonte leste. (Autor: Richard Wainscoat; website: www.photoresourcehawaii.com/fotoshowpro/detail.php). <http://www.wainscoat.com/astronomy/mknight.jpg>.



Astros circumpolares:

São astros que, para o observador em um determinado lugar, nunca nascem nem se põem.

Estrelas circumpolares

Embora o Sol, a Lua, e a maioria dos astros, aqui na nossa latitude (aproximadamente 30° S para Porto Alegre), tenham nascer e ocaso, existem astros que nunca nascem nem se põem, permanecendo sempre acima do horizonte. Se pudéssemos observá-los durante 24 horas, os veríamos descrevendo uma circunferência completa no céu, no sentido horário. Esses astros são chamados circumpolares. O centro da circunferência descrita por eles coincide com o polo celeste sul. Para os habitantes do hemisfério norte, as estrelas circumpolares descrevem uma circunferência em torno do polo celeste norte.

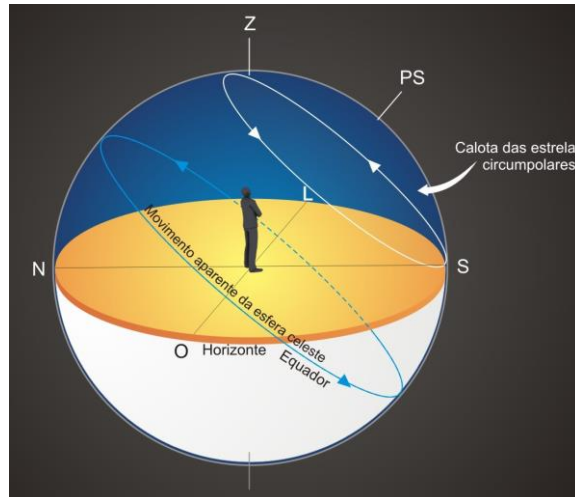


Figura 02.07. Esfera celeste visível para um certo lugar do hemisfério sul. A calota das estrelas circumpolares compreende a região da esfera celeste entre o polo celeste visível (o polo sul celeste, no hemisfério sul) e o paralelo que, em seu ponto mais baixo, tangencia o horizonte.

As estrelas que são circumpolares em um lugar não são as mesmas estrelas que são circumpolares em outro, pois o fato de uma estrela ser circumpolar ou não depende da latitude do lugar de observação.

Por exemplo, onde vemos mais estrelas circumpolares, em Porto Alegre (latitude = 30° S) ou em Ushuaia, no sul da Argentina (latitude = 63° S)?

A resposta é em Ushuaia, pois quanto mais perto do polo menor a inclinação entre os círculos diurnos das estrelas e o horizonte.

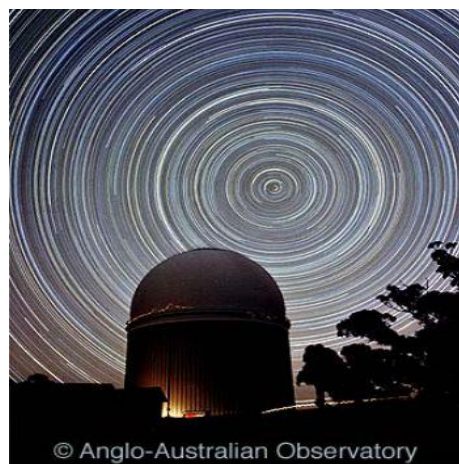


Figura 02.08: Estrelas cujo círculo diurno fica todo acima do horizonte são chamadas circumpolares. Crédito: David Malin .



Movimento diurno do Sol

O movimento diurno do Sol, assim como o de todos os outros astros, é de leste para oeste, pois é reflexo do movimento de rotação da Terra (que é de oeste para leste). Mas, ao contrário das "estrelas fixas", o círculo diurno do Sol varia de dia para dia, no ciclo de um ano, se afastando ou se aproximando do equador celeste dependendo da época do ano.

A Lua e os planetas também variam sua posição entre as estrelas ao longo do ano, por isso também não mantêm o mesmo círculo diurno.

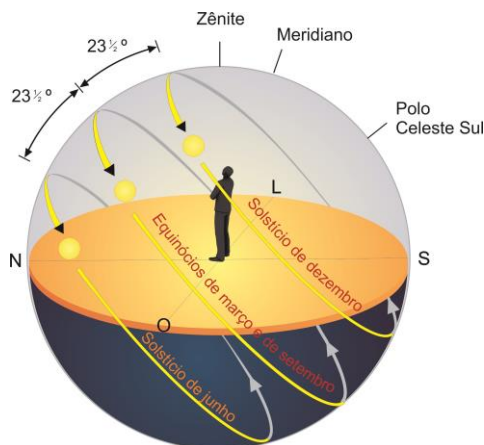


Figura 02.10: Movimento diurno do Sol nos equinócios e nos solstícios, em um lugar de latitude sul.

Movimento diurno do Sol:

- Do leste para o oeste, com velocidade de $15^\circ/h$.

- O círculo diurno do Sol varia de dia para dia ao longo do ano: no solstício de dezembro coincide com o Trópico de Capricórnio, nos equinócios coincide com o Equador e no solstício de junho coincide com o Trópico de Câncer.

Relação entre medidas angulares e medidas de tempo:

$$1h = 15^\circ \rightarrow 1^\circ = 4 \text{ min}$$

Como um dia é definido como uma volta completa do Sol em torno da Terra, isto é, o Sol percorre 360° em 24 horas, a velocidade aparente do movimento diurno do Sol é de

$$V_{\text{aparente}} = 360^\circ / 24h = 15^\circ / h.$$

Relação entre medidas angulares e medidas de tempo:

Um grau tem 60 minutos de arco e um minuto de arco tem 60 segundos de arco. Logo

$$1^\circ = 60' = 3.600''$$

Como 1 hora tem 60 minutos de tempo e 1 minuto de tempo tem 60 segundos de tempo,

$$1h = 60\text{min} = 3.600\text{s}.$$

Tomando como referência o movimento diurno aparente do Sol (reflexo do movimento de rotação da Terra, que é de $15^\circ/h$, então:

$$\begin{aligned} 1h &= 15^\circ, \\ 1\text{min} &= 15', \\ 1\text{s} &= 15''. \end{aligned}$$



Resumo

A esfera celeste é uma esfera imaginária, centrada na Terra, girando em torno de um eixo também imaginário que é o prolongamento do eixo de rotação da Terra. Os polos celestes e o equador celeste são as projeções, na esfera celeste, dos polos e do equador terrestres.

Em qualquer lugar que estejamos só vemos metade da esfera celeste. O plano que divide a metade visível da esfera celeste da metade invisível se chama horizonte. O ponto mais alto da metade visível da esfera celeste se chama zênite.

O movimento diurno dos astros – ou movimento de rotação da esfera celeste - é um movimento aparente, de leste para oeste, que acontece como reflexo do movimento de rotação da Terra. Os arcos diurnos descritos pelos astros como consequência desse movimento são sempre paralelos ao equador, e a sua inclinação em relação ao horizonte depende da latitude do lugar, sendo igual ao complemento da latitude ($90^\circ - \text{latitude}$). Assim, nos polos os arcos diurnos são paralelos ao horizonte (pois o equador, nesse lugar, coincide com o horizonte); no equador os arcos diurnos são perpendiculares ao horizonte (pois o equador é perpendicular ao horizonte).

Astros que não têm nascer nem ocaso, permanecendo 24 horas por dia acima do horizonte, são chamados circumpolares. Nos polos todos os astros visíveis são circumpolares; no equador nenhum astro é circumpolar.

Questões de fixação

1. Explique o conceito de esfera celeste.
2. Como você explicaria para um amigo o que é o zênite? O que são os polos celestes? O que é o meridiano local?
3. Nós vemos o Sol, a Lua e as estrelas nascerem diariamente no leste e se porem no oeste. Isso é um movimento real ou aparente? Por que ele acontece?



4. Qual das descrições abaixo NÃO se refere ao horizonte?

(a) plano tangente à superfície da Terra no lugar onde se encontra o observador;

(b) plano que separa a metade visível da esfera celeste da não visível;

(c) plano perpendicular ao eixo de rotação da Terra;

(d) plano perpendicular à linha vertical que une o observador ao seu zênite.

5. O que são estrelas circumpolares? Uma estrela que é circumpolar em Porto Alegre é circumpolar em qualquer parte do mundo? Explique.

6. Verifica-se que, em um certo lugar do hemisfério sul, os círculos diurnos das estrelas fazem um ângulo de 50° com o horizonte.

a) Qual a latitude do lugar?

b) Qual o polo elevado (norte ou sul) e qual a sua altura (elevação acima do horizonte)?

7. Para um observador no equador da Terra:

a) Qual a altura do polo celeste norte?

b) Qual a altura do polo celeste sul?

c) Como é o movimento das estrelas nesse lugar, com relação ao horizonte?

d) Existem estrelas circumpolares nesse lugar? Explique.

8. Na figura [02.07](#), procure o traço das estrelas que fica reto e não curvo. Esse traço corresponde ao círculo diurno de uma estrela sobre o equador celeste, e, portanto, coincide com o equador celeste. Meça com um transferidor a inclinação desse traço em relação ao horizonte. Lembrando que inclinação entre o equador celeste e o horizonte é o complemento da latitude, qual a latitude do Mauna Kea?

9. Pratique a relação entre medidas angulares na esfera celeste e medidas de tempo. Quanto tempo leva para a esfera celeste girar 1 segundo de arco? 1 minuto de arco? 1 grau?

10. Pratique a relação entre medidas angulares na esfera celeste e medidas de tempo. Quanto tempo leva para a esfera celeste girar 1 segundo de arco? 1 minuto de arco? 1 grau?

11. Faça as questões do auto-teste sobre Astronomia antiga, em <http://astro.if.ufrgs.br/astroantiga.htm>.

