

INTRODUÇÃO À ASTRONOMIA AGA-210

3. Sistemas de Coordenadas



(J.B.Kaler, 1994, Fig. 3.11, p.36)

Sol à meia noite?
Nas calotas polares, durante o verão,
o Sol nunca se põe.

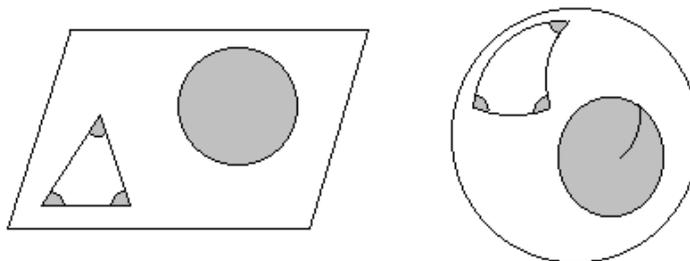
IAG/USP
ENOS PICAZZIO

3. Sistemas de Coordenadas

Sobre superfícies esféricas aplica-se a trigonometria esférica (TE). Ela é semelhante à trigonometria cartesiana (TC, plana), porém não é igual (Figura 3.1). Na tabela abaixo, tem-se as diferenças básicas entre ambas.

	Soma dos ângulos internos do triângulo	perímetro do círculo	área do círculo
TC	180°	$2 \times \pi \times r$	$\pi \times r^2$
TE	> 180°	< $2 \times \pi \times r$	< $\pi \times r^2$

Figura 3.1 Figuras geométricas sobre superfícies plana e esférica



Para se localizar um ponto sobre uma superfície esférica é necessário criar um sistema de coordenadas, fundamentado em alguns elementos da esfera, tais como: eixo de simetria (ou de rotação), equador (círculo máximo perpendicular ao eixo de simetria), paralelos (círculos paralelos ao equador), meridianos (círculos sobre planos que contém o eixo de simetria) e horizontes (planos tangentes à superfície). Vejamos alguns exemplos.

3.1 Coordenadas geográficas

É o sistema de coordenadas terrestres (Figura 3.2). O eixo (imaginário) de rotação da Terra fura sua superfície em dois pontos denominados pólos: *Pólo Norte (PN)* e *Pólo Sul (PS)*, respectivamente nos hemisférios norte e sul. O plano perpendicular ao eixo de rotação terrestre, que passa pelo centro da Terra, intercepta sua superfície e define um círculo chamado *equador* (sobre o *plano do equador*), que divide a Terra em dois hemisférios. Paralelos ao equador,

existem círculos menores denominados *paralelos (de latitude)*, veja abaixo). Os *meridianos*, são círculos na superfície terrestre que passam pelos pólos. Vê-se, portanto, que qualquer ponto da superfície terrestre pode ser identificado através de dois arcos: um sobre o paralelo que passa pelo ponto considerado, e outro sobre o meridiano que passa por esse ponto. O arco medido sobre o meridiano é chamado *latitude* (ϕ); ele é medido em grau (e fração) e varia entre 0° (no equador) e +90° (no hemisfério norte) ou -90° (no hemisfério sul). O arco medido sobre o equador a partir do *meridiano de Greenwich* ou *meridiano principal* (meridiano local do Observatório Real de Greenwich, Figura 3.3) é denominado *longitude* (λ), e é medido em grau (e fração).

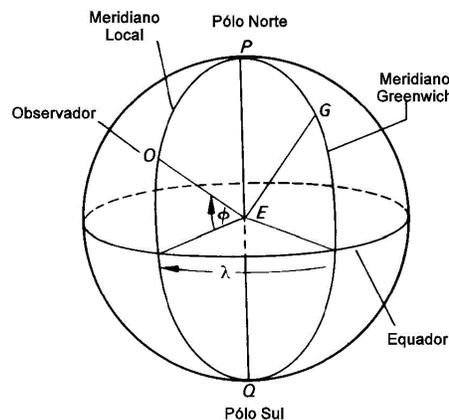


Figura 3.2 Coordenadas geográficas.

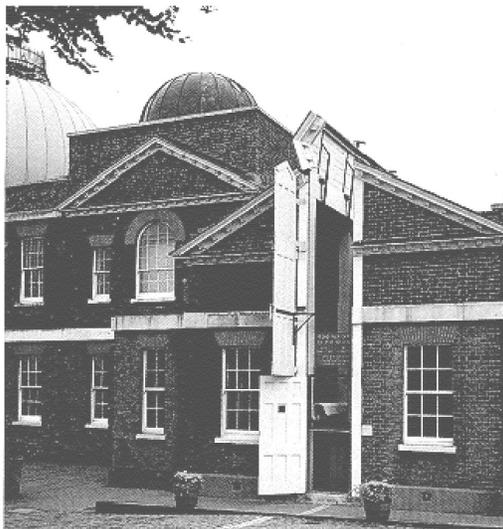


Figura 3.3 Observatório Real de Greenwich (Inglaterra). O meridiano está desenhado no chão, em frente à soleira da porta que abriga a luneta de passagem. (J.B.Kaler, 1994, Fig. 2.8, p.18)

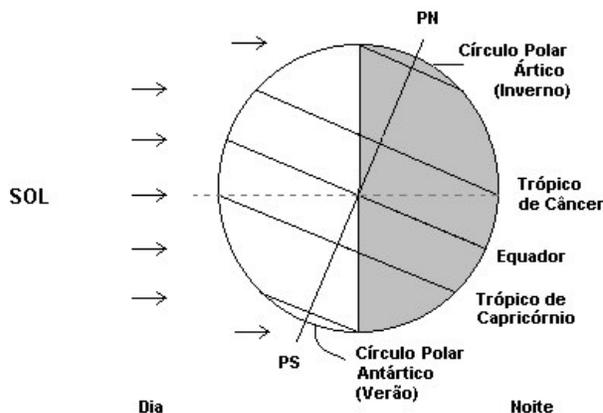


Figura 3.4 Círculos polares e Trópicos. Aqui é mostrada a situação em dezembro (verão no hemisfério sul). No círculo polar Ártico a noite dura 24h, e no Antártico o Sol nunca se põe (Veja a imagem da capa desta apostila). A situação se inverte em junho (inverno).

As longitudes variam entre 0° e 180° , e são dadas a leste ou a oeste de Greenwich. As coordenadas geográficas aproximadas de São Paulo são: $\phi = -23^\circ 32' 00''$ e $\lambda = 46^\circ 37' 00''$ O; ou seja, estamos a $23,5^\circ$ abaixo do Equador e a $46,6^\circ$ a oeste de Greenwich.

Dentre os paralelos de latitude, quatro são especiais: os dois *trópicos* e os dois *círculos polares*. Os círculos polares *Ártico* (no hemisfério norte) e *Antártico* (no hemisfério sul) estão afastados do equador $+66^\circ 33'$ e $-66^\circ 33'$, respectivamente. Os trópicos de *Câncer* (hemisfério norte) e de *Capricórnio* (hemisfério sul) estão afastados do equador $+23^\circ 27'$ e $-23^\circ 27'$, respectivamente.

E por que esses paralelos são especiais? Porque eles definem as três zonas climáticas, a saber: *zonas glaciais*, *zonas temperadas* e *zona tropical*. A causa física dessa divisão é a inclinação ($+23^\circ 27'$) do eixo de rotação da Terra, relativamente à *eclíptica* (órbita da Terra) (Figura 3.4). Observadores posicionados exatamente sobre os trópicos verão o Sol passar pelo *zênite* uma vez por ano (Figura 3.5). Entre os trópicos (zona tropical), os observadores terão o Sol no zênite duas vezes ao ano.

Nas zonas temperadas, isto é acima do Trópico de Câncer e abaixo do Trópico de Capricórnio, o Sol jamais passará pelo zênite. Quanto mais próximo dos pólos estiver o observador, mais baixo ele verá o Sol ao meio dia local. Os extremos acontecem nas zonas glaciais, que são as regiões acima do Círculo Polar Ártico e abaixo do Círculo Polar Antártico

Nelas, durante o verão o Sol estará sempre acima do horizonte; portanto ele não nasce nem se põe e o dia será sempre claro (veja a foto da capa desta apostila). Já no inverno, ele estará sempre abaixo do horizonte, e o dia será sempre escuro. Evidentemente, essas condições ocorrem de forma invertida no pólos.

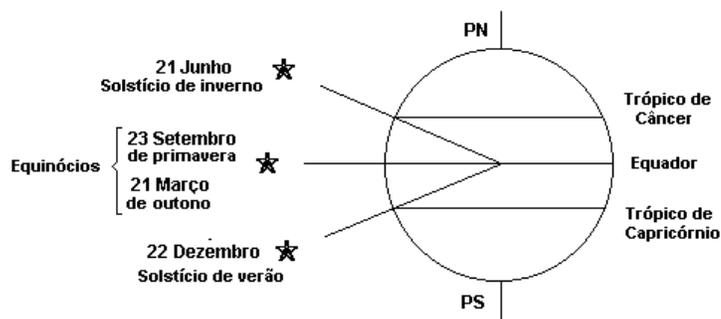


Figura 3.5 Posições do Sol em diferentes épocas do ano. Compare com a Figura 2.5.

3.2 Coordenadas celestes

Consideremos agora não mais a superfície terrestre, mas a superfície da Esfera Celeste (EC), discutida no capítulo anterior. Para se localizar um objeto nessa superfície, podemos nos valer de um sistema de coordenadas semelhante ao geográfico, isto é, baseado em arcos medidos sobre determinados círculos da EC. Vejamos alguns exemplos.

3.2.1 Coordenadas equatoriais

O sistema de coordenadas celestes mais parecido com o geográfico é o *sistema equatorial*; veja a Figura 3.6.

Os pólos agora serão o *Pólo Celeste Norte (PCN)* e o *Pólo Celeste Sul (PCS)*; eles são as projeções dos pólos geográficos sobre a EC. O equador passa a ser o *equador celeste*, que nada mais é do que a extensão do equador terrestre até a superfície da EC. Os meridianos serão *meridianos celestes*, e os paralelos serão *paralelos celestes*. Embora baseadas no mesmo princípio, as coordenadas não são as mesmas.

É fácil verificar que neste sistema o plano da órbita da Terra está inclinado em $23^{\circ} 27'$ em relação ao plano do equador celeste (Figura 3.7). Se projetarmos a eclíptica na esfera celeste veremos que ela cruza o equador celeste duas vezes: uma vez no *ponto γ* , ou *equinócio de outono* ou, ainda, *primeiro ponto de Áries* (posição da Terra em 21 de março); a outra vez no *equinócio de primavera* ou *ponto de Libra* (posição da Terra em 23 de setembro). Os pontos da eclíptica mais afastados do equador celeste são os *solstícios de inverno* (posição da Terra em 21 de junho) e de *verão* (posição da Terra em 22 de dezembro). Para o hemisfério norte, os pontos e as datas são os mesmos, mudam apenas as designações: na ordem em que foram citados acima, serão: equinócio de primavera, equinócio de outono, solstício de verão e solstício de inverno. As designações refletem as estações sazonais de cada hemisfério.

Declinação (δ) é a coordenada celeste medida sobre os meridianos; assim como a latitude, ela também varia entre 0° (no equador celeste) e $+90^{\circ}$ (ao norte do equador) ou -90° (ao sul do equador).

Sobre o equador é medida a *ascensão reta (α)*, que varia entre 0h e 24h, e fração. A origem neste caso não é mais o meridiano de Greenwich, mas o *ponto γ* . α é medido em sentido oposto ao do movimento da esfera celeste.

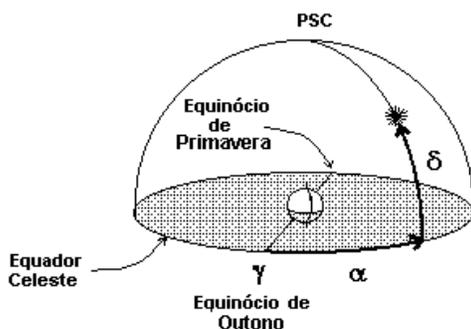
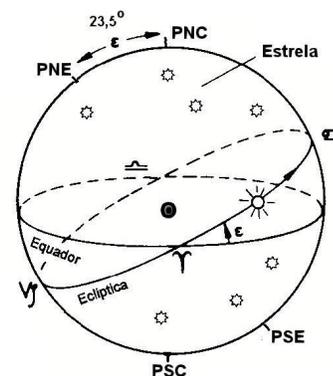


Figura 3.6 Coordenadas equatoriais.

Equinócios: ♈ de Primavera; ♏ de Outono



Solstícios: ♊ de Verão; ♋ de Inverno

Figura 3.7 Posições da Eclíptica e do Equador na Esfera Celeste.

No sistema equatorial, as coordenadas α e δ são constantes (não dependem do horário nem da posição do observador). É um sistema fixo na esfera celeste. Mais adiante, veremos que a longo prazo as coordenadas equatoriais necessitam de correção (ver Perturbação de Coordenadas).

3.2.2 Coordenadas horárias

Estas coordenadas provêm de um sistema híbrido, baseado no equador celeste e no meridiano do observador (Figura 3.8).

Neste sistema referencial uma das coordenadas continua sendo a *declinação* (δ). A outra coordenada, que substitui a ascensão reta, é o *ângulo horário* (h), definido como a distância angular entre os meridianos local e o do astro. h é medido em hora (e fração), sobre o equador celeste e na direção do Oeste (ou no sentido horário, olhando do PNC).

Enquanto a ascensão reta de um astro é constante, o ângulo horário aumenta com o passar do tempo. O ângulo horário do ponto γ é chamado *tempo sideral* (TS). Comparando as Figuras 3.8 e 3.6, é fácil verificar que sempre vale a relação:

$$TS = h + \alpha.$$

O valor de TS não deve superar 24h; quando isto acontecer, subtrai-se 24h.

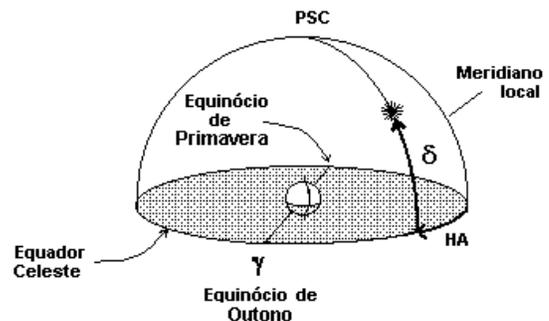


Figura 3.8 Coordenadas horárias. Compare com a Figura 3.6.

Exemplos

[1] Consideremos que em um dado instante um observador tenha o *ponto* γ 15° a leste do seu meridiano. Isto significa que o *ponto* γ ainda não cruzou o meridiano local e o fará dentro de 59m 50s (lembre-se: $360^\circ/23,935\text{hs} = 15,041^\circ/\text{hs}$; repare que a taxa é dada em hora sideral). A ascensão reta (α) do ponto γ é zero (ele é a origem), e o seu ângulo horário será 23h 10s. Neste momento o relógio sideral do observador estará marcando 23h 0m 10s ($TS = h + \alpha$).

[2] Quando o relógio sideral desse observador marcar 4h ($TS = 4\text{h}$), dentro de 2h, quais estrelas cruzarão seu meridiano? Resposta: aquelas que tiverem, aproximadamente, $4^{\text{h}} < \alpha < 6^{\text{h}}$ (a rigor o cálculo deve ser feito com a taxa sideral: “dia solar médio” / “dia sideral” = $24\text{h} / 23,935\text{hs} = 1,0027$, ou seja “ $h = 1,0027\text{hs}$ ”. Então, $2\text{h} = 2,0054\text{hs}$. Assim as estrelas que cruzarão o meridiano têm α entre 4^{h} e $6,0054^{\text{h}}$, ou $4^{\text{h}} < \alpha < 6^{\text{h}} 0^{\text{m}} 19,6^{\text{s}}$). As estrelas com $\alpha < 4^{\text{h}}$ já cruzaram o meridiano.

Por ser este um sistema baseado no meridiano local, suas coordenadas horárias variam com a posição do observador.

3.2.3 Coordenadas horizontais

O sistema horizontal é mais intuitivo porque é adaptado à calota celeste que o observador vê, isto é, o hemisfério que está acima do horizonte local. Por esta razão, as coordenadas horizontais de um astro variam conforme a posição do observador (Figura 3.9).

O observador está no centro da esfera visível, e o eixo de simetria dessa calota passa pelo observador, portanto é perpendicular ao horizonte local, e fura a EC num ponto chamado *zênite*. Diametralmente oposto ao zênite está o *nadir*.

Agora, coloquemos o observador de frente para o Norte (portanto à sua direita está o Leste). O ângulo medido sobre o horizonte local, partindo do Norte (origem) e indo na direção do Leste é chamado *azimute* (A), e é dado em grau. É fácil constatar que: $A(\text{Norte}) = 0$, $A(\text{Leste}) = 90^\circ$, $A(\text{Sul}) = 180^\circ$ e $A(\text{Oeste}) = 270^\circ$. Portanto, azimute é o ângulo subtendido entre o N e o meridiano que passa pelo astro.

A segunda coordenada é a *altura* (H),

medida em grau a partir do horizonte e em direção ao zênite. Portanto, H varia de 0° (horizonte) a 90° (zênite). Pode-se, também, substituir esta coordenada pelo seu complemento, a *distância zenital* (z), ou seja: $H + z = 90^\circ$.

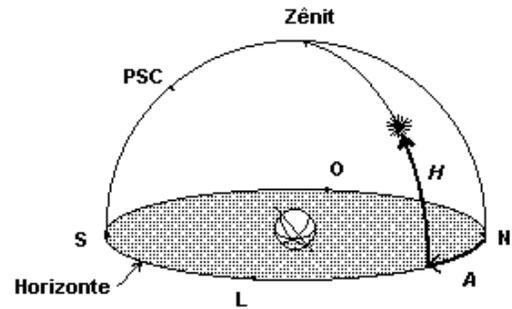


Figura 3.9 Coordenadas horizontais

3.3 Variação de coordenadas

A longo prazo, o eixo de rotação da Terra não mantém fixa sua orientação. Embora todos os corpos do Sistema Solar exerçam atração gravitacional sobre a Terra, os efeitos mais significativos são devidos ao Sol (maior massa) e à Lua (maior proximidade). A Terra é ligeiramente achatada, formando um bojo na região equatorial. A atração gravitacional do Sol e da Lua exercida sobre o bojo terrestre provoca a oscilação do eixo de rotação terrestre em torno da normal à eclíptica que passa pelo centro da Terra (Figura 3.10). Esse efeito é conhecido como *precessão*, e tem período aproximado de 26.000 anos. Conseqüentemente, a linha de interseção do plano do equador terrestre com o plano da eclíptica também precessiona. Logo, a longo prazo, os pólos celestes mudam de posição e as coordenadas celestes também, porque o ponto γ segue esse movimento (veja a Figura 3.7). Por esta razão as coordenadas de um astro são referidas para um ano padrão: no passado foi 1900, depois 1950, agora 2000.

Quando se deseja obter essas coordenadas para a data de observação é preciso fazer as correções necessárias.

A cada 2.100 anos ($26.000 / 12$, as 12 constelações do zodíaco), aproximadamente, as estações começam em constelação zodiacal diferente. Quando oficialmente definido, o ponto γ estava na constelação de Áries, por isso ele é chamado *primeiro ponto de Áries*; hoje o ponto γ já está entrando na constelação de Peixes.

Outro efeito semelhante, porém de intensidade muito menor, é a *nutação*; uma espécie de precessão sobre a precessão. Seu período é de 18,6 anos, e é provocado pela Lua.

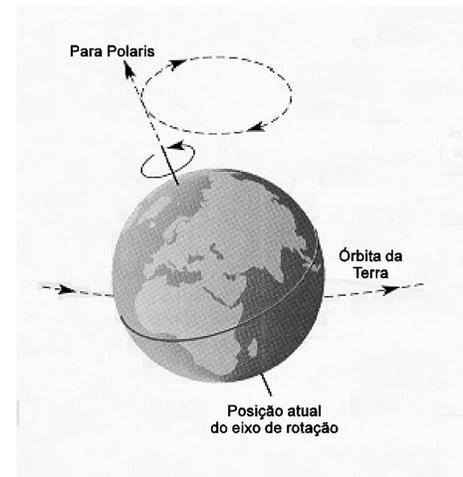


Figura 3.10 Precessão do eixo de rotação terrestre.

Referências

J.B.Kaler; *Astronomy*, Harper Collins College Publishers (1994).