

ZIOCÉLITO JOSÉ BARDINI

Comparação de Métodos de Segunda Ordem Para Determinação da Posição Geográfica

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas para a obtenção do Grau de Mestre em Ciências pela Universidade Federal do Paraná.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
1985

COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE SEGUNDA ORDEM
PARA DETERMINAÇÃO DA POSIÇÃO GEOGRÁFICA

DISSERTAÇÃO

Apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas para obtenção do Grau de Mestre em Ciências pela Universidade Federal do Paraná

por

ZIOCÉLITO JOSÉ BARDINI

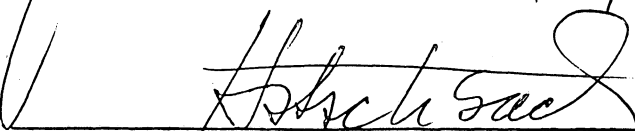
Eng^o Agrimensor

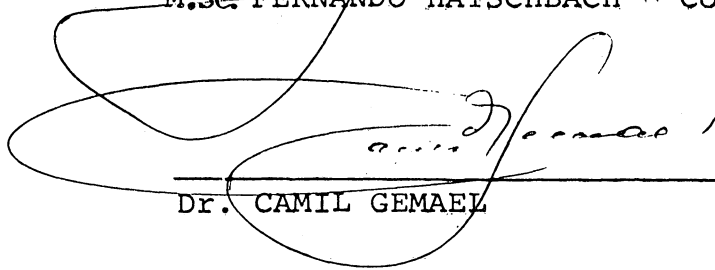
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

1985

BANCA EXAMINADORA:


Ph. D. JOSÉ BITTENCOURT DE ANDRADE - Orientador


M.Sc. FERNANDO HATSCHBACH - Co-orientador


Dr. CAMIL GEMAEI

À minha mãe Nemézi,
minha esposa Lourdes
e meu filho Kamil

AGRADECIMENTOS

O autor deixa aqui registrado os mais sinceros agradecimentos às pessoas e instituições abaixo relacionadas:

José Bittencourt de Andrade;

Camil Gemael;

Wanda Cristina Menezes;

Ao sogro Manoel Silveira de Souza;

Ao amigo Vanildo Rodrigues;

UFPR;

CAPES;

CNPq;

ACAFE;

e a todos aqueles que indiretamente contribuíram na realização deste trabalho.

S I N O P S E

Este trabalho consiste na determinação astronômica de segunda ordem da latitude, com o método de Sterneck, da longitude, pelo método de Zinger, e comparação destes dois métodos com o método da determinação simultânea da latitude e da longitude por observação de estrelas em alturas iguais; utilizando-se para esse fim um teodolito astronômico de segunda ordem Wild T2.

A B S T R A C T

The purpose of this thesis is to compare second order astronomical methods for latitude and longitude determinations using a theodolite Wild T2. The methods to be compared are: Sterneck for latitude; Zinger for longitude versus the method of simultaneous determination of latitude and longitude by observations of equal zenithal distances.

CONTÉÚDO

| | pg |
|---|----|
| INTRODUÇÃO..... | 01 |
| <u>CAPÍTULO I</u> | |
| REQUISITOS PRELIMINARES | |
| 1.1 LOCALIZAÇÃO DA ESTAÇÃO DE OBSERVAÇÃO..... | 03 |
| 1.2 MIRAS DE REFERÊNCIA..... | 03 |
| 1.3 INSTRUMENTOS E EQUIPAMENTOS..... | 04 |
| 1.4 CONTROLE E REGISTRO DO TEMPO..... | 05 |
| 1.4.1 CORREÇÃO PARA O ATRASO DE PROPAGAÇÃO DOS SI NAIS DE ALTA FREQUÊNCIA..... | 07 |
| 1.4.2 TRANSFORMAÇÃO DO UTC EM UT1..... | 08 |
| 1.5 POSIÇÃO DAS ESTRELAS..... | 09 |
| 1.5.1 REFRAÇÃO ASTRONÔMICA..... | 09 |
| 1.5.2 ABERRAÇÃO DIÁRIA..... | 10 |
| 1.6 CLASSIFICAÇÃO DAS DETERMINAÇÕES ASTRONÔMICAS..... | 11 |
| <u>CAPÍTULO II</u> | |
| DETERMINAÇÃO DA LATITUDE | |
| 2.1 DEFINIÇÃO..... | 13 |
| 2.2 CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS..... | 13 |

| | | |
|---------|--|----|
| 2.3 | MÉTODO DE STERNECK..... | 15 |
| 2.3.1 | PRINCÍPIOS DO MÉTODO..... | 15 |
| 2.3.2 | CONDIÇÕES DO MÉTODO..... | 16 |
| 2.4 | SELEÇÃO DAS ESTRELAS..... | 17 |
| 2.4.1 | ELABORAÇÃO DO PROGRAMA DE OBSERVAÇÃO..... | 18 |
| 2.4.1.1 | ESTABELECIMENTO DA PRIMEIRA CONDIÇÃO..... | 18 |
| 2.4.1.2 | ESTABELECIMENTO DA SEGUNDA E TERCEIRA CONDIÇÕES..... | 19 |
| 2.5 | RESULTADOS..... | 20 |
| 2.5.1 | ANÁLISE DOS RESULTADOS..... | 21 |

CAPÍTULO III

DETERMINAÇÃO DA LONGITUDE

| | | |
|-------|--|----|
| 3.1 | DEFINIÇÃO..... | 23 |
| 3.2 | CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS..... | 23 |
| 3.2.1 | ESCOLHA DO MÉTODO PARA A DETERMINAÇÃO DO ESTADO ABSOLUTO..... | 24 |
| 3.3 | MÉTODO DE ZINGER..... | 25 |
| 3.3.1 | PRINCÍPIOS DO MÉTODO..... | 25 |
| 3.3.2 | CORREÇÃO A SER INTRODUZIDA NO INSTANTE CRONOMÉTRICO DA ESTRELA DE OESTE..... | 27 |
| 3.4 | SELEÇÃO DAS ESTRELAS..... | 28 |
| 3.4.1 | ELABORAÇÃO DO PROGRAMA DE OBSERVAÇÃO..... | 29 |
| 3.5 | DETERMINAÇÃO DO ESTADO RELATIVO..... | 31 |

| | | |
|-------|-----------------------------|----|
| 3.6 | CÁLCULO DA LONGITUDE..... | 32 |
| 3.7 | RESULTADOS..... | 33 |
| 3.7.1 | ANÁLISE DOS RESULTADOS..... | 34 |

CAPÍTULO IV

DETERMINAÇÃO SIMULTÂNEA DA LATITUDE E DA LONGITUDE

| | | |
|-------|---|----|
| 4.1 | INTRODUÇÃO..... | 35 |
| 4.2 | ESTRELAS OBSERVADAS EM ALTURAS DIFERENTES:MODELO M <u>A</u> TEMÁTICO..... | 36 |
| 4.2.2 | FORMA DAS MATRIZES A, B E CÁLCULO DA MATRIZ ΣL_b E DO VETOR W..... | 40 |
| 4.3 | ESTRELAS OBSERVADAS EM ALTURAS IGUAIS..... | 42 |
| 4.3.1 | EQUAÇÃO DE OBSERVAÇÃO..... | 45 |
| 4.3.2 | FORMA DA MATRIZ A E CÁLCULO DA MATRIZ ΣL_b ... | 45 |
| 4.4 | CONDIÇÕES DO MÉTODO..... | 46 |
| 4.5 | SELEÇÃO DAS ESTRELAS..... | 47 |
| 4.6 | ELABORAÇÃO DO PROGRAMA DE OBSERVAÇÃO..... | 49 |
| 4.7 | RESULTADOS..... | 49 |
| 4.7.1 | ANÁLISE DOS RESULTADOS..... | 51 |

CAPÍTULO V

CONCLUSÃO E COMENTÁRIOS

| | | |
|-----|----------------------------|----|
| 5.1 | CONCLUSÃO..... | 53 |
| 5.2 | COMENTÁRIOS..... | 56 |
| | NOTAS DE REFERÊNCIAS | 57 |
| | A P Ê N D I C E..... | 59 |

INTRODUÇÃO

Embora a Astronomia de Posição venha através dos tempos perdendo a sua importância prática, devido ao aparecimento de novas técnicas, tal como rastreio doppler, ela possui a técnica mais barata para a determinação das coordenadas geográficas de um lugar.

Existem inúmeros métodos de determinação astronômica de segunda ordem, sendo o método de STERNECK, para a determinação da latitude, e o método de SINGER, para a longitude, os mais empregados no Brasil.

Um outro método antes utilizado no Brasil é o da determinação simultânea destas duas coordenadas por observação de estrelas no mesmo almicantarado. Neste método as observações são efetuadas com instrumentos especiais, denominados astrolábios, que fixam o almicantarado, geralmente de 30° e 45° de distância zenital, através do uso de pêndulos ou de uma superfície de mercúrio.

Com o aparecimento de astrolábios de alta precisão o método da determinação simultânea passou a ser empregado ape

nas pelos observatórios astronômicos, caindo no esquecimento, a nível de segunda ordem, provavelmente devido ao volume de cálculos envolvidos e a falta de recursos computacionais da época.

O objetivo deste trabalho é analisar estes três métodos de determinação astronômica utilizando-se, não um astrolábio para o método da simultânea, mas sim o mesmo instrumento empregado no método de STERNECK e ZINGER, isto é, um teodolito astronômico de segunda ordem.

CAPÍTULO I

REQUISITOS PRELIMINARES

1.1 LOCALIZAÇÃO DA ESTAÇÃO DE OBSERVAÇÃO

Como ponto de observação foi escolhida a estação construída pelo curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, localizada no Campus Flávio Suplicy de Lacerda do Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná.

As coordenadas aproximadas desta estação determinadas por CAMPOS |01| são:

$$\phi = 25^{\circ}26'53,67'' \text{ S}$$

$$L = 03\text{h } 16\text{min } 55,34\text{s W.}$$

1.2 MIRAS DE REFERÊNCIA

Como miras de referência de meridiano adotou-se as miras 1 e 2 de CAMPOS |03| sendo que a mira 1, por encontrar-se muito próxima da estação, foi utilizada apenas como orienta-

ção para encontrar a mira 2, de difícil visualização a olho nũ.

MIRA 1

-Localização: Para-raio instalado no Bloco VI, sobre o curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas.

-Nível: Ponta do para-raio à $00^{\circ}17'56''$, abaixo do horizonte do teodolito.

-Azimute: $21^{\circ}16'28,61'' \pm 0,78''$.

MIRA 2

-Localização: Topo do edifício situado na Rua Baltazar Carrasco dos Reis, 2650. Água Verde.

-Nível: Filamento luminoso a $00^{\circ}24'10''$, abaixo do horizonte do teodolito.

-Azimute: $86^{\circ}06'16,32'' \pm 0,79''$.

1.3 INSTRUMENTOS E EQUIPAMENTOS

Como neste trabalho foi realizada a determinação da latitude e da longitude os instrumentos e equipamentos utilizados foram:

- Cronôgrafo Omega Time Recorder 2;
- Filtro Favag;
- Rádio modelo Transglobo da Philco;
- Teodolito Wild T2 nº 101327, com nível de Horrebow e sistema de iluminação completo;
- Termômetro de mercúrio;
- Barômetro aneróide;
- Bateria de automóvel de 12V.CC.

1.4 CONTROLE E REGISTRO DO TEMPO

Para controle e registro do tempo foram instalados o cronôgrafo OMEGA |04|, o filtro Favag e o rádio conforme mostra o esquema na Figura (1.3-1).

As estações emissoras de sinais horários escolhidas foram a WWV, MUELLER |05|, de coordenadas $\phi = 40^{\circ}41' N$ e $L = 105^{\circ}02' W$, com frequência de transmissão de 15 MHz e emissão de sinais horários do tipo contínuo modulados na frequência de 1000 Hz; e a WWVH, de coordenadas $\phi = 20^{\circ}46' N$ e $L = 150^{\circ}28' W$, com frequência de transmissão de 15 MHz e sinais horários do tipo contínuo modulados na frequência de 1200 Hz.

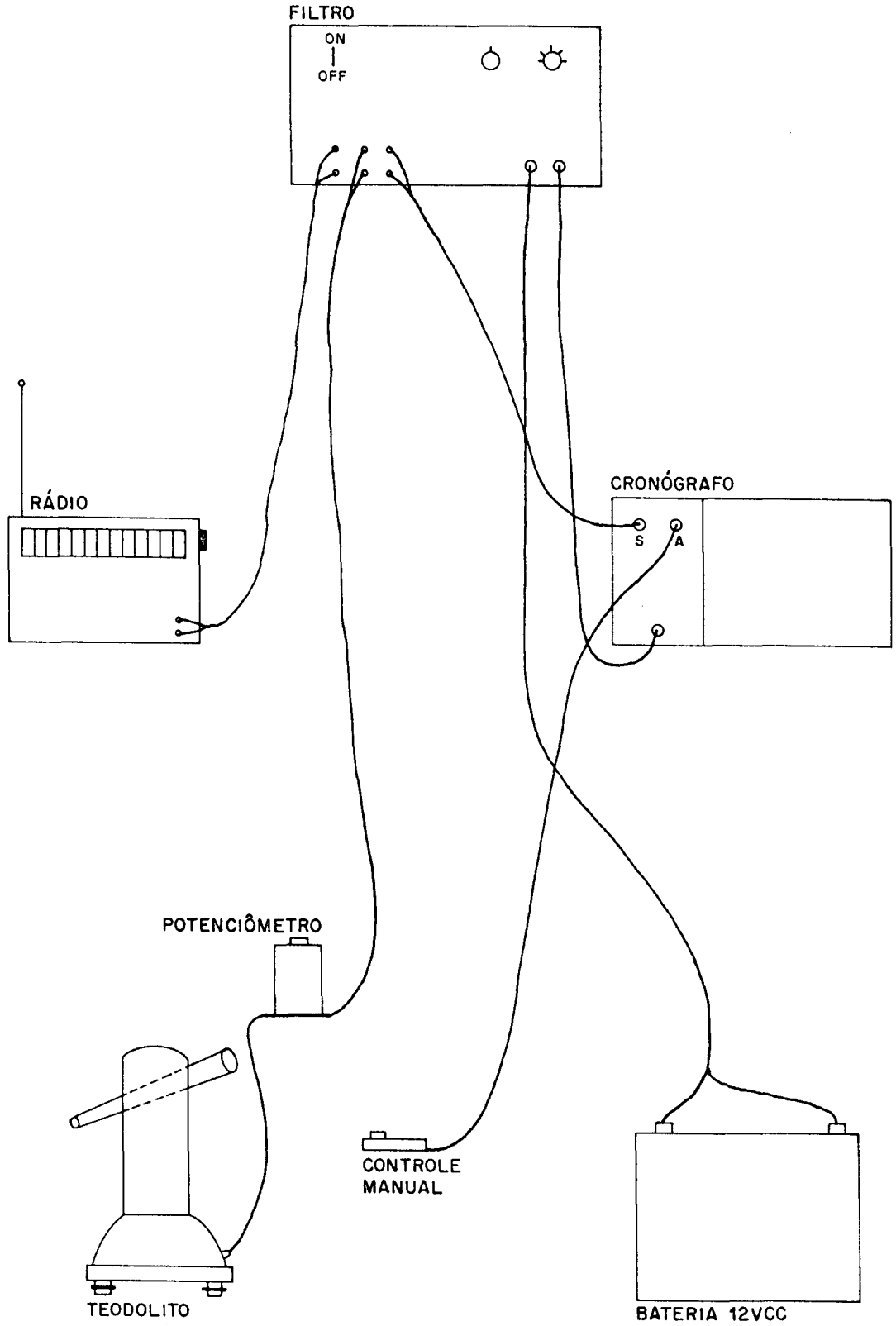


Fig. 1.3-1

1.4.1 CORREÇÃO PARA O ATRASO DE PROPAGAÇÃO DOS SINAIS DE ALTA FREQUÊNCIA

As ondas de alta frequência se propagam de maneira muito complexa entre a ionosfera e a superfície terrestre. Experiências mostram que o valor médio da velocidade de propagação, entre a estação emissora e a receptora do sinal de rádio, varia entre 280 e 290 km/ms. Segundo MUELLER [06] o BIH usa a fórmula empírica

$$V_{HF} = \left(290 - \frac{a}{d+b}\right) \text{ km/ms} \quad (1.4.1-1)$$

para calcular esta velocidade quando a distância for maior que 1000 e menor que 4000 km.

Na expressão (1.4.1-1), $a = 139,41$, $b = 2,9$ e $d = D/1000$ são constantes empíricas. Uma vez calculado V_{HF} o tempo de propagação do sinal de rádio será dado pela expressão

$$\Delta T_{HF} = D/V_{HF} \quad , \quad (1.4.1-2)$$

onde D é a distância em quilômetros que separa o transmissor do receptor.

O valor ΔT_{HF} é a correção a ser subtraída do instante cronométrico no momento da recepção do sinal horário.

Ainda segundo o mesmo autor, ΔT_{HF} pode ser calculado com suficiente precisão considerando $V_{HF} = 285 \text{ km/ms}$. Este se

rã o valor adotado neste trabalho, tendo em vista que a distância da estação de observação até a rádio WWV e WWVH, é de aproximadamente 9.300 e 12.600 km, respectivamente.

Para a estação de observação a correção ΔT_{HF} será de 0,033s e 0,044s, quando sintonizada, respectivamente, a rádio WWV e WWVH.

1.4.2 TRANSFORMAÇÃO DO UTC EM UT1

O tempo universal, UT1, é o que interessa à Astronomia, pois é o que representa o verdadeiro movimento de rotação da Terra.

Enquanto os astrônomos estão interessados em instantes precisos, os físicos necessitam de intervalos precisos. Procurou-se assim obter uma escala de tempo que satisfizesse a am bos; criou-se então o tempo universal coordenado UTC, que é uma escala de tempo atômico internacional TAI, e que se aproxima do tempo universal UT1.

Os observatórios transmitem o UTC e como se está interessado no UT1, deve se fazer a seguinte correção:

$$UT1 = UTC + DUT1 \quad (1.4.2-1)$$

O valor provisório de DUT1 é divulgado diariamente pelas estações que transmitem sinais horários. Os valores defi nitivos podem ser encontrados na Circular D do BIH |07|.

1.5 POSIÇÃO DAS ESTRELAS

As coordenadas uranográficas das estrelas observadas foram retiradas de EFEMÉRIDES ASTRONÔMICAS 1984 |08| e ANUÁRIO ASTRONÔMICO 1984 |09|, efetuando-se as interpolações de acordo com suas recomendações. Por serem determinações de segunda ordem, os termos de curto-período em nutação foram negligenciados sendo levados em consideração apenas as correções físicas a seguir descritas.

1.5.1 REFRAÇÃO ASTRONÔMICA

Quando um raio luminoso passa através da atmosfera terrestre, a variação da densidade do ar causa uma mudança contínua na sua direção de propagação, fazendo com que um objeto celeste seja visto mais elevado do que realmente está. Isto é, a refração astronômica diminui a distância zenital observada. Portanto a correção a ser aplicada deve ser aditiva.

Não existem fórmulas exatas para o cálculo da refração astronômica; existem, isto sim, fórmulas aproximadas. Dentre as várias existentes optou-se por, ANDRADE |10|:

$$R = \arctg[\arcsen(0,998745186\text{sen}Z')] \ln[1+105,247 \cdot 10^{-6} \\ (P/T) - 16,4 \cdot 10^{-6} (e/T)], \quad (1.5.1-1)$$

onde

R - Refração astronômica, em radianos;

P - Pressão atmosférica em mmHg;

T - Temperatura em graus Kelvin;

e - Pressão do vapor d'água em mmHg; e

Z' - Distância zenital observada.

1.5.2 ABERRAÇÃO DIÁRIA

Aberração diária é o deslocamento aparente da posição das estrelas causado pelo movimento diário do observador em torno do eixo de rotação da Terra e a velocidade finita da luz.

Este deslocamento causa variações nas coordenadas das estrelas dadas por, HATSCHBACH [11]:

$$d\alpha^S = 0,0213^S \cos\phi \cos H \sec\delta; \quad (1.5.2-1)$$

$$d\delta'' = 0,32'' \cos\phi \sin H \sec\delta; \quad (1.5.2-2)$$

onde

ϕ - Latitude astronômica do observador;

H - Ângulo horário do astro no momento da observação;

δ - Declinação do astro.

$d\alpha$ e $d\delta$ são as correções, respectivamente, para a ascensão reta e declinação.

1.6 CLASSIFICAÇÃO DAS DETERMINAÇÕES ASTRONÔMICAS

As determinações astronômicas são classificadas em IBGE |12|:

- Determinações de alta precisão ou de primeira ordem;
- Determinações de precisão ou de segunda ordem;
- Determinações locais ou de terceira ordem.

| CLASSE | ERRO PADRÃO DA LATITUDE E LONGITUDE | | ERRO PADRÃO DO AZIMUTE | |
|---------------|--|------|---------------------------|------|
| | DESEJÁVEL MÁXIMO | | DESEJÁVEL MÁXIMO | |
| Alta precisão | 0,1" | 0,3" | 0,2" | 0,4" |
| Precisão | 0,4" | 1,0" | 0,5" | 1,5" |
| Local | 1,5" | 2,0" | 3,0" | 3,0" |

As posições estelares deverão, obrigatoriamente, ser referidas ao sistema do Fourth Fundamental Catalogue (FK4).

A posição final e o azimute deverão ser reduzidos ao polo médio 1900,0 - 1905,0, como definido pelo International Polar Motion Service (IPMS) e Bureau International l'Heure (BIH).

Estas reduções são feitas pelas fórmulas, MUELLER |13|:

-AZIMUTE

$$\Delta A_p = A_p - A_v = -(x \operatorname{sen} L + y \operatorname{cos} L) \operatorname{sec} \phi *; \quad (1.6-1)$$

* Longitude contada negativamente por oeste.

-LATITUDE

$$\Delta\phi_p = \phi_p - \phi_v = (y\text{sen}L - x\text{cos}L), \quad (1.6-2)$$

-LONGITUDE

$$\Delta L_p = L_p - L_v = -(x\text{sen}L + y\text{cos}L) \text{tg}\phi. \quad (1.6-3)$$

Nas fórmulas (1.6-1), (1.6-2) e (1.6-3), x e y são as coordenadas do polo verdadeiro, A o azimute e os subscritos, p e v, indicam, respectivamente, elementos referidos ao polo médio 1900,0 - 1905,0 e valores referidos ao polo verdadeiro ou instantâneo.

Os valores de x e y são publicados mensalmente na Circular D, do BIH e nos Boletins do IPMS.

CAPÍTULO II

DETERMINAÇÃO DA LATITUDE

2.1 DEFINIÇÃO

Latitude astronômica de um lugar é o ângulo entre a vertical do lugar e o plano do equador medido no plano do meri - diano local. Pode também ser considerado como a altura do polo elevado.

2.2 CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS

No triângulo de posição (Fig. 2.2-1), é conhecida a co-ordenada uranográfica δ da estrela E e pretende-se determi- nar a latitude ϕ . Para que isso seja possível é necessário obter dois dos outros cinco elementos deste triângulo; usualmente é medido diretamente a distância zenital Z e, indiretamente, o ângulo horário H.

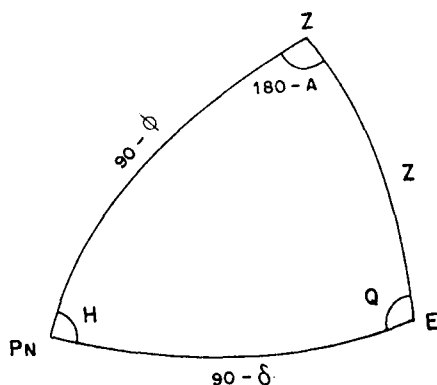


Fig. 2.2-1

A fórmula dos quatro elementos relativa à lados, aplicada ao triângulo de posição fornece

$$\cos Z = \operatorname{sen} \phi \operatorname{sen} \delta + \cos \phi \cos \delta \cos H. \quad (2.2-1)$$

O efeito em ϕ devido a pequenos erros nas medidas de Z e H é dado pela diferencial de (2.2-1), cuja expressão, CAMPOS |14|,

$$d\phi = -\operatorname{sec} A dZ - \cos \phi \operatorname{tg} A dH, \quad (2.2-2)$$

mostra que se o astro E for observado em sua passagem meridiana, o erro dH não terá efeito em ϕ e um pequeno erro dZ , em Z , terá um efeito mínimo, resultando, porém, em um erro $d\phi$ da mesma grandeza que poderá ser eliminado observando as estrelas em pares, uma ao sul e outra ao norte do zênite.

Por esta razão, e também pela simplicidade dos cálculos e das observações, foi escolhido o método de HORREBOW-TALCOTT simplificado, também conhecido como método de STERNECK.

2.3 MÉTODO DE STERNECK

2.3.1 PRINCÍPIOS DO MÉTODO

Este método de determinação da latitude consiste em observar duas estrelas em suas passagens meridianas, uma ao sul e outra ao norte do zênite, e nessas passagens medir suas distâncias zenitais.

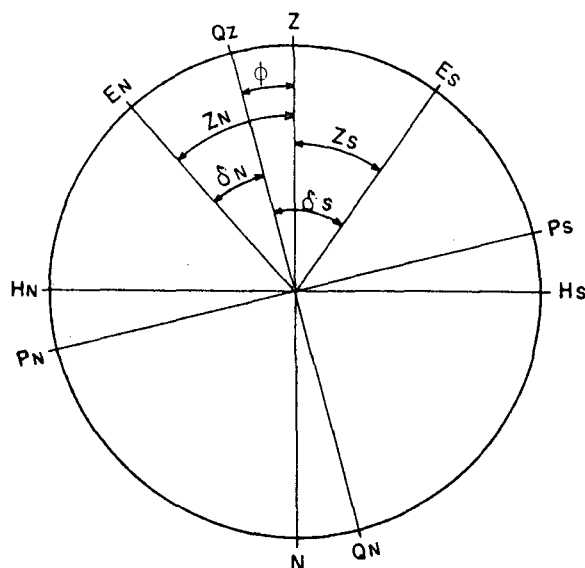


Fig. 2.3.1-1

A figura (2.3.1-1) permite que se escreva

$$\phi = \delta_n - Z_n *$$

e

$$\phi = \delta_s + Z_s .$$

Somando estas duas expressões e considerando que

* Os subscritos n e s indicam elementos, respectivamente, das estrelas que culminam ao norte e sul do zênite.

$$Z_s = D_s + Z_o + R_s$$

e

$$Z_n = D_n + Z_o + R_n ,$$

onde Z_o é a correção devido ao erro do zênite instrumental, D e R são, respectivamente, a distância zenital lida e a refração astronômica, resulta

$$\phi = \frac{\delta_n + \delta_s}{2} + \frac{D_s - D_n}{2} + \frac{R_s - R_n}{2} . \quad (2.3.1-1)$$

Esta é a expressão que fornece a latitude astronômica pelo método de STERNECK.

2.3.2 CONDIÇÕES DO MÉTODO

A análise da expressão (2.3.1-1) mostra que a maior fonte de erro sistemático reside no cálculo da refração astronômica. Para que este erro seja minimizado a escolha dos pares de estrelas deve satisfazer as seguintes condições, MATOS |15|:

- 1 - As distâncias zenitais não devem exceder 45° ;
- 2 - A diferença entre as distâncias zenitais das estrelas de cada par não deve exceder 5° ;
- 3 - O intervalo de tempo decorrido entre a observação da 1.^a e 2.^a estrela do par não deve exceder 20 minutos.

Obedecendo estas condições MENEZES |16|, organizou um catálogo com 3825 pares de estrelas. Para o uso deste basta o conhecimento aproximado da latitude e da hora sideral do início das observações. Caso não se disponha deste catálogo procede-se da forma a seguir descrita.

2.4 SELEÇÃO DAS ESTRELAS

Para selecionar as estrelas, atendendo as condições do método, é necessário conhecer, além do fuso horário F , um valor aproximado das coordenadas da estação de observação.

A latitude servirá para estabelecer os limites de declinação, bem como para o cálculo da distância zenital aproximada que servirá como elemento de calagem do teodolito, enquanto que o fuso e a longitude L serão utilizados para o cálculo da hora legal aproximada da observação.

A ascensão reta α de um astro representa a hora sideral S no momento de sua culminação, enquanto que sua distância zenital é dada por

$$Z = \pm (\phi - \delta). \quad (2.4-1)$$

Se $(\phi - \delta)$ for menor que zero, o astro culmina ao norte; caso contrário, sua culminação se dará ao sul do zênite. Dito isto, conclui-se que culminam ao sul do zênite todas as estrelas que tenham δ menor que ϕ ; as demais culminam ao norte.

2.4.1 ELABORAÇÃO DO PROGRAMA DE OBSERVAÇÃO

Para a elaboração do programa de observação será feito uso das coordenadas aproximadas já citadas no capítulo precedente.

Uma vez decidida a hora legal H_L do início do trabalho, o cálculo da correspondente hora sideral é efetuado com a fórmula, HATSCHBACH |17|,

$$S = SO + L + (H_L - F) (1 + \lambda) \quad (2.4.1-1)$$

sendo SO a hora sideral à zero hora TU e $\lambda = 0,002737909265$,

2.4.1.1 ESTABELECIMENTO DA PRIMEIRA CONDIÇÃO

De acordo com a primeira condição estabelecida (item 2.3.2) as estrelas que culminam ao sul do zênite têm como declinação máxima

$$\delta_s = \phi - 45^\circ ,$$

e as estrelas que culminam ao norte

$$\delta_n = -\phi + 45^\circ .$$

Portanto, para esta estação, toda estrela que tiver a declinação menor que $-25^\circ 27'$ culminará ao sul; porém só aten

derá a primeira condição se δ for maior que $-70^{\circ} 27'$. As estrelas de declinação maior que $-25^{\circ} 27'$, culminam ao norte ; contudo, somente as de declinação menor que $19^{\circ} 33'$ atenderão a primeira condição.

2.4.1.2 ESTABELECIMENTO DA SEGUNDA E TERCEIRA CONDIÇÕES

A segunda condição diz que uma vez selecionado um componente de um par, o outro deverá ser escolhido de forma que

$$\phi + z_n - 5^{\circ} < \delta_n < z_s + 5^{\circ} + \phi,$$

tendo também em mente, da terceira condição, que sua ascensão reta esteja no intervalo

$$\alpha_s - 20 \text{ min} < \alpha_n < \alpha_s + 20 \text{ min}$$

e é óbvio que α_s e α_n não devem ser inferiores a S.

A hora legal das observações será dada por

$$H_L = (S - SO + \lambda L) / (1 + \lambda) + F - L. \quad (2.4.1.2-1)$$

OBSERVAÇÕES:

1. Segundo MUELLER [18], dependendo da precisão desejada, o meridiano deve ser conhecido com erro de 1 a 5 minutos de arco.

2. No momento das observações ocorrem casos em que aparece mais de uma estrela no campo da luneta, ficando em dúvida sobre qual é a constituinte do par. Esta incerteza pode ser removida fazendo constar da caderneta de observação, além dos elementos de calagem, o brilho da estrela a ser observada.

2.5 RESULTADOS

Com o objetivo de analisar os resultados obtidos com este método de determinação da latitude foram trabalhadas três noites, adotando-se a média de todas as determinações como valor definitivo.

O valor adotado para a latitude, em cada noite de trabalho, foi a média aritmética das determinações feitas nesta noite e o erro médio quadrático foi calculado com a fórmula

$$m = \pm \sqrt{\frac{|vv|}{n(n-1)}}, \quad (2.5-1)$$

onde $|vv|$ é o somatório do quadrado dos resíduos e n o número de pares observados.

Na primeira noite, dia 25 de junho de 1984 foram observados 23 pares, sendo que dois foram rejeitados. Os 21 restantes forneceram o seguinte valor para a latitude da estação

$$\phi = -25^{\circ} 26' 56,54'' \pm 0,302''.$$

Na segunda, dia 29 de junho de 1984, foram observados 13 pares e, após a rejeição de 2 deles, foi obtido

$$\phi = -25^{\circ} 26' 56,37'' \pm 0,503'' .$$

E na terceira noite, dia 10 de julho de 1984, a observação de 12 pares resultou em

$$\phi = -25^{\circ} 26' 55,85'' \pm 0,374'' ,$$

após a rejeição de um dos pares.

Como valor definitivo, para a latitude da estação, foi adotado

$$\phi = -25^{\circ} 26' 56,42'' \pm 0,200''$$

que é a média aritmética de todas as determinações efetuadas, e aceitas, nas três noites de trabalho.

2.5.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Uma rápida análise dos resultados, obtidos em cada noite de trabalho, mostra que o elevado número de pares não aumenta significativamente a precisão do resultado final.

Foram realizados alguns testes, como por exemplo, cálculo da média e do erro médio quadrático de apenas 7 pares, e

concluído que estes valores não diferem significativamente dos obtidos com todos os pares observados em uma noite.

O tempo gasto para a observação de 12 pares de estrelas foi de aproximadamente 3 horas, sendo que este tempo pode ser reduzido se um Apparent Places of Fundamental Star for disponível.

Todos os cálculos relativos a este capítulo foram realizados pelos programas PROSTE.FOR e STERNE.FOR, ambos em linguagem Fortran IV, cujas listagens estão no Apêndice. O primeiro tem por objetivo organizar o programa de observação, enquanto o segundo executa o cálculo da latitude.

CAPÍTULO III

DETERMINAÇÃO DA LONGITUDE

3.1 DEFINIÇÃO

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

$$L = H_1 - H_G \quad (3.1-1)$$

onde a hora astronômica local, H_1 , é determinada por observações astronômicas e a hora astronômica de Greenwich, H_G , é transmitida pelos principais observatórios do mundo, através do rádio, em forma de sinais horários.

3.2 CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS

Não se costuma acertar o cronômetro com a hora astronô

mica, mas sim determinar o seu estado E , isto é, a diferença entre a 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

$$E = H_1 - T , \quad (3.2-1)$$

e estado relativo como sendo a diferença entre a hora astronômica em Greenwich e a hora cronométrica T , isto é,

$$E' = H_G - T. \quad (3.2-2)$$

Isolando H_1 e H_G , respectivamente em (3.2-1) e (3.2-2) e substituindo-se em (3.1-1), obtem-se

$$L = E - E' , \quad (3.2-3)$$

que é a equação, prática, utilizada para a determinação da longitude.

3.2.1 ESCOLHA DO MÉTODO PARA A DETERMINAÇÃO DO ESTADO ABSOLUTO

A análise da equação fundamental da astronomia

$$S = H + \alpha \quad (3.2.1-1)$$

mostra que a precisão da hora sideral S , está diretamente relacionada com a precisão com que o ângulo horário, H , é determinado.

No triângulo de posição (Fig. 2.3-1) se conhece a latitude e as coordenadas uranográficas do astro e pretende-se obter o ângulo horário. Para que isto seja possível é necessário medir pelo menos um dos outros três elementos; normalmente é medida a distância zenital.

O erro em H , devido a pequenos erros na latitude e na medida de Z , é dado por

$$dH = -\sec\phi \cotg A d\phi - \sec\phi \cos A dZ. \quad (3.2.1-2)$$

O efeito devido a $d\phi$ pode ser eliminado observando o astro no primeiro vertical; enquanto que o erro devido a dZ será nulo observando pares de estrelas na mesma altura, uma a leste e outra a oeste, em posições simétricas em relação ao meridiano.

Por esta razão e também pela simplicidade das observações foi escolhido o método de ZINGER para a determinação do estado absoluto do cronômetro.

3.3 MÉTODO DE ZINGER

3.3.1 PRINCÍPIOS DO MÉTODO

Este método de determinação da hora, ou do estado absoluto do cronômetro, consiste em se cronometrar as passagens de duas estrelas, uma a leste e outra a oeste do meridiano, o mais próximo possível do primeiro vertical, quando atingem o mesmo almicantorado.

As fórmulas que permitem o cálculo do estado absoluto, por este método, são, GEMAEL [19]:

$$E_o = a + c - (T_e + T_w)/2 - m(T_w - T_e)/2 ; \quad (3.3.1-1)$$

$$\alpha = (\alpha_e - \alpha_w)/2 ; \quad (3.3.1-2)$$

$$\beta = (\delta_e - \delta_w)/2 ; \quad (3.3.1-3)$$

$$a = (\alpha_e + \alpha_w)/2 ; \quad (3.3.1-4)$$

$$b = (\delta_e + \delta_w)/2 ; \quad (3.3.1-5)$$

$$\gamma = (T_e - T_w)/2 - \alpha - m(T_w - T_e)/2 ; \quad (3.3.1-6)$$

$$\text{tg}M = \text{tg}b \text{tg}\beta \text{cot}\gamma ; e \quad (3.3.1-7)$$

$$\text{sen}(M+C) = \text{tg}\phi \text{tg}\beta \text{cos}M \text{cosec}\gamma. \quad (3.3.1-8)$$

Sendo α_e , δ_e , α_w , δ_w as coordenadas uranográficas das estrelas observadas, respectivamente, a leste e oeste do meridiano; T_e o instante cronométrico da passagem da estrela de

leste pelo almicantarado selecionado; m a marcha horária do cronômetro e, finalmente, T_w é o instante cronométrico referente a estrela de oeste, corrigido do erro de inclinação do eixo secundário do teodolito.

O valor de c também pode ser calculado com a fórmula aproximada

$$c^s = \frac{\beta''}{15} \left(\frac{\operatorname{tg}\phi}{\operatorname{sen}\gamma} - \frac{\operatorname{tg}\delta}{\operatorname{tg}\gamma} \right), \quad (3.3.1-9)$$

sempre que o módulo de β for menor que 0,75 graus.

3.3.2 CORREÇÃO A SER INTRODUIDA NO INSTANTE CRONÔMETRICO DA ESTRELA DE OESTE

Para se obter bons resultados neste método é imprescindível o uso de um teodolito dotado de nível fixo de precisão ou então de nível de Horrebow, pois, devido ao nivelamento defeituoso ou a qualquer imperfeição das retificações do teodolito, as duas estrelas não são observadas na mesma altura.

Para que o instante cronométrico da estrela de oeste esteja referido ao mesmo almicantarado em que foi observada a estrela de leste, é necessário fazer a correção, MATTOS |20|:

$$T_w = T'_w \pm (d_w - d_e) k / (dz/dH), \quad (3.3.2-1)$$

onde k é a constante do nível; d_w e d_e são as leituras do ní-

vel no momento da observação da estrela de oeste e leste ;
 T'_w é o instante cronométrico da estrela de oeste; e, finalmente

$$\frac{dz}{dH} = 15 \cos \phi \cos \beta \sin \gamma / \sin Z \quad (3.3.2-2)$$

é a velocidade zenital comum às duas estrelas.

Na fórmula (3.3.2-1) é usado o sinal positivo no caso do zero da graduação do nível estar no lado da ocular e o negativo em caso contrário.

É evidente que esta correção pode ser eliminada fazendo com que as leituras do nível sejam iguais para as duas estrelas, o que é conseguido agindo no parafuso do movimento zenital da luneta.

3.4 SELEÇÃO DAS ESTRELAS

Para a seleção das estrelas este método requer o conhecimento do fuso, da latitude, com erro inferior a 1', e da longitude com erro não superior a 2 min.

A latitude servirá para, além dos cálculos dos elementos de calagem do teodolito, o cálculo final do estado absoluto, enquanto o fuso e a longitude serão utilizados para o cálculo da hora legal aproximada da observação.

3.4.1 ELABORAÇÃO DO PROGRAMA DE OBSERVAÇÃO

Como a maior dificuldade deste método é a elaboração do programa de observação, MATTOS |21| elaborou um catálogo com 166 pares de estrelas que, devido a pequena diferença das declinações das estrelas de cada par, permitem o emprego da fórmula aproximada (3.3.1-9).

Neste catálogo entra-se com a latitude e a hora sideral do início dos trabalhos e retira-se todos os elementos de calagem necessários às observações.

Caso não se disponha deste catálogo procede-se da maneira descrita a seguir.

Uma vez calculada a hora sideral do início dos trabalhos procura-se duas estrelas que tenham declinações próximas* e que suas ascensões retas não defiram por mais de 8 horas**, e cuja média seja superior a hora sideral do início, pois esta média representa a hora sideral aproximada em que estas estrelas atingem o mesmo almicantarado.

Com as fórmulas

$$H_e = S - \alpha_e - 3\text{min} \quad (3.4.1-1)$$

* Para que se possa empregar a fórmula aproximada(3.3.1-9) e seus azimutes serem aproximadamente simétricos.

** O valor 8 horas é empírico, apenas para que as estrelas não sejam observadas muito baixas.

e

$$H_w = S - \alpha_w + 3\text{min} , \quad (3.4.1-2)$$

onde S representa a média das ascensões retas, são calculados os ângulos horários provisórios das duas estrelas. Devido a impossibilidade de se observar as duas estrelas no mesmo instante, é costume observar a de leste 3 minutos antes e a de oeste 3 minutos depois, o que explica a inserção deste valor nas fórmulas acima.

O cálculo da distância zenital comum as duas estrelas é feito com a fórmula

$$\cos Z = \cos \phi \cos \delta + \sin \phi \sin \delta \cos H , \quad (3.4.1-3)$$

onde $\delta = (\delta_e + \delta_w)/2$ e $H = |H_e| = |H_w|$.

A seguir com a expressão (3.4.1-3) são calculados H_e e H_w , fazendo, respectivamente, $\delta = \delta_e$ e $\delta = \delta_w$. Fazendo, agora, $H = -H_e$ e $H = H_w$, na expressão (3.2.1-1) são calculados S_e e S_w , que substituídos na expressão (2.4.1.2-1), fornecerão as horas legais das observações.

Finalmente a expressão

$$\cos A = (\sin \delta - \sin \phi \cos Z) / \cos \phi \sin Z , \quad (3.4.1-4)$$

permite que se calcule os azimutes A_e e A_w , considerando respectivamente, $\delta = \delta_e$ e $\delta = \delta_w$.

3.5 DETERMINAÇÃO DO ESTADO RELATIVO

A recepção dos sinais horários é feita conectando o cronógrafo, o filtro e o rádio conforme mostra o esquema da figura (1.3-1); a seguir é sintonizada, por exemplo, a rádio WWV e ajustado o seletor do filtro para 1000 Hz. O sinal horário passando pelo filtro é amplificado sensibilizando o rele, intrínseco ao filtro, que por sua vez aciona o cronógrafo registrando o instante cronométrico em fita de papel. Se a recepção for boa o cronógrafo será acionado a todo pulso de segundo emitido pelo rádio.

Quinze segundos antes de se completar o minuto, a hora UTC, é anunciada sendo ouvido um sinal de 0,8s de duração, que também acionará o cronógrafo, registrando o instante cronométrico, T' , referente ao UTC antes anunciado.

Acontece, porém, que o acionamento do cronógrafo ocorre somente após o término do sinal, por isso é preciso fazer uma correção de -0,8s no instante T' . Logo o instante cronométrico, T , corrigido é dado por

$$T = T' - 0,8s - \Delta T_{HF} , \quad (3.5-1)$$

sendo ΔT_{HF} calculado com a expressão (1.4.1-2).

A seguir é feita a transformação do UTC para UT1 e finalmente é calculado o estado relativo com a fórmula

$$E'_m = UT1 - T, \quad (3.5-2)$$

se o cronógrafo, ou cronômetro, for médio, e

$$E'_s = UT1 \cdot 1,002737909265 + SO - T, \quad (3.5-3)$$

se for sideral.

3.6 CÁLCULO DA LONGITUDE

Uma vez calculado o estado relativo E'_m ou E'_s o cálculo da longitude é feito com a fórmula (3.2-3) sendo que, se o cronógrafo for sideral, o estado absoluto atualizado, E , é dado por

$$E = E_o + m(T - T_o) \quad (3.6-1)$$

sendo $T_o = (T_e + T_w)/2$.

Se o cronógrafo for médio o estado absoluto atualizado é dado por

$$E = E_o + m(T - T_o) + 0,002737909265(T - T_o). \quad (3.6-2)$$

Naturalmente que o valor de E' utilizado na expressão (3.2-3) será E'_m ou E'_s , conforme se trabalhe com cronógrafo médio ou sideral.

3.7 RESULTADOS

Pelas mesmas razões citadas no Capítulo II foram trabalhadas três noites sendo adotado como valor definitivo para a longitude, a média de todas as determinações.

Na primeira noite, dia 30 de julho de 1984, foram observados 9 pares, sendo que dois foram rejeitados. Os 7 restantes forneceram o seguinte valor para a longitude da estação

$$L = -3h \ 16min \ 55,204s \pm 0,062s .$$

Na segunda, dia 31 de julho de 1984, foram observados 18 pares e, após a rejeição de um deles, resultou

$$L = -3h \ 16min \ 55,148s \pm 0,046s .$$

Finalmente, na noite de 26 de agosto de 1984, foram observados 19 pares sendo obtido

$$L = -3h \ 16min \ 55,218s \pm 0,021s ,$$

sendo que nenhum deles foi rejeitado.

Como valor definitivo para a longitude foi adotado

$$L = -3h \ 16min \ 55,189s \pm 0,023s ,$$

que representa a média de todas as determinações efetuadas, e aceitas, nas três noites.

3.7.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A análise dos resultados obtidos nas três noites de trabalho, mostrou que apenas 7 pares, embora forneçam uma média compatível com a média obtida com 18 e 19 pares, não apresentam erro médio quadrático muito bom.

Alguns testes realizados com os valores obtidos no dia 31 de julho e 26 de agosto, mostraram serem necessários, em média, 8 a 12 pares para resultar em erro médio quadrático compatível com as determinações de segunda ordem.

A experiência adquirida no decorrer das observações mostrou que é preferível ler o nível de Horrebow, nos momentos das cronometragens das passagens das estrelas de leste e oeste, e fazer a correção citada no item 3.3.2, do que simplesmente fazer a coincidência destas leituras agindo no parafuso do movimento zenital da luneta, pois, além de mais cômodo fornece melhores resultados.

Todos os cálculos relativos à este capítulo foram executados pelos programas PROZIN.FOR e ZINGER.FOR, ambos em linguagem Fortran IV, cujas listagens estão no Apêndice. O primeiro tem por objetivo preparar a caderneta de observações, enquanto que o segundo executa os cálculos da longitude.

CAPÍTULO IV

DETERMINAÇÃO SIMULTÂNEA DA LATITUDE E DA LONGITUDE

4.1 INTRODUÇÃO

Nos Capítulos II e III foram vistos métodos específicos para a determinação isolada da latitude (STERNECK) e da longitude (ZINGER). Este capítulo tratará das maneiras de determinar simultaneamente estas duas coordenadas por meio das mesmas observações e não por observações específicas à determinação, quer da latitude, ou quer da longitude.

Este método de determinação está fundamentado na expressão

$$\cos Z = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos H, \quad (4.1-1)$$

onde

$$H = T + L + E' - \alpha .$$

É devido a GAUSS a solução deste problema, pois são dele as fórmulas que permitem obter, pelo processo direto, pri-

meiramente L e depois ϕ , desde que se observe os instantes cronométricos das passagens de três estrelas pelo mesmo círculo de alturas, sendo completamente dispensável o conhecimento desta altura. Para que a solução por este processo direto forneça bons resultados os azimutes das estrelas que formam o terço de GAUSS devem diferir, um dos outros, de mais ou menos 120 graus.

A análise da expressão (4.1-1) mostra que é possível fazer uma pequena modificação em sua forma e, partindo de valores aproximados das coordenadas, determinar correções à estas coordenadas pelo método dos mínimos quadrados ou mesmo graficamente. A solução gráfica, muito utilizada no passado, tornou-se, com o advento das calculadoras e dos computadores, obsoleta, por isso não será objeto de estudos neste trabalho.

Na solução apresentada por GAUSS são cronometradas as passagens de três estrelas pelo mesmo almicantarado; já na solução pelos mínimos quadrados são necessárias observações superabundantes, sendo necessário cronometrar pelo menos quatro estrelas na mesma altura, não sendo necessário o seu conhecimento, ou então em alturas diferentes, sendo que neste caso estas devem ser conhecidas com bastante rigor.

4.2 ESTRELAS OBSERVADAS EM ALTURAS DIFERENTES: MODELO MATEMÁTICO

Quando as estrelas são observadas em alturas diferen-

tes as observações são as leituras do círculo vertical, DV, e os instantes cronométricos T, portanto não é possível expressar as observações como função explícita das incógnitas. A solução pelo método dos mínimos quadrados exige, então, que se escreva a equação (4.1-1) na forma (método combinado)

$$F(L_a, X_a) = 0, \quad (4.2-1)$$

onde L_a é o vetor ($n \times 1$) das observações ajustadas e X_a o vetor ($u \times 1$) das incógnitas ajustadas e F simboliza as r equações.

O desenvolvimento de Taylor conduz a (4.2-1) ao modelo linearizado, CAMIL |22|:

$$r^A u u^X 1 + r^B n n^V 1 + r^W 1 = 0 \quad (4.2-2)$$

onde

$$A = \left. \frac{\partial F}{\partial X_a} \right|_{X_o, L_b} \quad (4.2-3)$$

$$B = \left. \frac{\partial F}{\partial L_a} \right|_{X_o, L_b} \quad (4.2-4)$$

$$W = F(X_o, L_b) \quad (4.2-5)$$

$$X = X_a - X_o \quad (4.2-6)$$

$$V = L_a - L_b \quad (4.2-7)$$

sendo

X_o : vetor dos parâmetros aproximados;

X_a : vetor dos parâmetros ajustados;

L_b : vetor das observações;

L_a : vetor das observações ajustadas;

n : número de observações;

u : número de parâmetros;

r : número de equações.

A solução do sistema de equações (4.2-2) é dado por:

$$M = BP^{-1}B^T ; \quad (4.2-8)$$

$$X = -(A^T M^{-1} A)^{-1} A^T M^{-1} W ; \quad (4.2-9)$$

$$K = -M^{-1} (AX+W) ; \quad (4.2-10)$$

$$V = P^{-1} B^T K ; \quad (4.2-11)$$

onde a matriz dos pesos P é

$$P = \sigma_o^2 \Sigma_{L_b} , \quad (4.2-12)$$

sendo σ_o^2 a variância da observação de peso unitário à priori e Σ_{L_b} a matriz variância-covariância das observações.

Uma vez calculado o vetor das correções X e o vetor dos resíduos V , os parâmetros e as observações ajustadas são

dados por

$$X_a = X_o + X ; \quad (4.2-13)$$

$$L_a = L_b + V , \quad (4.2-14)$$

enquanto a matriz variância-covariância dos parâmetros na i -ésima iteração é dada por, DALMOLIN [23]

$$\sum X_{a_i} = \hat{\sigma}_o^2 (A_i^T M_i^{-1} A_i)^{-1} , \quad (4.2-15)$$

e a matriz variância-covariância dos valores observados ajustados é calculada com a fórmula

$$\sum L_{a_i} = \hat{\sigma}_o^2 \left[P^{-1} + P^{-1} B_i^T M_i^{-1} A_i (A_i^T M_i^{-1} A_i)^{-1} \right. \\ \left. A_i^T M_i^{-1} B_i P^{-1} - P^{-1} B_i^T M_i^{-1} B_i P^{-1} \right] \quad (4.2-16)$$

sendo

$$\hat{\sigma}_o^2 = \frac{V^T P V}{n - u} \quad (4.2-17)$$

a variância da observação de peso unitário à posteriôri.

A expressão (4.1-1) escrita na forma da (4.2-1) é

$$\arccos[\text{sen} \phi \text{sen} \delta_i + \text{cos} \phi \text{cos} \delta_i \text{cos}(T_i + E_i' + L - \alpha_i)] -$$

$$- DV_i - Z_o - R_i = 0 , \quad (4.2-18)$$

onde $i = 1, 2, \dots, r$, sendo r o número de estrelas observadas, R é a refração astronômica calculada com a (1.5.1-1) e Z_0 será considerado incôgnita para absorver erros constantes na distância zenital, como por exemplo, o erro do zênite instrumental, erro de colimação, etc.

4.2.2 FORMA DAS MATRIZES A, B E CÁLCULO DA MATRIZ ΣL_b E DO VETOR W

A matriz A, formada pelas derivadas parciais da equação (4.2-18) em relação às incôgnitas ϕ , L e Z_0 tem a forma

$$A_r = \begin{vmatrix} \cos A_1 & \cos \phi \operatorname{sen} A_1 & -1 \\ \cos A_2 & \cos \phi \operatorname{sen} A_2 & -1 \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ \cos A_r & \cos \phi \operatorname{sen} A_r & -1 \end{vmatrix} \cdot$$

A matriz B, formada pelas derivadas parciais em relação as observações $DV_1, T_1, \dots, DV_r, T_r$, assume a forma

$$B_r = \begin{vmatrix} -1 & \cos \phi \operatorname{sen} A_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & \cos \phi \operatorname{sen} A_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & \cos \phi \operatorname{sen} A_r \end{vmatrix}$$

Nestas duas matrizes os azimutes A_i devem ser calculados com a fórmula

$$A_i = \arcsen \left| \cos \delta_i \operatorname{sen}(T_i + L + E'_i - \alpha_i) / \operatorname{sen}(DV_i + Z_o + R_i) \right|.$$

A matriz variância-covariância das observações, Σ_{L_b} , é montada em função da precisão dos instrumentos utilizados, supondo as observações independentes entre si. A forma desta matriz é

$$\Sigma_{L_b} = \text{DIAG}(\sigma^2 DV_1 \quad \sigma^2 T_1 \quad \sigma^2 DV_2 \quad \sigma^2 T_2 \dots \dots \sigma^2 DV_r \quad \sigma^2 T_r) ,$$

sendo $\sigma^2 DV_i$ e $\sigma^2 T_i$ dados por, ROELOFS |24|:

$$\sigma^2 DV_i = m_{va}^2 + \frac{1}{N} m_{vp}^2 \quad ; \quad e \quad (4.2.2-1)$$

$$\sigma^2 T_i = \frac{1}{N} m_t^2 \quad , \quad (4.2.2-2)$$

onde N é o número de retículos em que a estrela foi observada, m_{va} , m_{vp} e m_t são valores que dependem do tipo de teodolito e cronômetro utilizados, estes valores são:

$m_{va} = 0,4''$ e $m_{vp} = 1,8''$ para teodolitos geodésicos com fator de ampliação de 40 vezes;

$m_{va} = 1,8''$ e $m_{vp} = 2,5''$ para teodolitos com fator de ampliação de 28 vezes;

$m_t = 1,0''$ quando a cronometragem é executada com crôno

grafo, e

$$m_t = 1,5'' \text{ quando for utilizado cronômetro.}$$

O vetor erro de fechamento W é dado pela valorização da equação (4.2-18) com os parâmetros aproximados ϕ_0 , L_0 , Z_0 , e o vetor das observações L_b , sendo que o valor inicial do parâmetro Z_0 pode ser considerado nulo.

4.3 ESTRELAS OBSERVADAS EM ALTURAS IGUAIS

Quando se fixa um determinado almicantarado são observados apenas os instantes que as estrelas o atingem, com isso a equação (4.1-1) pode ser escrita na forma

$$L_a = F(X_a) \quad , \quad (4.3-1)$$

que é a característica do método paramétrico ou das equações de observações.

O desenvolvimento de Taylor conduz a (4.3-1) ao modelo linearizado, CAMIL |25|

$$n^A_u u^X_1 + n^L_1 = n^V_1 \quad , \quad (4.3-2)$$

onde

$$A = \left. \frac{\partial F}{\partial X_a} \right|_{X_0} \quad ; \quad (4.3-3)$$

$$L = L_o - L_b ; \quad (4.3-4)$$

$$L_o = F(X_o) ; \quad (4.3-5)$$

$$X = X_a - X_o ; \quad (4.3-6)$$

$$V = L_a - L_b ; \quad (4.3-7)$$

sendo

X_o : vetor dos parâmetros aproximados;

X_a : vetor dos parâmetros ajustados;

L_b : vetor das observações;

L_a : vetor das observações ajustadas;

n : número de equações que é igual ao número de observações;

u : número de parâmetros.

A solução do sistema de equações (4.3-2) é dado por:

$$X = -N^{-1}U ; \quad (4.3-8)$$

$$U = A^T P L ; \quad (4.3-9)$$

$$N = A^T P A ; \quad (4.3-10)$$

onde a matriz dos pesos P é

$$P = \sigma_o^2 \Sigma L_b^{-1} \quad (4.3-11)$$

sendo

σ_0^2 : a variância da observação de peso unitário à priori;
e

ΣL_b : a matriz variância-covariância das observações.

Uma vez calculado o vetor dos resíduos e o vetor das correções os parâmetros e as observações ajustadas são dadas por

$$X_a = X_o + X , \quad e \quad (4.3-12)$$

$$L_a = L_b + V. \quad (4.3-13)$$

Dependendo de quão afastados estão os valores aproximados dos valores ajustados é necessário resolver o sistema de equações (4.3-2) uma ou mais vezes, tomando como vetor dos valores aproximados, os valores ajustados antes calculados.

A matriz variância-covariância dos parâmetros ajustados, na i -ésima iteração, é dada por

$$\Sigma X_a = \hat{\sigma}_0^2 N^{-1} , \quad (4.3-14)$$

onde

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{V^T P V}{n - u} \quad (4.3-15)$$

é a variância da observação de peso unitário à posteriori.

4.3.1 EQUAÇÃO DE OBSERVAÇÃO

A equação (4.1-1) escrita na forma da (4.3-1) é

$$T_i = \arccos \left(\frac{\cos Z - \sin \phi \sin \delta_i}{\cos \phi \cos \delta_i} \right) - L - E_i' + \alpha_i, \quad (4.3.1-1)$$

onde $i = 1, 2, \dots, n$, sendo n o número de estrelas observadas, e Z por ser constante para todas as estrelas observadas será tratado como incôgnita.

4.3.2 FORMA DA MATRIZ A E CÁLCULO DA MATRIZ ΣL_a

A matriz A formada pelas derivadas parciais da equação (4.3.1-1) em relação aos parâmetros ϕ , L e Z, tem a forma

$${}_{n \times 3}^A = \begin{vmatrix} -\cotg A_1 \sec \phi & -1 & \sec \phi \cos \sec A_1 \\ -\cotg A_2 \sec \phi & -1 & \sec \phi \cos \sec A_2 \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ -\cotg A_n \sec \phi & -1 & \sec \phi \cos \sec A_n \end{vmatrix},$$

onde os azimutes A_i são calculados com a fórmula

$$\sen A_i = \sen H_i \cos \delta_i \cos \sec Z, \quad (4.3.2-1)$$

onde

$$\cos H_i = (\cos Z - \sin \phi \sin \delta_i) / (\cos \phi \cos \delta_i). \quad (4.3.2-2)$$

A matriz variância-covariância das observações, supondo que as covariâncias sejam nulas, resulta diagonal e tem a forma

$$\Sigma L_b = \text{DIAG} (\sigma^2 T_1 \quad \sigma^2 T_2 \quad \sigma^2 T_3 \dots \sigma^2 T_n) ,$$

sendo $\sigma^2 T_i$ dado por

$$\sigma^2 T_i = \frac{1}{N} m_t^2 + m_h^2 \frac{\sec^2 \phi}{\sin^2 A_i} , \quad (4.3.2-3)$$

onde $m_h = 1,5''$ e $m_h = 0,9''$, para teodolitos que possuam o nível do prato com precisão de $20''/2\text{mm}$ e $7''/2\text{mm}$, respectivamente, finalmente $m_h = 1,0''$ se for utilizado o nível de Horrebow para assegurar que as estrelas sejam observadas no mesmo almicantado.

4.4 CONDIÇÕES DO MÉTODO

Segundo ENNE [26] para que este método de determinação forneça bons resultados, tanto para a latitude quanto para a longitude, é recomendado observar um mesmo número de estrelas em cada um dos quatro quadrantes, tendo o cuidado de que seus azimutes não se afastem muito da região central dêstes. Desta forma seus azimutes devem estar entre 30° a 60° no primeiro

quadrante, 120° a 150° no segundo, 210° a 240° no terceiro, e finalmente 300° a 330° no quarto quadrante.

Quando se observa as estrelas num mesmo almicantarado e o tempo decorrido entre a primeira e a última estrela for superior a duas horas, é aconselhado tratar estas observações em dois ou mais grupos, determinando para cada grupo coordenadas ajustadas da estação, assumindo como valor final, para as coordenadas, a média aritmética dos grupos. Este cuidado evitará que possíveis variações das condições atmosféricas venham afetar os resultados.

Quando as estrelas são observadas em alturas diferentes não há necessidade de se dividir estas em grupos, contudo, devido aos erros inerentes ao cálculo da refração astronômica, as distâncias zenitais não devem exceder 60° e nem diferir, entre si, por mais de 5° .

4.5 SELEÇÃO DAS ESTRELAS

Como neste trabalho foram realizadas experiências apenas no método das alturas iguais será apresentada apenas a maneira de selecionar as estrelas que cortam o almicantarado de 30° de distância zenital, pois foi neste almicantarado que as experiências foram realizadas.

Para as latitudes do Brasil, as estrelas têm um ângulo

horário que normalmente não vai além de 2 horas, quando atingem o dito almicantarado; é este valor que permite estabelecer os limites das ascensões retas das estrelas a serem observadas.

Supondo que se queira iniciar as observações às S horas siderais os limites das ascensões retas serão, COELHO |27|

$$\alpha_e = S + 2 \text{ horas,}$$

para as estrelas observáveis à leste, e

$$\alpha_w = S - 2 \text{ horas,}$$

para as de oeste.

Já os limites para as declinações serão, para as estrelas que cruzam o citado almicantarado

| | |
|-----------------------|------------------------------|
| ao sul * | $\delta = \phi - 29^\circ ;$ |
| ao norte | $\delta = \phi + 29^\circ ;$ |
| a leste e oeste | $\delta = \phi ;$ |
| a nordeste e noroeste | $\delta = \phi + 15^\circ ;$ |
| a sudeste e sudoeste | $\delta = \phi - 15^\circ .$ |

Evidentemente as estrelas que têm declinação compreendidas entre $\phi + 15^\circ$ e $\phi - 15^\circ$ são as que melhor satisfazem as condições de azimutes citadas no item 4.4.

* Estes valores são aproximados.

4.6 ELABORAÇÃO DO PROGRAMA DE OBSERVAÇÃO

Uma vez definida a hora sideral do início dos trabalhos e feita a seleção das estrelas, respeitando os limites para as ascensões reta e declinação, os respectivos azimutes e horas siderais das observações são calculados com as fórmulas

$$\cos A = -(\sin \delta - \sin \phi \cos Z) \sec \phi \cos cZ \quad (4.6-1)$$

e

$$S = H + \alpha, \quad (4.6-2)$$

onde

$$\sin H = \sin Z \sec \delta \sin A \quad (4.6-3)$$

sendo que S pode ser convertido para hora legal com a (2.4.1.2-1).

4.7 RESULTADOS

Com o intuito de fazer a comparação dos valores fornecidos por este método de determinação astronômica com aqueles obtidos com o emprego do método de Zinger e Sterneck, foram efetuadas observações em quatro noites diferentes resultando os valores relacionados a seguir.

Na primeira noite, dia 26 de agosto de 1984, foram observadas 19 estrelas, sendo 6 no primeiro quadrante; 4 no se

gundo; 6 no terceiro e 3 no quarto. O resultado foi o seguinte

$$\phi = -25^{\circ} 26' 56,564 \pm 0,561'' \quad e$$

$$L = -3h 16 \text{ min } 54,997s \pm 0,038s.$$

Na segunda noite, dia 9 de setembro de 1984, foram observadas 6 estrelas no primeiro quadrante; 7 no segundo; 6 no terceiro e 5 no quarto, perfazendo um total de 24 estrelas, resultando

$$\phi = -25^{\circ} 26' 56,523'' \pm 0,517'' \quad e$$

$$L = -3h 16\text{min } 55,106s \pm 0,036s.$$

Na terceira noite, 12 de setembro de 1984, foram observadas 21 estrelas com o seguinte resultado

$$\phi = -25^{\circ} 26' 56,249 \pm 0,553'' \quad e$$

$$L = -3h 16\text{min } 55,261s \pm 0,038s,$$

estando as estrelas assim distribuídas: 6 no primeiro quadrante; 4 no segundo; 5 no terceiro e 6 no quarto.

Finalmente, na noite do dia 26 de setembro de 1984, foram observadas 32 estrelas, resultando

$$\phi = -25^{\circ} 26' 56,957'' \pm 0,429'' \quad e$$

$$L = -3h 16min 55,149s \pm 0,030s ,$$

sendo 8 estrelas no primeiro quadrante; 8 no segundo; 7 no terceiro e 9 no quarto.

4.7.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A comparação dos valores encontrados para a latitude , nas quatro noites de observação, mostra, dentro dos limites estabelecidos para determinações de segunda ordem, que estes se repetem com extrema facilidade.

O mesmo não acontece, porém, para a longitude, principalmente quando nesta comparação é envolvido o valor obtido na primeira noite, todavia desconsiderando esta noite, os resultados, à nível de segunda ordem, também se repetem, contudo, não com a mesma facilidade da latitude.

A discrepância da longitude obtida na primeira noite de observação é resultante, não somente do baixo número de estrelas observadas, mas principalmente da má distribuição nos quatro quadrantes astronômicos.

Todos os cálculos relativos a este capítulo foram efetuados pelos programas PROSIM.FOR e SIMULT.FOR, ambos em linguagem Fortran IV, cujas listagens estão no Apêndice. O primeiro tem por objetivo preparar a caderneta de observações, enquanto o segundo executa todos os cálculos concernentes à de-

terminação simultânea da latitude e da longitude por observação de estrelas em alturas iguais.

CAPÍTULO V

CONCLUSÃO E COMENTÁRIOS

5.1 CONCLUSÃO

Os valores obtidos para a latitude com o método da determinação simultânea da latitude e da longitude, por observação de estrelas em alturas iguais, quando comparados com aqueles fornecidos pelo método de STERNECK não deixa dúvida quanto a equivalência destes dois métodos, com relação a latitude, principalmente no que diz respeito a repetibilidade dos resultados e dos baixos erros médios quadráticos. (Ver quadro 5.1-1).

A longitude, por ser fundamentada na diferença de horas entre dois lugares, envolvendo com isso a observação de instantes cronométricos, não mostra a mesma repetibilidade de valores que apresenta a determinação da latitude.

A tomada do instante cronométrico da passagem de uma estrela por um determinado retículo do teodolito é tão mais precisa quanto maior for a velocidade zenital do astro, o que explica os melhores resultados obtidos com o método de ZINGER,

QUADRO 5.1.-1

Resultados obtidos para latitude e longitude

| MÉTODOS | LATITUDE | LONGITUDE |
|--|-------------------------------------|------------------------------|
| Sterneck | $-25^{\circ}26'56,54'' \pm 0,302''$ | |
| | $-25^{\circ}26'56,37'' \pm 0,503''$ | |
| | $-25^{\circ}26'55,85'' \pm 0,374''$ | |
| Zinger | | $-3h16min55,204s \pm 0,062s$ |
| | | $-3h16min55,148s \pm 0,046s$ |
| | | $-3h16min55,218s \pm 0,021s$ |
| Determinação simultânea da latitude e da longitude | $-25^{\circ}26'56,56'' \pm 0,561''$ | $-3h16min54,997s \pm 0,038s$ |
| | $-25^{\circ}26'56,52'' \pm 0,517''$ | $-3h16min55,106s \pm 0,036s$ |
| | $-25^{\circ}26'56,25'' \pm 0,553''$ | $-3h16min55,261s \pm 0,038s$ |
| | $-25^{\circ}26'56,96'' \pm 0,429''$ | $-3h16min55,149s \pm 0,030s$ |

pois uma de suas condições é que os astros sejam observados o mais próximo possível do primeiro vertical, quando, então, suas velocidades zenitais são máximas.

O método da determinação simultânea da latitude e da longitude baseado em observações de estrelas nas regiões centrais dos quatro quadrantes, quando então a velocidade zenital do astro não é máxima, perde um pouco do rigor, no que tange à longitude. Este problema, pelo que indicam os valores ob-

tidos no dia 26 de setembro de 1984 é contornado com a observação de um maior número de estrelas igualmente distribuídas nos quatro quadrantes astronômicos.

O tempo gasto para a observação de 10 pares de estrelas para a determinação da latitude pelo método de STERNECK é de 12 pares para a determinação da longitude pelo método de ZINGER variou entre 5 e 6 horas, enquanto que o tempo dispensado na observação de 32 estrelas para determinação simultânea da latitude e da longitude, por observação de estrelas em alturas iguais, foi de 3 a 4 horas.

O tempo computacional necessário para elaborar o programa de observação e efetuar os cálculos necessários para obtenção da latitude e da longitude, bem como seus estimadores de precisão, no método da determinação simultânea da latitude e da longitude é de aproximadamente $3/4$ do tempo total gasto para determinação da latitude e da longitude pelos métodos, respectivamente, de STERNECK e ZINGER.

A conclusão é que o método da determinação simultânea da latitude e da longitude, por observação de estrelas em alturas iguais, pode ser perfeitamente empregado, com vantagens, para a determinação de posição geográfica de segunda ordem, desde que sejam observadas, pelo menos 8 estrelas em cada quadrante.

5.2 COMENTÁRIOS

Durante as observações astronômicas para o método de Zinger e para o método da determinação simultânea da latitude e da longitude foi percebido que, provavelmente por falta de experiência do observador, o valor do erro médio quadrático m_h da leitura do nível de Horrebow, citado no item 4.3.2, e o valor do erro médio quadrático m_t do registro do instante cronométrico, citado no item 4.2.2 não eram compatíveis com os mostrados pelas observações.

Para verificar esta diferença foi realizado o teste χ^2 em $V^T P V$, sendo este rejeitado, a nível de 5% de significância, quando a matriz variância-covariância das observações foi calculada com os citados valores; e aceitos, também a nível de 5% de significância, quando adotado $m_h = 1,5''$ e $m_t = 4''$.

Para encerrar, o autor deseja externar seu desejo de, em trabalhos futuros, realizar experiências com o método da determinação simultânea da latitude e da longitude por observação de estrelas em alturas diferentes.

NOTAS DE REFERÊNCIAS

- |01| CAMPOS, M.A. de. Análise e Comparação dos Resultados de Observações Obtidas com Teodolitos Wild T2 e T4 para Determinação da Latitude Astronômica de Segunda Ordem. Curitiba, 1979. Dissertação de Mestrado.UFPR. p. 34-36.
- |02| Ibid. p. 3-6.
- |03| Ibid. p. 24-28.
- |04| OMEGA. Département Chronometrage. Omega Time Recorder 2. Bienne, 1967, 25 f.
- |05| MUELLER, I.I. & EICHHORN, R. Spherical and Pratical Astronomy, as Applied to Geodesy. New York, Ungar , 1969. p. 363-366.
- |06| Ibid. p.371-372.
- |07| BUREAU INTERNATIONAL L'HEURE. Circular D, nº 214, 215, 216 e 217. Paris, 1984.
- |08| EFEMÉRIDES ASTRONOMICAS 1984. Observatório Nacional . Rio de Janeiro, 1983.
- |09| ANUÁRIO ASTRONÔMICO 1984. Instituto Astronômico e Geofísico.São Paulo, 1983.
- |10| ANDRADE, J.B. de. Refração nas Medidas Angulares. Curitiba, 1979. Trabalho apresentado no 9º Congresso Brasileiro de Cartografia.
- |11| HATSCHBACH, F. Redução de Coordenadas Celestes e Identificação de Estrelas em Catálogos Gravados em Fitas Magnéticas. Programas em Linguagem Fortran IV. Curitiba, 1975. Tese de Mestrado. UFPR. p. 34-36.
- |12| IBGE. Boletim de Serviço nº 1602. Rio de Janeiro, 1983, p. 10.
- |13| MUELLER, I.I. & EICHHORN, H. p. 429, 471, 519.

- | 14 | CAMPOS, M. de A. p. 56.
- | 15 | MATTOS, A.H. de. Astronomia de Campo. 3 ed. Rio de Janeiro, F. Briguiet & Cia., 1940, p. 95.
- | 16 | MENEZES, A.B. de. Catálogo de Pares de Sterneck. Bahia, Científica, 1952. Monografia nº 6. 271 p.
- | 17 | HATSCHBACH, F. Tempo em Astronomia. Ctba.UFPR. 1979. p.9,11,13.
- | 18 | MUELLER, I.I. & EUCHOORN, H. p. 439.
- | 19 | GEMAEL, C. Astronomia de Campo. 2a. parte. Curitiba, UFPR, 1970. p. 9.8-9.12.
- | 20 | MATTOS, A.H. de. p. 79-80.
- | 21 | MATTOS, A.H. de. Catálogo de Pares de Estrelas para a Determinação da Hora pelo Método de Zinger.
- | 22 | GEMAEL, C. Aplicação do Cálculo Matricial em Geodésia. 2a.parte: Ajustamento de Observações. Curitiba,UFPR, 1974. p. 64-66.
- | 23 | DALMOLIN, Q. Ajustamento de Observações pelo Processo Iterativo. Curitiba, 1976. Tese de Mestrado. UFPR. p. 63.
- | 24 | ROELOFS, R. Astronomy Applied to Land Surveying. Amsterdam, N.V. Wid J. Ahrend & Zoon., 1950. p. 103,110 e 170.
- | 25 | GEMAEL, C. p. 32-39.
- | 26 | ENNE, P.C.F. Determinação Simultânea da Latitude e da Longitude de um Lugar pelo Método das Alturas Iguais. Rio de Janeiro, IME, 1961. p. 11.
- | 27 | COELHO, D.P. Lista de Estrelas. Rio de Janeiro, Serviço Geográfico do Exército, 1945. p. 7-8.

APÊNDICE

MAIN. PROSTE.FOR FORTRAN V.6(1144)

```
00001 !... PROGRAMA PARA CALCULAR A DISTANCIA ZENITAL E A HORA
00002 !... LEGAL DA OBSERVACAO DE ESTRELAS ((METODO DE STERNECK))
00003     FRAC(IG, MG, XSG) = (ABS(IG) + (MG + XSG/60)/60)
00004 !... LEITURA DO NUMERO DE PARES, DA LATITUDE, DA LONGITUDE.
00005 !... DA HORA SIDERAL A ZERO HORA TU E DO FUSO HORARIO
00006     READ(2,100) N,IF,MF,XSF,IL,ML,XSL,IS,MS,XSS,IFF
00007     FI = FRAC(IF,MF,XSF)
00008     XL = FRAC(IL,ML,XSL)
00009     CC = FRAC(23,56,04,09)
00010     S0 = FRAC(IS,MS,XSS)
00011     IF(IF.LT.0) FI = -FI
00012     IF(IL.LT.0) XL = -XL
00013     YY = XL*0.0027379
00014     XX = IFF - XL
00015     WRITE(3,300)
00016     DO 1 I = 1,2*N
00017     READ(2,200) NO1,NO2,NO3,NO4,NO5,NO6,NO7,IA,MA,XSA,
00018 > ID,MD,XSD
00019     ISA = XSA      ;      ISD = XSD
00020     ALFA = FRAC(IA,MA,XSA)
00021     DELT = FRAC(ID,MD,XSD)
00022     IF(ID.LT.0) DELT = -DELT
00023     Z = FI - DELT
00024     HL = (ALFA - S0 + YY)/1.002737909
00025     IF(HL.LT.-XX) HL = HL + CC
00026     HL = HL + XX
00027     IH = HL      ;      IZ = Z
00028     HH = (HL - IH)*60      ;      ZZ = (Z - IZ)*60
00029     MH = HH      ;      MZ = ZZ
00030     ISH = (HH - MH)*60      ;      ISZ = (ZZ - MZ)*60
00031     WRITE(3,400) NO1,NO2,NO3,NO4,NO5,NO6,NO7,IH,MH,ISH,
00032 > IZ,MZ,ISZ,IA,MA,ISA,ID,MD,ISD
00033     IF(I.EQ.25.OR.I.EQ.50.OR.I.EQ.75.OR.I.EQ.100)
00034 > WRITE(3,300)
00035     1 CONTINUE
00036     100 FORMAT(11G)
00037     200 FORMAT(6A4,1A4,6G)
00038     300 FORMAT(1H1,T5,'PROGRAMA DE OBSERVACAO PARA A DETER
00039 > MINACAO DA LATITUDE (STERNECK)',/,T5,65('*'),//,T5,
00040 > 'PAR',T15,'NOME',T27,'MAG.',T35,' HORA LEGAL',
00041 > T51,'ZENITAL',T67,'ALFA',T80,'DELTA',//)
00042     400 FORMAT(T4,6A4,1A4,2X,3I4,2X,3I4,2X,3I4,2X,3I4,/)
00043     STOP
00044     END
```

```

00001 !... PROGRAMA P/ CALCULAR A LATITUDE PELO METODO DE STERNECK
00002 IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z)
00003 DIMENSION FI(40),V(40),NN(40)
00004 FUNC(P,T,ITT) = DATAN(DSIN(ITT)/DCOS(ITT)*
00005 > DLOG(1.D0 + 0.000105247*P/(T+273)))
00006 FAT = 3.1415926536D0/180.D0
00007 A = 57.9234781D0/206264.806D0
00008 B = 0.0726777D0/206264.806D0
00009 !... LEITURA DA DATA E DO NUMERO DE PARES DE ESTRELAS
00010 !... OBSERVADAS NESTA DATA
00011 READ(2,100) NDIA,MES,IANO,N
00012 IF(NDIA.EQ.0) STOP
00013 XME = 0.00
00014 VVV = 0.00
00015 WRITE(3,200)NDIA,MES,IANO
00016 DO 1 I = 1,N
00017 !... LEITURA DA DECLINACAO, DA DISTANCIA ZENITAL OBSERVADA,
00018 !... DA PRESSAO EM MMHG, DA TEMPERATURA EM GRAUS CELSIUS
00019 !... DA ESTRELA DE NORTE.
00020 READ(2,100) NN(I),IGDN,MDN,SEDN,IGZN,MZN,SEZN,PN,CN
00021 DEN = ((SEDN/60.D0+MDN)/60.D0+ABS(IGDN))*FAT
00022 IF(IGDN.LT.0.D0) DEN = -DEN
00023 ZON = ((SEZN/60.D0+MZN)/60.D0+IGZN)*FAT
00024 TAN = DSIN(ZON)*0.998745186
00025 TAN = DATAN(TAN/(DSQRT(1.D0-TAN*TAN)))
00026 REN = FUNC(PN,CN,TAN) ; RN = REN*206264.806
00027 WRITE(3,300) NN(I),IGDN,MDN,SEDN,IGZN,MZN,SEZN,
00028 > CN,PN,RN
00029 !... LEITURA DOS MESMOS ELEMENTOS REFER. A ESTRELA DE SUL
00030 READ(2,100) IGDS,MDS,SEDS,IGZS,MZS,SEZS,PS,CS
00031 DES = ((SEDS/60.D0+MDS)/60.D0+ABS(IGDS))*FAT
00032 IF(IGDS.LT.0.D0) DES = -DES
00033 ZOS = ((SEZS/60.D0+MZS)/60.D0+IGZS)*FAT
00034 TAS = DSIN(ZOS)*0.998745186
00035 TAS = DATAN(TAS/(DSQRT(1.D0-TAS*TAS)))
00036 RES = FUNC(PS,CS,TAS) ; RS = RES*206264.806
00037 WRITE(3,400) IGDS,MDS,SEDS,IGZS,MZS,SEZS,CS,PS,RS
00038 !... CALCULO DA LATITUDE REFERENTE AO PAR 1
00039 FI(I) = (DES + DEN + ZOS - ZON + RES - REN)/2.D0
00040 XME = FI(I) + XME
00041 1 CONTINUE
00042 !... CALCULO DA LATITUDE MEDIA
00043 FIM = XME/N
00044 !... CALCULO DOS RESIDUOS
00045 DO 2 I = 1,N
00046 V(I) = (FI(I) - FIM)*206264.806
00047 VVV = V(I)*V(I) + VVV
00048 2 CONTINUE
00049 !... CALCULO DO ERRO MEDIO QUADRATICO DA MEDIA
00050 DESP = DSQRT(VVV/(N*(N-1)))
00051 !... DETERMINACAO DO VALOR MAXIMO E MINIMO ENCONTRADO
00052 XMA = FI(1) ; XMI = FI(1)
00053 DO 3 I = 2,N
00054 IF(FI(I).LT.XMA) XMA = FI(I)
00055 IF(FI(I).GT.XMI) XMI = FI(I)
00056 3 CONTINUE

```

MAIN. STERNE.FOR FORTRAN V.6(1144)

```
00057 WRITE(3,500)
00058 DO 4 I = 1,N
00059 CALL RADGMS(FI(I),IG,M,SE,FAT)
00060 !... ESCRITA DA LATITUDE ENCONTRADA PARA CADA PAR
00061 !... E DO SEU RESIDUO
00062 WRITE(3,600) AN(I),IG,M,SE,V(I)
00063 4 CONTINUE
00064 !... ESCRITA DO VALOR MAX., MIN., DA MEDIA E SEU ERRO MEDIO
00065 CALL RADGMS(XMA,IG1,M1,SE1,FAT)
00066 CALL RADGMS(XM1,IG2,M2,SE2,FAT)
00067 CALL RADGMS(FIN,IGM,MM,SEF,FAT)
00068 WRITE(3,700) IG1,M1,SE1,IG2,M2,SE2,IGM,MM,SEF,DESP
00069 100 F0RMA1(100)
00070 200 F0RMA1(101,T31,'LATITUDE PELO METODO DE STERNECK',/,
00071 > T31,2(' '),I4,'**** ***** ** *****',//,T10,'PARES
00072 > OBSERVADOS EM ',I2,'/',I2,'/',I4,'//,T10,'PAR',T20,
00073 > 'DECLINACAO',T35,'ZENTRAL OBS',T50,'TEMPERATURA',T65,
00074 > 'PRESSAO',T76,'REFRACAO',//,T20,'GR M1 SEG',T35,'GR
00075 > M1 SEG',T52,'CELSIUS',T67,'MMHG',T78,'SEG',/)
00076 300 F0RMA1(//,T10,I2,' M',T19,2I3,F6.2,T34,2I3,F6.2,
00077 > T52,F6.2,T66,F6.2,T77,F5.2)
00078 400 F0RMA1(T15,'S',T19,2I3,F6.2,T34,2I3,F6.2,T52,
00079 > F6.2,T66,F6.2,T77,F5.2)
00080 500 F0RMA1(101,T10'PAR'T23,'LATITUDE',T41,'RESIDUOS',/)
00081 600 F0RMA1(T10,I3,T18,2I4,F7.2,T41,F7.2)
00082 700 F0RMA1(///,T10,'VALOR MAXIMO -->',2I4,F7.2,//,T10,
00083 > 'VALOR MINIMO -->',2I4,F7.2,//,T10,'VALOR MEDIO --->',
00084 > 2I4,F7.2,' +- ',F6.3)
00085 STOP
00086 END
```

RADGMS SIMULT.FOR FORTRAN V.6(1144)

```
00001 SUBROUTINE RADGMS(A,IGRA,MIN,SEG,FAT)
00002 IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z)
00003 A = A/FAT
00004 IGRA = IDINT(A)
00005 A = (A - IGRA)*60.D0
00006 XMIN = IDINT(A)
00007 SEG = (A - XMIN)*60.D0
00008 IF(IGRA.EQ.0) RETURN
00009 MIN = DABS(XMIN) ; SEG = DABS(SEG)
00010 RETURN
00011 END
```

```

00001  !... PROGRAMA PARA A ELABORACAO DO PROGRAMA DE OBSERVACAO
00002  !... DO METODO DE "ZINGER"
00003      FRAC(1,M,S) = (ABS(I) + (M + S/60)/60)
00004      WRITE(3,300)
00005      PI = ATAN(1,0)*4
00006      PI2 = PI*2
00007      PI3 = PI2/15
00008      FAT = PI/180
00009  !... LEITURA DO NUMERO DE PARES, DA LATITUDE, DA LONGITUDE,
00010  !... DA HORA SIDERAL A ZERO HORA TU, DA HORA LEGAL DO
00011  !... INICIO E FIM DOS TRABALHOS E DO FUSO HORARIO
00012      READ(2,100) N,IFI,MF,SF,IL,ML,SL,IS,MS,SS,HIN,HFIM,IFF
00013      XXX = FRAC(23,56,04,09)*FAT
00014      FI = FRAC(IFI,MF,SF)*FAT
00015      XL = FRAC(IL,ML,SL)*FAT
00016      IF(IFI.LT.0) FI = -FI
00017      IF(IL.LT.0) XL = -XL
00018      S0 = FRAC(IS,MS,SS)*FAT
00019      X3 = 0.75*FAT ; X6 = 2*X3
00020      YY = XL*0.0027379 ; XX = IFF*FAT - XL
00021      SEF = SIN(FI) ; COF = COS(FI)
00022      XAF = 1.002737909 ; K = 0
00023      HIN = HIN*FAT ; HFIM = HFIM*FAT
00024  !... LEITURA DO NUM. DO PAR, DO NUM. DA ESTRELA, DO BRILHO,
00025  !... DA ASCENCAO RETA E DA DECLINACAO DA ESTRELA DE LESTE
00026      DO 3 I = 1,N
00027          READ(2,100) NP,NE,BRE,IAE,MAE,SAE,IDE,MDE,SDE
00028  !... LEITURA DOS MESMOS ELEMENTOS REFERENTES A ESTRELA DE
00029  !... OESTE COM EXCECAO DO NUMERO DO PAR
00030          READ(2,100) NW,BRW,IAW,MAW,SAW,IDW,MDW,SDW
00031          ALFE = FRAC(IAE,MAE,SAE)*15*FAT
00032          DELE = FRAC(IDE,MDE,SDE)*FAT
00033          IF(IDE.LT.0) DELE = -DELE
00034          ALFW = FRAC(IAW,MAW,SAW)*15*FAT
00035          DELW = FRAC(IDW,MDW,SDW)*FAT
00036          IF(IDW.LT.0) DELW = -DELW
00037          SE = (ALFE + ALFW)/2 - X3
00038          SW = SE + X6
00039  1      HE = SE - ALFE
00040          HW = SW - ALFW
00041          COZE = SEF*SIN(DELE) + COF*COS(DELE)*COS(HE)
00042          COZW = SEF*SIN(DELW) + COF*COS(DELW)*COS(HW)
00043          IF(COZE.GT.0) GO TO 2
00044          SE = SE - PI
00045          SW = SW - PI
00046          GO TO 1
00047  2      ZE = ATAN(SQRT(1 - COZE**2)/COZE)
00048          ZW = ATAN(SQRT(1 - COZW**2)/COZW)
00049          ZM = (ZE + ZW)/2
00050          CO = COS(ZM) ; SEM = SIN(ZM)
00051          COHE = (CO - SEF*SIN(DELE))/(COF*COS(DELE))
00052          COHW = (CO - SEF*SIN(DELW))/(COF*COS(DELW))
00053          HE = -ABS(ATAN(SQRT(1 - COHE**2)/COHE))
00054          HW = ABS(ATAN(SQRT(1 - COHW**2)/COHW))
00055          SE = HE + ALFE
00056          SW = HW + ALFW

```

MAIN. PROZIN.FOR FORTRAN V.6(1144)

```
00057      IF(SE.LT.0) SE = SE + PI2
00058      IF(SW.GT.PI2) SW = SW - PI2
00059      COAE = (SEF*CO - SIN(DELE))/(COF*SEM)
00060      COAW = (SEF*CO - SIN(DELW))/(COF*SEM)
00061      AE = ABS(ATAN(SQRT(1 - COAE**2)/COAE))
00062      AW = ABS(ATAN(SQRT(1 - COAW**2)/COAW))
00063      AEF = PI + AE
00064      IF(COAE.GT.0.) AEF = PI2 - AE
00065      IF(COAW.LT.0.) AW = PI - AW
00066      SF = (SE/15 - S0 + YY)/XAM
00067      SW = (SW/15 - S0 + YY)/XAM
00068      IF(SE.LT.-XX) SE = SE + XXX
00069      IF(SW.LT.-XX) SW = SW + XXX
00070      SE = SE + XX    ;    SW = SW + XX
00071      IF(SE.LT.HIN.AND.SE.GT.HFIM) GO TO 3
00072      K = K + 1
00073      CALL PADGMS(ZM,I2,MZ,SZ,FAT)
00074      CALL PADGMS(SE,ISE,MSE,SSE,FAT)
00075      CALL PADGMS(SW,ISW,MSW,SSW,FAT)
00076      CALL PADGMS(AEF,IAEF,MAEF,SAEF,FAT)
00077      CALL PADGMS(AW,IAWF,MAWF,SAWF,FAT)
00078      *WRITE(3,200) NP,NE,BRE,ISE,MSE,SSF,I2,MZ,SZ,IAEF,
00079      >                    MAEF,SAEF,IAE,MAE,SAE,IDE,MDE,SDE
00080      *WRITE(3,200) NP,NW,BRW,ISW,MSW,SSW,I2,MZ,SZ,IAWF,
00081      >                    MAWF,SAWF,IAW,MAW,SAW,IDW,MDW,SDW
00082      IF(K.LT.13) GO TO 3
00083      WRITE(3,300)
00084      K = 0
00085      3      CONTINUE
00086      100      FORMAT(13G)
00087      200      FORMAT(/,2X,I3,2X,I4,2X,F4.2,4X,2I3,F6.2,2X,2I3,F6.2,
00088      >                    2X,2I3,F6.2,2X,2I3,F7.3,2X,2I3,F6.2)
00089      300      FORMAT(1H1,/,3X,'PROGRAMA DE OBSERVACAO PARA A DETER
00090      >MINACAO DA LONGITUDE (ZINGER)',/3X,64('*'),//,2X,'PAR
00091      >      NUM    BR            'HORA LEGAL      ZENITAL
00092      >AZIMUTE                    ALFA                    DELTA',/)
00093      CALL EXIT
00094      END
```

```

00001  !... PROGRAMA PARA CALCULAR A LONGITUDE PELO METODO DE ZINGER
00002      IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z)
00003      DIMENSION XLO(20),V(20),NPA(20)
00004      FRAC(II,JJ,SS) = (ABS(II)+(JJ + SS/60.D0)/60.D0)*FAT
00005      FAT = DATAN(1.D0)/45.D0 ; ZZZ = 24.D0*FAT
00006  !... CONSTANTES DA ABERRACAO DIARIA
00007      C213 = 0.0213/206264.806 ; C320 = 0.32/206264.806
00008      XLO0 = 0.D0 ; VVV = 0.D0
00009  !... LEITURA DA DATA
00010      READ(2,100) NDIA,MES,IAHO
00011  !... LEITURA DO NUM. DE PARES OBSERVADOS, DO ESTADO RELATIVO
00012  !... DO CRONOMETRO, DO INST. CRONOMETRICO REFERENTE A ESTE
00013  !... ESTADO, DA LATITUDE, DA CONSTANTE DO NIVEL DE HORREBOW,
00014  !... DA MARCHA HORARIA DO CRONOMETRO E DO NUM. CLASSIFICADOR
00015  !... DO CRONOMETRO (ICRO=ZERO => SIGUAL, ICRO=00 => MEDIO)
00016  !... OBS. "INDEPENDENTEMENTE DO TIPO DE CRONOMETRO UTILIZADO
00017  !... O SEU ESTADO RELATIVO DEVE SER CALCULADO COM A FOR-
00018  !... MULA =====> FI == UT1*1.002737909265 + S0 - 1 "
00019      READ(2,100) NP,IEG,MEG,SEG,ITE,MTE,STE,IFI,MFI,
00020      > SFI,CH,XMAR,ICRO
00021      EG = FRAC(IEG,MEG,SEG)
00022      TG = FRAC(ITE,MTE,STE)
00023      FI = FRAC(IFI,MFI,SFI)
00024      IF(IFI.LT.0) FI = -FI
00025      IF(IEG.LT.0) EG = -EG
00026      XMAR = XMAR/206264.806
00027      CH = CH/206264.806/30.D0
00028      SEF = DSIN(FI) ; COF = DCOS(FI) ; TAF = SEF/COF
00029      DO 2 I = 1,NP
00030  !... LEITURA DO NUM. DO PAR, DA ASCENCAO RETA, DA DECLINACAO
00031  !... DOS EXTREMOS (ESO E DIR) DA BOLHA DO NIVEL DE HORREBOW
00032  !... E DO INSTANTE CRONOMETRICO REFERENTE A ESTRELA DE LESTE
00033      READ(2,100) NPA(I),IAE,MAE,SAE,IDE,MDE,SDE,BEE,BED,
00034      > ITE,MTE,STE
00035  !... LEITURA DOS MESMOS ELEMENTOS REFERENTES A ESTRELA
00036  !... DE OESTE, COM EXCECAO DO NUMERO DO PAR
00037      READ(2,100) IAW,MAW,SAW,IDW,MDW,SDW,BWE,BWD,
00038      > ITW,MTW,STW
00039      ALFE = FRAC(IAE,MAE,SAE) ; DECE = FRAC(IDE,MDE,SDE)
00040      ALFW = FRAC(IAW,MAW,SAW) ; DECW = FRAC(IDW,MDW,SDW)
00041      TTEE = FRAC(ITE,MTE,STE) ; ITTW = FRAC(ITW,MTW,STW)
00042      TTEE = (TTEE - TG)*XMAR + TTEE
00043      ITTW = (ITTW - TG)*XMAR + ITTW
00044      IF(ALFW.LT.ALFE) ALFW = ALFW + 24*FAT
00045      IF(ICRO.EQ.0) GO TO 1
00046      TTEE = (TTEE - TG)*1.002737909D0 + TG
00047      ITTW = (ITTW - TG)*1.002737909D0 + TG
00048  1  IF(ALFE.LT.ALFW) ALFE = ALFE + ZZZ
00049      IF(IDE.LT.0) DECE = -DECE
00050      IF(IDW.LT.0) DECW = -DECW
00051  !... CALCULO DA CORRECAO DEVIDA AO NIVEL DE HORREBOW E DA
00052  !... ABERRACAO DIURNA
00053      CORR = (BWE + BWD - BEE - BED)*CH
00054      CALL HOAB(ALFE,ALFW,DECE,DECW,TTEE,ITTW,COF,SEF,
00055      > CORR,C213,C320)
00056  !... CALCULOS AUXILIARES PARA A OBTENCAO DO ESTADO ABSOLUTO

```

```

00057      ALFA = (ALFE - ALFW)*7.500
00058      AAAA = (ALFE + ALFW)*7.500
00059      BETA = (DECE - DECW)/2.00
00060      BBBB = (DECE + DECW)/2.00
00061      AUX2 = (TTEE + TTWW)*7.500
00062      GAMA = (TTEE - TTWW)*7.500 - ALFA
00063      FFE = DATAN(DSIN(BBBB)*DSIN(BETA)*DCOS(GAMA)/
00064      >      (DCOS(BBBB)*DCOS(BETA)*DSIN(GAMA)))
00065      >      SMC = TAF*DSIN(BETA)*DCOS(FFE)/
00066      >      (DCOS(BETA)*DSIN(GAMA))
00067      FMC = DATAN(SMC/DSQRT(1.00-SMC*SMC))
00068      !... CALCULO DO ESTADO ABSOLUTO
00069      P0 = AAAA + FMC - FFE - AUX2
00070      !... CALCULO DA LONGITUDE
00071      XLO(I) = E0/15.00 - EG
00072      XLOF = XLO(I) + XLOM
00073      2      CONTINUE
00074      !... CALCULO DA LONGITUDE MEDIA
00075      XLOM = XLO/NP ; XMA = XLO(1) ; XMI = XMA
00076      !... CALCULO DOS DESVIOS DA MEDIA
00077      DO 3 I = 1, NP
00078      V(I) = (XLO(I) - XLOM)*206264.806
00079      VVV = V(I)*V(I) + VVV
00080      !... PROCURA DOS VALORES MAXIMO E MINIMO ENCONTRADOS
00081      IF(XLO(I).GT.XMA) XMA = XLO(I)
00082      IF(XLO(I).LT.XMI) XMI = XLO(I)
00083      3      CONTINUE
00084      !... CALCULO DO ERRO MEDIO QUADRATICO DA MEDIA
00085      DESP = DSQRT(VVV/(NP*(NP-1)))
00086      *RTIE(3,200) NDIA,MES,IANO
00087      DO 4 I = 1, NP
00088      CALL RADGMS(XLO(I),IG,MM,SS,FAT)
00089      !... ESCRITA DO NUMERO DO PAR, DA LONGITUDE ENCONTRADA E DO
00090      !... CORRESPONDENTE DESVIO DA MEDIA
00091      WRITE(3,300) NPA(I),IG,MM,SS,V(I)
00092      4      CONTINUE
00093      !... ESCRITA DOS VALORES MAXIMO, MINIMO E MEDIO
00094      CALL RADGMS(XMA,I1,M1,S1,FAT)
00095      CALL RADGMS(XMI,I2,M2,S2,FAT)
00096      CALL RADGMS(XLOM,I3,M3,S3,FAT)
00097      WRITE(3,400) I1,M1,S1,I2,M2,S2,I3,M3,S3,DESP
00098      100      FORMAT(13G)
00099      200      FORMAT(/,T10,'LONGITUDE PELO METODO DE ZINGER',/,T10,
00100      >9(' '), ' **** ***** ** *****',//,T10,'DATA ==> ',I2'/
00101      >I2'/I4,/,T10,'PAR',I22,'LONGITUDE',I43,'DESVIOS',/)
00102      300      FORMAT(I10,I3,T18,2I4,F8.3,I42,F8.3)
00103      400      FORMAT(///,T10,'VALOR MAXIMO ==>',2I4,F8.3,/,T10,
00104      >'VALOR MINIMO ==>',2I4,F8.3,/,T10,'VALOR MEDIO ==>',
00105      > 2I4,F8.3,' +/-',F8.3,/)
00106      CALL EXIT
00107      END

```

```

00001      SUBROUTINE HOAB(ALFE,ALFW,DECE,DECW,TIME,TTW,COF,
00002      >      SEF,CORR,C213,C320)
00003      IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z)
00004      GAMA = (TIME - TTW - ALFE + ALFW)*7.500
00005      !... CALCULO DO SENO DA DISTANCIA ZENITAL DA OBSERVACAO
00006      COZZ = COF*DCOS(DECW)*DCOS(GAMA) + SEF*DSIN(DECW)
00007      SEZZ = DSQRT(1.00 - COZZ*COZZ)
00008      !... CALCULO DA VELOCIDADE ZENITAL
00009      DZDH = COF*DCOS(DECW)*DSIN(GAMA)/SEZZ
00010      !... CALCULO DO INSTANTE CRONOMETRICO DA ESTRELA DE OESTE
00011      !... CORRIGIDO DO DESNIVELAMENTO DO APARELHO
00012      TTW = TTW - CORR/DZDH
00013      !... CALCULO DAS COORDENADAS DO ASTRO CORRIGIDAS DA ABERRACAO
00014      !... DIARIA
00015      ALFE = ALFE + C213*COF*DCOS(GAMA)/DCOS(DECE)
00016      ALFW = ALFW + C213*COF*DCOS(GAMA)/DCOS(DECW)
00017      DECE = DECE + C320*COF*DSIN(GAMA)*DSIN(DECE)
00018      DECW = DECW + C320*COF*DSIN(GAMA)*DSIN(DECW)
00019      RETURN
00020      END

```

```

00001  !... ELABORACAO DO PROGRAMA DE OBSERVACOES ASTRONOMICAS PARA
00002  !... A DETERMINACAO SIMULTANEA DA LATITUDE E DA LONGITUDE
00003  DIMENSIOES NC(90),PR(90),IA(90),MA(90),SA(90),ID(90),
00004  > MD(90),SD(90),HL(180),AZE(180),N(180)
00005  FRAC(IL, JJ, SJ) = ABS(I1) + ((JJ + SJ/60)/60)
00006  PI = ATAN(1.)*4 ; PI2 = 2*PI
00007  FAT = PI/180.
00008  !... LEITURA DO NOM. DE ESTRELAS, DA LATITUDE, DA LONGITUDE,
00009  !... DA HORA SIDERAL A ZERO HORA TU, DA HORA LEGAL DO INICIO
00010  !... E FIM DOS TRABALHOS E DO FUSO HORARIO
00011  READ(2,100) NC,IFI,#FI,SFI,IL,ML,SL,IS,#S,SS,
00012  > HIN,HFIM,JFF
00013  FI = FRAC(FI,#FI,SFI)*FAT
00014  XL = FRAC(IL,ML,SL)*FAT
00015  SW = FRAC(IS,#S,SS)*FAT
00016  YXX=FRAC(23,56,04,09)*FAT
00017  IF(IFI.LT.0) FI = -FI
00018  IF(IL.LT.0) XL = -XL
00019  SEF = SIN(FI) ; COF = COS(FI)
00020  XAM = 1.002737909 ; XX = JFF*FAT - XL
00021  YI = XL*0.00273791 ; HIN = HIN*FAT
00022  HFIM= HFIM*FAT
00023  DO 1 I = 1,NE
00024  !... LEITURA DO NUMERO DA ESTRELA, DO BRILHO, DA ASCENCAO
00025  !... RETA E DA DECLINACAO
00026  READ(2,100) NC(I),PR(I),IA(I),MA(I),SA(I),ID(I),
00027  > MD(I),SD(I)
00028  ALFA = FRAC(IA(I),MA(I),SA(I))*FAT
00029  DECL = FRAC(ID(I),MD(I),SD(I))*FAT
00030  IF(ID(I).LT.0) DECL = -DECL
00031  SED = SIN(DECL) ; COD = COS(DECL)
00032  !... CALCULO DO ANGULO HORARIO DA ESTRELA NO MOMENTO EM QUE
00033  !... ESTA ATINGE A DISTANCIA ZENITAL DE TRINTA GRAUS
00034  COH = (0.8660254 - SEF*SED)/(COF*COD)
00035  H = ABS(ATAN(SORT(1-COH*COH)/COH))/15.
00036  !... CALCULO DA HORA LEGAL EM QUE A ESTRELA ATINGE A
00037  !... DISTANCIA ZENITAL ACIMA CITADA
00038  SE = ALFA - H - SW + YI ; SW = SE + H + H
00039  SE = SE/XAM ; SW = SW/XAM
00040  IF(SE.LT.-YX) SE = SE + XXX
00041  IF(SW.LT.-XX) SW = SW + XXX
00042  HL(I) = SE + XX
00043  HL(I+NE) = SW + XX
00044  !... CALCULO DO AZIMUTE REFERENTE A ESTA DISTANCIA ZENITAL
00045  COA = 2*(SEF*0.8660254 - SED)/COF
00046  AZ = ABS(ATAN(SORT(1-COA*COA)/COA))
00047  AZE(I) = PI + AZ
00048  IF(COA.GT.0) AZE(I) = PI2 - AZ
00049  AZE(I+NE) = PI2 - AZE(I)
00050  N(I) = I ; N(I+NE) = I
00051  1 CONTINUE
00052  !... COLOCACAO DAS ESTRELAS EM ORDEM CRESCENTE DA HORA
00053  !... LEGAL DA OBSERVACAO
00054  2 K = 0
00055  DO 4 I = 1,2*NE
00056  IF(HL(I) - HL(I+1)) 4,4,3

```

```

00057      3            TT = HL(I)
00058                HL(I) = HL(I+1)
00059                HL(I+1) = TT
00060                AA = AZE(I)
00061                AZE(I) = AZE(I+1)
00062                AZE(I+1) = AA
00063                II = N(I)
00064                N(I) = N(I+1)
00065                N(I+1) = II
00066                K = 1
00067      4            CONTINUE
00068                IF(K.EQ.1) GO TO 2
00069      !... ESCRITA DO NUMERO DA ESTRELA, DO BRILHO, DA HORA
00070      !... LEGAL DA OBSERVACAO, DO AZIMUTE, DA ASCENCAO RETA
00071      !... E DA DECLINACAO
00072                WRITE(3,200)
00073                DO 5 I = 2,2*NF+1
00074                IF(HL(I).LT.HIN.AND.HL(I).GT.HFIM) GO TO 5
00075                K = K + 1
00076                CALL RADGMS(HL(I),IH,MH,SH,FAT)
00077                CALL RADGMS(AZE(I),IAE,MAE,SAE,FAT)
00078                J = N(I)
00079                WRITE(3,300) NC(J),BR(J),IH,MH,SH,IAE,MAE,SAE,IA(J),
00080                >                MA(J),SA(J),ID(J),MD(J),SD(J)
00081                IF(K.LT.25) GO TO 5
00082                WRITE(3,200)
00083                K = 0
00084      5            CONTINUE
00085      100            FORMAT(13G)
00086      200            FORMAT(1H1,/,5X,'PROGRAMA DE OBS. P/ DETERMINACAO
00087      >            SIMULTANEA DA LATITUDE E DA LONGITUDE',/,5X,71
00088      >            ('*'),/,7X,'NUM      BR            HORA LEGAL            AZIMUTE
00089      >            ALFA                            DELTA',/)
00090      300            FORMAT(/,5X,I5,F5.1,5X,2I3,F6.2,3X,2I3,F6.2,3X,
00091      >            2I3,F7.3,3X,2I3,F6.2)
00092                CALL EXIT
00093                END

```

```

00001 !... PROGRAMA PARA A DETERMINACAO SIMULTANEA DA LATITUDE E
00002 !... DA LONGITUDE PELO METODO DAS ALTURAS IGUAIS
00003 IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z)
00004 DIMENSION X0(3),XX(3),DELTA(50),ALFA(50),CRON(50),P(50)
00005 > J,ICAL(50),AZIM(50),XL(50),AA(50,3),ATA(3,3),ATL(3),
00006 > IQUA(50),IDE(50),MDE(50),SED(50),IAR(50),MAR(50),
00007 > SPAR(50),ICR(50),MCR(50),SECR(50),BRE(50),BRD(50)
00008 FUNC(IG,MI,SFG) = ((SEG/60.D0 + MI)/60.D0 + ABS(IG))
00009 P1 = DATAN(1.D0)*4.D0 ; P12 = 2.D0*PI
00010 FAT = PI/180.D0 ; ZZZ = 15.D0*FAT
00011 !... CONSTANTES DA ABERRACAO DIARIA
00012 C213= 0.021300/3600.D0 ; C320= 0.3200/206264.80600
00013 !... LEITURA DO DIA, DO MES, DO ANO, DA DISTANCIA ZENITAL
00014 !... DAS OBSERVACOES E DO NUMERO DE ESTRELAS OBSERVADAS
00015 ITER = -1
00016 READ(2,100) ND,IMES,IANO,X0(3),NES
00017 X0(3) = X0(3)*FAT
00018 !... LEITURA DA LATITUDE, DA LONGITUDE, DO ESTADO RELATIVO,
00019 !... DO INSTANTE CRONOMETRICO RELATIVO A ESTE ESTADO, DA
00020 !... MARCHA HORARIA DO CRONOMETRO EM SEG., DA CONST. DO NI-
00021 !... VEL DE HORREBOW E DA ESPECIFICACAO DO CRONOMETRO (ICRON),
00022 !... (SE ICRON = ZERO ==> SIDERAL -- UM ==> MEDIO)
00023 !... ORS. "INDEPENDENTEMENTE DO TIPO DE CRONOMETRO UTILIZADO
00024 ! SEU ESTADO RELATIVO DEVE SER CALCULADO COM A FOR-
00025 ! MULA ===> E' = UT1*1.002737909265 + S0 - T "
00026 READ(2,100) IFI,MF,SEF,ILO,MLO,SLO,IES,MES,SES,IT0,
00027 > MT0,SET0,XMAR,XK,ICRON
00028 WRITE(3,200) ND,IMES,IANO,IFI,MF,SEF,ILO,MLO,SLO,IES,
00029 > MES,SES,IT0,MT0,SET0
00030 X0(1) = FUNC(IFI,MF,SEF)*FAT
00031 X0(2) = FUNC(ILO,MLO,SLO)
00032 ESTRE = FUNC(IES,MES,SES)
00033 T0 = FUNC(IT0,MT0,SET0)
00034 XMAR = XMAR/3600.D0
00035 XK = XK/54000.D0
00036 IF(IFI.LT.0) X0(1) = -X0(1)
00037 IF(ILO.LT.0) X0(2) = -X0(2)
00038 IF(IES.LT.0) ESTRE = -ESTRE
00039 !... LEITURA DO QUADRANTE ASTRO. DA OBSERVACAO, DA ASCENCAO
00040 !... RETA, DA DECLINACAO, DAS LEITURAS DOS EXTREMOS ESQ. E
00041 !... DIR. DO NIVEL DE HORREBOW E DO INSTANTE CRONOMETRICO
00042 DO 1 J = 1,NES
00043 READ(2,100) IQUA(I),IAR(I),MAR(I),SEAR(I),IDE(I),
00044 > MDE(I),SED(I),BRE(I),BRD(I),ICR(I),MCR(I),SECR(I)
00045 DELTA(I) = FUNC(IDE(I),MDE(I),SED(I))*FAT
00046 ALFA(I) = FUNC(IAR(I),MAR(I),SEAR(I))
00047 CRON(I) = FUNC(ICR(I),MCR(I),SECR(I))
00048 CRON(I) = (CRON(I) - T0)*XMAR + CRON(I)
00049 IF(IDE(I).LT.0.D0) DELTA(I) = -DELTA(I)
00050 IF(ICRON.GT.0)CRON(I) = (CRON(I)-T0)*1.002737909265+T0
00051 BRB = (BRE(I) + BRD(I))/2
00052 1 CONTINUE
00053 ITER = ITER + 1
00054 SEN = DSIN(X0(1)) ; COSF = DCOS(X0(1))
00055 SEZ = DSIN(X0(3)) ; COSZ = DCOS(X0(3))
00056 DO 6 I = 1,NES

```

```

00057      III = 1
00058      !... CALCULO DO INSTANTE CRONOMETRICO
00059      2      CH = (COSZ-SEN*DSIN(DELTA(I)))/COSE/DCOS(DELTA(I))
00060          SH = DSQRT(1.00 - CH*CH)
00061          H = DABS(DATAN(SH/CH))
00062          IF(IQUA(I).LT.3) GO TO 3
00063          H = -H      ;      SH = -SH
00064      !... CORRECAO DEVIDO A ABERRACAO DIARIA
00065      3      IF(ITER.GT.2) GO TO 4
00066          IF(III.EQ.0) GO TO 4
00067          ALFA(I) = ALFA(I) + C213*COSE*DCOS(H)/DCOS(DELTA(I))
00068          DELTA(I) = DELTA(I) + C320*COSE*DSIN(H)*DSIN(DELTA(I))
00069          III = 0      ;      GO TO 2
00070      4      TCAL(I) = H/ZZZ - Y0(2) - ESTRE + ALFA(I)
00071          IF(TCAL(I).LT.0.00) TCAL(I) = TCAL(I) + 24.00
00072      !... CALCULO DO INST. CRONOMETRICO CORRIGIDO DA INCLINACAO
00073          IF(ITER.GT.0) GO TO 5
00074          CORR = ((BRE(I) + BRD(I))/2.00 - BRR)*XK
00075          DZDH = COSE*DCOS(DELTA(I))*SH/SEZ
00076          CRON(I) = CRON(I) + CORR/DZDH
00077      !... CALCULO DO AZIMUTE DA ESTRELA      I
00078      5      SENA = DCOS(DELTA(I))*SH/SEZ
00079          COSA = DSQRT(1.00 - SENA*SENA)
00080          AZIM(I) = DABS(DATAN(SENA/COSA))
00081          IF(IQUA(I).EQ.2) AZIM(I) = PI - AZIM(I)
00082          IF(IQUA(I).EQ.3) AZIM(I) = PI + AZIM(I)
00083          IF(IQUA(I).EQ.4) AZIM(I) = PI2 - AZIM(I)
00084      !... MONTAGEM DA MATRIZ VAR. - COVAR. DAS OBSERVACOES
00085          IF(ITER.EQ.0) P(I) = 1.500/(COSE*COSE*SENA*SENA)+0.800
00086      !... MONTAGEM DA EQUACAO DE OBSERVACAO RELATIVA A ESTRELA I
00087          AA(I,1) = -DCOS(AZIM(I))/DSIN(AZIM(I))/COSE
00088          AA(I,2) = -1.00
00089          AA(I,3) = 1.00/COSE/DSIN(AZIM(I))
00090      !... CALCULO DO TERMO INDEPENDENTE DESTA EQUACAO
00091          XL(I) = TCAL(I) - CRON(I)
00092      6      CONTINUE
00093      !... CALCULO DE ATL
00094          DO 7 I = 1,3
00095              ATL(I) = 0.00
00096          DO 7 J = 1,NES
00097              ATL(I) = AA(J,I)/P(J)*XL(J) + ATL(I)
00098      7      CONTINUE
00099      !... CALCULO DE ATA
00100          DO 8 I = 1,3
00101              DO 8 J = 1,3
00102                  ATA(I,J) = 0.00
00103              DO 8 L = 1,NES
00104                  ATA(I,J) = AA(L,I)/P(L)*AA(L,J) + ATA(I,J)
00105      8      CONTINUE
00106      !... INVERSAO DA MATRIZ ATA
00107          CALL VERSOL(ATA,XX,3)
00108      !... CALCULO DAS CORRECOES DOS PARAMETROS
00109          DO 9 I = 1,3
00110              XX(I) = 0.00
00111          DO 9 J = 1,3
00112              XX(I) = -ATA(I,J)*ATL(J) + XX(I)

```

```

00113 9 CONTINUE
00114 !... CALCULO DOS PARAMETROS AJUSTADOS
00115 X0(1) = X0(1) + XX(1)*ZZZ
00116 X0(2) = X0(2) + XX(2)
00117 X0(3) = X0(3) + XX(3)*ZZZ
00118 IF(ITER.EQ.10) GO TO 12
00119 DO 10 I = 1,3
00120 IF(DABS(XX(I)) - 4D-8)10,10,1
00121 10 CONTINUE
00122 !... CALCULO DE SIGMA A POSTERIORI
00123 SIGMA = 0.D0
00124 DO 11 I = 1,NES
00125 SIGMA = XL(I)/P(I)*YL(I) + SIGMA
00126 11 CONTINUE
00127 SIGMA = 3600**2*225*SIGMA/(NES-3)
00128 !... CALCULO DA MATRIZ VARIANCIA-COVARIANCIA DOS PARAMETROS
00129 DO 12 I = 1,3
00130 DO 12 J = 1,3
00131 ATA(I,J) = SIGMA*ATA(I,J)
00132 12 CONTINUE
00133 IF(ICRON.EQ.0) GO TO 13
00134 DO 13 I = 1,NES
00135 CRON(I) = ((CRON(I) - T0)/1.002737909265 + T0)*FAT
00136 TCAL(I) = ((TCAL(I) - T0)/1.002737909265 + T0)*FAT
00137 13 CONTINUE
00138 CALL OUTPUT(ICR,MCR,SECR,IAR,MAR,SEAR,IDE,MDE,SED,CRON,
00139 > TCAL,ESTRE,IQUA,X0,T0,ATA,SIGMA,ITER,FAT,NES,BRE,BRD)
00140 100 FORMAT(16G)
00141 220 FORMAT(/,5X,'DETERMINACAO SIMULTANEA DA LATITUDE E DA
00142 > LONGITUDE',/,5X,51('*').///,5X,'DATA ',I3,'/',I3,'/',
00143 > I4,'/',5X,'LATITUDE APROX. ---> ',2I3,F7.3,'/',5X,'LONGI
00144 > TUDE APROX. --> ',2I3,F7.3,'/',5X,'ESTADO RELATIVO --->
00145 > ',2I3,F7.3,' REFERIDO AO INSTANTE ---> ',2I3,F7.3,'/')
00146 STOP
00147 END

```

OUTPUT SIMULT.FOR FORTRAN V.6(1144)

```

00001      SUBROUTINE OUTPUT(TCR,MCR,SECR,IAR,MAR,SEAR,IDE,
00002      >      MDE,SED,CRON,TCAL,ESTRE,IQUA,X0,T0,ATA,SIGMA,
00003      >      ITER,FAT,N,BRE,BRD)
00004      IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z)
00005      DIMENSION TCR(N),MCR(N),SECR(N),IAR(N),MAR(N),SEAR(N),
00006      >      IDE(N),MDE(N),SED(N),CRON(N),TCAL(N),IQUA(N)
00007      >      X0(3),ATA(3,3),BRE(N),BRD(N)
00008      WRITE(3,100)
00009      DO 1 I = 1,N
00010      !      IF(TCAL(I).EQ.0.D0) GO TO 1
00011      CALL RADGMS(CRON(I),ITO,MT0,SET0,FAT)
00012      CALL RADGMS(TCAL(I),ITC,MTI,SETI,FAT)
00013      WRITE(3,200) ICR(I),MCR(I),SECR(I),IAR(I),MAR(I),
00014      >      SEAR(I),IDE(I),MDE(I),SED(I),ITO,MT0,SET0,
00015      >      ITC,MTI,SETI,IQUA(I),BRE(I),BRD(I)
00016      1      CONTINUE
00017      X0(2) = X0(2)*FAT      :      T0 = T0*FAT
00018      CALL RADGMS(X0(1),IFI,MFI,SEFI,FAT)
00019      CALL RADGMS(X0(2),ILO,MLO,SELO,FAT)
00020      WRITE(3,300) IFI,MFI,SEFI,ILO,MLO,SELO
00021      IF(ITER.EQ.10) GO TO 2
00022      WRITE(3,400) SIGMA,((ATA(I,J),J=1,3),I=1,3),ITER
00023      RETURN
00024      2      WRITE(3,500)
00025      100      FORMAT(/,7X,'INSTANTE          ASCENCAO          DECLINACAO'
00026      >6X,'INSTANTE          INSTANTE          QUADR',/,7X,'OBSERVADO'
00027      > 9X,'RETA',23X,'CORRIGIDO          CALCULADO          ASTRO',/)
00028      200      FORMAT(2X,5(3X,2I3,F6.2),5X,T1,5X,2F6.1)
00029      300      FORMAT(///,5X,'LATITUDE AJUSTADA ---> ',2I3,F7.3,
00030      > //,5X,'LONGITUDE AJUSTADA ---> ',2I3,F7.3)
00031      400      FORMAT(///,13X,'ESTIMADORES DE PRECISAO',///,5X,'SIGMA
00032      > A POSTERIORI --->'F8.4//,11X'MATRIZ VARIANCIA-COVARIAN
00033      > CIA'//,3(5X,3F12.6//)///,5X'FORAM FEITAS',12' ITERACOES')
00034      500      FORMAT(///,5X,'FORAM FEITAS 10 ITERACOES E NAO HOUE
00035      > CONVERGENCIA, POR FAVOR, VERIFIQUE SEUS DADOS')
00036      RETURN
00037      END

```

VERSOL SIMULT.FOR FORTRAN V.6(1144)

```

00001      SUBROUTINE VERSOL(A,B,I)
00002      IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z)
00003      DIMENSION A(I,I),B(I)
00004      IF(I.EQ.1) GO TO 5
00005      IM = I-1
00006      DO 4 K = 1,I
00007      DO 1 J = 1,IM
00008      1      B(J) = A(1,J+1)/A(1,1)
00009      B(I) = 1./A(1,1)
00010      DO 3 L = 1,IM
00011      DO 2 J = 1,IM
00012      2      A(L,J) = A(L+1,J+1)-A(L+1,1)*B(J)
00013      3      A(L,I) = -A(L+1,1)*B(I)
00014      DO 4 J = 1,I
00015      4      A(I,J) = B(J)
00016      RETURN
00017      5      A(1,1) = 1.D0/A(1,1)
00018      RETURN
00019      END

```