

ASTRONOMIA DE CAMPO

POR

**Prof. Dr. JOSÉ MILTON ARANA
Departamento de Cartografia
FCT/Unesp – Presidente Prudente**

OUTUBRO/2013

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Generalidades	1
2	COORDENADAS ASTRONÔMICAS	2
3	MÉTODOS DE DETERMINAÇÕES ASTRONÔMICAS	6
3.1	Determinação da Latitude por observação ao Sol	6
3.2	Determinação da Longitude pela Distância Zenital do Sol	12
3.3	Determinação do Azimute por Distância Zenital Absoluta do Sol	17
3.4	Determinação da Latitude pelo Método de Sterneck	22
3.5	Determinação da Longitude	26
3.5.1	Generalidades	26
3.5.2	Determinação da longitude por observação de estrelas em uma posição qualquer, também denominado por Método das Distâncias Zenitais Absolutas	26
3.6	Determinação do azimute	29
3.6.1	Determinação do azimute por distâncias zenitais absolutas de Estrelas	31
3.6.2	Determinação do azimute por estrelas em elongação	33
3.6.3	Determinação do azimute por observação às estrelas em circum-elongação	35
	BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	37

1 INTRODUÇÃO

1.1 Generalidades

O Engenheiro Cartógrafo ou qualquer profissional que trabalhe na área de levantamento e cartografia, em quase todos os seus trabalhos terá que enfrentar o problema de determinar COORDENADAS GEOGRÁFICAS, Latitude $[\varphi]$ e Longitude $[\lambda]$ de pontos da superfície da Terra, como também determinar a direção norte-sul verdadeira. De vários processos poderá ele lançar mão para resolver o problema. A Geodésia por triangulações, trilaterações, poligonações ou rastreadores de satélites poderá fornecer coordenadas geodésicas. A Astronomia através de medidas feitas com teodolito, cronômetro e rádio permite obter com grande precisão tanto as coordenadas como a direção norte-sul verdadeira.

Definição de Astronomia – *“Estudo dos corpos celestes: ciência que trata de sua grandeza, movimentos, posições relativas e todos fenômenos conectivos: conjunto de ciências aplicadas ao estudo do Universo”*.

Astronomia de Campo – *“A finalidade da Astronomia de Campo é determinação das coordenadas geográficas de um ponto qualquer da superfície da Terra e da direção do meridiano que passa por este ponto”*.

A *Astronomia de Posição* é o seguimento da Astronomia que trata da teoria, uso de instrumentos e métodos que nos permitem, a partir da observações ao Sol, à Lua, às Estrelas ou de qualquer outro corpo celeste, a determinação da posição geográfica de um ponto da superfície da Terra, isto é, a Latitude e Longitude desse ponto, assim como o azimute de uma direção terrestre previamente estabelecida no terreno.

Astronomia Prática ou Instrumental – É o seguimento da Astronomia que trata do estudo dos instrumentos astronômicos e de sua utilização.

Astronomia Geodésica – É a parte da Astronomia de Posição que se dedica às determinações de alta-precisão (também denominada de primeira ordem).

2 COORDENADAS ASTRONÔMICAS

Definição: “Quantidade que definem a posição de um ponto sobre o Geóide com relação aos planos do equador e de um meridiano celeste determinado”. São obtidas através da Astronomia de Campo e são elas a latitude (φ) e a longitude (λ).

Latitude Astronômica (φ). É o ângulo formado ^{Paralelo de S} pela vertical do observador e sua projeção sobre o plano do equador, tem variação de 0° a $\pm 90^\circ$, sendo positiva no Hemisfério Norte e negativa no Hemisfério Sul. É a latitude que resulta diretamente das observações astronômicas sem corrigir do desvio da vertical. Pode ser considerada como a altura do pólo elevado.

Longitude Astronômica (λ). É o ângulo diedro formado pelo plano que contém o meridiano de Greenwich e meridiano do observador (que contém a vertical do observador).

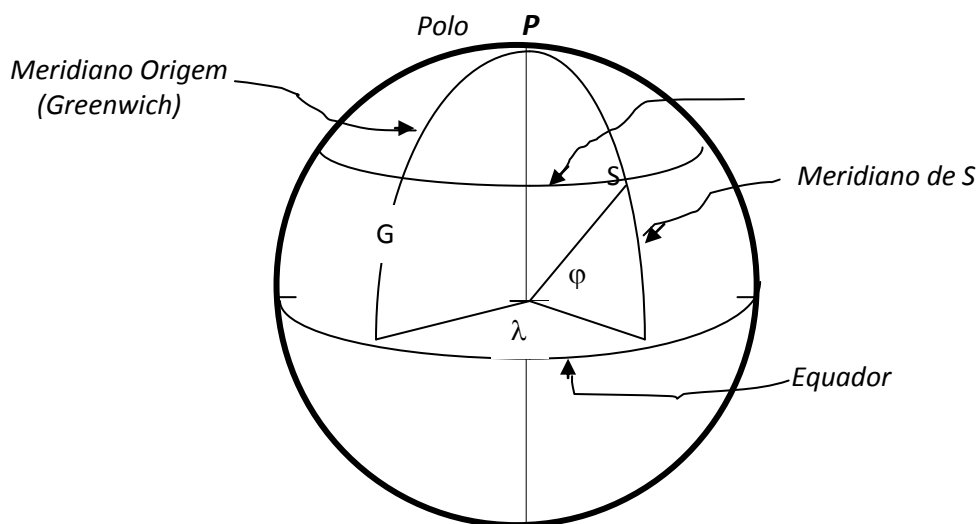


Figura 01 – Coordenadas Astronômicas

Azimute Astronômico (A_z). Azimute Astronômico de uma direção terrestre *É* o ângulo formado pela direção com o meridiano do lugar, isto é, com a direção Sul – Norte do horizonte. É Contado de 0° a 360° a partir do Sul, no sentido S W N E.

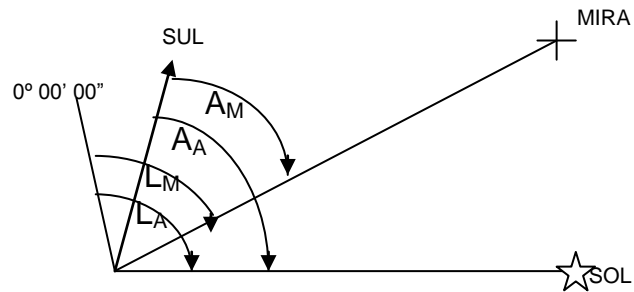


Figura 02 – Azimute da mira

Conforme já mencionamos, o procedimento para a determinação da latitude consiste simplesmente em medir a distância zenital do Sol na passagem meridiana. Há três situações;

- 1 – Pretende-se observar o Sol na passagem meridiana, conhecendo-se o meridiano do observador (para orientar o instrumento);
- 2 – Conhece-se apenas a longitude da estação; e
- 3 – Não se conhece o meridiano e nem a longitude da estação.

Na situação (1), a determinação da latitude será um processo bastante simplificado, simplesmente orienta-se o teodolito, e no momento da passagem meridiana do Sol faz-se a tangência do retículo médio no bordo inferior do Sol. Assim, tem-se a distância zenital do Sol em sua passagem meridiana. Note, que na equação (3.2), deve-se utilizar a distância zenital do Sol corrigida da paralaxe, da refração astronômica, do semi-meridiano do Sol e do pz instrumental, além da necessidade da interpolação da declinação do Sol no instante da passagem meridiana. Dada estas considerações, então além da observação da distância zenital do Sol, tem-se que observar a pressão e temperatura ambiente no instante da passagem meridiana do Sol e também observar a hora legal em que ocorreu a passagem meridiana, pois esta será utilizada na atualização da declinação do Sol para o instante da passagem meridiana.

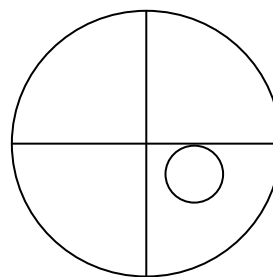
Na situação (2), faz-se um programa de observação ao Sol, ou seja, conhecendo-se a longitude da estação, calcula-se a hora legal da culminação. Assunto já estudado em Tempo em Astronomia, onde por tratar-se de determinações expeditas, pode-se considerar que a culminação dá-se às 12 horas verdadeiras. Calculada a hora legal da culminação, o procedimento para a observação consiste em fazer a tangência no bordo inferior do Sol na hora legal calculada. Para realizar a tangência ao bordo inferior do Sol, aconselha-se em iniciar as observações ao Sol pelo menos 20 min antes do horário previsto para a culminação do Sol. Este procedimento é apenas para familiarizar e treinar o aluno a fazer a tangência ao Sol. Nesta situação (2), deve-se adotar o mesmo procedimento para a realização das correções à distância zenital observada.

Na situação (3), sabe-se que o Sol culmina aproximadamente às 12 horas verdadeiras, ou seja a culminação será por volta das 12 horas legais mais a correção de fuso (visto em Tempo em Astronomia). Assim, para que possa ser garantido que o início das observações seja realizada antes da culminação do Sol, inicia-se as observações as 11h 30min legais, pois neste horário o Sol ainda deve estar em ascensão (subindo). Após instalado e nivelado o Teodolito, com

Observação ao Sol

$$z' = 38^{\circ} 03' 24''$$

$$HI = 12h 32min$$



$$P_i = 968 \text{ mbar}$$

$$T_i = 29^{\circ}\text{C}$$

$$P_f = 961 \text{ mbar}$$

$$T_f = 31^{\circ}\text{C}$$

Dados das efemérides:

$$\delta_{5/08} = 17^{\circ} 04' 58,1''$$

$$\delta_{6/08} = 16^{\circ} 48' 43,0''$$

$$p_o = 8,67''$$

$$SD = 15' 47,48''$$

Cálculos:

Cálculo de p_z

$$p_{z_i} = -11,85''$$

$$p_{z_f} = -5,90''$$

$$p_z \text{ instrumental médio } p_{z_m} = (p_{z_i} + p_{z_f}) / 2$$

$$p_{z_m} = -8,9''$$

Cálculo da Refração atmosférica

$$T_m = (29^{\circ}\text{C} + 31^{\circ}\text{C}) / 2$$

$$T_m = 30^{\circ}\text{C}$$

$$P_m = (968 \text{ mbar} + 961 \text{ mbar}) / 2$$

$$P_m = 964,5 \text{ mbar}$$

$$R'' = 40,52''$$

Cálculo da paralaxe

$$p = 8,67'' \text{ sen } (38^\circ 03' 24'')$$

$$p = 5,34''$$

Cálculo da zenital corrigida

$$z = 38^\circ 03' 24'' - 5,34'' + 40,52'' + 15' 47,48'' - 8,9''$$

$$z = 38^\circ 19' 37,76''$$

Interpolação da declinação do Sol

$$\Delta\delta = (16^\circ 48' 43'' - 17^\circ 04' 58,1'') / 24\text{h}$$

$$\Delta\delta = -40,62''/\text{h}$$

$$\delta = 17^\circ 04' 58,1'' + [(12\text{h } 32\text{min } + 3) (-40,62'')]$$

$$\Delta\delta = 16^\circ 54' 26,98''$$

Cálculo da latitude

$$\varphi = 16^\circ 54' 26,98'' - 38^\circ 19' 37,76''$$

$$\varphi = -21^\circ 25' 10,77''$$

- Cálculo da equação do tempo;
- Cálculo da hora média local;
- Cálculo da hora média de Greenwich; e
- Cálculo da longitude.

Viu-se nas circunstâncias favoráveis para a determinação da longitude, que o momento mais propício a determinação da longitude é quando o astro encontra-se nas proximidades do primeiro vertical, a condição para que o astro passe pelo primeiro vertical é $\delta < \varphi$ (ambos do mesmo hemisfério). O Sol sendo um astro errante, sua declinação varia durante o ano, de aproximadamente $-23^{\circ}07'$ à $+23^{\circ}07'$, o que implica em dizer que não é durante o ano todo que o Sol passa pelo primeiro vertical. Quando o astro está próximo ao primeiro vertical, sua velocidade zenital é máxima, o que implica em dizer que é a situação que a influência de um erro distância zenital será mínimo na determinação do ângulo horário do Sol. Observa-se também que refração astronômica (que é máxima quando o astro está no horizonte) e mínima quando o astro esta culminando. E que a pior situação para a determinação do ângulo horário do Sol em função da distância zenital é quando este está em sua passagem meridiana. Diante do exposto, e por tratar-se de determinação expeditas, aconselha-se observar o Sol quando este encontrar-se afastado duas horas do meridiano local e 2 horas do horizonte (aproximadamente entre 8h 30min e 10h 30min e no período da tarde entre 2h 30min 3 4h 30min).

Exemplo

Observou-se o Sol, para fins de determinação da longitude, conforme esquema abaixo:

HI = 10h 35min 02s

$Z' = 14^{\circ} 23' 39,0''$

T = 22,5°C

P = 898mbar

dados:

F = 3

latitude $20^{\circ} 45' 20''S$

declinação do Sol $15^{\circ} 30' 37''S$

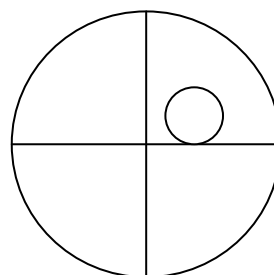
variação horária da declinação $-45,9''/h$

equação do tempo 16min 24,3s

variação horária da equação do tempo $-0,05s/h$

semi diâmetro do Sol $16' 09,4''$

paralaxe horizontal do Sol $8,79''$



pz instrumental 6"

Cálculos

-correção da distância zenital

. refração astronômica

$$R'' = 12,68''$$

. paralaxe $p = 8,794'' \sin 14^\circ 23' 39,0''$

$$p = 2,19''$$

. pz = 6"

. distância zenital corrigida

$$z = 14^\circ 23' 39,0'' - 2,19'' + 12,68'' - 16' 09,4'' + 6''$$

$$z = 14^\circ 07' 46,09''$$

-interpolação da declinação

$$\delta = -15^\circ 30' 37'' + [(10h 35min 02s + 3) \times (-45,9''/h)]$$

$$\delta = -15^\circ 41' 00,5''$$

- cálculo do ângulo horário do Sol

$$\cos H = 0,970 745 241$$

$$H = 13^\circ 53' 35,29''$$

$H = 0h 55min 34,35s$, a observação deu-se no período da manhã, então,

$$H = -0h 55min 34,35s$$

- cálculo da hora verdadeira

$$V = 12\text{h} - 0\text{h } 55\text{min } 34,35\text{s}$$

$$V = 11\text{h } 04\text{min } 25,64\text{s}$$

- cálculo da hora média local no instante da observação

$$M = V - [Eo + (HI + F) \square Eo]$$

$$M = 11\text{h } 04\text{min } 25,64\text{s} - [16\text{min } 24,3\text{s} + (10\text{h } 35\text{min } 02\text{s} + 3\text{h}) (-0,05\text{s/h})]$$

$$M = 10\text{h } 48\text{min } 02,01\text{s}$$

- cálculo da hora média de Greenwich no instante da observação

$$MG = 10\text{h } 35\text{min } 02\text{s} + 3\text{h}$$

$$MG = 13\text{h } 35\text{min } 02\text{s}$$

- cálculo da longitude

$$\lambda = 10\text{h } 48\text{min } 02,01\text{s} - 13\text{h } 35\text{min } 02\text{s}$$

$$\lambda = -2\text{h } 46\text{min } 59,98\text{s}$$

3.3 Determinação do azimute por distâncias zenitais do Sol

Determinar o meridiano (azimute) significa materializar no terreno a linha norte-sul verdadeira (meridiano). Na realidade não há a necessidade de se materializar no terreno a direção norte-sul, é mais comum e prático determinar o ângulo que o meridiano forma com uma direção definida no campo (azimute da mira).

Na determinação do azimute de uma mira, o astro porta-se como um alvo no qual eu “conheço” seu azimute. A questão praticamente se resume em transportar o azimute do astro para a mira (transporte de azimute), onde, o azimute do astro é determinado em função da distância zenital observada (e corrigida). Então, deduz-se que ao observar o astro, tem-se que simultaneamente determinar os ângulos horizontal e distância zenital do astro. Pois com a distância zenital determina-se o azimute do astro (comparando com o transporte de azimute topográfico, o astro seria o azimute à ré, o qual vou transporta-lo ao ponto da vante).

A figura abaixo nos proporciona a visualização esquemática do azimute do astro AM, azimute da mira AM, leitura do ângulo horizontal da mira LM e leitura do ângulo horizontal do astro LA.

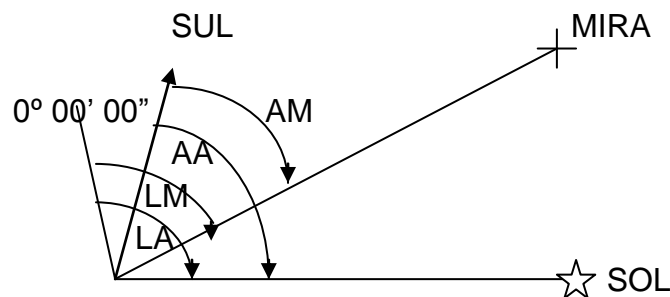


Figura 38 – Azimute da mira

Da Figura 38, tem-se:

$$A_{MIRA} = A_{SOL} - (L_{SOL} - L_{MIRA}) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3.16$$

ou

$$A_{MIRA} = A_{SOL} + L_{MIRA} - L_{SOL} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3.17$$

O azimute do astro pode ser calculado, com auxílio do triângulo de posição e da trigonometria esférica, tem-se:

Exemplo

Com a finalidade de se determinar o azimute de uma direção, visou-se o Sol, conforme esquema abaixo,

Local F = 3h

latitude $-20^{\circ} 45' 20''$

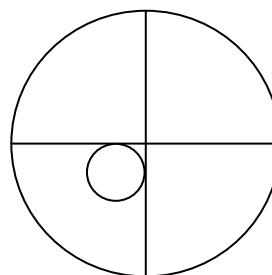
$\delta_o = 20^{\circ} 04' 16''$

$\Delta\delta_o = 30,9''/h$

SD = $15' 49,7''$

$\rho_o = 8,794''$

$\rho_z = -4,08''$



Visada à mira CE $95^{\circ} 32' 54''$

HI = 14h 28min 00s

$H_z = 186^{\circ} 36' 22''$

T = 12°C

P = 924 mbar leitura horizontal leitura zenital temperatura pressão

- calculos

. cálculo da distância zenital

$\rho = 6,59''$

$R'' = 59,67''$

$z = 48^{\circ} 49' 01,70''$

.interpolação da declinação

$$\delta = 20^{\circ} 13' 15,72''$$

.azimute do Sol

$$A_{\text{SOL}} = 145^{\circ} 21' 21,82''$$

Ps. A observação foi realizada no período da tarde, então o azimute do Sol será do primeiro ou segundo quadrante.

.cálculo de L_{SOL} e L_M

$$L_M = 95^{\circ} 32' 54''$$

$$L'_{\text{SOL}} = 186^{\circ} 36' 22''$$

$$L_{\text{SOL}} = 186^{\circ} 15' 20,17''$$

. cálculo do azimute da mira

$$A_M = A_{\text{SOL}} + L_M - L_A$$

$$A_M = 54^{\circ} 38' 55,65''.$$

3.4 Determinação da Latitude pelo Método de Sterneck

Este método (de grande simplicidade quer quanto as operações de campo, quanto aos cálculos), consiste em observar duas estrelas em suas passagens meridianas, uma ao sul e outra ao norte do zênite, e nessas passagens mediar suas distâncias zenitais.

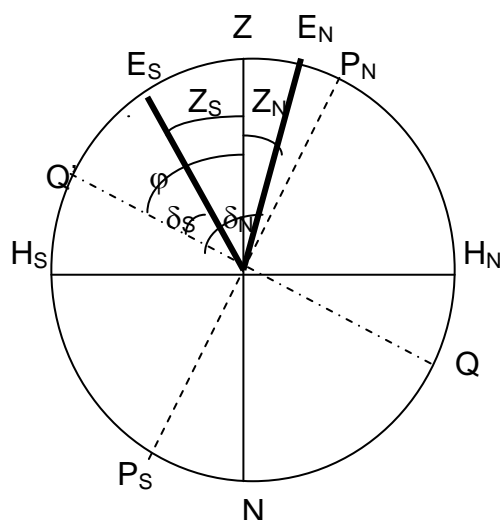


Figura 06 – Determinação da latitude por Sterneck

Na figura tem-se:

E_N – Estrela ao norte do zênite;

E_S – Estrela ao sul do zênite;

Z – Zênite;

N – Nadir;

P_S – Polo sul;

P_N – Polo norte;

QQ' – Equador celeste;

φ -- Latitude do ponto;

z_S – Distância zenital da estrela ao sul do zênite;

z_N – Distância zenital da estrela ao norte do zênite;

δ_S – Declinação da estrela ao sul do zênite; e

δ_N – Declinação da estrela ao norte do zênite.

Observando a figura, tem-se:

$$\varphi = \delta_S + z_S \quad .$$

$$\varphi = \delta_N - z_N$$

Somando as expressões acima, tem-se:

$$\varphi = \frac{\delta_S + \delta_N}{2} + \frac{z_S - z_N}{2} \quad 3.25$$

Considerando as condições reais de observações, deve-se considerar, na distância zenital, a influência da refração astronômica e a influência do ponto zenital do instrumento (p_z). Tem-se então:

$$z_S = z'_S + p_z + R_S \quad 3.26$$

$$z_N = z'_N + p_z + R_N \quad 3.27$$

Onde:

- z'_S – Leitura da distância zenital da estrela ao sul do zênite;
- z'_N – Leitura da distância zenital da estrela ao norte do zênite;
- p_z – Ponto zenital do instrumento;
- R_S – Refração astronômica da estrela ao sul do zênite; e
- R_N – Refração astronômica da estrela ao norte do zênite.

Substituindo as equações 12 na equação 11, tem-se:

$$\varphi = \frac{\delta_S + \delta_N}{2} + \frac{z'_S - z'_N}{2} + \frac{R_S - R_N}{2} \quad 3.28$$

Esta é a expressão que nos fornece a latitude do ponto pelo método de Sterneck.

A maior influência dos erros sistemáticos na determinação da latitude deve ao fato da refração astronômica não ser perfeitamente conhecida. No método de Sterneck, utiliza-se a diferença da influência causada pela refração atmosférica. Então, na expressão que corrige o p_z , e a refração, um par de estrelas é observado com a mesma distância zenital (z'), vê-se que o último termo da expressão se anulará, pois a influência da refração astronômica da estrela ao sul do zênite será a mesma da estrela ao norte.

Em determinações astronômicas da latitude, o caso acima dificilmente ocorre. Então para minimizar estas influências, visando obter resultados de alta precisão, algumas restrições são impostas ao método. Tais restrições são:

- 1 – As distâncias zenitais observadas, preferencialmente deve ser menor que 45° ;
- 2 – A diferença entre as distâncias zenitais das estrelas de cada par não deve exceder 15° ;
- 3 – O intervalo de tempo decorrido, entre a observação da estrela ao sul e da estrela ao norte do zênite, não deve exceder a 20 minutos; e
- 4 – Deve-se observar 3 grupos de estrelas, onde cada grupo de estrelas contém 8 estrelas (quatro pares).

Elaboração do programa de observação

A elaboração da lista de estrelas, devem ser consideradas as restrições impostas ao método (isto com a finalidade de alcançar resultados de precisão). Para o caso, faz-se necessário o conhecimento aproximado das coordenadas da estação onde serão efetuadas as observações, ou seja, a latitude, a longitude e o meridiano local.

Calculada a hora sideral do início das observações escolhe-se em um catálogo de estrelas, estrelas que possuam ascensão reta maior que esta hora calculada, pois a ascensão reta é igual, em valor numérico, à hora sideral em que a estrela cruza o meridiano local.

. Cálculo da distância zenital

Para que a distância zenital a ser observada seja menor que 45° , utilizando-se das equações abaixo, tem-se:

$$\begin{aligned} \delta_S &> \varphi_0 - 45^\circ \\ &e \\ \delta_N &< \varphi_0 + 45^\circ \end{aligned}$$

Onde, φ_0 é a latitude da estação.

Calculado os limites de declinação das estrelas, escolhe-se no catálogo estelar, as estrelas que estejam neste intervalo de declinação. Deve-se estar atento para que todas as condições (01, 02 e 03) sejam satisfeitas simultaneamente.

Operações de campo

Estando o instrumento (teodolito) instalado e nivelado sobre o ponto, faz-se a orientação do mesmo, ou seja, o eixo de colimação do teodolito paralelo ao meridiano local. Para que possam ser alcançados resultados de precisão, a orientação do instrumento pode ter um erro máximo de $3'$ (três minutos de arco).

Em um relógio auxiliar, aqui denominado de relógio piloto, no instante da hora legal do início das observações, registra-se a correspondente hora sideral. No início e no término das observações de cada grupo de estrelas, fazer as leituras de pressão e temperatura. Aproximadamente 3 minutos antes da hora sideral (prevista para observação da primeira estrela), a estrela deve “adentrar” no campo ótico da luneta. Acompanha-se a estrela, de maneira que a mesma fique sobre o retículo médio horizontal, no instante em que a estrela “cruzar” o retículo vertical, anota-se a distância zenital. Repete este procedimento para cada estrela a ser observada. Note: na equação 13 não há a necessidade do conhecimento do p_z instrumental, pois ao efetuarmos a

subtração ($z'_S - z'_N$), o p_z sendo independente da estrela a ser observada, desaparece.

Cálculo

- Inicialmente, faz-se a interpolação da declinação de todas as estrelas observadas;
- Cálculo da refração astronômica das estrelas (para cada estrela);
- Cálculo da latitude para cada par de estrelas;
- Cálculo da média aritmética das latitudes e erro médio quadrático da média para cada grupo de estrelas observadas; e
- Cálculo da média aritmética e erro médio quadrático dos grupos de estrelas.

3.5 Determinação da longitude

3.5.1 Generalidade

Longitude astronômica de um lugar é o ângulo entre o plano do meridiano astronômico médio de Greenwich, medido sobre o plano do equador. Sua determinação está fundamentada na equação:

$$\lambda = H_L - H_G$$

Onde a hora local (H_L) é determinada por observações astronômicas e a hora astronômica de Greenwich (H_G) é a transmitida pelos principais observatórios do mundo através das ondas de rádio, em forma de sinais horários.

Normalmente, na Astronomia “não se acerta” o relógio (cronômetro) com um sistema de horas, e sim determina-se o estado do cronômetro (E), isto é, a diferença da hora astronômica e a hora cronométrica (T), correspondente ao mesmo instante físico.

Surge assim a definição de estado absoluto como sendo a diferença entre a hora astronômica local e a hora cronométrica T , ou seja:

$$E = H_L - T$$

O estado relativo (E') como sendo a diferença entre a hora astronômica de Greenwich e a hora cronométrica (T), isto é:

$$E' = H_G - T$$

Considerando as equações acima, tem-se:

$$\lambda = E - E'$$

3.5.2 *Determinação da longitude por observação de estrelas em uma posição qualquer, também denominado por Método das Distâncias Zenitais Absolutas*

Conforme estudado em Circunstâncias Favoráveis às Determinações Astronômicas, a circunstância favorável à determinação da longitude (do ângulo horário) em função da distância zenital do astro, é que o mesmo esteja nas proximidades do primeiro vertical ($A = 90^\circ$ ou $A = 270^\circ$).

Vimos que podemos obter a hora sideral, calculando-se o ângulo horário do astro e somando-se com a sua ascensão reta ($S = \alpha + H$). O método

$$S_3 = \alpha + 14 \implies HI_3 \quad HI_3 < \text{horário da observação} < HI_4$$

$$S_4 = \alpha + 22 \implies HI_4$$

Seqüência de cálculos

. cálculo do p_z instrumental:
$$p_z = 180^\circ - \frac{CE + CD}{2} ;$$

. cálculo da refração astronômica
$$R'' = 16,27 \operatorname{tg} z' \frac{P_{\text{mbar}}}{T_{\text{OK}}}$$

. zenital corrigida
$$z = z' + R + p_z$$

. interpolação da declinação da estrela

. cálculo do azimute da estrela
$$\cos A = \frac{\operatorname{sen} \varphi \cos z - \operatorname{sen} \delta}{\cos \varphi \operatorname{sen} z}$$

. cálculo do azimute da mira
$$A_{\text{MIRA}} = A_{\text{ASTRO}} + L_{\text{MIRA}} - L_{\text{ASTRO}}$$

. cálculo do erro médio quadrático da média
$$m = \pm \sqrt{\frac{\sum v v}{n(n-1)}}$$

Ainda, na expressão 3.36, o azimute do astro sempre será do primeiro ou quarto quadrante, jamais será do terceiro ou do segundo quadrante, pois já vimos que astro que elonga não passa pelo primeiro vertical ($A=90^\circ$ ou 270°).

elaboração da lista de estrelas

Para observar estrelas em elongação, faz-se necessário a elaboração de uma lista de estrelas, e esta deve conter: n° da estrela; brilho da estrela; sideral; distância zenital; e o azimute da estrela em elongação.

procedimento para observação

Na elongação, a estrela possui velocidade azimutal nula (assim, na elongação a estrela percorre o retículo vertical).

- 1 – Instala-se e nivela-se o teodolito;
- 2 – Orientar o instrumento;
- 3 – Apontar para a mira a fazer a leitura da mira L_M ;
- 4 – Registrar no teodolito os elementos de calagem da estrela;
- 5 – Aproximadamente 3 minutos antes do horário previsto, a estrela deve “adentrar” no campo ótico da luneta;
- 6 – No horário previsto (quando a estrela cruzar o retículo horizontal) fazer com que o retículo vertical esteja sobre a estrela, fazer a leitura do ângulo azimutal L_A ;
- 7 – Visar novamente a mira e fazer a L_M ; e
- 8 – Repetir os passos 3, 4, 5, 6 e 7 para todas as estrelas observadas.

seqüência de cálculo

- a – Interpolação da declinação da estrela observada para o horário das observação;
- b – Cálculo do azimute da estrela (fórmula 8.32);
- c – Cálculo do azimute da mira (fórmula 12.6);
- d – Cálculo da média do azimute da mira; e
- e – Cálculo do erro médio quadrático da média.

3.6.3 Determinação do azimute por observação às estrelas em circun- elongação

Este método é semelhante ao da elongação, porém, não observa-se a estrela no instante da elongação, e sim momentos antes e momentos após a elongação, devido a este fato é que o método é denominado de circun-
elongação. Pelo fato das estrelas serem observadas antes e depois da elongação, deve-se fazer pelo menos três observações antes da elongação e três após a elongação.

técnica do método

Consiste em observar uma estrela próxima da elongação, na observação registrar o instante cronométrico e o ângulo azimutal da estrela L_A .

procedimento de observação

- 1 – instala-se e nivela-se o teodolito;
- 2 – apontar para a mira e registrar o azimute aproximado da mira (orientar o teodolito);
- 3 – fazer a pontaria à mira, ler o ângulo horizontal da mira L_M ;
- 4 – registrar no teodolito os elementos de calagem da estrela;
- 5 – aproximadamente 4 minutos antes da hora prevista, a estrela deverá “adentrar” no campo ótico da luneta;
- 6 – Faz-se a pontaria à estrela antes da elongação, observa-se o instante cronométrico no momento que a estrela “cruze” o retículo vertical. Após a elongação, faz-se novamente a pontaria à estrela e observa-se o instante cronométrico. O número de observação à estrela antes de sua elongação deve ser igual ao número de observação após sua elongação; e
- 7 - repetir os passos 3, 4, 5 e 6 para todas as estrelas observadas.

seqüência de cálculo

- a – interpolação da declinação e ascensão reta da estrela observada;
- b – cálculo do ângulo horário e azimute da estrela no instante da observação

$$S = S_o + \lambda + (Hl + F) \times 1,002737909$$

$$S = \alpha + H \Rightarrow H = S - \alpha$$

$$tgA = \frac{\text{sen}H}{\text{sen} \varphi \cos H - \cos \varphi \text{tg} \delta}$$

c – cálculo do azimute da mira

$$A_M = A_A + L_M - L_A$$

d – cálculo do erro médio quadrático da média

$$m = \pm \sqrt{\frac{\sum v v}{n(n-1)}}$$

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ARANA, J. M., Comparação de métodos na Astronomia de alta precisão: Mayer, Sterneck e determinação simultânea. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geociências, Universidade Federal do Paraná UFPR. Curitiba, 1991.

_____, Astronomia de Posição. Departamento de Cartografia. Faculdade de Ciências e Tecnologia – FCT/Unesp Campus de Presidente Prudente, 2000.

BARDINI, Z. J. Comparação de métodos de segunda ordem para determinação da posição geográfica. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geociências. Universidade Federal do Paraná UFPR. Curitiba. 1985.

BARRETO, L. M. Astronomia Geral. Publicações do Observatório Nacional. Rio de Janeiro. 1984

CLEMENCE, G.M. and WOOLARD. E. W. Spherical Astronomy. Academic Press. New York. 1966.

COSTA, S.M.A., Projeto Pró-Astro. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geociências, Universidade Federal do Paraná UFPR. Curitiba. 1988.

DOMINGUES, F. A. A. Astronomia de Posição. Escola Politécnica. Universidade de São Paulo USP. São Paulo. 1986.

FERRAZ. A. S., e SILVA, A. S. Astronomia de Campo. Imprensa Universitária da Unverdidade Federal de Viçosa MG. Viçosa. 1986.

FRANCO, L. C. S. Determinação da latitude, longitude e azimute de uma direção terrestre por observações do Sol com emprego de sinais horários contínuos. Seminários apresentado ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná UFPR. Curitiba. 1985

GEMAEL, C. Introdução à Astronomia Esférica. Diretório Acadêmico do Setor de Tecnologia. Universidade Federal do Paraná UFPR. Curitiba. 1981.

_____. Astronomia Esférica. Diretório Acadêmico do Setor de Tecnologia. Universidade Federal do Paraná UFPR. Curitiba. 1981.

HATSCHBACK, F. Redução de Coordenadas Celestes e Identificação de Estrelas em Catálogos Gravados em Fitas Magnéticas. Programas em Linguagem FORTRAN IV. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná UFPR. Curitiba. 1975.

_____. Tempo em Astronomia. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Departamento de Geociências. Setor de Tecnologia. Universidade Federal do Paraná UFPR. Curitiba. 1979.

_____. Determinações Astronômicas. Diretório Acadêmico do Setor de Tecnologia. Universidade Federal do Paraná UFPR. Curitiba. 1881.

TALIBERTI, L. Azimutes por circum – elongações em função de diferenças de distâncias zenitais. Instituto Geográfico e Geológico. São Paulo. 1962

MUELLER, I. I. Spherical and Pratical Astronomy as Applied to Geodesy. Frederick Ungar Publishing CO. New York. 1977.