



- **Horizonte:** plano tangente à Terra no lugar em que se encontra o observador. Como o raio da Terra é desprezável frente ao raio da esfera celeste, considera-se que o Horizonte é um círculo máximo da esfera celeste, ou seja, passa pelo seu centro.
- **Zénite:** ponto no qual a vertical do lugar (perpendicular ao horizonte) intercepta a esfera celeste, acima da cabeça do observador. A vertical do lugar é definida por um fio a prumo.
- **Nadir:** ponto diametralmente oposto ao Zénite.
- **Equador Celeste:** círculo máximo em que o prolongamento do equador da Terra intercepta a esfera celeste.
- **Pólo Celeste Norte (PCN) :** ponto em que o prolongamento do eixo de rotação da Terra intercepta a esfera celeste, no hemisfério norte.
- **Pólo Celeste Sul (PCS):** ponto em que o prolongamento do eixo de rotação da Terra intercepta a esfera celeste, no hemisfério sul.

Para definirmos uma posição sobre uma esfera precisamos definir um eixo e um plano perpendicular a este eixo.

- **Círculo vertical:** qualquer semi-círculo máximo da esfera celeste contendo a vertical do lugar. Os círculos verticais começam no Zénite e terminam no Nadir.
- **Ponto Geográfico Norte:** ponto em que o círculo vertical que passa pelo Pólo Celeste Norte intercepta o Horizonte. É também chamado **Ponto Cardeal Norte**.
- **Ponto Geográfico Sul:** também chamado Ponto Cardeal Sul, é o ponto em que o círculo vertical que passa pelo Pólo Celeste Sul intercepta o Horizonte. A linha sobre o Horizonte que liga os pontos cardiais Norte e Sul chama-se **linha Norte-Sul**, ou **linha meridiana**. A linha Leste-Oeste é obtida traçando-se, sobre o Horizonte, a perpendicular à meridiana.
- **Círculo de altura:** qualquer círculo da esfera celeste paralelo ao Horizonte. É também chamado **almucântara**, ou **paralelo de altura**.
- **Círculo horário** ou **meridiano:** qualquer semi-círculo máximo da esfera celeste que contém os dois pólos celestes. O meridiano que passa pelo Zénite é geralmente conhecido como **Meridiano Local**.
- **Paralelo:** qualquer círculo da esfera celeste paralelo ao equador celeste. É também chamado círculo diurno.

## 1.1 Velocidade angular aparente diamante do Sol

Sabe-se que um dia é definido como uma volta completa ao redor do Sol, isto significa que a Terra percorre cerca de  $360^\circ$  em 24 horas. Neste caso, pode-se calcular a velocidade aparente usando a seguinte equação:

$$V_{\text{aparente}} = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{360^\circ}{24h} = 15^\circ/h \quad (1)$$

Tendo em consideração a conversão de unidades (grau==minuto de arco):

$$1^{\circ} = 60' = 3600'' \quad (2)$$

$$1h = 60' = 3600'' \quad (3)$$

$$(4)$$

Considerando a rotação da Terra em torno de seu próprio eixo percorre  $360^{\circ}$  em 24 horas, podemos concluir que:

$$1h = 15^{\circ} \quad (5)$$

$$1m = 15' \quad (6)$$

$$1s = 15'' \quad (7)$$

## 2 Sistemas de coordenadas Astronómicas

Para determinar a posição de um astro no céu, é necessário definir um sistema de coordenadas. Nesse sistema, utiliza-se apenas coordenadas angulares, sem nos preocuparmos com as distâncias dos astros. A posição do astro é determinada através de dois ângulos de posição, nominalmente um que é medido sobre um plano fundamental, e o outro que é medido perpendicularmente ao primeiro.

Antes de entrarmos nos sistemas de coordenadas astronómicas, convém recordarmos as coordenadas geográficas, usadas para medir posição sobre a superfície da Terra que são a **latitude** e a **longitude** definidas como:

- **Longitude geográfica ( $\lambda$ )**: ângulo medido ao longo do equador da Terra, tendo origem em um meridiano de referência (o meridiano de Greenwich), e extremidade no meridiano do lugar.

Na Conferência Internacional Meridiana, realizada em Washington em Outubro de 1884, foi definida como variando de 0 a  $+180^{\circ}$  (Oeste de Greenwich) e de 0 a  $-180^{\circ}$  (Leste). Na convenção usada em astronomia, varia entre  $-12h$  (Oeste) e  $+12h$  (Leste) isto é:,

$$-12h \leq \lambda \leq 12h \quad (8)$$

- **Latitude geográfica ( $\phi$ )**: ângulo medido ao longo do meridiano do lugar, com origem no equador e extremidade no zénite do lugar. Varia entre  $-90^{\circ}$  e  $+90^{\circ}$ . O sinal negativo indica latitudes do hemisfério sul e o sinal positivo no hemisfério norte.

$$-90^{\circ} \leq \phi \leq +90^{\circ} \quad (9)$$

### 2.1 Posições na Esfera Celeste

A revolução de Copérnico mostrou-nos que a noção de um universo geocentrico era incorrecto. Não obstante, com a excessão de um número pequeno de sondas planetárias, as nossas observações

do espaço ainda estão baseadas num sistema de referência centrado na Terra. A rotação diária (ou **diurna**) da Terra, juntamente com o seu movimento anual em volta do Sol, incluindo a oscilação lenta do seu eixo de rotação juntamente com o movimento relativo das estrelas, planetas, e outros objectos resulta na mudança constante das posições dos objetos celestes. Para catalogar esses objectos um sistema de coordenadas deve ser especificado. Por outro lado, esse sistema de coordenadas não pode ser sensível as manifestações dos movimentos da Terra descritos anteriormente, correndo o risco dessas coordenadas mudarem constantemente.

### 2.1.1 Sistema de coordenadas Altitude-Azimute

Para ver objectos no céu noturno precisa-se somente as direcções, sem considerar as distâncias. Podemos imaginar que todos objectos estão localizados na esfera celeste como os ancião gregos acreditaram. Tornou-se suficiente especificar somente duas coordenadas que se baseam no horizonte local do observador.

O sistema de coordenadas **Alt-Azimute** também conhecido como **sistema horizontal** é baseado na medição do ângulo azimutal ao longo do horizonte, e o ângulo acima do horizonte denominado altitude ( Fig. 2).

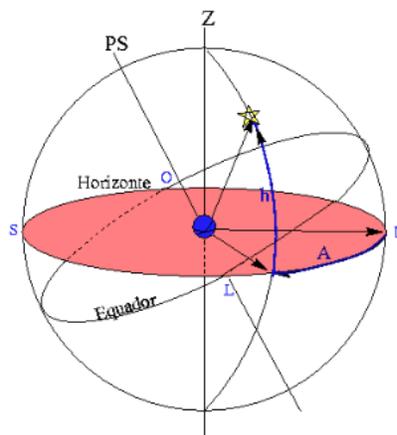


Figure 2: Esfera celeste, indicando como determinar a altitude e azimute

1. **Azimute (**A**)**: é o ângulo medido sobre o horizonte, no sentido horário, com origem no Norte geográfico (N) e extremidade no círculo vertical do astro. O azimute varia entre  $0^\circ \leq A \leq 360^\circ$ .
2. **Altura (**h**)**: é o ângulo medido sobre o círculo vertical<sup>1</sup> do astro, com origem no horizonte e a extremidade no astro. A altura  $h$  varia entre  $-90^\circ$  e  $+90^\circ$ . O complemento da altura chama-se **distância zenital (**z**)**. Assim, a distância zenital é o ângulo medido sobre o círculo vertical do astro, com origem no zênite e extremidade no astro. A distância zenital varia entre  $0^\circ \leq z \leq 180^\circ$

<sup>1</sup>Mais conhecido como meridiano (ou grande círculo), que é definido como a passagem pelo zênite do observador interceptando o horizonte devido aos polos norte e sul geográficos.

Apesar da definição simples, este sistema é difícil de usar na prática. Coordenadas de objectos celestes neste sistema são específicos da latitude e longitude do local do observador e são difíceis de transformá-los para outros locais na Terra. Também, como a Terra está em rotação, as estrelas aparentam-se movendo constantemente no céu, o que significa que as coordenadas dos objectos também estão em constante mudança, até para o local do observador. Para complicar ainda mais o problema, as estrelas nascem aproximadamente 4 minutos mais cedo nas noites sucessivas, tal que mesmo quando se observa pelo mesmo local num determinado tempo específico, as coordenadas mudam de dia para dia.

### 2.1.2 Sistema de coordenadas equatoriais

O sistema de coordenadas que resulta em valores quase constantes da posição dos objectos, apesar dos movimentos diurnos ou anuais, é o **Sistema Equatorial**. Este sistema de coordenadas equatoriais (Figura 3) é baseado no sistema de latitude e longitude da Terra, mas não participa na rotação do planeta.

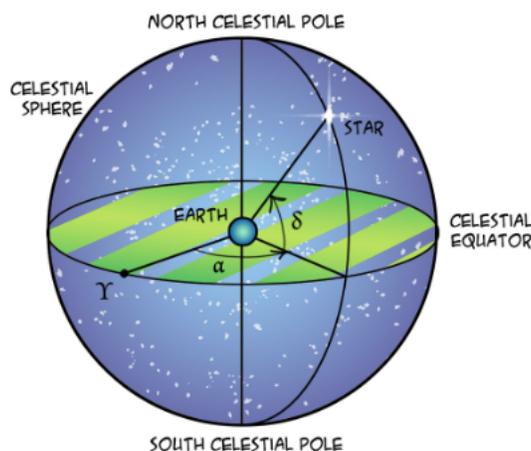


Figure 3: Esfera celeste, ilustrando a ascensão recta e declinação.

- **Declinação ( $\delta$ )** é equivalente a latitude: ângulo medido sobre o meridiano do astro (perpendicular ao equador), com origem no equador e extremidade no astro. A declinação varia entre  $-90^\circ \leq \delta \leq +90^\circ$ . O complemento da declinação chama-se **distância polar** ( $\Delta$ ), tal que  $\delta + \Delta = 90^\circ$ . Isto implica que a distância polar varia entre  $0^\circ \leq \Delta \leq 180^\circ$ .

Portanto, objectos localizados no equador celeste tem declinação  $\delta = 0^\circ$ , enquanto que objectos localizados nos polos celeste tem  $\delta = \pm 90^\circ$ . Os valores positivos indicam que o objecto encontra-se no polo norte celeste, e os negativos no Polo Sul celeste.

- **Ascensão recta ( $\alpha$  ou AR)** é equivalente a longitude: ângulo medido sobre o equador celeste, com origem no meridiano que passa pelo **ponto Áries**<sup>2</sup> (ou equinócio vernal ( $\gamma$ )), e a extremidade no meridiano do Astro. A ascensão recta é tradicionalmente medida em horas,

<sup>2</sup>Ponto Áries, também chamado Ponto Gama ( $\gamma$ ), ou Ponto Vernal, é um ponto do equador, ocupado pelo Sol no equinócio de primavera do hemisfério norte, isto é, quando o Sol cruza o equador vindo do hemisfério sul (geralmente em 22 de Março de cada ano).

minutos e segundos. Isto é 24h de AR é equivalente a  $360^\circ$ . A razão para uso deste sistema de unidades é baseado nas 24h (tempo sideral<sup>3</sup>) necessário para um objecto fazer duas travessias no meridiano do observador. Entretanto a AR varia entre  $0^h \leq \alpha \leq 24^h$  (ou  $0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$ ) aumentando para leste.

### 2.1.3 Efeitos da latitude do observador

Apesar de estar claro na definição de  $\alpha$  e  $\delta$  que a coordenada do objecto celeste (ou estrela) são independentes da localização do observador. Observadores em latitudes diferentes vão obter diferentes pontos de vista do céu. É convencional quando desenha-se a esfera celeste para mostrar que o horizonte é um plano horizontal (veja a Fig. 4).

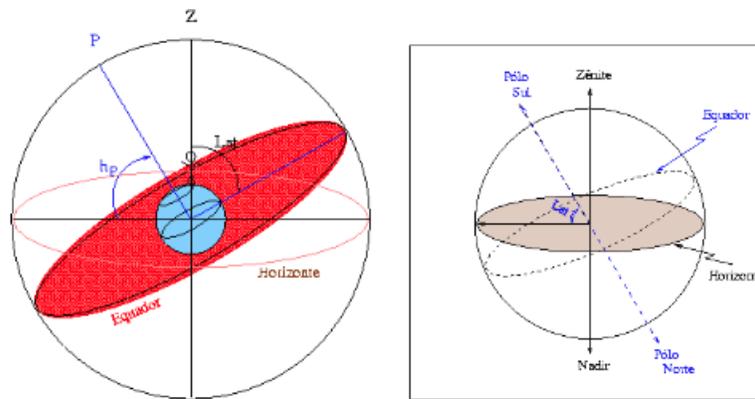


Figure 4: Esfera celeste, ilustrando o efeito da latitude do observador.

Portanto, o zenite localiza-se directamente em cima da cabeça do observador, enquanto que o polo celeste norte inclina-se na mesma proporção que a latitude do observador. O ângulo entre o ponto norte no horizonte e o polo celeste norte (isto é, a elevação) é igual a latitude do observador. Em qualquer tempo, somente metade da esfera celeste é visível para qualquer observador.

### 2.1.4 Sistema Equatorial Horário

Neste sistema o plano fundamental continua sendo o Equador, mas a coordenada medida ao longo do equador não é mais a ascensão reta, e sim uma coordenada não constante chamada ângulo horário. A outra coordenada continua sendo a declinação.

**Ângulo horário (HA):** ângulo medido sobre o equador, com origem no meridiano local e extremidade no meridiano do astro. Varia entre  $-12h \leq HA \leq +12h$ . O sinal negativo indica que o astro está a leste do meridiano, e o sinal positivo indica que ele está a oeste do meridiano.

<sup>3</sup>Tempo baseado na travessia consecutiva de uma estrela em um meridiano.

### 3 Movimento Diurno dos Astros

O movimento diurno dos astros, de leste para oeste, é um reflexo do movimento de rotação da Terra, de oeste para leste. Ao longo do dia, todos os astros descrevem no céu arcos paralelos ao Equador. A orientação desses arcos em relação ao horizonte depende da latitude do lugar, como mostramos abaixo:

1. **Nos pólos** ( $\delta = \pm 90^\circ$ ): Todas as estrelas do mesmo hemisfério do observador permanecem 24h acima do horizonte, e descrevem no céu círculos paralelos ao horizonte. As estrelas do hemisfério oposto nunca podem ser vistas.
2. **No equador** ( $\delta = 0^\circ$ ): Todas as estrelas nascem e se põem, permanecendo 12h acima do horizonte e 12h abaixo dele. A trajetória das estrelas são arcos perpendiculares ao horizonte. Todas as estrelas do céu (nos dois hemisférios) podem ser vistas ao longo do ano.
3. **Em um lugar de latitude**  $\delta \neq 0$ : Algumas estrelas nascem e se põem, outras permanecem 24h acima do horizonte, outras permanecem 24h abaixo do horizonte. As estrelas visíveis descrevem no céu arcos com uma certa inclinação em relação ao horizonte, a qual depende da latitude do lugar.

A Figura 5 mostra um exemplo das situações descritas anteriormente para cada caso em particular.

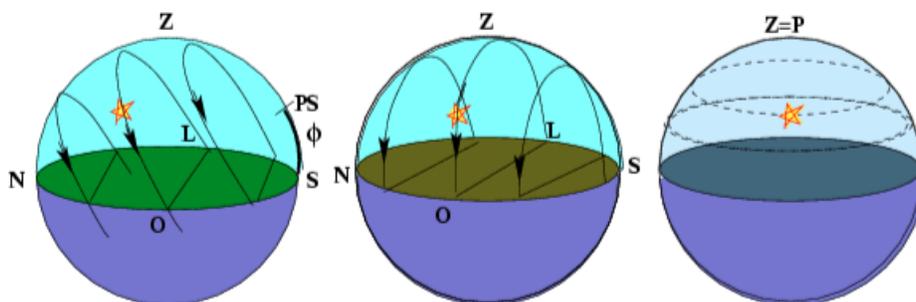


Figure 5: Movimento diurno dos Astros em diferentes latitudes. A esquerda  $\delta \neq 0$ , no centro  $\delta = 0$ , e a direita ( $\delta = \pm 90^\circ$ ).

### 4 Passagem Meridiana de um Astro

Chama-se passagem meridiana ao instante em que o astro cruza o meridiano local. Durante o seu movimento diurno, o astro realiza duas passagens meridianas, ou duas **culminações**: a culminação superior, ou passagem meridiana superior, ou ainda máxima altura (porque nesse instante a altura do astro atinge o maior valor), e a passagem meridiana inferior, ou culminação inferior. No instante da passagem meridiana superior, cumpre-se a seguinte relação entre o zénite ( $z$ ), ascensão recta ( $\alpha$ ) e declinação ( $\delta$ ):

$$z = \pm(\delta - \alpha) \quad (10)$$

onde o sinal positivo (+) indica que a culminação é feita ao norte do zenite, e o negativo (-) ao sul do zenite.

## 5 Estrelas Circumpolares

Estrelas circumpolares (ver Fig.6) são aquelas que não têm nascer nem se põem, descrevendo seu círculo diurno completo acima do horizonte. Portanto, as estrelas circumpolares fazem as duas passagens meridianas acima do horizonte. Para uma certa estrela com declinação  $\delta$  ser circumpolar em um lugar de latitude  $\phi$  deve se cumprir a seguinte relação:

$$|\delta| \geq 90^\circ - |\phi| \quad (11)$$

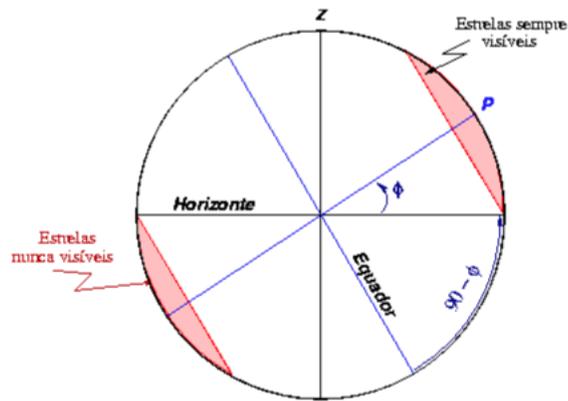


Figure 6: Movimento de estrelas circumpolares.

Importa salientar que para se derivar as relações entre os sistemas de coordenadas, é necessário utilizar-se a Trigonometria Esférica.