

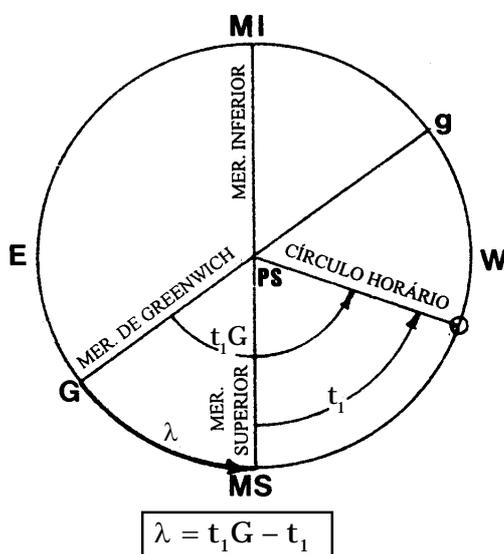
26

DETERMINAÇÃO ISOLADA DA LONGITUDE NO MAR. CÁLCULO DA LONGITUDE POR OCASIÃO DA PASSAGEM MERIDIANA DO SOL (LONGITUDE POR ALTURAS IGUAIS)

26.1 CIRCUNSTÂNCIAS FAVORÁVEIS PARA DETERMINAÇÃO DA LONGITUDE

A **Longitude** é obtida da comparação de horas homogêneas num mesmo instante, sendo essas horas referidas, respectivamente, ao meridiano de Greenwich e ao meridiano local.

Figura 26.1



A comparação dos ângulos no pólo do Sol, em Greenwich e no local, fornece, portanto, a Longitude, como pode ser verificado pela figura 26.1.

O ângulo no pólo do Sol em Greenwich (t_1G) é obtido no Almanaque Náutico, em função da Hora do Cronômetro, regulado para aquele meridiano; e o ângulo no pólo local do Sol (t_1) é dado pela resolução do triângulo esférico de posição, através da fórmula fundamental:

$$\cos z = \cos c \cdot \cos p + \text{sen } c \cdot \text{sen } p \cdot \cos t_1$$

Onde:

z = distância zenital do Sol ($z = 90^\circ - a$)

c = colatitude ($c = 90^\circ - \varphi$)

p = distância polar do Sol ($p = 90^\circ \pm \text{Dec.}$)

t_1 = ângulo no pólo (ângulo no pólo local) do Sol

A Astronomia Náutica nos ensina, conforme demonstrado no Apêndice a este Capítulo, que são circunstâncias favoráveis para determinação da Longitude:

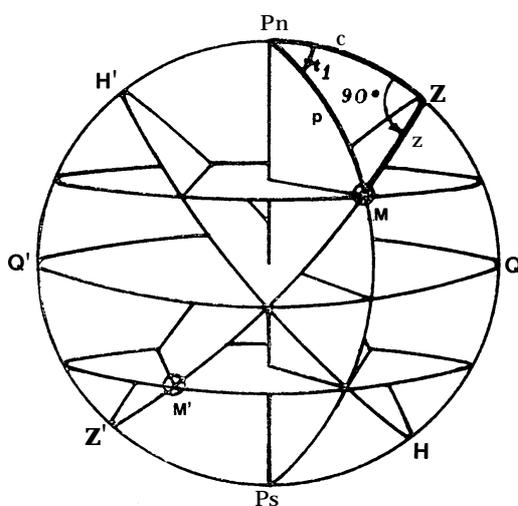
- Observação de astro no instante do corte do 1º vertical;
- observação de astro em elongação máxima, ou máxima digressão;
- observação de astros com pequena Declinação, como, por exemplo, o Sol; e
- observador em baixas Latitudes.

No que se refere ao corte do primeiro vertical, é oportuno recordar que vertical de um astro é o círculo máximo da Esfera Celeste que, num determinado instante, contém a linha Zênite–Nadir e o astro, sendo, portanto, perpendicular ao plano do horizonte. Denomina-se **primeiro vertical** o **vertical perpendicular ao meridiano do observador** e que, assim, contém os pontos E e W do horizonte.

No “triângulo de posição”, o Ângulo no Zênite (Z) é definido como o ângulo entre o meridiano do observador e o vertical do astro, contado de 000° a 180° para Leste ou para Oeste, a partir do pólo elevado. Por outro lado, o Azimute Verdadeiro (A ou Az) do astro é o ângulo entre o meridiano do observador e o vertical do astro, contado de 000° a 360° , no sentido N–E–S–W, a partir do ponto N do horizonte (projeção, no plano do horizonte, do Pólo Norte Celeste).

Desta forma, quando um astro cruza o primeiro vertical, tem-se $Z = 90^\circ$, isto é, o “triângulo de posição” é retângulo no Zênite do observador (ver a figura 26.2). Nesta situação, o Azimute Verdadeiro (A ou Az) do astro poderá ser 090° ou 270° .

Figura 26.2 – Corte do Primeiro Vertical ($Z = 90^\circ$)



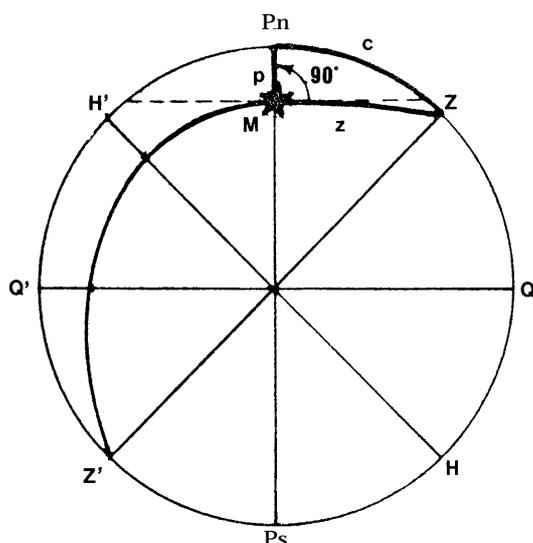
Como a linha de posição astronômica (LDP), ou reta de altura, é perpendicular ao Azimute do astro, em ambos os casos a LDP terá a direção 000° – 180° , ou seja, N–S, definindo com precisão a **Longitude do observador**.

No Apêndice a este Capítulo, apresentam-se as condições para que haja corte do 1º vertical, ficando demonstrado que, para que isto ocorra, a Latitude do observador e a Declinação do astro devem ser de mesmo nome e de valores tais que $\varphi > \delta$. No Apêndice também é explicado como prever a hora e a altura do corte do 1º vertical.

Outra circunstância favorável para determinação da Longitude é, como vimos, a observação de astro em elongação máxima ou máxima digressão. Quando um astro, em seu movimento diurno, percorrendo seu paralelo de declinação (ou círculo diurno), não cruza o primeiro vertical, o ideal para determinação da Longitude é observá-lo no ponto de afastamento máximo do meridiano do observador.

Consideremos, na figura 26.3, um astro M que não corta o primeiro vertical em seu movimento diurno. À medida que M descreve seu círculo diurno em torno de Pn, seu Ângulo no Zênite (Z) varia entre 0° e um valor máximo (Z max), para Leste e para Oeste do meridiano do observador. Quando o Ângulo no Zênite alcança seu valor máximo (Z=Z max), diz-se que o astro está em elongação máxima, ou máxima digressão. No momento da elongação máxima, o vertical do astro é tangente ao círculo diurno por ele descrito, daí resultando tornar-se o “triângulo de posição” retângulo no astro M. Portanto, na máxima digressão do astro, o ângulo paralático (Ap) é igual a 90° (ver a figura 26.4).

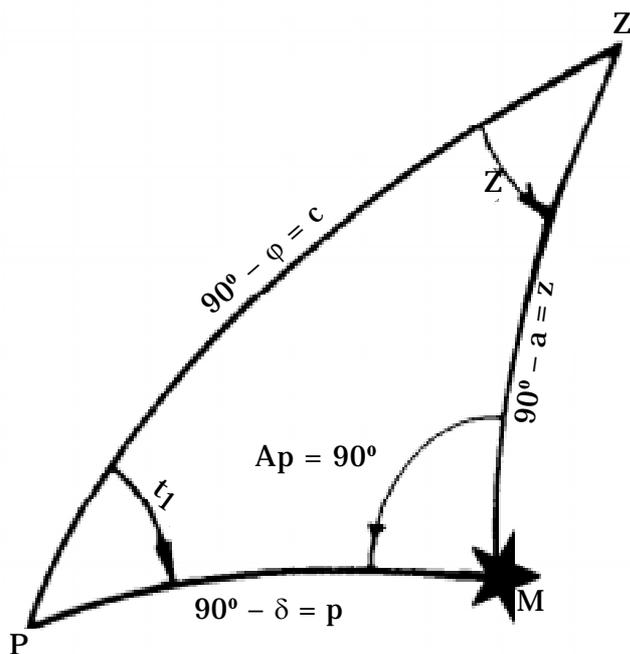
Figura 26.3 – Máxima Digressão ou Elongação Máxima



No Apêndice é mostrado que, para haver máxima digressão, a Latitude do observador e a Declinação do astro devem ser de mesmo nome e terem valores tais que $\varphi \leq \delta$. Além disso, a previsão da hora e da altura da máxima digressão também é explicada no Apêndice.

A outra circunstância favorável para determinação da Longitude (observação de astros com pequena Declinação) é aproveitada pelo navegante observando o Sol, pela manhã e à tarde, para obtenção de uma linha de posição que lhe indique sua Longitude.

Figura 26.4 – Triângulo de Posição Retângulo no Astro (Ap = 90°)



Na prática da Navegação Astronômica, não é necessário, obrigatoriamente, efetuar a previsão da hora e da altura em que o Sol cortará o primeiro vertical ou estará em máxima digressão (elongação máxima), fenômenos que, ademais, só ocorrem quando a Latitude do observador e a Declinação do astro são de mesmo nome. Basta, pela manhã, observar o Sol quando ainda esteja bem a Leste (cerca de 1 a 2 horas depois de nascer) e já suficientemente alto (altura > 15°), para evitar os erros e incertezas causadas pela refração. À tarde, observar com o Sol bem a Oeste (cerca de 1 a 2 horas antes do ocaso) e ainda suficientemente alto (a > 15°), pelas mesmas razões acima citadas. Dessas observações resultará uma Longitude de bastante confiança.

26.2 CÁLCULO DA LONGITUDE

Na moderna Navegação Astronômica já não mais se cogita do cálculo isolado da Longitude no mar. Conforme visto, recomenda-se ao navegante que observe o Sol pela manhã, tão próximo quanto possível do corte do 1º vertical (ou em máxima digressão, se for o caso), e que transporte a reta de altura obtida para cruzá-la com a meridiana; à tarde, no instante em que as circunstâncias favoráveis para o cálculo da Longitude novamente se apresentem, que torne a observar o Sol, de modo a obter uma posição que seja definida pelo cruzamento da reta de altura resultante desta observação com a meridiana transportada.

Contudo, se for desejado efetuar o cálculo isolado da Longitude, o seguinte procedimento é recomendado:

a. Observa-se o astro em condições favoráveis para a determinação da Longitude, registrando a Hora do Cronômetro e a altura instrumental;

b. obtêm-se, do Almanaque Náutico, a Declinação e o AHG do astro correspondentes à HMG da observação;

c. retiram-se da carta as coordenadas geográficas da posição estimada do navio no instante da observação;

d. calcula-se o valor do ângulo no pólo local do astro (t_1), resolvendo o “triângulo de posição” em função da Latitude estimada do observador, Declinação e altura do astro, através da fórmula:

$$\cos t_1 = \frac{\text{sen } a}{\cos \varphi \cdot \text{sen } p} - \frac{\text{tg } \varphi}{\text{tg } p}$$

Onde, como vimos:

a = altura verdadeira do astro

p = distância polar do astro ($90^\circ \pm \text{Dec.}$)

φ = Latitude estimada do observador; e

e. conhecidos os valores do ângulo no pólo local (t_1) e do ângulo horário em Greenwich (AHG) do astro, deduz-se a Longitude.

EXEMPLO:

Às 09^h 26^m 28,0^s do dia 08 de novembro de 1993, tomou-se a altura do Sol pela manhã. Calcular a Longitude do observador, tendo em vista os seguintes dados, correspondentes ao instante da observação:

$$\begin{aligned} \varphi_e &= 39^\circ 00,0' \text{ S}; & a_i &= 26^\circ 20,6' \text{ (limbo inferior); } e_i = -2,0' \\ \lambda_e &= 049^\circ 50,0' \text{ W}; & E_a &= +01^h 01^m 20,0^s; & \text{Elev} &= 10 \text{ metros} \end{aligned}$$

SOLUÇÃO:

$$\begin{aligned} \text{HCr} &= 09^h 26^m 28,0^s \\ E_a &= + 01^h 01^m 20,0^s \\ \hline \text{HMG} &= 10^h 27^m 48,0^s \quad (\text{Hleg} = 0728) \end{aligned}$$

c. Obtidos com antecedência estes valores de hora e altura, o Sol seria observado por ocasião da sua passagem pelo 1º vertical, para aproveitar a circunstância favorável para a determinação da Longitude.

26.3 PLOTAGEM DA RETA DA MANHÃ E DA RETA DA TARDE (RETAS DE LONGITUDE DO SOL)

Como vimos, qualquer reta de altura (LDP astronômica) resultante da observação de um astro no momento em que seu Azimute seja E ou W permite determinar a **Longitude** (pois a linha de posição, perpendicular ao Azimute do astro, coincidirá com o meridiano).

Ademais, foi mencionado que, na prática da Navegação Astronômica, normalmente não se efetua o cálculo isolado da Longitude. Em vez disso, observa-se o Sol pela manhã e à tarde, o mais próximo possível das circunstâncias favoráveis para determinação da Longitude, e calcula-se a reta de altura pelos processos usuais de resolução do triângulo de posição, obtendo-se os elementos determinativos da LDP: diferença de altura ($\Delta a = a - ae$) e Azimute Verdadeiro (A) do astro. Com estes elementos e a posição estimada correspondente ao instante da observação, plota-se, na carta, folha de plotagem ou gráfico para retas de altura e série de observações, a LDP determinada. No caso da **reta da manhã**, a mesma será posteriormente transportada para cruzamento com a Latitude meridiana, a fim de definir a posição ao meio dia (verdadeiro). A Latitude meridiana, por sua vez, é transportada para a hora de observação da **reta da tarde**, a fim de proporcionar uma nova posição do navio. Nos capítulos seguintes serão ilustrados os métodos de solução do triângulo de posição, cálculo dos elementos determinativos da reta de altura e plotagem da LDP.

Entretanto, vale ilustrar tais procedimentos, calculando e plotando a LDP resultante da observação do Sol descrita no item 26.2.

Conforme dados do problema ou cálculos efetuados na solução do exemplo anterior, tínhamos:

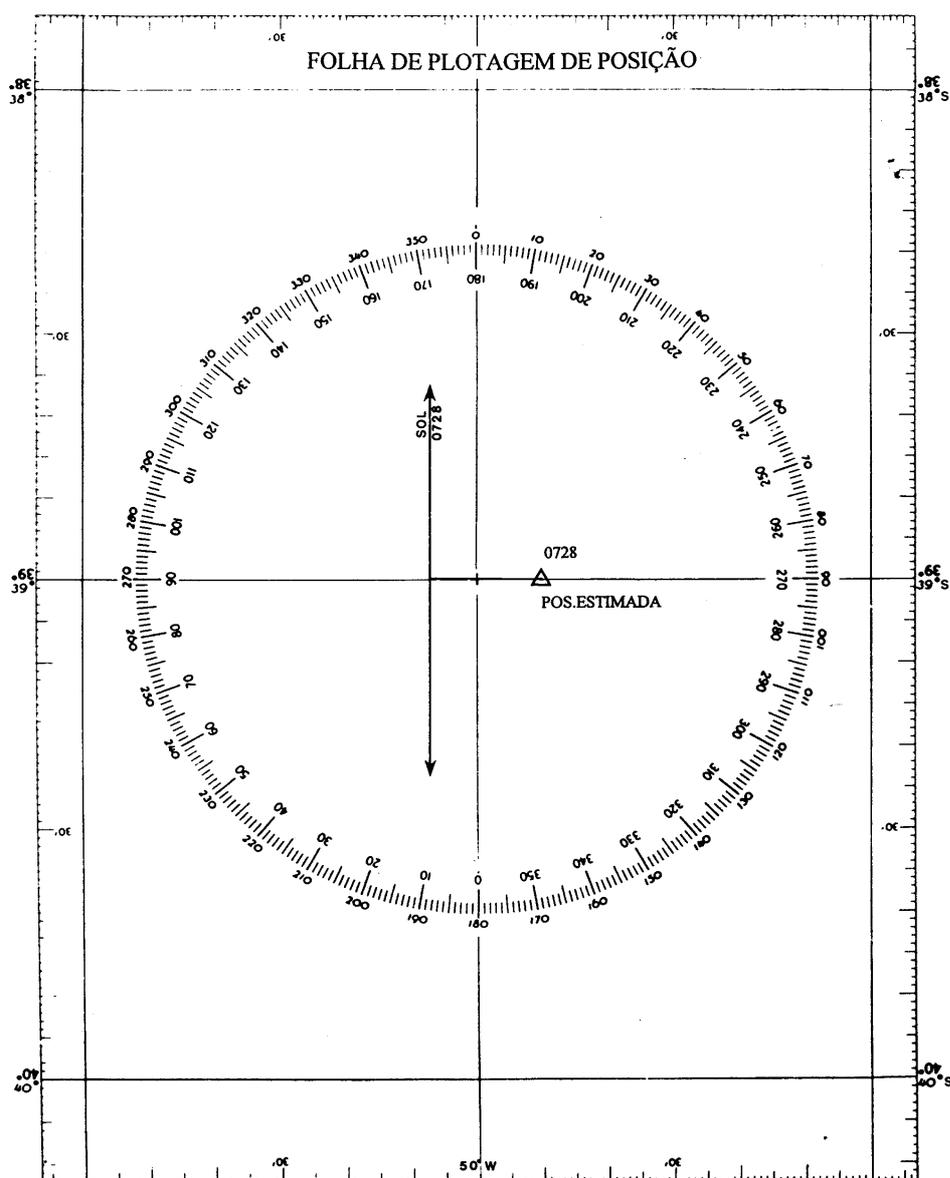
$$\begin{aligned} \text{HMG} &= 10^{\text{h}} 27^{\text{m}} 48,0^{\text{s}} \text{ (Hleg 0728)} \\ \text{AHG}_{\odot} &= 341^{\circ} 00,3' \quad ; \quad \text{Dec} = 16^{\circ} 38,2' \text{ S} \\ a &= 26^{\circ} 27,3' \\ \varphi_e &= 39^{\circ} 00,0' \text{ S}; \quad \lambda_e = 049^{\circ} 50,0' \text{ W} \end{aligned}$$

Com estes elementos, obtêm-se, pelo uso de Tábuas Astronômicas (Radler, PUB.229, etc.) ou por calculadora eletrônica, os **elementos determinativos da reta de altura**: $\Delta a = -13,6'$; $Az = 090,3^{\circ}$.

Em seguida, plota-se a reta de altura, conforme mostrado na figura 26.5.

A Longitude obtida pelo processo gráfico (plotagem da reta de altura), coincide com a determinada pelo cálculo. Ademais, o valor do Azimute Verdadeiro ($Az = 090,3^{\circ}$) comprova que o astro foi observado nas proximidades do corte do 1º vertical.

Figura 26.5 - Plotagem da Reta de Longitude



26.4 RECOMENDAÇÕES PARA OBSERVAÇÃO DA RETA DA MANHÃ E DA RETA DA TARDE

a. A observação do Sol pela manhã é destinada a fornecer uma reta de Longitude, a fim de ser transportada e cruzada com a Latitude meridiana. Para que ela satisfaça o objetivo visado, é conveniente observar o Sol em circunstâncias favoráveis para determinação da Longitude, isto é, quando o astro **corta o 1º vertical** ou está na **máxima digressão** (para Latitude e Declinação de mesmo nome). Quando a Latitude e a Declinação são de nomes contrários, a circunstância mais favorável é quando o astro está no seu **afastamento máximo do meridiano**, o que ocorre com o Sol próximo do horizonte. Em qualquer caso, entretanto, só observar a reta da manhã quando o Sol estiver suficientemente alto ($a > 15^\circ$), para evitar os erros causados pela refração.

b. A observação do Sol com menos de 15° de altura só deve ser feita quando a necessidade de uma LDP é premente, embora admitindo-se um erro de algumas poucas milhas.

c. Um observador com pouca prática não deve se contentar com uma única observação, sendo sempre aconselhável a medição de uma **série de alturas**, especialmente quando houver dificuldades para efetuar uma colimação (tangência do astro com o horizonte) e balanceamento precisos, em virtude de condições severas do mar, rajadas de vento e/ou horizonte mal definido (que tornam uma observação isolada difícil). A observação de uma série de alturas trará, além de maior segurança e confiança, um importante treinamento para a fixação do critério pessoal do observador. Ademais, permitirá que se critique, em tempo real, as medições de altura efetuadas. Por exemplo, na observação da **reta da manhã**, com o astro a Leste, as alturas do Sol medidas na série devem ir aumentando sucessivamente. Qualquer medição que desobedecer este critério deverá ser descartada, por estar errada. A medição de uma série de alturas é essencial quando se trata de uma observação importante, como a destinada a fornecer uma LDP para aterragem.

d. No caso de não poder ser obtida uma altura de precisão razoável, devido às más condições do horizonte, dificuldades de colimação e balanceamento, nebulosidade obscurecendo parcialmente o astro, ou qualquer outro fator, às vezes é preferível não observar o Sol, a menos que a posição estimada seja tão precária que mereça ainda menos confiança do que uma reta de altura obtida naquelas condições.

e. Ao tomar a altura do Sol com horizonte curto, devido à cerração, nevoeiro, neblina, névoa seca, etc., situar-se o mais baixo possível, para aproximar o horizonte do observador. Com horizonte amplo, porém mal definido (mar grosso, etc.), observar na posição mais elevada possível.

f. A observação do Sol à tarde é, em tudo, semelhante à da reta da manhã, considerando-se, ainda, que o Sol estará se aproximando do horizonte, o que virá a facilitar a observação. Efetuando a medição de uma série de alturas, deve-se recordar que, com o Sol a Oeste, as alturas do astro devem ir diminuindo sucessivamente. Para obtenção do ponto correspondente à observação Sol à tarde, transporta-se a Latitude meridiana para o instante da **reta da tarde**, determinando a posição pelo cruzamento das duas LDP.

g. Observar a **reta da tarde** quando o Sol ainda estiver suficientemente alto ($a > 15^\circ$), para evitar os erros causados pela refração.

26.5 CÁLCULO DA LONGITUDE POR OCASIÃO DA PASSAGEM MERIDIANA (LONGITUDE POR ALTURAS IGUAIS DO SOL)

Em certas condições, é possível determinar a posição do navio por ocasião da passagem meridiana do Sol, obtendo-se a Latitude meridiana e a Longitude para esse mesmo instante, por alturas iguais do Sol. Esta posição tem a vantagem de reduzir

consideravelmente os erros resultantes da estima, que afetam o transporte da reta da manhã, para cruzamento com a Latitude meridiana, a fim de fornecer a “posição ao meio dia” (verdadeiro).

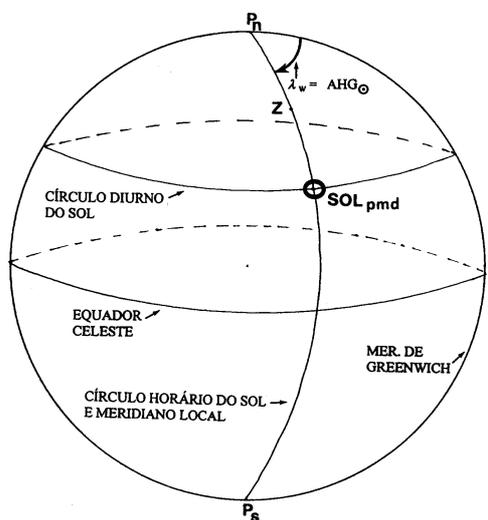
A **Latitude** e a **Longitude** desta posição são obtidas independentemente. A primeira resulta da observação da meridiana, conforme explicado no Capítulo 25; a Longitude resulta da **determinação exata da hora da passagem meridiana do Sol**, pela observação de **duas alturas iguais do astro**, efetuadas respectivamente antes e depois da passagem meridiana.

Assim sendo, o propósito do método é proporcionar um ponto observado completo ao meio dia, no intervalo entre os crepúsculos, tornando a Navegação Astronômica mais precisa.

26.6 PRINCÍPIOS EM QUE SE BASEIA O CÁLCULO DA LONGITUDE POR OCASIÃO DA PASSAGEM MERIDIANA

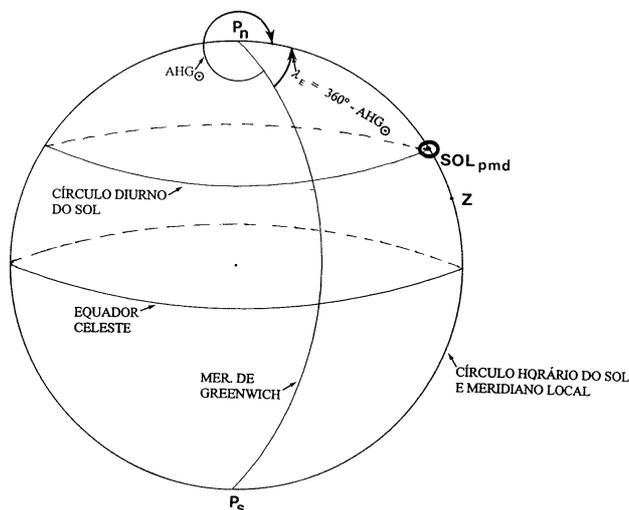
No instante da passagem meridiana do Sol, a Longitude do observador é igual ao Ângulo Horário em Greenwich (AHG) do astro, para um observador situado a Oeste de Greenwich; ou igual a $360^\circ - \text{AHG}$, para um observador localizado em Longitude E, como se pode verificar nas figuras 26.6 e 26.7.

Figura 26.6



NA PASSAGEM MERIDIANA: $\lambda W = \text{AHG}_{\odot}$

Figura 26.7



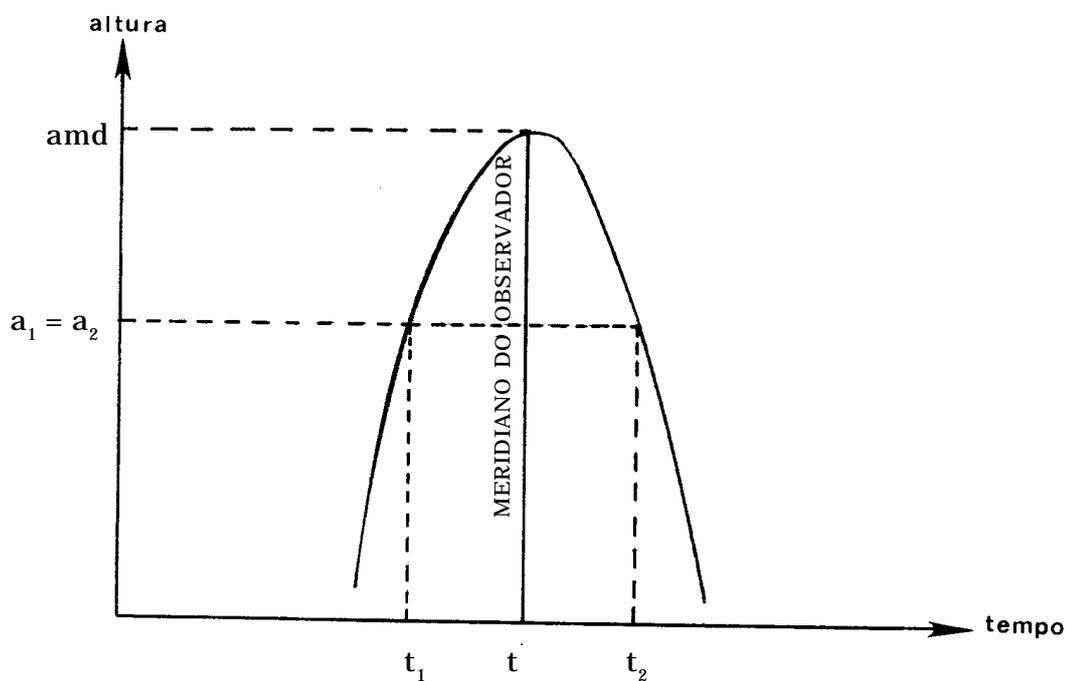
NA PASSAGEM MERIDIANA: $\lambda E = 360^\circ - \text{AHG}_{\odot}$

Se o instante da passagem meridiana do Sol puder ser determinado com exatidão, a Longitude do observador neste instante poderá, então, ser calculada precisamente, através do Ângulo Horário em Greenwich (AHG) do Sol para o mesmo instante, fornecido pelo Almanaque Náutico. Na prática, entretanto, não é possível determinar-se diretamente

com precisão o instante em que o Sol transita no meridiano do observador e qualquer pequeno erro na hora causa um efeito muito maior sobre a Longitude calculada (um erro de 4 segundos, por exemplo, resultaria em um erro de 1' na Longitude obtida).

Porém, se o navio se mantivesse parado (meridiano do observador imóvel) e a Declinação do astro não variasse, o instante exato da passagem meridiana seria rigorosamente obtido pela média entre as horas correspondentes a duas observações de alturas iguais, efetuadas antes e depois da passagem meridiana do Sol, desde que as alturas simétricas fossem observadas nas proximidades do meridiano, onde pode considerar-se que a variação da altura é proporcional ao tempo (ver a figura 26.8). Se registrássemos as Horas Médias de Greenwich das alturas simétricas observadas, poder-se-ia dizer que a sua média seria a **HMG da pmd do Sol**.

Figura 26.8



$$H \text{ pmd} = t = \frac{t_1 + t_2}{2}$$

Contudo, a **Declinação do Sol varia** e o **navio se movimenta** no intervalo de tempo considerado. Estes dois movimentos fazem com que o resultado obtido pela média das horas correspondentes às alturas simétricas nos forneça, na realidade, o instante da culminação, isto é, o instante em que o Sol atinge a altura máxima, que não será a altura da passagem meridiana. Conforme explicado no Capítulo 25, quando o navio se aproxima do Sol a altura de culminação é atingida após a passagem meridiana; e quando o navio se afasta do Sol a culminação ocorre antes da passagem meridiana.

Então, é necessário aplicar à média das horas correspondentes às alturas iguais e simétricas uma correção, para obter-se a **HMG da pmd**.

O valor desta correção, em segundos, é calculado pela fórmula:

$$i = 15,28 (\operatorname{tg} \varphi \pm \operatorname{tg} \delta) \cdot V_R (1 - 0,0022 \Delta \lambda)$$

Onde:

φ = Latitude do observador (na pmd)

δ = Declinação do Sol

V_R = Velocidade relativa em Latitude navio–Sol, expressa em minutos de arco por hora (considerando o movimento do Sol devido à variação da Declinação e o movimento do navio em Latitude)

$\Delta\lambda$ = Variação da Longitude correspondente a uma hora do movimento do navio

Como a expressão $(1 - 0,0022 \Delta\lambda)$ é normalmente muito próxima de 1, a fórmula pode ser simplificada para:

$$\mathbf{i = 15,28 (tg \varphi \pm tg \delta) \cdot V_R}$$

Ademais, V_R (velocidade relativa em Latitude navio–Sol) pode ser expressa pela fórmula:

$$\mathbf{V_R = d\varphi \pm d\delta}$$

Onde:

$d\varphi$ = razão de variação da Latitude do navio, em minutos de arco por hora. Então, $d\varphi = V \cdot \cos R$, onde V é a velocidade em nós e R o rumo do navio. O valor $d\varphi$ deve ser designado N ou S.

$d\delta$ = razão de variação da Declinação do Sol, em minutos de arco por hora. O valor de $d\delta$ é obtido no Almanaque Náutico e também deve ser designado N ou S.

Assim, a correção i , que representa um intervalo de tempo (em segundos) e exprime a diferença entre a HMG da culminação e a HMG da pmd, pode ser calculada por meio da fórmula:

$$\mathbf{i = 15,28 (tg \varphi \pm tg \delta) \cdot (d\varphi \pm d\delta)}$$

Para melhor entendimento, a fórmula acima pode ser decomposta em dois fatores, A e B, assim definidos:

$$\text{fator A} = 15,28 (tg \varphi \pm tg \delta)$$

$$\text{fator B} = (d\varphi \pm d\delta)$$

Desta forma, a correção i será dada por:

$$\mathbf{i = A \cdot B}$$

No cálculo do fator $A = 15,28 tg \varphi \pm 15,28 tg \delta$, os valores devem ser somados quando a Latitude e a Declinação forem de nomes contrários; e subtraídos (o menor do maior) quando a Latitude e a Declinação forem de mesmo nome.

A tabela de figura 26.9 permite calcular o fator A. Entra-se na tabela com o valor da Latitude estimada e da Declinação do Sol e obtêm-se os valores de $15,28 tg \varphi$ e $15,28 tg \delta$, interpolando-se mentalmente, como necessário. Conforme vimos, somam-se os valores quando φ e δ são de nomes contrários e subtrai-se o menor do maior se φ e δ são de mesmo nome.

Figura 26.9 – Tabela de 15,28 tg φ ou tg δ

φ ou δ :	15,28 tg	φ ou δ :	15,28 tg	φ ou δ :	15,28 tg
0	: 0	21	: 5,88	41	: 13,28
1	: 0,28	22	: 6,16	42	: 13,76
2	: 0,52	23	: 6,48	43	: 14,24
3	: 0,80	24	: 6,80	44	: 14,76
4	: 1,08	25	: 7,12	45	: 15,28
5	: 1,32	26	: 7,44	46	: 15,84
6	: 1,60	27	: 7,80	47	: 16,40
7	: 1,88	28	: 8,12	48	: 16,96
8	: 2,16	29	: 8,48	49	: 17,50
9	: 2,40	30	: 8,84	50	: 18,20
10	: 2,68	31	: 9,20	51	: 18,88
11	: 2,96	32	: 9,56	52	: 19,56
12	: 3,24	33	: 9,92	53	: 20,28
13	: 3,52	34	: 10,28	54	: 21,04
14	: 3,80	35	: 10,68	55	: 21,80
15	: 4,08	36	: 11,08	56	: 22,64
16	: 4,40	37	: 11,52	57	: 23,52
17	: 4,68	38	: 11,92	58	: 24,44
18	: 4,96	39	: 12,36	59	: 25,44
19	: 5,28	40	: 12,84	60	: 26,48
20	: 5,55	:	:	:	:

Para o cálculo do fator $\mathbf{B} = \mathbf{d}\varphi \pm \mathbf{d}\delta$, devem-se somar os valores quando $d\varphi$ e $d\delta$ têm sentidos (nomes) diferentes (N e S) e subtrair (o menor do maior) quando as variações forem de mesmo sentido. É importante observar que o sentido de $d\varphi$ e $d\delta$ é independente do fato de os valores da Latitude ou da Declinação serem N ou S.

Obtém-se, assim, o valor absoluto da correção \mathbf{i} , em segundos. O próximo passo é determinar o sinal da correção.

Como vimos, quando o navio se aproxima do Sol, a altura de culminação se dará depois da passagem meridiana e, desta forma, terá que ser aplicada uma correção negativa na HMG de culminação, para obter a HMG da pmd. Neste caso, então, o sinal de \mathbf{i} será **negativo**.

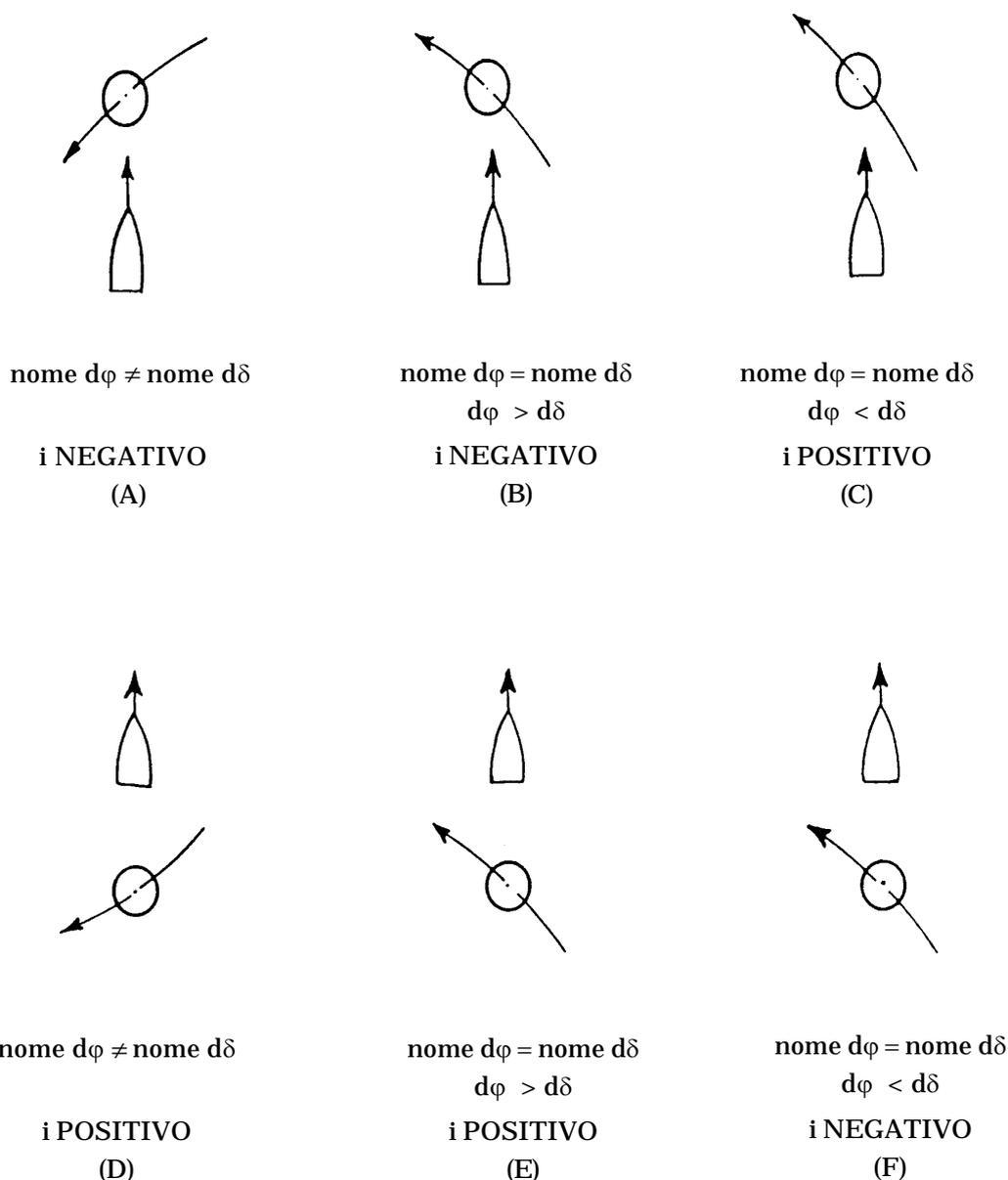
Quando o navio se afasta do Sol, a culminação ocorrerá antes da passagem meridiana, sendo necessário somar a correção à HMG de culminação, para termos a HMG da pmd. Então, o sinal de \mathbf{i} será **positivo**.

Na prática, o sinal da correção i será dado pelas seguintes regras (ver as ilustrações da figura 26.10):

– Quando o navio em seu movimento tem o Sol entre o través e a proa, isto é, quando o navio se aproxima do Sol, i será negativo (ilustrações A e B), exceto se $d\delta$ for maior e de mesmo nome que $d\varphi$, quando, então, i será positivo (ilustração C); e

– quando o navio em seu movimento tem o Sol entre o través e a popa, isto é, quando o navio se afasta do astro, i será positivo (ilustrações D e E), exceto se $d\delta$ for maior e de mesmo nome que $d\varphi$, quando, então, i será negativo (ilustração F).

Figura 26.10 – Sinais e Nomes de $d\varphi$ e $d\delta$

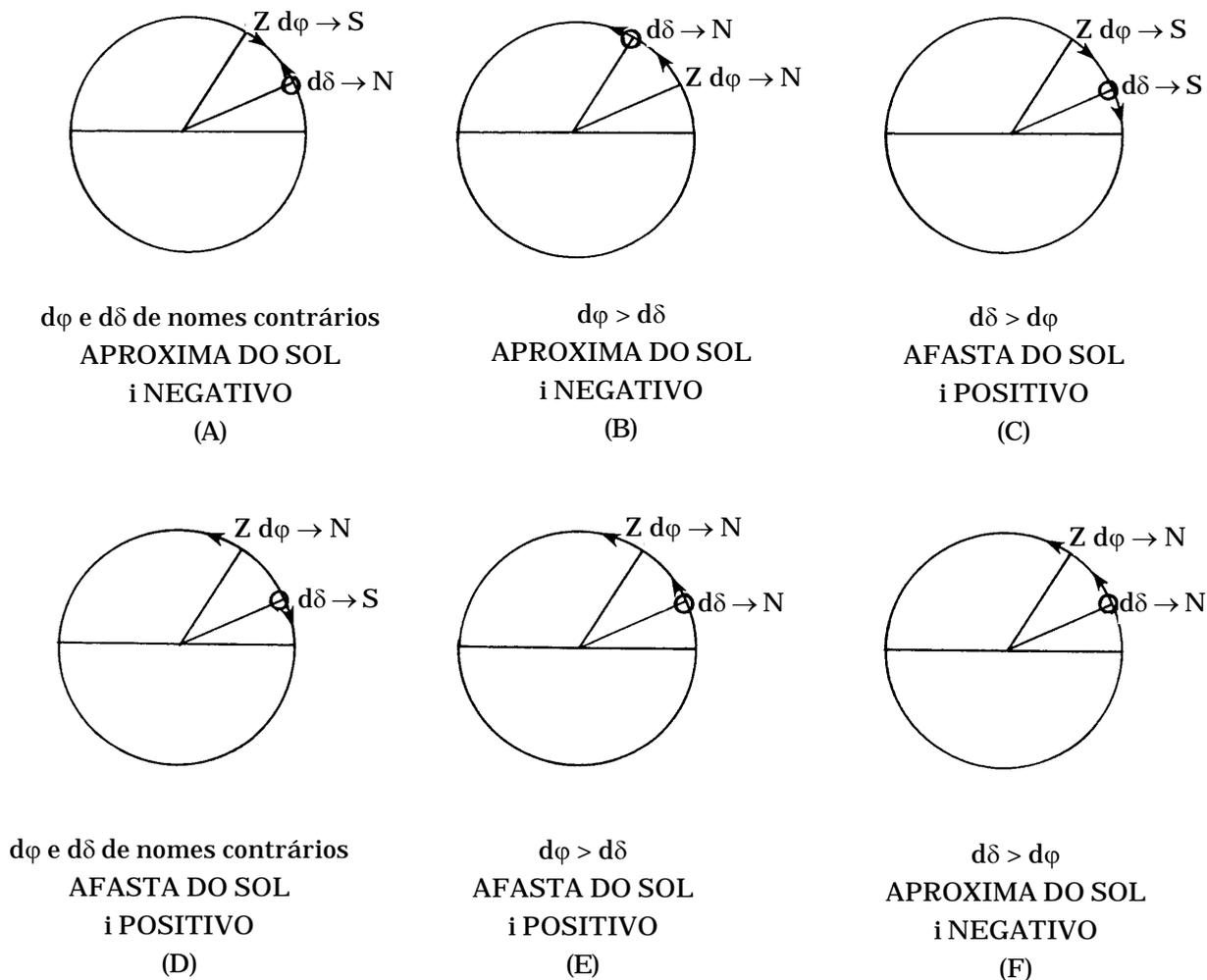


NOMES DE $d\varphi$ E $d\delta$

OS SENTIDOS DOS MOVIMENTOS PARA O NORTE E PARA O SUL DO NAVIO E DO SOL INDICAM, RESPECTIVAMENTE, OS NOMES N E S PARA $d\varphi$ E $d\delta$.

Tais regras também podem ser visualizadas na figura 26.11.

Figura 26.11



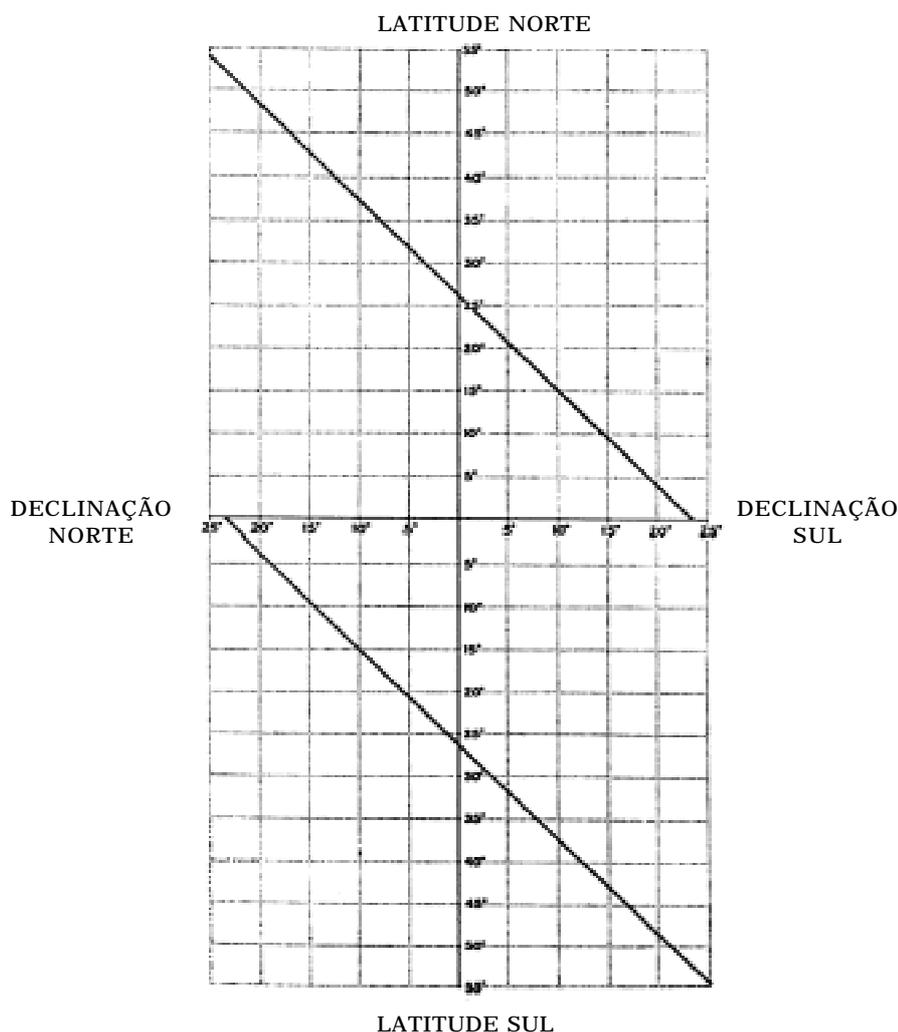
26.7 CONDIÇÕES PARA O USO DO MÉTODO

Para que os instantes em que são determinadas as alturas iguais possam ser rigorosamente definidos, é necessário que se verifiquem as seguintes condições:

- Altura do Sol maior que 65° ($a > 65^\circ$);
- ângulo no Zênite maior que 20° ($Z > 20^\circ$), isto é, o astro deve estar afastado do meridiano de mais de 20° ; e
- ângulo no pólo $< 10^\circ$ (ou 40 minutos), isto é, a observação das alturas iguais deve ser feita no máximo até 40 minutos, antes e depois, da passagem meridiana.

A possibilidade de reunir simultaneamente estas condições depende dos valores da **Declinação do Sol** e da **Latitude do observador**. O gráfico da figura 26.12 fornece, em função da Declinação do Sol, os valores limites de Latitude para os quais é possível utilizar este método. Para $\delta = 10^\circ$ S, por exemplo, os limites são $\varphi = 37^\circ$ S e $\varphi = 15^\circ$ N.

Figura 26.12 - Limites de Latitude, em Função da Declinação do Sol, para Aplicação do Método das Alturas Iguais



Outras observações e condições para uso do **método das alturas iguais** são:

a. Este método é bastante útil nas proximidades do Equador e só pode ser empregado dentro dos limites de Latitude fornecidos pela figura 26.12.

b. No intervalo das observações das alturas simétricas, navegar com rumo e velocidade o mais possível constantes, ou então manter um bom registro de mudanças de rumo e velocidade, para calcular o rumo e a velocidade resultantes no intervalo.

c. As alturas simétricas devem ser observadas entre os seguintes limites de tempo:

– Limite máximo de 40 minutos (10° de ângulo no pólo) antes e depois da HMG da pmd; e

– limite mínimo dado pelo tempo limite das circumeridianas. As alturas devem ser observadas fora deste limite, porque dentro dele as variações de altura são muito pequenas e reduzem a precisão do método (dificultando a obtenção precisa dos tempos correspondentes às alturas simétricas).

O tempo limite das circumeridianas pode ser definido como sendo o intervalo de tempo, antes ou depois da passagem meridiana, no qual a variação da altura do Sol é proporcional ao tempo. Em outras palavras, o tempo limite é o intervalo de tempo

correspondente aos limites do ângulo no pólo, antes (E) ou depois (W) da passagem meridiana, em que uma observação circumeridiana pode ser feita e reduzida ao meridiano. Na prática, o tempo limite pode ser obtido da seguinte forma (ver o Capítulo 25):

1) Se a Latitude e a Declinação forem de nomes contrários, somam-se os valores absolutos dos graus inteiros de Lat e Dec, obtendo-se o valor do tempo limite em minutos; e

2) se a Latitude e a Declinação forem de mesmo nome, subtrai-se o menor valor do maior e o resultado será o tempo limite expresso em minutos.

Por exemplo, se:

$$\begin{array}{rcl} \varphi = 34^{\circ} 40,0' \text{ N} & \cong & 35^{\circ} \text{ N} \\ \delta = 20^{\circ} 12,0' \text{ N} & \cong & 20^{\circ} \text{ N} \\ \hline \text{tempo limite (T lim)} & = & 15 \text{ minutos} \end{array}$$

26.8 INSTRUÇÕES PARA APLICAÇÃO DO MÉTODO DE CÁLCULO DA LONGITUDE POR ALTURAS IGUAIS DO SOL

I. Antes das observações

a. Obter um ponto estimado referido ao meio dia legal.

b. Determinar previamente a HMG da passagem meridiana e a Hleg da pmd, conforme explicado no capítulo anterior. Para isso:

- obter, no Almanaque Náutico, a HML da pmd;
- transformar a HML em HMG, usando a Longitude estimada para o meio dia; e
- converter a HMG em Hleg, utilizando o valor do fuso horário no qual se navega.

c. Calcular o valor da Declinação do Sol para a HMG da passagem meridiana estimada.

d. Determinar previamente o valor da correção *i*. Para isso:

– calcular o fator $A = 15,28 \operatorname{tg} \varphi \pm 15,28 \operatorname{tg} \delta$, somando as parcelas, se φ e δ forem de nomes contrários, ou subtraindo o menor do maior, se φ e δ forem do mesmo nome. Os valores de $15,28 \operatorname{tg} \varphi \pm 15,28 \operatorname{tg} \delta$ podem ser obtidos na tabela da figura 26.9, entrando com os valores da Latitude estimada e da Declinação do Sol, interpolando-se mentalmente, como necessário;

– obter, no Almanaque Náutico, o valor de $d\delta$ (variação horária da Declinação do Sol), designando-o N ou S;

– calcular o valor de $d\varphi = V \cdot \cos R$, designando-o N ou S;

– calcular o fator $B = d\varphi \pm d\delta$, somando as parcelas, se forem de nomes diferentes, ou subtraindo o menor do maior, quando do mesmo nome;

– multiplicar o fator A pelo fator B, para obter o valor absoluto de i , em segundos de tempo; e

– dar o sinal à correção i , de acordo com as regras citadas (navio se aproximando do Sol: i negativo; navio se afastando do Sol: i positivo).

II. Observação das alturas

a. Quando achar conveniente, dentro dos limites já especificados (tempo limite das circumeridianas e 40 minutos antes da pmd) fazer a observação da primeira altura simétrica, anterior à meridiana.

b. Anotar a primeira altura instrumental (a_1) e a Hora do Cronômetro correspondente (HCr_1).

c. Observar a altura meridiana (amd) para o cálculo da Latitude.

d. Observar a altura simétrica (a_2), depois da pmd, no instante em que o Sol atingir, descendo, uma altura instrumental rigorosamente igual à anterior (a_1). Anotar a Hora do Cronômetro correspondente (HCr_2).

NOTA:

Supõe-se que se usa o mesmo sextante, na determinação das duas alturas.

III. Cálculo da Latitude e da Longitude Meridianas

a. Calcular a Latitude meridiana conforme explicado no Capítulo 25.

b. Calcular a média das Horas do Cronômetro obtidas (HCr_1 e HCr_2), aplicar o Estado Absoluto (Ea) e obter a HMG de culminação. Aplicar a correção i previamente calculada, para determinar a HMG da pmd.

c. Com a HMG da pmd, obter no Almanaque Náutico o AHG do Sol na pmd.

d. Calcular a Longitude do observador, sabendo-se que, como vimos, $\lambda W = AHG$ do Sol na pmd e $\lambda E = 360^\circ - AHG$ do Sol na pmd.

Para facilitar os cálculos, a DHN publica o modelo DHN-0610, POSIÇÃO PELA MERIDIANA (ver a figura 26.13), cujo emprego será ilustrado pelos exemplos que se seguem.

26.9 EXEMPLOS DE CÁLCULO DA POSIÇÃO MERIDIANA POR ALTURAS IGUAIS

1. O NHi “SIRIUS”, cuja posição estimada ao meio dia legal é Latitude $23^\circ 40,0' S$ e Longitude $040^\circ 30,0' W$ ($02^h 42^m W$), observou o Sol para o cálculo da posição meridiana por alturas iguais, no dia 08/11/93, tendo obtido:

alturas simétricas: $a_1 = a_2 = 81^\circ 23,8'$

$HCr_1 = 14^h 13^m 25,0^s$

$HCr_2 = 14^h 40^m 27,0^s$

Figura 26.13 – Posição pela Meridiana

altura meridiana: $a_i = 82^\circ 41,0'$ (limbo inferior)

Sabendo-se que:

$R = 295^\circ$; Veloc = 12,5 nós ; $Ea = - 00^h 00^m 07,0^s$

$e_i = + 1,0'$; Elev = 10m

Determinar:

- A HMG e a Hleg estimadas para a passagem meridiana.
- A Latitude e a Longitude meridianas.

DATA	08/11/93	27/09/93				
DADOS	HML pmd =	11 ^h 44 ^m	11 ^h 51 ^m			
	λ md =	02 ^h 42 ^m W	04 ^h 24 ^m E			
	HMG pmd e =	14 26	07 27			
	f =	03 F	04 D			
	Hleg pmd e =	11 26	11 27			
	δ =	16°41,0'S	01°40,4'S			
	d δ =	0,7'S	1,0'S			
	R =	295°	058°			
	V =	12,5'	14,0'			
	d φ =	5,3'N	7,4'N			
	od =	-	-			
	φ_e (pmd) =	23°40,0'S	22°15,0'N			
	CÁLCULO DE i	15,28. tg φ =	6,70	6,24		
15,28. tg δ =		4,60	0,34			
A =		2,10	6,58			
d φ =		5,3'N	7,4'N			
d δ =		0,7'S	1,0'S			
B =		6,0	8,4			
A =		2,10	6,58			
I =		-12,60°	+55,27°			
CÁLCULO DE λ md	$a_1 = a_2$	81°23,8'	64°17,4'			
	Hcr ₁ =	14-13-25,0	07-02-00,0			
	Hcr ₂ =	14-40-27,0	07-50-12,0			
	Soma =	28-53-52,0	14-52-12,0			
	Média =	14-26-56,0	07-26-06,0			
	Ea =	-07,0	+03,0			
	HMG culm =	14-26-49,0	07-26-09,0			
	I =	-12,6	+55,3			
	HMG pmd =	14-26-36,4	07-27-04,3			
	t a =	034-03,2	287-14,4			
	c: m/s =	06-39,1	06-46,1			
	tg pmd =	040-42,3	294-00,5			
λ md =	040°42,3'W	065°59,5'E				
CÁLCULO DE φ md	a_i =	82°41,0'	66°08,3'			
	e_i =	+01,0'	-02,0'			
	a_0 =	82°42,0'	66°06,3'			
	c =	+10,4'	+09,9'			
	a_{md} =	82°52,4'	66°16,2'			
	z_{md} =	07°07,6'	23°43,8'			
	δ =	16°41,0'S	01°40,4'S			
	φ_{md} =	23°48,6'S	22°03,4'N			
Hleg =	1126	1127				

SOLUÇÃO:

Ver o modelo DHN-0610, POSIÇÃO PELA MERIDIANA (figura 26.13).

RESPOSTAS:

a. HMG pmd (estimada) = $14^h 26^m$

Hleg pmd (estimada) = $11^h 26^m$

b. Lat md = $23^\circ 48,6' S$

Long md = $040^\circ 42,3' W$

NOTA:

Neste caso, o navio estava se aproximando do Sol por ocasião da passagem meridiana. Assim, a culminação ocorrerá após a passagem meridiana e, então, o sinal da correção i deve ser negativo.

2. O NHi “SIRIUS”, cuja posição estimada ao meio dia legal é Latitude $22^\circ 15,0' N$ e Longitude $065^\circ 54,0' E$ ($04^h 24^m E$), observou o Sol para o cálculo da posição pela meridiana e por alturas iguais, no dia 27/09/93, obtendo:

alturas simétricas: $a_1 = a_2 = 64^\circ 17,4'$

$HCr_1 = 07^h 02^m 00,0^s$

$HCr_2 = 07^h 50^m 12,0^s$

altura meridiana: $a_i = 66^\circ 08,3'$ (limbo inferior)

Sabendo-se que:

$R = 058^\circ$; Veloc = 14 nós ; $Ea = +00^h 00^m 03,0^s$

$ei = - 2,0'$; Elev = 10m

Determinar:

a. A HMG e a Hleg estimadas para a passagem meridiana.

b. A Latitude e a Longitude meridianas.

SOLUÇÃO:

Ver o modelo DHN-0610, POSIÇÃO PELA MERIDIANA (figura 26.13).

RESPOSTAS:

a. HMG pmd (estimada) = $07^h 27^m$

Hleg pmd (estimada) = $11^h 27^m$

b. Lat md = $22^\circ 03,4' N$

Long md = $065^\circ 59,5' E$

NOTA:

Na passagem meridiana, o navio está se afastando do Sol. Portanto, a culminação ocorrerá antes da passagem meridiana e o sinal da correção i é positivo.