

SONIA MARIA ALVES COSTA

PROJETO PRÓ-ASTRO

Dissertação apresentada ao Curso de Pós - Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Ciências.

**CURITIBA
1989**

P R O J E T O P R Ó - A S T R O

POR

Sonia Maria Alves Costa

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no curso de Pós - Graduação em Ciências Geodésicas pela comissão formada pelos professores:

ORIENTADOR : _____

Prof. Camil Gemael

CO - ORIENTADORES : _____

Prof. Fernando Hatschbach

Prof. Carlos Nadal

Curitiba, 3 julho de 1989

AGRADECIMENTOS

CAPES

Universidade Federal do Paraná(UFPR)

Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística(IBGE)

aos colegas de trabalho

Carlos Nadal, pelas dicas

Ida da Silva Costa, pela datilografia

RESUMO

Este trabalho, tem como objetivo um estudo sobre o novo sistema astronômico FK5, as novas decisões da União Astronômica Internacional (IAU), o processamento automático, reprocessamento e reavaliação de todos Pontos de Laplace determinados até o momento, como dados necessários para a execução do Projeto de Reajustamento da Rede Planimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro (REPLAN). Neste sentido escolheu-se uma única denominação que englobe todas atividades, chamado PROJETO PRÓ-ASTRO.

ABSTRACT

This work wants to make a study of the astronomic system FK5, of the decisions of the International Astronomical Union (IAU), holding the automatic processing, reprocessing and reassess of all Points of Laplace determined at the moment, as necessaries sets for the execution of the Project of New Adjustment of the Horizontal Network of the Brazilian Geodetic System (REPLAN). It was chosen only one denomination for all these activities called PROJECT PRÓ-ASTRO.

SUMÁRIO

TÍTULO.....	i
AGRADECIMENTOS.....	ii
RESUMO.....	iii
ABSTRACT.....	iv
SUMÁRIO.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE TABELAS.....	xi

CAPÍTULO I

1.1 INTRODUÇÃO	1
----------------------	---

CAPÍTULO II

2. PRECESSÃO, NUTAÇÃO E MOVIMENTO PRÓPRIO	
2.1 PROCEDIMENTO PARA O CÁLCULO DAS POSIÇÕES MÉDIAS E APARENTES DAS ESTRELAS A PARTIR DE 1984	4
2.2 SISTEMAS INERCIAIS.....	5
2.3 CONCEITOS DE PRECESSÃO, NUTAÇÃO E MOVIMENTO PRÓPRIO ..	6
2.4 MATRIZ PRECESSÃO BASEADA NO SISTEMA DE CONSTANTES ASTRONÔMICAS IAU-1976	14
2.4.1 ÂNGULOS PRESSIONAIS	15
2.5 TEORIA DA NUTAÇÃO - IAU - 1980	18
2.5.1 RECOMENDAÇÕES	21

2.6 DETERMINAÇÃO DO EQUINÓCIO FK5	25
2.6.1 DEFICIÊNCIAS DO EQUINÓCIO FK4	25
2.6.2 DADOS BÁSICOS PARA A DETERMINAÇÃO DA CORREÇÃO E(T) PARA O EQUINÓCIO FK5	27
2.6.3 SOLUÇÕES DE E(T)	28
2.6.4 DETERMINAÇÃO DO EQUADOR FK5	29

CAPÍTULO III

3. TEMPO

3.1 INTRODUÇÃO.....	31
3.2 NOVA DEFINIÇÃO DE TEMPO UNIVERSAL	35
3.3 MODERNAS ESCALAS DE TEMPO DINÂMICO	38
3.4 ANO JULIANO E ANO BESSELIANO	40

CAPÍTULO IV

4. REDUÇÃO AO DIA DAS COORDENADAS CELESTES

4.1 CONVERSÃO DAS POSIÇÕES E MOVIMENTO PRÓPRIO DAS ESTRELAS NA ÉPOCA B1950,0 (FK4) PARA O SISTEMA IAU EM J2000,0 (FK5)	44
4.1.1 PROCEDIMENTO	44
4.2 REDUÇÃO DAS AO DIA COORDENADAS CELESTES	47

CAPÍTULO V

5. CÁLCULO DAS EFEMÉRIDES

5.1 ORIENTAÇÃO DAS EFEMÉRIDES JPL, DE200/LE200 AO	
EQUINÓCIO DINÂMICO DE J2000,0	51
5.1.1 PROCEDIMENTO	51
5.2 CÁLCULO DO MOVIMENTO DA TERRA - SUBROTINA BARVEL	52

CAPÍTULO VI

6. PROJETO PRÓ-ASTRO	
6.1 INTRODUÇÃO.....	55
6.2 PROGRAMAS DO SISTEMA PRÓ-ASTRO.....	56
6.3 ESTRUTURA DE PROGRAMAÇÃO.....	57
6.4 ARQUIVOS DO SISTEMA PRÓ-ASTRO	59
6.4.1 ARQUIVOS DE OBSERVAÇÕES DE CAMPO	59
6.4.2 ARQUIVO FK4.DAT	62
6.5 SUBROTINAS DO SISTEMA PRÓ-ASTRO	63
6.6 RELATÓRIOS DE SAÍDA	64
6.7 ESPECIFICAÇÕES	69

CAPÍTULO VII

7. APLICAÇÃO	
7.1 PONTOS DE LAPLACE	71
7.2 DETERMINAÇÕES ASTRONÔMICAS REALIZADAS PELO IBGE	73
7.3 MÉTODOS E INSTRUMENTOS ADOTADOS	75
7.4 REPROCESSAMENTO DOS LAPLACES	76
7.4.1 RESULTADOS PRÁTICOS FK4 X FK5	78
7.4.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS	80

CAPÍTULO VIII

8.1 CONCLUSÃO	82
---------------------	----

APÊNDICES

APÊNDICE **A**

MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO ASTRONÔMICA USADOS NO SISTEMA

A.1 MÉTODO DE STERNECK - DETERMINAÇÃO DA LATITUDE ATRAVÉS DE MEDIDAS DAS DISTÂNCIAS ZENITAIS MERIDIANAS	83
A.2 MÉTODO DE MAYER - DETERMINAÇÃO DA LONGITUDE	94
A.3 MÉTODO DO ÂNGULO HORÁRIO - DETERMINAÇÃO DO AZIMUTE ATRAVÉS DE OBSERVAÇÕES A ESTRELA POLAR SIGMA OCTANTIS.	109
A.4 MÉTODO DE ESTRELAS LESTE-OESTE - DETERMINAÇÃO DO AZIMUTE	119

APÊNDICE **B**

ARQUIVOS DE OBSERVAÇÕES

B.1 LATITUDE	
B.2 LONGITUDE	
B.3 AZIMUTE (SIGMA OCTANTIS)	
B.4 AZIMUTE LESTE-OESTE	

APÊNDICE **C**

RELATÓRIOS DE SAÍDA

C.1 LATITUDE	
C.2 LONGITUDE	
C.3 AZIMUTE (SIGMA OCTANTIS)	

C.4 AZIMUTE LESTE-OESTE

APÊNDICE **D**

SUBROTINAS BARVEL E BARCOR

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LISTA DE FIGURAS

FIGURAS	PÁGINAS
2.1 PRECESSÃO, NUTAÇÃO E MOV. PRÓPRIO.....	7
2.2 ÂNGULOS PRECESSIONAIS.....	16
6.1 ESTRUTURA DE PROGRAMAÇÃO.....	58
7.1 PONTOS DE LAPLACE.....	74
7.2 ÁREA TESTE.....	81
A.1 LONGITUDE A PARTIR DA DIFERENÇA DE HORA.....	94
A.2 INSTRUMENTO NIVELADO.....	101
A.3 INSTRUMENTO INCLINADO.....	101
A.4 FATOR INCLINAÇÃO.....	103
C.1 EFEITO DA ABERRAÇÃO.....	105
C.2 ABERRAÇÃO DIURNA APLICADA A LONGITUDE.....	105
D.1 CORREÇÃO DA CURVATURA.....	114

LISTA DE TABELAS

2.3.A	RELAÇÃO ENTRE ÉPOCAS JULIANAS E BESSELIANAS.....	15
2.5.A	NUTAÇÃO EM LONGITUDE E OBLIQUIDADE REFERIDAS A ECLÍPTICA MÉDIA DA DATA.....	23

CAPÍTULO I

1.1 INTRODUÇÃO

Há cerca de 40 anos, a fundação IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) iniciou no país, as determinações astronômicas de Alta Precisão (latitude, longitude e azimute) em vértices da rede geodésica planimétrica de Alta Precisão. Determinações essas que tornaram-se imprescindíveis no desenvolvimento do Sistema Geodésico Brasileiro para o controle de orientação nos levantamentos planimétricos de Alta Precisão e Precisão.

Pontos de Laplace são vértices de triangulação nos quais são feitas determinações astronômicas de Alta Precisão utilizadas no controle azimutal da rede geodésica planimétrica. As determinações astronômicas de Precisão, são destinadas ao controle dos levantamentos planimétricos de Precisão e na determinação astro-geodésica do geoide.

Diversos fatores influenciam a precisão das determinações, como por exemplo, o instrumental, métodos e procedimentos de observação empregados.

O ramo da astronomia que estuda este assunto chama-se "Astronomia de Posição". Ela tem por objetivo básico a determinação das coordenadas geográficas (latitude e longitude) de um ponto da superfície terrestre e o azimute de uma dire-

ção terrestre, através da observação dos astros.

Nas determinações de longitude e latitude de Alta Precisão, utiliza-se o teodolito Wild T-4 ou similar. Elas baseiam-se em princípios bastante simples, já que o triângulo de posição fica reduzido a um arco de circunferência máxima pois os astros são observados em suas passagens medidianas. Os métodos usados pelo IBGE para determinação da latitude e longitude astronômica são os de Sterneck e Mayer.

Nas determinações de azimuth, deve ser empregado o teodolito Wild T-3 ou similar; os métodos são: Método do Ângulo Horário e o Método Leste-Oeste. O Método do Ângulo Horário consiste na observação da estrela circumpolar sul σ Octantis (FK4-n9923-mag=5.48) nas proximidades da sua elongação; este método é usado nas estações de latitude média, nas quais a constelação Octantis é visível. O Método Leste-oeste consiste na observação de estrelas em elongação a leste e a oeste do meridiano; este método é usado nas estações de latitude baixa nas quais a estrela polar não é visível.

O processamento das estações eram realizadas através de cálculos manuais intercalados por consultas as efemérides e aos catálogos estelares, tornando-se muito lento e passíveis de erros grosseiros.

No início da década de 80 tentou-se a automação dos cálculos astronômicos começando com o cálculo da longitude usando o programa de determinação de longitude pelo Método de Mayer da Universidade Complutense (Madri). Os resultados fornecidos por este programa eram compatíveis com os resultados

do cálculo manual. Isso funcionou até 1983 quando a IAU (União Astronômica Internacional) ainda adotava o sistema de referência astronômico FK4 (4^o Catálogo Fundamental) como época média padrão para a redução das coordenadas celestes das estrelas. A partir de 1^o de janeiro de 1984 a IAU passou a adotar uma série de mudanças, sendo uma delas a substituição do sistema FK4 pelo FK5 (5^o Catálogo Fundamental), tornando-se necessário um estudo sobre todas mudanças no cálculo de redução das coordenadas celestes.

No capítulo II apresentamos as novas mudanças determinadas pela IAU, as novas constantes da precessão, a teoria da nutação IAU-1980, e a redefinição do equinócio.

No capítulo III são conceituadas as antigas e novas escalas de tempo.

No capítulo IV é apresentado o algoritmo de redução das coordenadas celestes médias em aparentes a partir de 1984.

No capítulo V é apresentada a subrotina BARVEL como uma fonte automática para se obter as coordenadas e velocidades baricêntricas e heliocêntricas da Terra.

No capítulo VI é apresentado o Sistema Pró-astro, tendo por objetivo principal a automação dos cálculos astronômicos. Finalizamos o trabalho com o capítulo VII, no qual são divulgados de modo histórico os trabalhos astronômicos realizados pelo IBGE e a importância do Projeto Pró-astro no Projeto de Reajustamento da Rede Planimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro.

CAPÍTULO II

2.1 PROCEDIMENTO PARA O CÁLCULO DAS POSIÇÕES MÉDIAS E APARENTES DAS ESTRELAS A PARTIR DE 1984

De acordo com as resoluções adotadas pela União Astronômica Internacional (IAU) em 1976, novos métodos, constantes e procedimentos passaram a ser usados no cálculo das posições médias e aparentes das estrelas a partir de 1º de janeiro de 1984. Foram adotadas as seguintes mudanças:

1. O FK4 (4º Catálogo Fundamental) representando o sistema fundamental de referência em uso foi substituído pelo FK5 (5º Catálogo Fundamental).
2. A correção para o ponto zero das ascensões retas do FK4 (correção do ponto vernal) e uma correção ao movimento fictício do equinócio do FK4 passaram a ser aplicadas; envolvendo assim uma mudança na expressão da hora sideral média em Greenwich a 0h TU1.
3. O sistema de Constantes Astronômicas (IAU-1976) passou a ser usado, em particular, os novos valores da precessão, aberração e obliquidade da eclíptica.
4. A teoria da nutação (IAU-1980) passou a ser adotada.
5. Aberração estelar passou a ser calculada a partir da velo-

cidade total da Terra referida ao baricentro do Sistema Solar, além disso, os termos que dependem da elipticidade da órbita da Terra (os chamados termos E) não foram mais incluídos nas posições médias, mas preferencialmente na redução de posições médias em aparentes.

6. As reduções ao dia (coordenadas celestes aparentes) passaram a ser calculadas rigorosamente e diretamente sem a posição média intermediária para o início do ano. Os cálculos rigorosos também incluem efeitos relativistas.

Essas alterações ocorridas a partir de 19 de janeiro de 1984 levaram a fazer dois programas para cada determinação astronômica (latitude, longitude e azimute); uma versão antes de 1984 referida ao sistema FK4 e outra versão a partir de 1984 referida ao sistema FK5.

2.2 SISTEMAS INERCIAIS

A astronomia de posição fornece a base observacional para astronomia dinâmica, que, para o sistema solar, em particular é explicada em função da Lei da Gravitação Universal.

Analisando as Leis de Kepler, Newton notou que as velocidades dos planetas variam ao longo da órbita em módulo e direção. Newton concluiu que os planetas e o Sol interagem à distância, com forças chamadas gravitacionais. Elas são funções do inverso do quadrado da distância e depende da massa de cada um dos planetas. Newton também estabeleceu as três leis fundamentais da dinâmica para explicar os movimen-

tos planetários. As três leis apresentadas abaixo são conhecidas como princípios de Newton da dinâmica clássica [04].

(1^o) Princípio da inércia ou 1^a Lei de Newton.

"Um ponto material isolado está em repouso, ou em movimento retilíneo uniforme.

(2^o) Princípio fundamental ou 2^a Lei de Newton.

"A resultante, \vec{F} das forças aplicadas em um corpo é igual ao produto da massa m pela aceleração adquirida \vec{a} ."

(3^o) Princípio da ação e reação ou 3^a Lei de Newton.

"Toda vez que um corpo A exerce uma força \vec{F}_A um corpo B também exerce em A uma força \vec{F}_B , tal que $\vec{F}_A = -\vec{F}_B$, isto é, as forças tem a mesma intensidade e direção mas sentidos opostos."

As leis da dinâmica e da gravidade são válidas em referências inerciais. Da 1^a lei decorre a noção de equilíbrio ou inércia: "Inércia é a propriedade geral da matéria permanecer em repouso ou movimento retilíneo uniforme, quando nela não atuam forças ou a resultante é nula." Estes sistemas movem-se no espaço sem movimento de rotação e com velocidade de translação constante. Quando suas origens possuem uma certa aceleração eles são chamados de quase-inerciais. O principal sistema inercial usado em astronomia de posição é o equatorial (ascensão reta, declinação).

2.3 CONCEITOS DE PRECESSÃO, NUTAÇÃO E MOVIMENTO PRÓPRIO

Considerando a figura 2.1, na qual o equador e a eclíptica são mostrados e a sua interseção no equinócio (ponto vern

nal), o sistema de coordenadas equatoriais, ascensão reta e declinação é determinado quando esses dois planos são especificados, ou equivalentemente quando o pólo norte celeste P e o pólo norte da eclíptica K são fornecidos. O mesmo ocorre no sistema de coordenadas eclípticas; novamente, ele é determinado por dois pontos P e K. Para fazer essas duas dependências explícitas, consideremos uma estrela X com coordenadas equatoriais (α, δ) e coordenadas eclípticas (λ, β) . Então os três lados do triângulo esférico são:

$$KP = \mathcal{E} \quad PX = 90^\circ - \delta \quad KX = 90^\circ - \beta \quad (2.1)$$

$\mathcal{E} \Rightarrow$ obliquidade da eclíptica

Além disso KPX e PKX são ângulos do triângulo KPX.

$$KPX = 90^\circ + \alpha \quad (2.2)$$

$$PKX = 90^\circ - \lambda$$

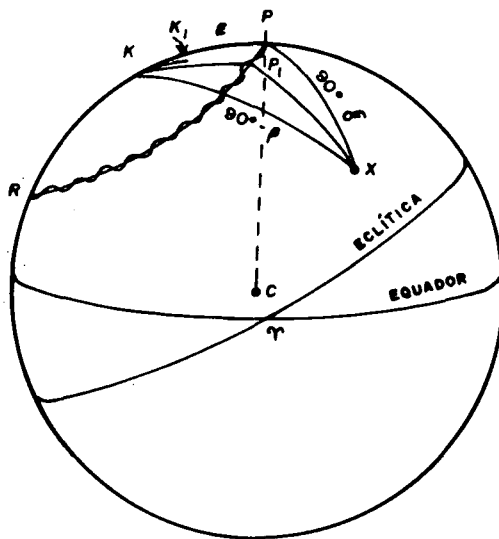


figura 2.1 Precessão, Nutação e Mov. próprio

O centro C da esfera celeste na figura 2.1 é a origem de alguns sistemas inerciais de referência. O que será considerado aqui é o movimento dos pontos P, K e X com respeito a esse sistema inercial. Cada um desses pontos é deslocado devido a diferentes causas. O deslocamento do ponto P é o maior e é causado pela precessão luni-solar e nutação enquanto o deslocamento de K é chamado de precessão planetária, e o deslocamento da estrela X é chamado de movimento próprio. Os três pontos e seus deslocamentos são considerados separadamente abaixo. O deslocamento de qualquer um deles produz mudanças nas coordenadas equatoriais e eclípticas das estrelas.

A linha CP, ou momento angular da Terra é, por definição, paralelo ao eixo de rotação da Terra definindo a direção do vetor momento angular da Terra. A derivada do momento angular com relação ao tempo é chamada de torque externo ($dH/dT=L$). Analizando o caso em que não há torques externos atuando sobre o corpo rígido rotante, ou seja, $L=0$ concluímos que o momento angular permanece constante, e CP é uma direção fixa; neste caso, o ponto P é fixo sobre a esfera celeste. Devido principalmente a sua rotação axial, a Terra tem desenvolvido um afastamento de simetria esférica na forma de um achatamento polar. Em consequência, o Sol e a Lua exercem um torque o qual muda lentamente a direção do vetor momento angular da Terra, causando assim um deslocamento do ponto P sobre a esfera celeste. O torque gravitacional é diretamente proporcional a atração das massas dos corpos e inversamente proporcional a sua distância. Deste modo o efeito da Lua é aproximadamente duas vezes maior que do Sol.

O torque resultante exercido pela Lua e pelo Sol sobre a

Terra varia com as mudanças nas configurações e distâncias dos três corpos. O movimento do ponto P sobre a esfera celeste é, portanto, mais complicado. É conveniente dividir esse movimento em duas partes.

O movimento secular do pólo celeste é chamado de precessão luni-solar, enquanto as oscilações periódicas de curto período em torno da posição média são chamadas de nutação. O movimento precessional é mostrado na figura 2.1 pela curva PP_1R , enquanto a curva ondulante representa o movimento do pólo e inclui a nutação.

O efeito da nutação é menor, e seu deslocamento não é maior que $15''$. Ela foi descoberta no século XVIII pelo astrônomo inglês Bradley o qual detectou variações periódicas nas medidas meridianas das declinações das estrelas. As variações correspondentes em ascensão reta não foram detectadas naquela época porque os relógios de precisão ainda não existiam. Por comparação, o efeito da precessão luni-solar pode exercer durante longos períodos um considerável deslocamento. O efeito foi descoberto pelos gregos. No segundo século antes de Cristo, Hipparchus de Rhodes comparou suas observações com outras registradas 150 anos antes. Ele deduziu que, as latitudes eclípticas das estrelas aparecem constantes, e existe um aumento secular nas longitudes eclípticas. O aumento é cerca de $50''$ por ano. A precessão corresponde a um movimento uniforme do pólo celeste no pequeno círculo com pólo K. Considerando a precessão luni-solar anual; então se P foi a posição inicial do polo, e P_1 sua posição t anos depois, o ângulo esférico $PKP_1 = \psi t$. Fazendo $KP_1 = KP$, a obliquidade da eclíptica é fixa. Se (λ_1, β_1) são as coordenadas

eclípticas da estrela X na época posterior, então, por comparação com as equações (2.1) e (2.2),

$$P_1 K X = 90^\circ - \lambda_1 \quad K X = 90^\circ - \beta_1$$

Mas $P_1 K X = P K X - P K P_1$ sendo assim,

$$\lambda_1 = \lambda + \psi t \quad (2.3)$$

Finalmente, se KX é constante, a latitude eclíptica é fixa. As mudanças correspondentes em ascensão reta e declinação são mais complicadas e devem ser originadas da consideração dos triângulos esféricos KPX e KP_1X . O pólo celeste completa uma volta em torno do pólo da eclíptica aproximadamente em 26.000 anos. O movimento é frequentemente comparado com o movimento do eixo de um pião. No caso da precessão luni-solar, o eixo de rotação da Terra mantém uma inclinação constante em relação ao eixo da eclíptica. Existem mudanças consideráveis nas coordenadas equatoriais da estrela durante um período precessional. Por exemplo, depois de terem decorrido 13.000 anos o pólo norte celeste estará situado em R, e a distância polar norte da Polaris será $PR = 2\epsilon$ (cerca de 47°). Polaris estará então mais afastada do pólo norte celeste, e para latitudes menores que 47° , ela não será circumpolar.

A descrição acima da precessão é baseada em duas suposições incorretas. Essas suposições são: a obliquidade da eclíptica e a precessão luni-solar são ambas constantes. Até agora, nós não consideramos o movimento do ponto K, o pólo da eclíptica. De acordo com a dinâmica gravitacional Newtoniana-

na, o movimento da Terra em torno do Sol é aproximadamente uma órbita Kepleriana cujo plano é fixo. Isso define o pólo da eclíptica. Essa conclusão é, entretanto, oriunda da consideração do problema entre dois corpos o qual envolve somente a Terra, Lua e Sol. As influências de outros planetas são omitidas. Quando essas são incluídas, elas produzem pequenas perturbações na órbita Kepleriana da Terra e, em particular, na posição de K sobre a esfera celeste.

Supomos que o pólo da eclíptica é deslocado de K a um ponto K_1 . Esse deslocamento será pequeno; cerca de $0''.5$ por ano. Considerando o efeito do deslocamento KK_1 nas coordenadas equatoriais de uma estrela, admitindo o pólo celeste fixo em P ($PX = 90^\circ - \delta$), um deslocamento de K pode não ter efeito sobre a declinação da estrela. Por outro lado, o ângulo KPX na figura 2.1, o qual é igual a $90^\circ + \alpha$, é reduzido ao ângulo KPK_1 . Conseqüentemente, a ascensão reta da estrela é reduzida dessa quantidade, que é independente da posição da estrela.

Concluí-se que o efeito do deslocamento do ponto K devido as perturbações planetárias é o mesmo para todas estrelas. Ascensões retas são reduzidas a cada ano por uma quantidade designada por λ' e chamada de precessão planetária anual em ascensão reta, as declinações não são afetadas.

Nas observações meridianas das estrelas obtemos valores absolutos de declinação e valores relativos de ascensão reta; e, como já foi demonstrado, qualquer deslocamento de K não produz mudanças na declinação e somente uma mudança uniforme em ascensão reta.

A mudança secular em obliquidade, causada pelas perturbações planetárias influenciam a precessão luni-solar. Deste modo ela é determinada pelo torque médio exercido pela Lua e pelo Sol sobre a Terra, e depende da inclinação do eixo de rotação da Terra ao seu plano orbital.

A precessão planetária e a precessão luni-solar tem origens dinâmicas diferentes, mas, do ponto de vista posicional, elas produzem mudanças seculares nas coordenadas equatoriais das estrelas. É conveniente, portanto, combiná-las e definir a precessão geral em longitude, dada por [04]:

$$P = \psi - \lambda' \cos \epsilon \quad (2.4)$$

O efeito total da precessão geral pode ser considerado durante curtos períodos, (menores que um ano), como a superposição da precessão luni-solar e precessão planetária. Esse foi o procedimento adotado acima, onde os deslocamentos dos pontos P e K foram considerados independente um do outro.

As variações precessionais definidas acima são calculadas pelas seguintes fórmulas [04]:

$$\text{Precessão luni-solar } \psi = 50,3878'' + 0,0049'' T$$

$$\text{Precessão planetária } \lambda' = 0,1055'' - 0,0189'' T$$

(2.5)

$$\text{Precessão geral } p = 50,2910'' + 0,0222'' T$$

onde T é o tempo em séculos a partir de 2000,0

A discussão acima foi concentrada nos pontos P e K sobre o equador e sobre a eclíptica. Isso nos permite fixar idéias sobre um simples triângulo esférico. É comum na prática, entretanto, se referir aos planos de referência do que aos seus polos. O equador para uma determinada data pode ser definido de duas maneiras diferentes, entretanto, dependendo se a nutação for incluída ou não. Se incluirmos apenas a precessão luni-solar, o equador que varia de maneira secular é chamado de equador médio. Se a variação de curto-período nutacional for também incluída, o equador resultante é chamado de equador verdadeiro. Definições idênticas do equinócio podem ser feitas: o equinócio médio (verdadeiro) é a interseção do equador médio (verdadeiro) com a eclíptica daquela data. As posições das estrelas catalogadas são normalmente referidas ao equador e equinócio médio; assim, por comparação, observações meridianas devem primeiro ser corrigidas da nutação e, se necessário, de outros efeitos.

A intenção é comparar um número de observações tomadas em diferentes datas, e referi-las ao equador e equinócio médio de alguma época padrão. Essas épocas são 1900,0 1950,0 e 2000,0.

Se as estrelas fossem consideradas fixas, então as mudanças encontradas nas suas coordenadas através de observações meridianas poderiam ser atribuídas aos efeitos precessionais. Cada estrela, portanto, tem seu movimento próprio, e isso significa que o deslocamento pode ser em qualquer direção.

Essas mudanças nas coordenadas das estrelas são geralmente pequenas comparadas com as mudanças precessionais. Poucas estrelas tem movimento próprio maior que um arco de segundo por ano. O movimento próprio da estrela depende do seu movimento relativo ao centro da esfera celeste, e também da sua distância, ou seja, estrelas muito distantes terão movimento próprio pequeno.

2.4 MATRIZ PRECESSÃO BASEADA NO SISTEMA DE CONSTANTES ASTRONÔMICAS IAU (1976)

Na sua 16ª Assembléia Geral em Grenoble (França) a IAU passou a adotar um novo valor para precessão geral em longitude de $5029,0966''$ por século Juliano na época juliana J2000,0 (JED 2451545,0). Esse valor quando referido a época Besseliana B1900,0, é $5026,767''$ por século tropical, o qual é comparado com o valor da IAU (Newcomb) $5025,64''$ por século tropical em B1900,0.

Em adição, a IAU mudou de épocas Besselianas para épocas Julianas. A relação convencional entre épocas Julianas é [07]:

$$JE = 2000,0 + (JD - 2451545,0) / 365,25 \quad (2.6)$$

e para épocas Besselianas é:

$$BE = 1900,0 + (JD - 2415020,31352) / 365,242198781 \quad (2.7)$$

onde JD é a data das Efemérides Julianas. A correspondência entre várias épocas Julianas e Besselianas é dada na tabela 2.4.A.

TABELA 2.3.A

B1899,999142	J1900,0	2415020,0
B1900,0	J1900,000858	2415020,31352
B1950,0	J1949,999790	2433282,42345905
B1950,000210	J1950,0	2433282,5
B2000,0	J1999,998722	2451544,5333981
B2000,001278	J2000,0	2451545,0

2.4.1 ÂNGULOS PRESSIONAIS

Se $R_1(\alpha)$, $R_2(\alpha)$, $R_3(\alpha)$ definem as rotações em torno dos eixos x_0 , y_0 e z_0 , respectivamente, de modo que as novas coordenadas r são relacionadas com as antigas coordenadas ro .

$$r = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = R_1(\alpha) ro = R_1(\alpha) \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix}$$

$$r = R_2(\alpha) ro \quad \text{ou} \quad r = R_3(\alpha) ro$$

onde:

$$R_1(\alpha) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & \sin\alpha \\ 0 & -\sin\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix}$$

$$R_2(\alpha) = \begin{bmatrix} \cos\alpha & 0 & -\sin\alpha \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\alpha & 0 & \cos\alpha \end{bmatrix}$$

$$R_3(\alpha) = \begin{bmatrix} \cos\alpha & \sin\alpha & 0 \\ -\sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

As coordenadas r referidas ao equinócio médio são relacionadas com as coordenadas do equinócio fixo r_0 através das seguintes rotações [07]:

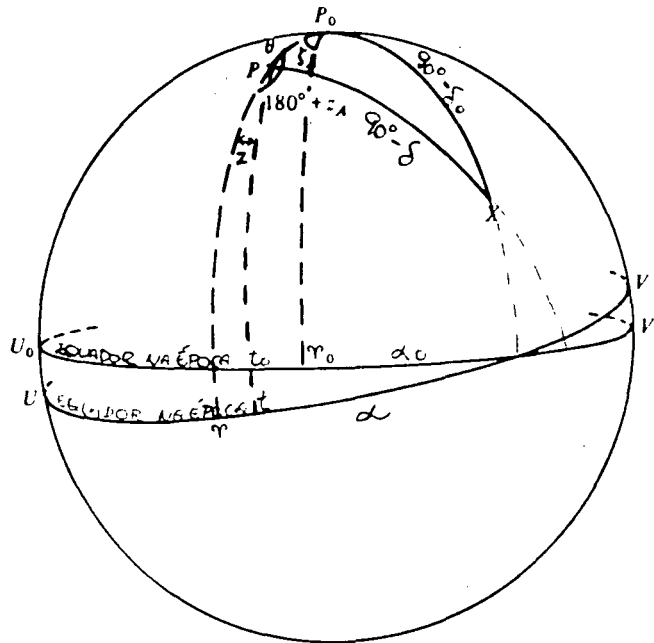


figura 2.2 ângulos precessionais $Z, \delta, \alpha, \gamma$

$$r = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = R_3(-90^\circ - Z) R_1(\theta) R_3(90^\circ - \gamma) \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix}$$

ou

(2.8)

$$r = R_3(-Z) R_1(\theta) R_3(-\gamma) r_0$$

onde $R_3(-Z) R_1(\theta) R_3(-\gamma)$ é a matriz precessão P .

então

$$\begin{aligned}
& \cos Z \cos \theta \cos \xi - \sin Z \sin \xi - \cos Z \cos \theta \sin \xi - \sin Z \cos \xi - \cos Z \sin \theta \\
P = & \sin Z \cos \theta \cos \xi + \cos Z \sin \xi - \sin Z \cos \theta \sin \xi + \cos Z \cos \xi - \sin Z \sin \theta \\
& \sin \theta \cos \xi - \sin \theta \sin \xi \qquad \qquad \qquad \cos \theta
\end{aligned}$$

onde os ângulos precessionais ξ , Z , e θ no novo sistema IAU são [07]:

$$\xi = (2306,2181'' + 1,39656'' T - 0,000139'' T^2) t + (0,30188'' - 0,000344'' T) t^2 + 0,017998'' t^3$$

$$Z = (2306,2181'' + 1,39656'' T - 0,000139'' T^2) t + (1,09468'' + 0,000066'' T) t^2 + 0,018203'' t^3$$

$$\theta = (2004,3109'' - 0,85330'' T - 0,000217'' T^2) t + (-0,42665'' - 0,000217'' T) t^2 - 0,041833'' t^3$$

(2.9)

onde $E_0 = J2000,0$ (JD 2451545,0) a época base e onde E_f e E_d são épocas arbitrárias, ou

$$T = \langle \text{JD} (E_f) - \text{JD} (E_0) \rangle / 36.525 \tag{2.10}$$

$$t = \langle \text{JD} (E_d) - \text{JD} (E_f) \rangle / 36.525$$

Os parâmetros $\xi(T,t)$, $Z(T,t)$, $\theta(T,t)$ são os parâmetros da precessão equatorial para reduzir da época E_f a época E_d .

Os parâmetros obedecem uma regra reflexiva.

$$\xi(T,t) = -Z(T+t, -t)$$

$$Z(T,t) = -\zeta(T+t,-t) \quad (2.11)$$

$$\theta(T,t) = -\theta(T+t,-t), \quad \text{Para reduzir de Ed para Ef}$$

Se desejarmos reduzir do equinócio J2000,0 para o equinócio JD, precisamos considerar $T=0$ e $t = (JD - 2451545,0) / 365.25$ nas séries de ζ , Z e θ .

2.5 TEORIA DA NUTAÇÃO - IAU - 1980

A teoria da nutação, até então em uso, foi desenvolvida por Woolard(1953). Essa teoria tem as seguintes características:

a) Ela é baseada em um modelo de Terra rígida de simetria axial ($A=B$).

b) A "constante da nutação" é um valor empírico e não é consistente com as outras constantes astronômicas adotadas.

c) O movimento Euleriano e o movimento polar forçado quase diurno não são incluídos nessa teoria, mas são considerados como parte do movimento polar.

d) O pólo de referência é o pólo de rotação celeste instantâneo.

A nova teoria da Nutação foi desenvolvida em 1980 e aceita pela IAU em 1982 - Essa teoria é baseada em um modelo

de Terra elástica e não simetricamente axial. Ela contém 106 termos em longitude(d_l =componente da nutação em longitude) e 64 em obliquidade(d_e =componente da nutação em obliquidade). Estas componentes são obtidas através das seguintes expressões, obtidas em [9], nas quais i, j, k, l e m são valores inteiros correspondentes às cinco primeiras colunas da tabela 2.5.A, e M', M, F, D e O são os argumentos fundamentais .

$$d_l = \sum a_{ijklm} \sin(iM' + jM + kF + lD + mO) \quad (2.12)$$

$$d_e = \sum b_{ijklm} \sin(iM' + jM + kF + lD + mO)$$

Os argumentos fundamentais no sistema de referência FK5 são [9]:

$$M = 134^\circ 57' 46,733'' + (1325 r + 198^\circ 52' 02,633'') T + 31,310'' T^2 + 0,064'' T^3$$

$$M' = 357^\circ 31' 39,804'' + (99 r + 359^\circ 03' 01,224'') T - 0,577'' T^2 - 0,012'' T^3$$

$$F = 93^\circ 16' 18,877'' + (1342 r + 82^\circ 01' 03,137'') T - 13,257'' T^2 + 0,011'' T^3$$

$$D = 297^\circ 51' 01,307'' + (1236 r + 307^\circ 06' 41,328'') T - 6,891'' T^2 + 0,019'' T^3$$

$$O = 125^\circ 02' 40,280'' - (5 r + 134^\circ 08' 10,539'') T + 7,455'' T^2 + 0,008'' T^3$$

(2.13)

onde a época fundamental é $J2000,0 = 1,5d$ de janeiro de 2000

$TDB = JD2451545,0$ TDB e $r = 360^\circ = 1296000,0''$.

T é medido em séculos julianos de 36.525 dias de 86.400s de

tempo dinâmico.

M = longitude média da Lua menos a longitude média do perigeo da Lua.

M' = longitude média do Sol menos a longitude média do perigeo do Sol.

F = longitude média da Lua menos a longitude média do nodo da Lua.

D = elongação média da Lua a partir do Sol.

O = longitude do nodo ascendente da órbita Lunar sobre a eclíptica medida a partir do equinócio médio da data.

Os valores dos argumentos fundamentais fornecidos por estas fórmulas são alterados conforme as melhorias obtidas pelas efemérides lunar, mas não afetam a teoria da nutação.

A nova expressão para a obliquidade da eclíptica é [9]:

$$E = 23^{\circ}26'21,448'' - 46,8150'' T - 0,00059'' T^2 + 0,001813'' T^3$$

(2.14)

A tabela 2.5.A fornece também os coeficientes da nutação para o desenvolvimento em série das duas expressões (d_e, dl).

Na teoria da nutação IAU 1980 os principais termos são os seguintes:

$$d1 = -17,1996'' \text{ sen}(0) - 1,3187'' \text{ sen}(2F - 2D + 20) - 0,2274'' \text{ sen}(2F-20)$$

$$de = 9,2025'' \text{ cos}(0) + 0,5736'' \text{ cos}(2F - 2D + 20) + 0,0927'' \text{ cos}(2F - 20)$$

(2.15)

É conveniente separar os termos de "longo período" e "curto período" nutacional. Os termos de longo período são aqueles que não dependem da longitude média da Lua. Existe, de fato, uma clara divisão nos períodos; os termos de longo período são de aproximadamente 18,6 anos, enquanto, os termos de curto período não tem um período maior que 35 dias.

2.5.1 RECOMENDAÇÕES

A teoria do movimento nutacional geral da Terra em torno do seu centro de massa pode ser definida pela soma de duas componentes:

(19) A nutação astronômica, normalmente chamada de nutação é o movimento com relação a um sistema de coordenadas inercial.

(20) O movimento do pólo é o movimento com relação a um sistema de coordenadas fixas da Terra, e recomenda-se que:

A nutação astronômica seja calculada para o "Polo Celeste das Efemérides" usando um modelo não rígido da Terra de modo que não existem movimentos quase diurno do pólo celeste com respeito a qualquer coordenada de posição fixa ou coordenada de corpo fixo (crosta) que podem ser calculados a partir de

torques externos da Terra.

TABELA 2.5.A

Nutação em longitude e obliquidade referidas a eclíptica média da data.

Epoca JP000,0 (JD2451545,0 TDB) T em séculos Julianos.

	Argumentos					Período (dias)	Longitude (0.0001")			Obliquidade (0.0001")	
	L	F	F	D	Ω						
1	0	0	0	0	1	6798.4	-171	996	-174.27	92025	8.97
2	0	0	0	0	2	3399.2	2062		0.27	-895	0.57
3	-2	0	2	0	1	1305.5	46		0.07	-24	0.07
4	2	0	-2	0	0	1095.2	11		0.07	0	0.07
5	-2	0	2	0	2	1615.7	-3		0.07	1	0.07
6	1	-1	0	-1	0	3232.9	-3		0.07	0	0.07
7	0	-2	2	-2	1	6786.3	-2		0.07	1	0.07
8	2	0	-2	0	1	943.2	1		0.07	0	0.07
9	0	0	2	-2	2	182.6	-13187		-1.67	5736	-3.17
10	0	1	0	0	0	365.3	1426		-3.47	54	-0.17
11	0	1	2	-2	2	121.7	-517		1.27	224	-0.67
12	0	-1	2	-2	2	365.2	217		-0.57	-95	0.37
13	0	0	2	-2	1	177.8	129		0.17	-70	0.07
14	2	0	0	-2	0	205.9	48		0.07	-1	0.07
15	0	0	2	-2	0	173.3	-22		0.07	0	0.07
16	0	2	0	0	0	182.6	17		-0.17	0	0.07
17	0	1	0	0	1	386.0	-15		0.07	9	0.07
18	0	2	-2	-2	2	91.3	-16		0.17	7	0.07
19	0	-1	0	0	1	346.6	-12		0.07	6	0.07
20	-2	0	0	2	1	199.8	-6		0.07	3	0.07
21	0	-1	2	-2	1	346.6	-5		0.07	3	0.07
22	2	0	0	-2	1	212.3	4		0.07	-2	0.07
23	0	1	2	-2	1	119.6	4		0.07	-2	0.07
24	1	0	0	-1	0	411.8	-4		0.07	0	0.07
25	2	1	0	-2	0	131.7	1		0.07	0	0.07
26	0	0	-2	2	1	169.0	1		0.07	0	0.07
27	0	1	-2	2	0	329.8	-1		0.07	0	0.07
28	0	1	0	0	2	409.2	1		-0.07	0	-0.07
29	-1	0	0	1	1	388.3	4		0.07	0	0.07
30	0	-1	2	-2	0	117.5	-1		0.07	0	0.07
31	0	0	2	0	2	13.7	-2274		-0.27	977	-0.57
32	1	0	0	0	0	27.6	712		0.17	-7	0.07
33	0	0	2	0	1	13.6	-386		-0.47	200	0.07
34	1	0	2	0	2	9.1	-301		0.07	129	-0.17
35	1	0	0	-2	0	31.8	-158		0.07	-1	0.07
36	-1	0	2	0	2	27.1	123		0.07	-53	0.07
37	0	0	0	2	0	14.8	63		0.07	-2	0.07
38	1	0	0	0	1	27.7	63		0.17	-33	0.07
39	-1	0	0	0	1	27.4	-58		-0.17	32	0.07
40	-1	0	2	2	2	9.6	-59		0.07	26	0.07
41	1	0	2	0	1	9.1	-51		-0.07	27	0.07
42	0	0	-2	2	2	7.1	38		-0.07	16	0.07
43	2	0	0	0	0	13.8	29		-0.07	-1	0.07
44	1	0	2	-2	2	23.9	29		0.07	-12	0.07
45	2	0	2	0	2	6.9	-31		0.07	13	0.07
46	0	0	2	0	0	13.6	26		-0.07	-1	0.07
47	-1	0	2	0	1	27.0	21		0.07	-10	0.07
48	-1	0	0	2	1	32.0	16		0.07	-8	0.07
49	1	0	0	-2	1	31.7	-13		-0.07	7	0.07
50	-1	0	2	2	1	9.5	-10		-0.07	5	0.07
51	1	1	0	-2	0	34.8	-7		0.07	0	0.07
52	0	1	2	0	2	13.2	7		-0.07	-3	0.07
53	0	-1	2	0	2	14.2	-7		0.07	3	0.07
54	1	0	2	2	2	5.6	-8		-0.07	3	0.07
55	1	0	0	2	0	9.6	6		-0.07	0	0.07
56	2	0	2	-2	2	12.8	6		-0.07	-3	0.07
57	0	0	0	2	1	14.8	-6		-0.07	3	0.07

	Argument					Period (d12-)	Longitude (0 0001")	Obliquidade		
	L	T	F	D	S			(0 0001")	(0 0001")	
58	0	0	2	2	J	7.1	-7	.007	3	.007
59	-1	0	2	-2	1	23.9	6	.007	-3	.007
60	0	0	0	-2	1	14.7	-5	.007	3	.007
61	1	-1	0	0	0	29.8	5	.007	0	.007
62	2	0	2	0	1	6.9	-5	.007	3	.007
63	0	1	0	-2	0	15.4	-4	.007	0	.007
64	1	0	-2	0	0	26.9	4	.007	0	.007
65	0	0	0	1	0	29.5	-4	.007	0	.007
66	1	1	0	0	0	25.6	-3	.007	0	.007
67	1	0	-2	0	0	9.1	3	.007	0	.007
68	1	-1	2	0	2	9.4	-3	.007	-1	.007
69	-1	-1	-2	2	2	9.8	-3	.007	1	.007
70	-2	0	0	0	1	13.7	-2	.007	1	.007
71	3	0	2	0	2	5.5	-3	.007	1	.007
72	0	-1	2	2	2	7.2	-3	.007	-1	.007
73	1	1	2	0	2	8.9	-2	.007	-1	.007
74	-1	0	-2	-2	1	32.6	-2	.007	1	.007
75	2	0	0	0	1	13.8	2	.007	-1	.007
76	1	0	0	0	2	27.8	-2	.007	1	.007
77	3	0	0	0	0	9.2	2	.007	0	.007
78	0	0	-2	1	2	9.3	2	.007	-1	.007
79	-1	0	0	0	2	27.3	1	.007	-1	.007
80	1	0	0	-4	0	10.1	-1	.007	0	.007
81	-2	0	2	-2	2	14.6	1	.007	-1	.007
82	-1	0	2	-4	2	5.8	-2	.007	1	.007
83	2	0	0	-4	0	15.9	-1	.007	0	.007
84	1	1	2	-2	2	22.5	1	.007	-1	.007
85	1	0	2	2	1	5.6	-1	.007	1	.007
86	-2	0	2	4	2	7.3	-1	.007	1	.007
87	-1	0	4	0	2	9.1	1	.007	0	.007
88	1	-1	0	-2	0	29.3	1	.007	0	.007
89	2	0	2	-2	1	12.8	1	.007	-1	.007
90	2	0	2	2	2	4.7	-1	.007	0	.007
91	1	0	0	2	1	9.6	-1	.007	0	.007
92	0	0	4	-2	2	12.7	1	.007	0	.007
93	3	0	2	-2	2	8.7	1	.007	0	.007
94	1	0	2	-2	0	23.8	-1	.007	0	.007
95	0	1	-2	0	1	13.1	1	.007	0	.007
96	-1	-1	0	2	1	35.0	1	.007	0	.007
97	0	0	-2	0	1	13.6	-1	.007	0	.007
98	0	0	2	-1	2	25.4	-1	.007	0	.007
99	0	1	0	2	0	14.2	-1	.007	0	.007
100	1	0	-2	-2	0	9.5	-1	.007	0	.007
101	0	-1	2	0	1	14.2	-1	.007	0	.007
102	-1	1	0	-2	1	34.7	-1	.007	0	.007
103	-1	0	-2	2	0	32.8	-1	.007	0	.007
104	2	0	0	2	0	7.1	1	.007	0	.007
105	0	0	2	4	2	4.8	-1	.007	0	.007
106	0	1	0	1	0	27.3	1	.007	0	.007

2.6 DETERMINAÇÃO DO EQUADOR E EQUINÓCIO DO FK5

A melhoria do sistema de referência fundamental representado atualmente pelo 4º catálogo fundamental (FK4) inclui a determinação de correções da posição do plano fundamental, o equador FK4, e do ponto zero das ascensões retas, o equinócio FK4. Resultados são apresentados aqui com os dados nos quais foram baseadas as correções sistemáticas requeridas para a transição do FK4 para o FK5.

2.6.1 DEFICIÊNCIAS DO EQUINÓCIO FK4

Associada a introdução do sistema de constantes astronômicas IAU 1976, a IAU adotou o novo sistema fundamental de referência, o FK5, como sendo o correspondente mais próximo do sistema de referência dinâmico, e para alcançar esse objetivo uma correção no ponto zero das ascensões retas do FK4 (correção do equinócio) e uma correção no movimento do equinócio do FK4 deverão ser feitas. Na construção do FK4 foi adotado o equinócio do catálogo FK3 sem mudanças. O equinócio FK3 foi determinado por Kahrstedt (1931) através de observações meridianas do Sol, Mercúrio e Vênus em Cape, Greenwich, Pulkovo e Washington de 1900 a 1921.

Kahrstedt encontrou a correção de $-0,050s$ para o ponto zero das ascensões retas de Newcomb no sistema N1 adotado no Catálogo Fundamental de Newcomb (FC) em 1899, e no Catálogo Fundamental de Neuer Peters (NFK-Neuer Fundamental Katalog-1907), que precederam o FK3. Essa correção foi introdu-

zida nas ascensões retas do FK3 mas nenhuma mudança foi feita nos movimentos próprios. Através de análises dos movimentos próprios do FK4, Fricke determinou que todos movimentos próprios em ascensão reta devem ter a correção de,

$$\Delta e = \text{Mar} = 1,23'' \pm 0,16'' \text{ por século [03]} \quad (2.16)$$

adicionando as correções precessionais que foram adotadas no valor da precessão geral IAU (1976). A quantidade e indica que as ascensões retas do FK4 ($\text{Ar}(\text{FK4})$) estão diminuindo com o tempo, enquanto elas deveriam permanecer constantes se contadas a partir do equinócio dinâmico (equinócio vernal verdadeiro). A expressão (2.16) é expressa na forma,

$$\text{Mar}(\text{FK4}) + \Delta e = \text{Mar}(\text{dyn}) \quad (2.17)$$

Foi concluído que as ascensões retas $\text{Ar}(\text{FK4})$ requerem a correção $E(T)$, aumentando com a época T da observação, de modo que:

$$\text{Ar}(\text{FK4}) + E(T) = \text{Ar}(\text{dyn}) \quad (2.18)$$

$$E(T) = E(T_0) + E'(T-T_0), \quad (2.19) \text{ , onde}$$

$$E'(T) = \Delta e$$

$E(T) \Rightarrow$ correção do equinócio para a época T

A origem dos erros sistemáticos e nos movimentos próprios fundamentais, aparecem no FC de Newcomb (1899), e as observações feitas no século XIX são responsáveis por esses efeitos, por não terem técnicas adequadas para levar em conta as equações de magnitude.

2.6.2 DADOS BÁSICOS PARA A DETERMINAÇÃO DA CORREÇÃO E (T) PARA O EQUINÓCIO FK5

Para a determinação do equinócio FK5, foi determinado que o equinócio do catálogo (FK3- 1931) é idêntico ao equinócio dinâmico em 1913 [03]. Então:

$$E(1913) = 0 \quad e \quad (2.20)$$

$$E' = 1,23'' = 0,082s \text{ por século}$$

Da equação (2.19) temos,

$$E(1950) = +0,030s \quad (2.21)$$

E a transição do equinócio FK4 para o FK5 é:

$$Ar(FK4)(1950) + 0,030s = Ar(FK5) \quad (2.22) \quad e$$

$$Mar(FK4) + 0,082s = Mar(FK5)$$

onde Mar são os movimentos próprios seculares em ascensão reta. As equações (2.22), não serão empregadas na transição do FK5, porque a precisão nas determinações de Kahrstedt em 1913 são duvidosas.

As correções do equinócio se dividem em dois grupos: (1) as correções determinadas através das ocultações lunares e (2) as determinações baseadas em observações fotográficas de planetas menores. As ocultações lunares foram analisadas por Morrison (1979) e por Van Flandern (1980); eles obtiveram valores de E próximos da época 1960.0 (0,055s, 0,052s) com boa precisão.

Morrison analisou 60.000 ocultações de 1943-1974 e Van Flandern 115.000 ocultações de 1820-1977. As longas séries de ocultações lunares de 1820 a 1977 permitiram Van Flandern (1980) determinar a expressão para E(T);

$$E(T) = + 0,771'' + 1,31'' (T - 19,60) \quad (2.23)$$

produzindo

$$E(19,60) = 0,52s \quad (2.24)$$

$$E' = + 0,087s \text{ por século} \quad (2.25)$$

com o erro médio de $\pm 0''\cdot 001$ em cada um dos valores

2.6.3 SOLUÇÕES DE E(T)

As correções do equinócio efetuados através do método dos mínimos quadrados fornecem soluções de E e E' em 1950. Os erros médios das determinações individuais não foram considerados para representar medidas de peso. Todos os valores tem o mesmo peso ($w = 1$), exceto para Mercúrio, Vênus e Marte nos quais o peso é 0.5.

$$E(T) = 0,031s \pm 0,003s + (0,085s \pm 0,010s) (T-19,50) \quad (2.26)$$

Essa solução é muito próxima da esperada de acordo com as equações (6), sendo uma contribuição do resultado final, porque ele é fortemente afetado por correções determinadas em épocas médias a partir de 1950.

Determinações mais recentes representam uma mistura de diferentes objetos e métodos, obtendo uma correção do equinócio mais confiável em uma época média recente. Por essa razão são usados valores a partir de 1950,0 para o cálculo dos

valores médios ponderados de E. Deste modo os pesos das observações do Sol são os mesmos adotados nas ocultações lunares.

$$E = 0,042s \pm 0,003s \text{ na época média}$$

$$T = 1958,5 \quad (2.27)$$

Existem três determinações da variação secular E' :

- (1) movimentos próprios FK4 => E' = +0,082s
- (2) ocultações lunares de Van Flandern => E' = +0,087s
- (3) 35 correções individuais do equinócio => E' = + 0,085s

Adotando o valor médio E' = 0,085s por século e a correção do equinócio E em T = 1958,5 de acordo com a equação (2.27), obtemos:

$$E(T) = 0,035s \pm 0,003s + (0,085s \pm 0,010s)(T - 19,50)$$

(2.28)

De forma correspondente, deverão ser feitas as seguintes operações na transição de FK4 para FK5.

$$Ar(FK4) + 0,035s = Ar(FK5) \text{ em } 1950,0$$

$$Mar(FK4) + 0,085s = Mar(FK5) \text{ por século} \quad (2.29)$$

2.6.4 DETERMINAÇÃO DO EQUADOR FK5

O equador do sistema FK4 foi determinado com uma precisão de $\pm 0,02s$ através de observações fundamentais de 1900 à 1956 nas quais foram incluídas o Sol, planetas e asteróides.

Entretanto essas observações não tem indicado a necessidade de uma correção significativa no equador do sistema FK4; sendo assim esse equador será mantido no sistema FK5.

CAPÍTULO III

3.1 TEMPO

Consideramos tempo como uma medida definida pela repetição de eventos. Essas medidas podem ser o tique-taque de um relógio, ou a passagem do Sol através do meridiano do observador. Cinco diferentes escalas de tempo são usadas em Astronomia:

- (1) Tempo Sideral
- (2) Tempo Solar
- (3) Tempo Dinâmico(Efemérides)
- (4) Tempo Atômico
- (5) Tempo Coordenado

Hora sideral é o ângulo horário do equinócio, e depende da rotação da Terra. Reconhecemos que a velocidade de rotação da Terra não é uniforme quando comparada com outra escala de tempo fundamental. Tempo Solar é definido pelo ângulo horário do Sol. Este é sujeito a grandes irregularidades, conseqüentemente, usaremos o tempo solar médio. O tempo solar médio depende de dois fenômenos periódicos distintos, chamados rotação diurna da Terra e sua revolução anual em torno do Sol. É prática astronômica definir tempo solar médio de duas maneiras distintas a fim de evitar confusão. Tempo universal (TU) é dependente da rotação da Terra, enquanto o tempo das efemérides(TE) é uma escala de tempo dinâmica que depende som-

mente do movimento orbital da Terra.

O tempo universal pode ser definido em função do ângulo horário em Greenwich (GHA) de um corpo fictício chamado "Sol Médio Universal" (SMU), de modo que o dia deve começar à meia noite. Sua definição é:

$$TU = 12h + AHG \text{ SMU}$$

O Sol médio universal descreve seu movimento em torno do equador com uma velocidade constante. Ambos tempo universal (TU) e tempo sideral são baseados na rotação da Terra. Apesar das unidades de tempo (segundo, minuto, hora, dia) nos dois sistemas diferirem eles tem uma razão constante. Deste modo a ascensão reta do Sol médio universal aumenta uniformemente com o tempo sideral. Tempo sideral de Greenwich (TSG) é dado por:

$$TSG = AHG$$

Se nessa equação, o equinócio verdadeiro for determinado, o tempo sideral é chamado de tempo sideral aparente. Entretanto, se, o equinócio usado for o equinócio médio, será obtido o tempo sideral médio. A diferença entre os dois tempos siderais é obtida através da equação dos equinócios.

$$\text{Equação dos equinócios} = \psi \cos \xi$$

O tempo sideral aparente não é usado como uma escala de tempo, mas é usado nas observações meridianas.

O dia sideral médio difere do período de rotação da Terra devido à precessão. A ascensão reta de uma estrela situada no equinócio teria um acréscimo anual de $\psi \cos \xi$. Isso corresponde a uma variação diária de 0,0084s, entre o período de rotação da Terra e o dia sideral médio.

Tempo Universal (TU), é a base da cronometragem civil, e é formalmente definido por uma fórmula matemática que relaciona TU com tempo sideral médio em Greenwich. Assim o TU é determinado a partir de observações dos movimentos diurnos das estrelas. Ele implicitamente contém irregularidades devido às variações na rotação da Terra e movimento do pólo. Uma escala de TU determinada diretamente a partir de observações estelares depende da posição do observador; essas escalas são chamadas de TU0. Uma escala de tempo que é independente da localização do observador é estabelecida removendo do TU0 o efeito da variação do meridiano do observador devido ao movimento do pólo geográfico; essa escala de tempo é chamada de TU1. O TU1 possui irregularidades devido a variações na velocidade de rotação da Terra. Essas variações não são previsíveis, pois contém variações sazonais periódicas e irregulares. Quando essas variações são removidas uma nova escala de tempo TU2 é obtida. Ambos TU1 e TU2 são independentes da posição do observador na superfície da Terra.

A partir de 19 de janeiro de 1984, a escala de tempo distribuída pelos serviços de tempo é baseada no tempo universal coordenado redefinido (TUC). O TUC é mantido dentro de 0,90s do TU1 pela introdução de intervalos de 1 segundo (correções de segundo) quando necessário, normalmente no final de junho ou dezembro. O DTU1 é uma aproximação da diferença entre TU1 e TUC, transmitida em código de sinais de tempo. A partir de 1962, um crescente número de serviços de tempo cooperam para fornecer um tempo padrão consistente, até que sinais mais precisos fossem sincronizados para redefinir TUC em 1972. Em um período anterior, os sinais de tempo foram mantidos dentro de 0,1s do TU2 (TU1 corrigido das varia-

ções sazonais e irregulares) pela introdução de ajustes, normalmente de 0,1s, e ocasionalmente pelas mudanças na duração do segundo.

O Tempo Atômico Internacional (TAI) é a escala de tempo precisamente determinada para o uso em astronomia. Essa escala é resultado de análises dos dados a partir do tempo atômico padrão de muitos países.

O TAI não foi introduzido antes 19 de janeiro de 1972, mas escalas de tempo atômico são disponíveis desde 1956. Portanto, o TAI pode ser extrapolado para períodos de 1956 a 1971. A unidade fundamental do TAI é a unidade de tempo no sistema internacional de unidades, o segundo SI, ele é definido como a duração de 9192631770 períodos de radiação correspondendo a transição entre dois níveis hiperfinos do átomo de cesium 133.

Em 1976 a IAU recomendou a introdução de duas novas escalas de tempo para trocar o TE e reconhecer a importância dos efeitos relativistas. Uma delas é o Tempo Dinâmico Terrestre (TDT), o qual foi introduzido a partir de 19 de janeiro de 1977. Ele é baseado no segundo internacional (SI), mas seu ponto zero é uma continuação do TE. Ele é usado como escala de tempo das efemérides geocêntricas. Essa escala de tempo é medida por relógios atômicos.

A segunda escala de Tempo é o Tempo Dinâmico Baricêntrico (TDB). Ela é usada nas equações do movimento de corpos planetários referidos ao baricentro do sistema Solar. Entretanto uma restrição é imposta no TDB a qual exige que ele di-

fira do TDT por discrepâncias periódicas. Essa restrição pode ser encontrada em qualquer teoria gravitacional.

O Tempo Dinâmico Terrestre (TDT) é o argumento tabular das efemérides geocêntricas fundamentais. Para efemérides referidas ao baricentro do sistema solar, o argumento é o Tempo Dinâmico Baricêntrico (TDB). Essas escalas de tempo são definidas de modo que a diferença entre elas é puramente periódica, com uma amplitude menor que 0,002s. Como seu predecessor, o tempo das efemérides (TE), TDT e TDB independem do movimento de rotação da Terra.

No sistema astronômico de unidades, a unidade de tempo é o dia de 86400 segundos de Tempo Dinâmico Baricêntrico (TDB). Para longos períodos, é usado o século Juliano de 36.525 dias. O uso do ano tropical e épocas Besselianas foi interrompido em 1984, no sistema astronômico de unidades.

3.2 NOVA DEFINIÇÃO DE TEMPO UNIVERSAL

Tempo universal, TU1, é indiretamente originado das passagens das estrelas de ascensão reta conhecida. O TU1 é definido por uma expressão que o relaciona com o tempo sideral médio. O tempo sideral médio é diretamente obtido das ascensões retas aparentes das passagens das estrelas. A fórmula que relaciona tempo universal e sideral é baseada na expressão de Newcomb para a ascensão reta do Sol médio fictício.

A expressão que relaciona tempo universal, TU1, e o tempo sideral médio de Greenwich, TSMG1, é a seguinte:

$$TSMG1 \text{ a } 0^h \text{ TU1} = 23925,836s + 8640184,542s T + 0,0929s T^2$$

onde $T = (JD - 2415020,0) / 36.525$, JD é a data Júliana (JD2415020,0 TU1- 1900).

Os coeficientes da expressão acima são formados da expressão de Newcomb para a ascensão reta do Sol médio fictício.

Newcomb definiu seu Sol médio fictício com um movimento uniforme em ascensão reta no sistema de referência definido pelas constantes precessionais em uso desde 1890. Entretanto, sua expressão não foi ajustada quando os ângulos precessionais foram revisados em 1897, de modo que o Sol médio fictício de Newcomb não possuía movimento uniforme no sistema de referência definido pelas constantes precessionais em uso.

A determinação do TU1 não é somente função da época do catálogo e movimento próprio, mas também das constantes de precessão, nutação e aberração adotadas. Portanto, uma mudança de sistema de referência e constantes astronômicas podem ter efeitos complexos resultando em correções no TU1 e de suas variações na mudança de data. Foi determinado que a "relação entre tempo sideral médio e TU1 seja modificada de modo que não exista mudanças no valor e variação do TU1". Considerando esses fatores somente os efeitos das mudanças do equinócio do catálogo das estrelas e das constantes de precessão são considerados. A correção do equinócio será implicitamente incluída nas posições e movimento próprio de todas as estrelas no FK5.

Uma nova expressão relacionando tempo sideral e universal foi desenvolvida para ser usada com o novo sistema de referência astronômico. É importante que ela seja coerente com a origem da ascensão reta (equinócio) do FK5, mantenha a continuidade do TU1 e represente um ponto com movimento uniforme no novo sistema. A nova expressão independe do conceito de Sol médio fictício.

Para que a condição de continuidade do TU1 seja cumprida, o ponto deveria manter a mesma posição e movimento com relação as estrelas.

Adotando J2000,0 como a época de referência, $T' = (JD - 2451545,0) / 36.525$.

então a nova expressão para a hora sideral média em Greenwich é :

$$TSMG1 \text{ a } 0h \text{ TU1} = 24110,54841s + 8640184,812866s T' + 0,093104s T'^2 - 6,2 \times 10^{-6}s T'^3$$

Excesso de dia solar médio sobre o dia sideral médio em tempo sideral é:

1 dia solar médio = 24h 03min 56,55537s de dia sideral médio

1 dia sideral médio = 23h 56min 04,09053s de dia solar médio

3.3 MODERNAS ESCALAS DE TEMPO DINÂMICO

Tempo das efemérides (TE) é uma escala de tempo dinâmico expressa na forma solar. Ela pode ser definida em termos do ângulo horário de outro corpo fictício que chamamos de Sol médio das efemérides. Este descreve um movimento em torno do equador médio numa velocidade uniforme que corresponde ao movimento do Sol verdadeiro. Não é possível usar o ângulo horário de Greenwich desse corpo para definir uma escala de tempo dinâmica, mesmo que a direção sideral desse meridiano dependa da rotação da Terra. O meridiano das efemérides, é a direção que o meridiano de Greenwich teria se a rotação da Terra fosse uniforme. O meridiano das efemérides não é fixo à superfície da Terra; o ângulo horário com referência nesse meridiano é chamado de ângulo horário das efemérides (AHE), e TE pode ser definido pela equação:

$$TE = 12h + AHE \text{ SME} \quad (1)$$

O TE foi introduzido em 1960 como o argumento usado nas efemérides publicadas nos almanaques anuais. A diferença entre TU e TE é simbolizada por ΔT .

$$\Delta T = TE - TU$$

Essa quantidade não é fornecida com precisão, já que ela depende das irregularidades na rotação da Terra. A teoria dinâmica obtém posições heliocêntricas dos planetas com mais precisão que o TE.

O TE foi substituído em 1984 como sistema básico de escala de tempo astronômico. A nova escala de tempo, o tempo dinâmico terrestre (TDT), foi designado para manter a continuidade com o tempo das efemérides.

As principais objeções para o TE são: é artificial e não é disponível imediatamente. Ele é uma escala de tempo dinâmica, da forma necessária para as efemérides, mas é baseado na dinâmica pré relativista. Além disso, do ponto de vista Newtoniano, ele não é muito diferente do tempo atômico, o qual pode ser obtido mais facilmente e com maior precisão. O relacionamento entre TE e tempo atômico é:

$$TE = TAI + 32,184s$$

A escala de tempo astronômico das efemérides é a que se aproxima mais do TAI com a introdução do TDT em 1977. No TDT a unidade fundamental é o segundo SI, exatamente como no tempo atômico. O relacionamento dessas escalas de tempo é dado pela fórmula:

$$1,0d \text{ TAI de Janeiro de 1977} = 1,0003725d \text{ TDT de Janeiro de 1977}$$

Os sinais de tempo precisos são baseados no tempo universal coordenado (TUC). Essa não é uma escala de tempo solar, mas uma forma modificada de tempo atômico. TUC difere do TAI por um número integral de segundos, e ele é sempre mantido com 0,9s do TU1. Isso é obtido pela introdução de segundos adicionais, chamada correções de segundos. A princípio, os segundos poderiam também ser omitidos do TUC se isso fosse neces-

cessário, mas de fato, o TAI ganha cerca de um segundo por ano sobre o TU1. Essa introdução é feita no final de junho ou dezembro, assim o último dia do mês tem mais um segundo. No início de 1983, por exemplo, a diferença entre TAI e TUC era 21s; a última correção de segundo tinha sido introduzida no dia 30 de junho de 1982.

TDT é uma escala de tempo das efemérides geocêntricas. Muitas observações deveriam, portanto, ser referidas ao sistema solar bariocêntrico, assim o tempo correspondente a algum evento observado deveria ser transformado na hora em que o evento fosse observado por um hipotético observador bariocêntrico.

A diferença entre tempo terrestre e bariocêntrico é para observações de corpos fora do sistema solar. Para um corpo dentro do sistema solar não é necessária uma correção bariocêntrica. A teoria dinâmica do movimento planetário deve ser formulada a qual é conhecida como tempo dinâmico Bariocêntrico (TDB).

3.4 ANO JULIANO E ANO BESSELIANO

Dois sistemas astronômicos estão em uso: o antigo é baseado no ano Besseliano, enquanto o novo sistema usa o ano Juliano. O ano Besseliano pode ser identificado com o ano tropical, apesar de existir uma pequena distinção entre os dois de $0,148T$ onde T é o tempo em séculos a partir de 1900.

Assim, se os efeitos seculares são ignorados, o ano Bess

seliano é identificado como um ano tropical da dimensão de 365,2422d. O instante no qual um particular ano Besseliano começa é definido como o instante quando a longitude média do Sol é exatamente 280°, ou

$$\text{AR SME} = 18\text{h } 40\text{min}$$

AR SME => ascensão reta do Sol médio das efemérides

A época fundamental, que é considerada para B1900,0, é 0,813d de Janeiro de 1900 TE, enquanto a época padrão B1950,0 é exatamente 50 anos tropicais ou 18262,110 dias. Esse intervalo excede 50 anos de 365 dias por 12,110d. Assim, lembrando que 1900 não foi um ano bissexto, é visto que

$$\begin{aligned} \text{B1950,0} &= 0,923\text{d de Janeiro de 1950 TE} \\ &= 31\text{d } 22\text{h } 09\text{min de dezembro de 1949 TE} \end{aligned}$$

A época Besseliana para qualquer instante subsequente pode ser calculada dividindo o intervalo que decorreu em dias por 365,2422.

Os cálculos são mais simples se usarmos o sistema Juliano. A data é agora expressa como uma fração de um ano Juliano de 365,25 dias. A época fundamental, considerada como J2000,0 é

$$\text{J2000,0} = 1.5\text{d de Janeiro de 2000 TDB}$$

Com essa definição a época Juliana de qualquer instante pode ser calculada. Por comparação calcularemos J1950,0. Ela será exatamente 18 262,5d, para a época fundamental, que tem 12 anos bissextos, fornece

$$\text{J1950,0} = 1.0\text{d de Janeiro de 1950 TDB}$$

O novo sistema de época Juliana foi introduzido com a revisão das constantes astronômicas (IAU, 1977). Ao mesmo tempo a antiga época Besseliana foi redefinida em termos da nova escala de tempo. A definição do ano Besseliano foi simplificada fazendo-o igual em dimensão ao ano tropical de B1900,0. Fórmulas precisas para época Juliana e redefinição da época Besseliana são dadas abaixo.

Para algumas observações é conveniente exprimir o tempo em dias. Isso pode ser feito usando a data Juliana (JD) que é formalmente definida como o tempo em dias, incluindo a fração, que decorreu da época 1.5d de janeiro de 4713 ac.

$$B1900,0 = JD2415020,313$$

$$B1950,0 = JD2433282,423$$

$$J2000,0 = JD2451545,0$$

A correspondência entre épocas julianas e besselianas está na tabela 2.4.A do item 2.4. As fórmulas (2.6 e 2.7) que relacionam as duas épocas são fornecidas no item 2.4.

A expressão abaixo calcula JD para qualquer instante, e possui como dados de entrada dia (dia + horas), mês e ano.

$$JD=367Y-7(Y+(M+9)/12)/4-3((Y+(M-9)/7)/100+1)/4+275M/9+D+1721029$$

Y => ano

M => mês

D => dia

A JD também é tabulada para cada dia do ano no Astronomical Almanac. Devemos dar ênfase que, o dia Juliano começa

ao meio dia e não a meia noite. Esse é um ponto que é facilmente negligenciado, já que ele é o oposto de qualquer convenção astronômica.

CAPÍTULO IV

4.1 CONVERSÃO DAS POSIÇÕES E MOVIMENTO PRÓPRIO DAS ESTRELAS NA ÉPOCA B1950,0(FK4) PARA O SISTEMA IAU EM J2000,0(FK5)

A introdução do novo sistema fundamental FK5 e o sistema IAU(1976) de constantes astronômicas são usados a partir de 1º de janeiro de 1984. A rede de referência fundamental definida pelas posições e variações seculares no FK5 deve corresponder o mais próximo possível da rede de referência dinâmica.

Nesta seção é desenvolvido o procedimento para conversão das posições das estrelas do FK4 referida a época e equinócio de B1950,0 para as posições no sistema FK5(J2000,0).

4.1.1 PROCEDIMENTO

A conversão das coordenadas na época B1950,0, A_0 , D_0 , M_0 , M'_0 , P_0 , v_0 , de um objeto celeste para as coordenadas na época J2000,0, A , D , M , M' , P , v , são realizados através dos seguintes passos. Os caracteres A e D são para ascensão reta e declinação, M e M' o movimento próprio em ascensão reta e declinação, P é a paralaxe e v é a velocidade radial.

O índice "0" se refere às coordenadas na época B1950,0 em relação ao equador e equinócio médio de B1950,0(antigo sistema), e sem o índice se refere as coordenadas na época

J2000,0 em relação ao equador e equinócio médio de J2000,0(novo sistema).

A quantidade M_0 é expressa em segundos de tempo por século tropical e M'_0 , é em segundos de arco por século tropical, enquanto M é expresso em segundos de tempo por século juliano e M' é em segundos de arco por século juliano. As quantidades P_0 e P são expressas em unidades de segundo de arco e v_0 e v são em km/s (1km/s = 21,095 au/sec).

1º PASSO: Calcular os componentes do versor posição \mathbf{r}_0 e versor velocidade \mathbf{v}_0 :

$$\mathbf{r}_0 = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos D_0 \cos A_0 \\ \cos D_0 \sin A_0 \\ \sin D_0 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{v}_0 = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -M_0 \sin A_0 \cos D_0 - M'_0 \cos A_0 \sin D_0 \\ M_0 \cos A_0 \cos D_0 - M'_0 \sin A_0 \sin D_0 \\ M'_0 \cos D_0 \end{bmatrix} + 21,095 v_0 P_0 \mathbf{r}_0$$

onde \mathbf{r}_0 é em unidades de radiano e \mathbf{v}_0 é em unidades de segundo de arco por século tropical. Quando P_0 ou v_0 não são conhecidos $P_0 v_0 = 0$.

2º PASSO: Remover os efeitos dos termos E da aberração

$$\mathbf{r}_1 = \mathbf{r}_0 - \mathbf{A} + (\mathbf{r}_0 \cdot \mathbf{A}) \mathbf{r}_0 \quad \text{e}$$

$$\mathbf{v}_1 = \mathbf{v}_0 - \mathbf{A}' + (\mathbf{r}_0 \cdot \mathbf{A}') \mathbf{r}_0, \quad \text{onde}$$

$$A = 10^{-6} \begin{bmatrix} -1,62557 \\ -0,31919 \\ -0,13843 \end{bmatrix}$$

$$A' = 10^{-9} \begin{bmatrix} +1,245 \\ -1,580 \\ -0,659 \end{bmatrix}$$

O vetor **A** é em unidades de radiano e **A'** é em unidades de segundo de arco por século tropical. O ponto nos termos **ro.A** e **ro.A'** indica o produto escalar entre os dois vetores.

3º PASSO: Formar o vetor $R1 = \begin{bmatrix} r1 \\ v1 \end{bmatrix}$ e calcular o vetor $R = \begin{bmatrix} r \\ v \end{bmatrix}$

$$R = MR1$$

onde a matriz constante **M** (6x6) é dada abaixo[01]:

Matriz M

```

-----
! 0,9999256782 -0,0111820610 -0,0048579477 0,0000024239502 -0,0000000271066 -0,0000000117766 !
! 0,0111820609 0,9999374784 -0,0000271765 0,0000000271066 0,0000024239788 -0,0000000000659 !
! 0,0048579479 -0,0000271474 0,9999881997 0,0000000117766 -0,0000000000658 0,0000024241017 !
! -0,00055 -0,23854 0,43574 0,99994704 -0,01118251 -0,00485767 !
! 0,23849 -0,00267 -0,00854 0,01118251 0,99995883 -0,00002718 !
! -0,43562 0,01225 0,00212 0,00485767 -0,00002714 1,00000956 !
-----

```

4º PASSO: Cálculo de **Ar**, **D**, **M**, **M'**, **P**, **v**, a partir de $r=(x,y,z)$ e $v=(x',y',z')$, onde **v** é dado em unidades de segundos de arco por século juliano.

$$\cos Ar \cos D = x/r$$

$$\text{sen}A \text{r} \cos D = y/r$$

$$\text{sen}D = z/r$$

$$M = (xy' - yx') / (x^2 + y^2) / 15$$

$$M' = z'(x^2 + y^2) - z(xx' + yy') / (r^2(x^2 + y^2)^{3/2})$$

$$v = (xx' + yy' + zz') / 21,095 \text{ Po } r$$

$$P = P_0 / r$$

$$\text{onde } r = (x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}$$

Se P_0 é zero, consideramos $v = v_0$

5º PASSO: Corrigir as posições e movimentos próprios médios da época J2000,0 das distorções no sistema FK4 (Diferenças sistemáticas FK4 - FK5), quando conhecidas.

4.2 REDUÇÃO AO DIA DAS COORDENADAS CELESTES

O método de redução estelar do "Astronomical Almanac" para o cálculo das posições aparentes das estrelas é desenvolvido através dos seguintes passos:

(1º) A direção baricêntrica de uma estrela na época TDB é calculada a partir de sua ascensão reta, declinação e movimento próprio para o equador e equinócio de J2000,0 no sistema FK5. O método de conversão de B1950,0 (FK4) para J2000,0 (FK5) foi descrito no item 4.1.

(2º) Consideramos TDB = TDT

TDB -> tempo dinâmico baricêntrico

TDT -> tempo dinâmico terrestre

(3º) Obter a posição baricêntrica da Terra (**Eb**) em au (unida-

de astronômica) e a velocidade ($E'b$) em au/d, em função da coordenada tempo $t=TDB$ referida ao equador e equinócio de J2000,0.

A direção baricêntrica (q) de uma estrela na época J2000,0, referida ao equador e equinócio padrão de J2000,0, é dado por:

$$q = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos Aro \cos Do \\ \sin Aro \cos Do \\ \sin Do \end{bmatrix}$$

onde Aro e Do são a ascensão reta e declinação da estrela para o equador e equinócio J2000,0.

O vetor movimento próprio $m = (m_x, m_y, m_z)$, da estrela expresso em radianos por século, é dado por:

$$m = \begin{bmatrix} m_x \\ m_y \\ m_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -M_o \cos Do \sin Aro & -M'o \sin Do \cos Aro + v_o P_o \cos Do \cos Aro \\ M_o \cos Do \cos Aro & -M'o \sin Do \sin Aro + v_o P_o \cos Do \sin Aro \\ M'o \cos Do & + v_o P_o \sin Do \end{bmatrix}$$

Nessas expressões são considerados a velocidade radial (v_o) em au/século ($1 \text{ km/s} = 21,095 \text{ au/século}$), e o movimento próprio ($M_o, M'o$) em ascensão reta e declinação em radianos/século, e P_o é a paralaxe em radianos.

Calcular P , o vetor geocêntrico da estrela na época desejada:

$$P = q + T m - P_o E_b$$

onde $T = (JD - 2451545,0)/36.525$; é o intervalo em séculos Julianos decorridos da época t_0 (J2000,0 = 2451545,0) a época

t (JD = data Juliana da redução).

O vetor **E** é a posição heliocêntrica da Terra

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_b - \mathbf{S}_b$$

onde:

E_b = vetor baricêntrico da Terra no instante t

S_b = vetor baricêntrico do Sol no instante t

O vetor **p** é a direção geocêntrica da estrela e o vetor unitário **e** são:

$$\mathbf{p} = \mathbf{P} / |\mathbf{P}|$$

$$\mathbf{e} = \mathbf{E} / |\mathbf{E}|$$

Os valores de **E_b**, **E_b'** e **S_b** são retirados do JPL DE 200/LE 200 (efemérides baricêntricas referidas a J2000,0).

(49) Calcular a direção geocêntrica da estrela (**p1**), corrigida da deflexão da luz.

$$\mathbf{p}_1 = \mathbf{p} + (2 \ell / c^2 \mathbf{E}) (\mathbf{e} - (\mathbf{p} \cdot \mathbf{e}) \mathbf{p}) / (1 + \mathbf{p} \cdot \mathbf{e})$$

O ponto indica um produto escalar.

$$\ell/c^2 = 9,87 \times 10^{-10} \text{ au e } \mathbf{E} = |\mathbf{E}|$$

(50) Calcular a direção verdadeira (**p2**) no sistema inercial geocêntrico.

$$\mathbf{p}_2 = (\beta^{-1} \mathbf{p}_1 + (1 + (\mathbf{p}_1 \cdot \mathbf{V}) / (1 + \beta^{-1})) \mathbf{V}) / (1 + \mathbf{p}_1 \cdot \mathbf{V})$$

onde $\mathbf{V} = \mathbf{E}'_b / c = 0,0057755 \mathbf{E}'_b$ e $\beta = (1 - V^2)^{-1/2}$; a velocidade instantânea da Terra (**V**) é expressa em unidades da velocidade da luz e é igual a velocidade da Terra no Sistema Baricêntrico da ordem V^2 ($V = |\mathbf{V}|$)

(69) Aplicar precessão e nutação na direção verdadeira (p_2) multiplicando pela matriz rotação (R), para obter a direção aparente (p_3):

$$R = P N$$

P → matriz precessão no instante t (item 2.4)

N → matriz nutação no instante t (item 2.5)

$$p_3 = R p_2$$

(70) Converter para coordenadas esféricas (Ar, D)

$$\text{tag}Ar = y / x$$

$$\text{sen}D = z$$

onde $p_3 = (x, y, z)$ e o quadrante de Ar é determinado pelos sinais de x e y .

CAPÍTULO V

5.1 ORIENTAÇÃO DAS EFEMÉRIDES JPL, DE200/LE200, AO EQUINÓCIO DINÂMICO DE J2000,0

As efemérides lunar e planetária, DE200/LE200 foram produzidas no JPL (Jet Propulsion Laboratory). Ela forma a base das efemérides no "Astronomical Almanac" desde 1984. Sua origem é referida ao equinócio dinâmico de J2000,0. Nesta seção é descrito o procedimento que foi seguido para orientar o sistema de coordenadas das efemérides JPL, DE200/LE200, sobre o equinócio dinâmico da época J2000,0.

As últimas efemérides lunar e planetária produzidas no JPL foram a DE118/LE62. Essas efemérides eram referidas ao equador e equinócio de 1950, sendo integrada nesse sistema de referência. A DE118/LE62 foi orientada sobre o equador médio e equinócio dinâmico de J2000,0, passando a se chamar DE200/LE200.

5.1.1 PROCEDIMENTO

A transformação de DE118/LE62 a fim de produzir DE200/LE200 envolve uma rotação do DE118/LE62 sobre o equinócio dinâmico de 1950, reduzindo ao equinócio de J2000,0. Esse procedimento foi feito da seguinte maneira:

(10) O equinócio dinâmico do DE118(1950) foi determinado

como[12]:

$$E_{118}(1950) = + 0,5316''$$

(20) O DE118 foi rotacionado sobre seu próprio equinócio dinâmico 1950, produzindo o DE119.

$$r_{119} = R_z(-0,5316'') r_{118}$$

(30) O DE119 foi reduzido a época J2000,0, usando a matriz, P(3x3).

$$r_{119}' = P r_{119}$$

(40) O equinócio dinâmico de DE119' em J2000,0 foi determinado por:

$$E_{r119}' = - 0,00073''$$

(50) O DE119' foi ajustado sobre o equinócio dinâmico de J2000,0 produzindo o DE200.

$$r_{200} = R_z(+ 0,00073'') r_{119}'$$

ou

$$r_{200} = R_z(+ 0,00073'') P R_z(-0,5316'') r_{118}$$

$$r_{200} = \begin{bmatrix} 0,9999256791774783 & - 0,0111815116768724 & - 0,0048590038154553 \\ 0,0111815116959975 & 0,9999374845751042 & - 0,0000271625775175 \\ 0,0048590037714450 & - 0,0000271704492210 & 0,9999881946023742 \end{bmatrix} r_{118}$$

5.2 CÁLCULO DO MOVIMENTO DA TERRA - SUBROTINAS BARVEL E BARCOR

As subrotinas BARVEL e BARCOR foram desenvolvidas no Institut für Radioastronomie(Alemanha) por Stumpff[13]; a

primeira gera as componentes da velocidade baricêntrica e heliocêntrica da Terra, e a segunda gera as coordenadas baricêntricas e heliocêntricas. Com relação as efemérides DE96 do Jet Propulsion Laboratory (JPL), os maiores erros na BARVEL são 42cm/s nas componentes da velocidade, $1,1 \cdot 10^{-5}$ au nas coordenadas heliocêntricas e $4,6 \cdot 10^{-5}$ au nas coordenadas baricêntricas.

Essas subrotinas (BARVEL e BARCOR) acompanhadas da precessão, nutação e movimento próprio, são um sistema de programas os quais fornecem todas informações para a solução de qualquer problema de astrometria clássica. Se a aberração for aplicada nos catálogos das posições convencionais os chamados termos E devem primeiro ser removidos das posições.

Essas subrotinas foram desenvolvidas e testadas em um IBM-PC, com precisão simples de 6 casas decimais. Conseqüentemente as constantes e variáveis devem ser tratadas em dupla precisão. Nas duas subrotinas, os nomes dessas quantidades começam com a letra (D), as funções são usadas em dupla precisão (DSIN, DCOS, DMOD).

O usuário pode referir os resultados das subrotinas a qualquer equador e equinócio médio. Por essa razão, a BARVEL chama a subrotina PRE que calcula a matriz precessão geral baseada nos ângulos precessionais do sistema FK4.

A subrotina BARV faz o intercâmbio entre as subrotinas BARVEL e BARCOR além de transformar as coordenadas referidas as efemérides DE96 para DE200/LE200 através da matriz dada no item 5.1. Essa transformação não é correta pois a matriz es-

tá referida as efemérides DE11B, mas os resultados tem precisão suficiente na redução de coordenadas.

A listagem das subrotinas BARVEL e BARCOR está no apêndice D.

CAPÍTULO VI

6.1 PROJETO PRÓ-ASTRO

O Projeto Pró-astro foi desenvolvido pela Divisão de Pesquisas e Análises do Departamento de Geodésia da DGC/IBGE. Este projeto tem por objetivo a automação dos cálculos astronômicos de Alta Precisão e o recálculo de todos os pontos de Laplace determinados até o momento no controle da orientação da rede planimétrica. Antes deste projeto, todo cálculo astronômico desenvolvido no IBGE era executado manualmente. Apenas algumas das etapas eram automatizadas pela utilização de calculadoras programáveis, sendo que o cálculo necessitava ser interrompido para consulta ao Apparent Places of Fundamental Stars (APFS).

A automação do cálculo é alcançada através do emprego do Sistema Pró-astro. Este sistema é composto por oito programas: dois programas de latitude (SMCLAT4.EXE, SMCLAT5.EXE), dois programas de longitude (SMCMAY4.EXE, SMCMAY5.EXE), e quatro programas de azimute (SMCAZM4.EXE, SMCAZM5.EXE, SMCAZL04.EXE, SMCAZL05.EXE).

O Sistema Pró-astro reduz consideravelmente o tempo dispendido no processamento de um ponto de Laplace, possibilitando o eficiente recálculo de todos os pontos determinados pelo IBGE ao longo dos tempos, produzindo resultados refinados de azimutes astronômicos a serem empregados no Projeto de

Reajustamento da Rede Planimétrica de Alta Precisão do Sistema Geodésico Brasileiro. Além disso, este sistema possibilita a descentralização das atividades de processamento de pontos de Laplace observados na atualidade, uma vez que foram desenvolvidos para microcomputadores compatíveis com IBM-PC, disponíveis nos Departamentos Regionais de Geociências do IBGE.

6.2 PROGRAMAS DO SISTEMA PRÓ-ASTRO

O Sistema Pró-astro é composto pelos seguintes programas:

<SMCLAT4 / SMCLAT5> Estes programas calculam a latitude astronômica de Alta Precisão pelo Método de Sterneck, a partir de dados fornecidos pelo arquivo de observações de campo. O número "4" indica que a época média padrão das coordenadas celestes é B1950,0 (FK4), e "5" a época média padrão é J2000,0 (FK5).

<SMCMAY4 / SMCMAY5> Estes programas calculam a longitude astronômica de Alta Precisão pelo Método de Mayer, a partir de dados fornecidos pelo arquivo de observações de campo. O número "4" indica que a época média padrão das coordenadas celestes é B1950,0 (FK4), e "5" a época média padrão é J2000,0 (FK5).

<SMCAZM4 / SMCAZM5> Estes programas calculam o azimute astronômico pelo Método do Ângulo horário através de observações a estrela Octantis, a partir de dados fornecidos pe-

lo arquivo de observações de campo. O número "4" indica que a época média padrão das coordenadas celestes é B1950,0 (FK4), e "5" a época média padrão é J2000,0.

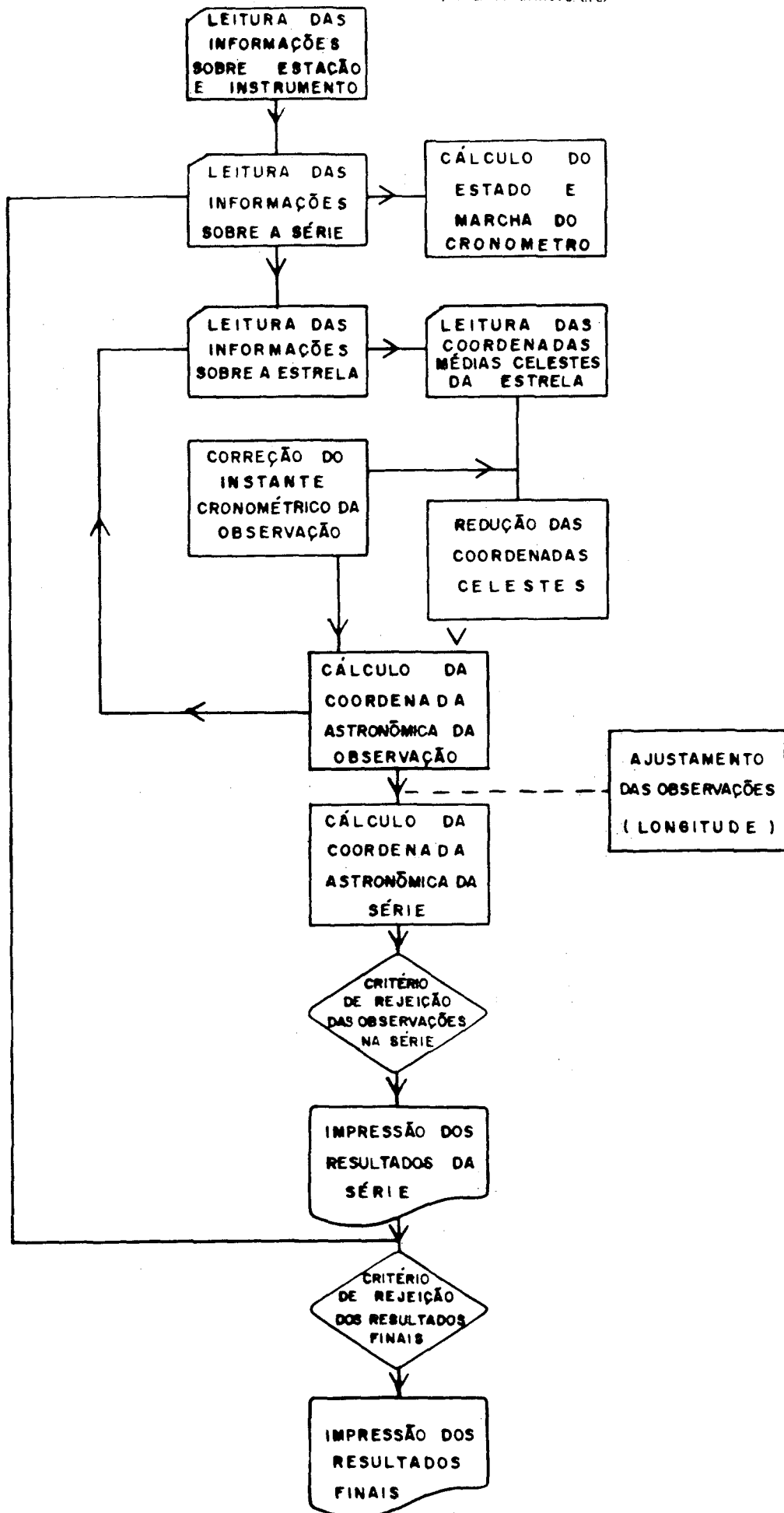
(SMCAZL04 / SMCAZL05) Estes programas calculam o azimute astronômico pelo Método de estrelas leste-oeste, a partir de dados fornecidos pelo arquivo de observações de campo. O número "4" indica que a época média padrão das coordenadas celestes médias é B1950,0 (FK4), e "5" a época média padrão é J2000,0.

6.3 ESTRUTURA DE PROGRAMAÇÃO

Todos programas possuem praticamente a mesma estrutura lógica, com as seguintes diferenças (vide figura 6.3):

- (19) Os programas de longitude possuem a etapa do ajustamento das observações.
- (20) Os programas que estiverem referidos a época média padrão J2000,0 (FK5), devem passar pela etapa de conversão das coordenadas celestes de B1950,0 (FK4) para J2000,0 (FK5).

figura 6.3 estrutura de programação



6.4 ARQUIVOS DO SISTEMA PRÓ-ASTRO

Os programas do Sistema Pró-astro geram os arquivos de observação de campo de latitude, longitude, azimute (Sigma Octantis) e azimute leste-oeste e utilizam o arquivo das coordenadas celestes médias das estrelas chamado FK4.DAT.

6.4.1 ARQUIVOS DE OBSERVAÇÕES DE CAMPO

Estes arquivos contém todos os dados referentes à estação, ao instrumento e às observações. Eles são arquivos formatados de acesso sequencial. Seus nomes tem um número máximo de oito caracteres, que devem ser o nome da estação ou uma abreviatura. A extensão desses arquivos são: ".LAT" (arquivo de latitude), ".LON" (arquivo de longitude), ".AZM" (arquivo de azimute Sigma-Octantis), ".ALO" (arquivo de azimute Leste-oeste).

Os arquivos devem fornecer as seguintes informações:

(A) LATITUDE

- nome da estação
- localidade
- estado
- nome do observador
- nome do anotador
- nome do digitador
- nome e número do instrumento

- latitude e longitude aproximada da estação
- altitude da estação
- azimute e distância do vértice geodésico
- coordenadas do pólo instantâneo(x e y)
- número de séries
- número de estrelas observadas na série, data da observação (dia, mês, ano), temperatura e pressão média da série
- tempo universal (início e fim da série), instante cronométrico (início e fim da série)
- número da estrela (FK4), instante cronométrico da observação, leitura no círculo vertical.

(B) LONGITUDE

- nome da estação
- localidade
- estado
- nome do observador
- nome e número do instrumento
- nome e número do cronógrafo
- nome do digitador
- latitude e longitude da estação
- constantes instrumentais: constante do nível, movimento perdido, espessura dos contatos, valor equatorial. Tempo de transmissão e retardo.
- coordenadas do pólo instantâneo(x e y)
- azimute e distância do vértice geodésico
- número de séries
- número de estrelas observadas na série, data (dia, mês e ano), tempo universal (início e fim da série), instante cronométrico (início e fim da série), correção da emissão

(DTU1)

- número da estrela (FK4), instante cronométrico, leitura no nível (1º oeste, 2º oeste, 1º leste, 2º leste).

(C) AZIMUTE - SIGMA OCTANTIS

- nome da estação
- localidade
- estado
- nome do observador
- nome do anotador
- nome e número do instrumento
- nome da mira
- nome do digitador
- latitude e longitude astronômica da estação
- constante do nível
- coordenadas do pólo instantâneo(x e y)
- altitude da mira
- número de séries
- número de observações na série, data (dia, mes e ano), tempo universal (início e fim da série)
- instante cronométrico da 1ª pontaria, instante cronométrico da última pontaria, leitura no círculo horizontal (mira), leitura no círculo horizontal (astro), leitura no nível (1º leste, 2º leste, 1º oeste, 2º oeste).

(D) AZIMUTE LESTE-OESTE

- nome da estação
- localidade
- estado

- nome do observador
- nome do anotador
- nome e número do instrumento
- nome da mira
- nome do digitador
- nome e número do cronômetro
- latitude e longitude astronômica da estação
- constante do nível
- coordenadas do pólo instantâneo(x e y)
- altitude da mira
- número de séries
- número de observações na série, data (dia, mês e ano), tempo universal (início e fim da série), instante cronométrico (início e fim da série)
- instante cronométrico da 1ª pontaria, instante cronométrico da última pontaria, leitura no círculo horizontal (mira), leitura no círculo horizontal (astro), inclinação do nível.

Os exemplos dos arquivos de observações de campo estão no apêndice B.

6.4.2 ARQUIVO FK4.DAT

Este arquivo é o 4º Catálogo Fundamental. Ele contém as seguintes informações sobre a estrela: número, brilho, coordenadas celestes médias referidas a época padrão B1950,0 (ascensão rec. e declinação), componentes do movimento próprio em ascensão reta e declinação, paralaxe e velocidade radial. É um arquivo formatado de acesso randômico com 1535 registros (cada registro contendo as informações citadas acima). Esses

registros estão ordenados pelo número da estrela.

6.5 SUBROTINAS DO SISTEMA

Os programas do Sistema Pró-astro utilizam as seguintes subrotinas:

NOME	OBJETIVO
(1) BARCOR	Calcula as coordenadas heliocêntricas e baricêntricas da Terra.
(2) BARV	Converte as coordenadas e velocidades baricêntricas e heliocêntricas das efemérides JPL DE96 em JPL DE200/LE200.
(3) BARVEL	Calcula os componentes da velocidade baricêntrica e heliocêntrica da Terra.
(4) CORZE	Corrige a distância zenital da refração atmosférica (subrotina dos programas de latitude).
(5) GRAU	Transforma ângulo de radiano para grau, minuto e segundo.
(6) JULIANO	Calcula a data Juliana.
(7) JORDAN	Inverte matrizes (subrotina dos programas de longitude).
(8) NUTAÇÃO	Calcula a nutação em longitude, obliquidade e a obliquidade da eclíptica.
(9) PRODMA	Multiplica matrizes (subrotina dos programas de longitude).
(10) RADIANO	Transforma o ângulo de grau, minuto e segundo em radianos.
(11) REDUDIA	Reduz as coordenadas celestes médias (ascensão reta e declinação) em aparentes.
(12) REG	Reduz a coordenada astronômica à estação geodésica.
(13) RNMM	Redução da coordenada astronômica ao nível médio dos mares.
(14) PRE	Calcula a matriz precessão
(15) PRECE	Calcula os ângulos precessionais e a matriz precessão.

```

-----
!(16) POLO      ! Reduz a coordenada astronômica ao pólo instantâneo.!
-----
!(17) SIGNAL    ! Transforma a hora média em sideral.                !
-----
!(18) UNIVERSAL ! Transforma a hora sideral em média.                !
-----

```

6.6 RELATÓRIOS DE SAÍDA

Todos os cálculos são descarregados automaticamente em uma impressora na forma de relatórios. Esses relatórios contém todos os dados do arquivo de observações de campo e os resultados de maior importância.

(A) RELATÓRIO DA LATITUDE

1ª COLUNA => Número da estrela (FK4).

2ª COLUNA => Passagem ao norte do zênite (N), passagem ao sul do zênite (S).

3ª COLUNA => Leitura no círculo vertical (grau, minuto, segundo).

4ª COLUNA => Correção da refração em segundos.

5ª COLUNA => Distância zenital corrigida (grau, minuto, segundo) = distância zenital + correção da refração.

6ª COLUNA => Declinação aparente da estrela.

7ª COLUNA => Latitude derivada da observação de cada estrela (grau, minuto e segundo), sinal negativo no hemisfério sul.

8ª COLUNA => Instante cronométrico da passagem (hora, minuto, segundo).

9ª COLUNA => Indica se a estrela foi rejeitada através da mensagem "REJEITADA". Isso ocorre quando a latitude derivada de qualquer estrela norte (sul) varie mais de 2,5" da latitude média calculada de estrelas norte (sul) e "REJEITADA PAR" para estrela que formar o par.

Abaixo da 4ª coluna são calculados os somatórios das correções da refração das estrelas ao norte e ao sul de zênite. A série é rejeitada se a diferença dos somatórios for maior que 10".

Abaixo da 7ª coluna são calculados as latitudes médias das estrelas ao norte e ao sul de zênite.

A última folha do relatório contém um resumo dos cálculos anteriores. Na coluna "LATITUDE" estão todas latitudes médias de cada série, na coluna "V" os resíduos (diferença da latitude média de cada série e a latitude média final, em segundos). Uma série é rejeitada quando seu resíduo for maior em valor absoluto que o limite de rejeição dado pela fórmula: $r = t' e_p$, onde t' é o critério de Chauvenet e e_p o erro provável do resultado final. No final da folha temos a latitude média final e as seguintes reduções: nível médio dos mares, a estação geodésica e ao pólo.

(B) RELATÓRIO DA LONGITUDE

1ª COLUNA => Número da estrela (FK4).

2ª COLUNA => Passagem ao norte do zênite (N), passagem ao sul do zênite (S).

3ª COLUNA => Instante cronométrico da passagem (hora, minuto, segundo).

4ª COLUNA => Tempo universal (TU) (hora, minuto, segundo).

5ª COLUNA => Leituras no nível.

6ª COLUNA => Hora sideral em Greenwich (hora, minuto, segundo).

7ª COLUNA => Ascensão reta aparente da estrela (hora, minuto, segundo).

8ª COLUNA => Longitude da observação de cada estrela (hora, minuto, segundo; sinal negativo a oeste de Greenwich).

9ª COLUNA => A mensagem "REJ." aparecerá quando o resíduo de qualquer estrela (diferença entre a longitude média da série e a longitude derivada de uma estrela) for maior em valor absoluto que $0,08s \text{ sec}^0$. Nas séries com número ímpar de estrelas, a diferença entre o número de estrelas norte e sul, não deve ser maior que um, se isso ocorrer a série será rejeitada.

A última folha do relatório contém um resumo dos cálculos anteriores. Na coluna "AZIMUTE" estão os valores dos azimutes do eixo de colimação da luneta (a), em segundos, e na coluna ao lado os seus respectivos desvios padrão. Na coluna "CORREÇÃO DA LONGITUDE" estão os valores da correção da longitude de cada série e na coluna ao lado os seus respectivos desvios padrão.

A coluna "RESÍDUOS" contém a diferença entre a longitude média final e a longitude média de cada série. Uma série é rejeitada se o seu resíduo for maior em valor absoluto que o limite de rejeição dado pela fórmula: $r=2,5 \text{ sec}^0$ vezes o erro

provável de uma série (e_n).

No final da folha temos a longitude aproximada, a correção da longitude (valor médio das séries), longitude corrigida em tempo e em arco, as reduções ao pólo, a estação geodésica, tempo de transmissão e o retardo.

(C) RELATÓRIO DO AZIMUTE - SIGMA OCTANTIS

1ª COLUNA => Instante cronométrico da observação (hora, minuto, segundo).

2ª COLUNA => Leitura no círculo horizontal (mira) em grau, minuto, segundo.

3ª COLUNA => Leitura no círculo horizontal (astro) em grau, minuto, segundo.

4ª COLUNA => Inclinação do nível.

5ª COLUNA => Ângulo horário (grau, minuto, segundo).

6ª COLUNA => Azimute da mira de cada observação (grau, minuto, segundo).

7ª COLUNA => Indica se a estrela foi rejeitada através da mensagem "REJEITADA". Se a diferença entre o azimute derivado de uma observação e o azimute médio da série for maior que 5,0" em valor absoluto, a observação será rejeitada.

A última folha do relatório contém um resumo dos cálculos anteriores. Na coluna "AZIMUTE" estão os azimutes médios de cada série, e na coluna "RESÍDUO" a diferença do azimute médio final e o azimute médio de cada série. Uma série é rejeitada se o resíduo for maior que 1,0", em valor absoluto.

No final desta folha temos o azimute médio final e as reduções ao pólo e ao nível dos mares.

(D) RELATÓRIO DO AZIMUTE LESTE-OESTE

1ª COLUNA => Instante cronométrico: círculo vertical a direita, círculo vertical a esquerda (horas, minuto, segundo).

2ª COLUNA => Leitura no círculo horizontal (mira) em grau, minuto, segundo.

3ª COLUNA => Leitura no círculo horizontal (astro) em grau, minuto, segundo.

4ª COLUNA => Inclinação do nível.

5ª COLUNA => Azimute do astro (grau, minuto, segundo, sinal negativo elongação a leste).

6ª COLUNA => Azimute da mira (grau, minuto, segundo).

7ª COLUNA => Indica se a estrela foi rejeitada através da mensagem "REJEITADA". Se a diferença entre o azimute derivado de uma observação e o azimute médio de cada série for maior que 5,0", em valor absoluto, a observação será rejeitada.

A última folha do relatório contém um resumo dos cálculos anteriores. Na coluna "AZIMUTE" estão os azimutes médios de cada série e na coluna "RESÍDUO" a diferença do azimute médio final das séries leste(oeste) e o azimute médio de cada série leste(oeste). Uma série será rejeitada quando seu resíduo for maior que 1,0", em valor absoluto. No final desta folha temos o azimute médio final e as reduções ao pólo e ao nível médio dos mares.

Os exemplos dos relatórios de saída estão no apêndice C.

6.7 ESPECIFICAÇÕES

Todos programas foram desenvolvidos na linguagem FORTRAN. Para que possamos executá-los o arquivo FK4.DAT deve sempre estar no mesmo disquete ou no subdiretório de um disco rígido. Os arquivos de observações de campo devem estar em outro disquete. Portanto, para executar os programas é necessário que seja indicado o drive que está o disquete quando for pedido o nome do arquivo de observação.

O equipamento utilizado foi um microcomputador PC NEXUS 2600, e as impressoras foram ALICE E EMÍLIA.

Os programas e arquivos utilizam o seguinte espaço de memória(compilados):

	BYTES
SMCLAT4 -----	85504
SMCLAT5 -----	91648
SMCMAY4 -----	86528
SMCMAY5 -----	92416
SMCAZM4 -----	85248
SMCAZM5 -----	92160
SMCAZL04 -----	86016
SMCAZL05 -----	92544
FK4.DAT -----	105211

XXXXXXXXX.LAT -----3493
XXXXXXXXX.LON -----2816
XXXXXXXXX.AZM -----3840
XXXXXXXXX.ALO -----3749

CAPÍTULO VII

7.1 PONTOS DE LAPLACE

As determinações astronômicas de Alta Precisão, são realizadas nas estações astronômicas chamadas Pontos de Laplace. Elas foram adotadas na década de 40 como um subsídio para o desenvolvimento da triangulação de Alta Precisão. A triangulação teve seu início no Conselho Nacional de Geografia (CNG), obedecendo às prescrições internacionais para trabalhos de Alta Precisão. São formadas cadeias nas quais a figura predominante são os quadriláteros com duas diagonais.

O espaçamento entre bases está condicionado ao critério do coeficiente de rigidez das figuras. E os Pontos de Laplace devem ser preferencialmente coincidentes com a base. Como já foi dito, um Ponto de Laplace consiste na determinação de latitude, longitude e azimute astronômicos. Em uma extensa cadeia de triangulação existe uma considerável probabilidade de acumulação do erro de medição angular, tornando-se necessário controlar o azimute de certos lados da triangulação, convenientemente espaçados, a fim de evitar que a orientação de toda cadeia seja afetada por aquele erro. Deste modo os Pontos de Laplace garantem o controle de orientação da rede.

Como não é prática determinar diretamente o azimute geodésico de uma linha (o qual não coincide com o astronômico, devido ao desvio da vertical) o único meio de tornar efetivo tal controle é determinar o azimute por processos astronômicos, e calcular em seguida o azimute geodésico, através da

fórmula de Laplace:

$$A_g = A_a + (L_a - L_g) \operatorname{sen} \delta$$

A_g = azimute geodésico ou de Laplace

A_a = azimute astronômico

L_a = longitude astronômica

L_g = longitude geodésica

δ = latitude geodésica

Então denomina-se Ponto de Laplace um vértice de triangulação no qual são determinados:

(1º) Longitude e Latitude astronômica do vértice.

(2º) Azimute astronômico de um dos lados da triangulação.

A determinação da Latitude é necessária para o cálculo do azimute de Laplace, portanto, seu emprego também se justifica no nivelamento astronômico e na obtenção das componentes do desvio da vertical. Estas componentes são dadas pelas seguintes fórmulas:

$$\text{(componente meridiana)} \quad \xi = \delta_a - \delta_g$$

$$\text{(componente 1ª vertical)} \quad \eta = (L_a - L_g) \cos \delta_g$$

$$\eta = (A_a - A_g)$$

δ_a = latitude astronômica

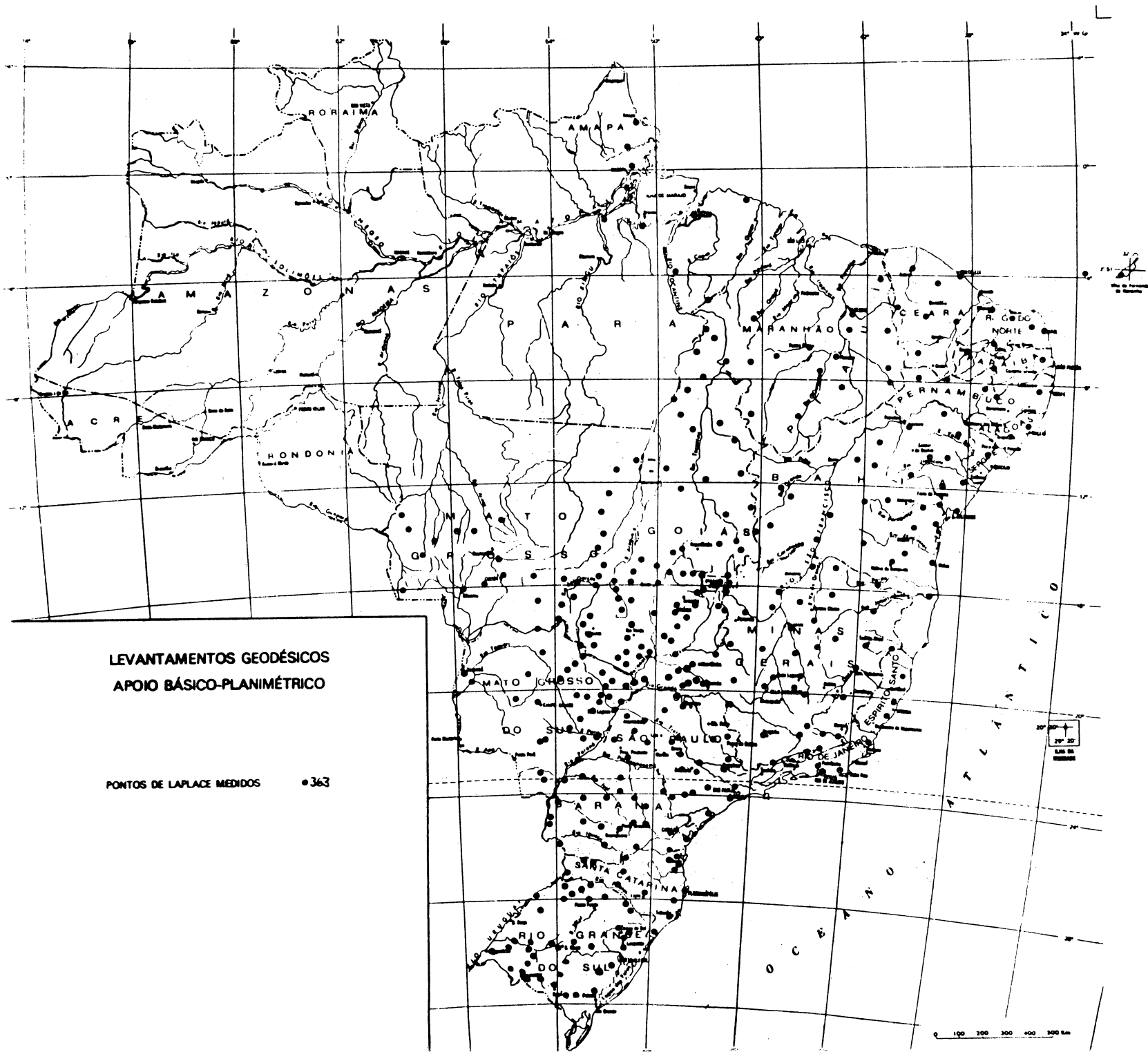
δ_g = latitude geodésica

7.2 DETERMINAÇÕES ASTRONÔMICAS REALIZADAS PELO IBGE

Como já foi mencionado anteriormente, as determinações astronômicas e a triangulação de Alta Precisão começaram juntas no desenvolvimento do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB).

Os primeiros trabalhos de campo foram executados por Lysandro Vianna Rodriguez (chefe da equipe de campo), no estado de Santa Catarina na década de 40. Consta nos arquivos oficiais do IBGE que o primeiro Laplace implantado foi o de JATIVOCA em maio de 1948. É um tanto quanto difícil afirmar qual o Laplace mais antigo, pois, em alguns deles, as determinações de campo de azimute eram feitas separadamente das determinações de latitude e longitude. Isso ocorre no vértice CRISCIÚMA, no qual seu azimute foi determinado em 1946 e a latitude e longitude em 1948.

Em 1948 foram determinados seis Laplaces (Jativoca, Ponta Aguda, Crisciúma, Torres e Rio Bravo). Em 1949 e 1950 as observações se estenderam em Minas Gerais e Goiás. Em 1961 eram 104 Laplaces e até o final deste ano (1988) estarão implantados 363 no total. Eles são distribuídos homogeneamente por toda a rede (figura 7.1).



**LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS
APOIO BÁSICO-PLANIMÉTRICO**

PONTOS DE LAPLACE MEDIDOS • 363

7.3 MÉTODOS E INSTRUMENTOS ADOTADOS

Os métodos e instrumentos empregados pelo antigo CNG em seus trabalhos de Astronomia Geodésica são os mesmos adotados pelo Inter American Geodetic Survey (IAGS); o qual prestou uma valiosa ajuda material e técnica.

No que se refere ao azimute, são adotados os seguintes métodos: Método do Ângulo Horário através da observação à estrela polar sul Sigma Octantis e o Método de observação às estrelas leste-oeste. O método do ângulo horário foi adaptado para o hemisfério Sul pelo professor Allyrio Huguenev de Mattos utilizando a estrela Octantis; ele é encontrado na publicação denominada "Determinação do Azimute pela Observação de Octantis", da autoria deste professor. Nestes dois métodos as estrelas são observadas fora do meridiano, preferivelmente próximas as suas elongações. O método do ângulo horário é adotado em locais de latitudes médias onde a estrela circumpolar é visível, enquanto o leste-oeste é adotado em locais de latitudes baixas, próximas do equador onde a estrela circumpolar não é visível.

Quanto às determinações de longitude e latitude, ambas realizadas por observações meridianas, os métodos usados são respectivamente o de Mayer e o de Sterneck. A descrição destes métodos é encontrada em Rodriguez, 1951.

Os instrumentos adotados inicialmente para as determinações não são os mesmos de hoje. Na época o instrumento usado nas determinações de latitude e longitude era a Luneta

Meridiana de Bamberg. Este instrumento foi construído de forma a permitir a observação de estrelas na sua passagem meridiana. A luneta gira em torno de um eixo horizontal, normal ao eixo de colimação, o que faz com que este descreva um plano vertical, ou plano do meridiano. Mais tarde passou a ser usado o Teodolito Wild T-4.

No início das determinações de azimute era usado um instrumento chamado Parkhurst; mais tarde foram adotados os teodolitos Wild T-3 e DKM 3-A.

Os cronômetros, usados na comparação entre sinais horários e cronometragem das passagens, eram siderais. Atualmente usam-se cronômetros médios de quartzo.

Comparativamente, as determinações astronômicas, hoje, são menos trabalhosas em decorrência da utilização de um instrumental mais moderno.

7.4 REPROCESSAMENTO DOS PONTOS DE LAPLACE

Nos capítulos anteriores, foi dada uma maior ênfase ao processamento automático dos cálculos astronômicos através dos programas do Sistema Pró-Astro e um estudo sobre as novas mudanças propostas pela IAU, quanto ao novo sistema astronômico, o FK5. O reprocessamento e reavaliação dos pontos de Laplace são assuntos abordados neste item.

O reprocessamento torna-se necessário face a importância da reavaliação destes pontos quanto à precisão e aos erros

que ocorrem no cálculo manual. A reavaliação é essencial, pois, no começo das determinações astronômicas, tolerâncias e precisões estipuladas eram diferentes das adotadas atualmente, como por exemplo, uma determinação de longitude com quatro séries apenas era classificada como de Alta Precisão. Atualmente as especificações estabelecem que para ser de Alta Precisão é necessário que tenha no mínimo cinco séries. Isto terá uma grande importância quando for feito o reajustamento da Rede Geodésica Horizontal, fornecendo, desta forma, subsídios para ponderação dos azimutes a participarem do reajustamento.

Foram questionadas também as influências que podem ocorrer nas coordenadas dos pontos astronômicos com a adoção do novo sistema astronômico (FK5) e das novas constantes IAU, e se isso fosse significativo, qual a repercussão dos problemas quanto a orientação da rede. Deste modo, para se determinar qual a metodologia que devemos aplicar no reprocessamento dos Laplaces, fizemos um trabalho de comparação entre os resultados fornecidos pelos dois sistemas astronômicos, FK4 e FK5.

O trabalho de comparação consiste no seguinte: foi adotada uma "rede teste" (figura 7.4), rede esta localizada no estado de Minas Gerais. Ela possui sete pontos de Laplace, recentemente determinados em épocas médias padrão diferentes, ou seja, em sistemas astronômicos diferentes. Estes pontos são: Sobradinho (1982), Estiva (1984), Posto Chapadão (1984), Jupira (1983), Varginha (1983), Dan (1983) e Coqueiro (1983). Independente da data das suas determinações, as coordenadas astronômicas desses pontos foram calculadas nos dois sistemas astronômicos, FK4 e FK5.

De posse dos valores encontrados para os azimutes astronômicos dos pontos nos dois sistemas, fizemos dois ajustamentos nessa rede: um teve como azimutes de controle de orientação os resultados no sistema FK4 e o outro com os azimutes no sistema FK5. Nos dois, as coordenadas do vértice Sobradinho foram mantidas fixas.

O programa usado no ajustamento da "rede teste" foi o USHER (Users System for Horizontal Control Evaluation) desenvolvido no DMA (Defense Mapping Agency). Ele executa o ajustamento de redes geodésicas horizontais através do método de variação de coordenadas, adotando como superfície de referência um elipsóide de revolução.

7.4.1 RESULTADOS PRÁTICOS FK4 X FK5

Sabemos que no cálculo do azimute astronômico de um ponto é necessário obter precisamente os valores da latitude e longitude astronômica deste. Nesse item serão fornecidos somente os resultados dos azimutes nos dois sistemas astronômicos.

! PONTOS DE ! LAPLACE	! DATA	! FK4	! FK5	! DIFERENÇAS!
! SOBRADINHO	! 08/1982	! 014° 08' 10,854"	! 014° 08' 10,829"	! 0,025"
! ESTIVA	! 08/1984	! 000° 06' 09,739"	! 000° 06' 09,706"	! 0,033"
! POSTO CHAPADÃO	! 10/1984	! 129° 30' 31,849"	! 129° 30' 31,840"	! 0,009"
! JUPIRA	! 05/1983	! 002° 38' 51,419"	! 002° 38' 51,421"	! -0,002"
! VARGINHA	! 06/1983	! 325° 52' 56,422"	! 325° 52' 56,380"	! 0,042"
! DAN	! 08/1983	! 195° 42' 24,955"	! 195° 42' 24,934"	! 0,021"
! COQUEIRO	! 08/1983	! 174° 36' 22,617"	! 174° 36' 22,586"	! 0,031"

Para serem submetidos ao ajustamento, estes azimutes so-

frem previamente uma correção (correção de Laplace), dada pela fórmula de Laplace.

$$\text{AZIMUTE GEODÉSICO} = \text{AZIMUTE ASTRONÔMICO} + \text{CORREÇÃO DE LAPLACE}$$

Os azimutes geodésicos são fornecidos ao programa como dados de entrada, e posteriormente são usados no ajustamento como pontos de controle de orientação da rede.

Os azimutes geodésicos são os seguintes:

! PONTOS DE ! LAPLACE	! DATA !	! FK4	! FK5	! DIFERENÇAS!
! SOBRADINHO	! 08/1982 !	! 014° 08' 12,228" !	! 014° 08' 12,210" !	! 0,018" !
! ESTIVA	! 08/1984 !	! 000° 06' 10,962" !	! 000° 06' 10,931" !	! 0,031" !
! POSTO CHAPADÃO	! 10/1984 !	! 129° 30' 31,675" !	! 129° 30' 31,702" !	! 0,027" !
! JUPIRA	! 05/1983 !	! 002° 38' 50,491" !	! 002° 38' 50,494" !	! -0,003" !
! VARGINHA	! 06/1983 !	! 325° 52' 56,138" !	! 325° 52' 56,100" !	! 0,038" !
! DAN	! 08/1983 !	! 195° 42' 24,348" !	! 195° 42' 24,332" !	! 0,016" !
! COQUEIRO	! 08/1983 !	! 174° 36' 22,923" !	! 174° 36' 22,895" !	! 0,028" !

As diferenças entre as coordenadas geodésicas ajustadas obtidas pelos sistemas FK4 e FK5 nas estações situadas nos extremos da "rede teste" foram.

! ESTAÇÕES	! DIFERENÇAS EM	! DIFERENÇAS EM	! DISTANCIA AO
!	! LATITUDE	! LONGITUDE	! PTO FIXO (km) !
! PEDRA	! -0,00048" !	! 0,00011" !	! 175 !
! MARIANO	! -0,00052" !	! 0,00020" !	! 185 !
! APARADO	! 0,00076" !	! 0,00001" !	! 127 !
! CHAPADÃO BONITO	! 0,00084" !	! -0,00005" !	! 143 !
! RIB.SANTOS S	! 0,00021" !	! -0,00028" !	! 105 !
! BOCAINA	! 0,00020" !	! -0,00024" !	! 98 !

7.4.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Esta experiência teve por fim testar a influência dos azimutes calculados nos dois sistemas quanto a orientação da rede segundo um processo convencional de ajustamento.

Analisando os resultados obtidos nos dois sistemas, verifica-se que a maior diferença encontrada entre azimutes astronômicos FK4 e FK5 foi de $0,042''$ no ponto Varginha, sendo a maior diferença entre azimutes geodésicos igual a $0,038''$.

Partindo da premissa de que a tolerância admitida para o erro médio provável de um azimute astronômico é $0,3''$, as discrepâncias encontradas entre azimutes FK4 e FK5 não tem valor significativo.

Com relação às diferenças entre as coordenadas geodésicas ajustadas obtidas pelos dois testes, a maior encontrada foi na latitude da estação Chapadão Bonito (localizada em um dos extremos da rede teste), $\delta = 0,00084''$, o que corresponde a 2,6cm em coordenadas plano retangulares, ou $1/5.500.000$, que, comparado com o erro padrão do lado ajustado (Chapadão Bonito-Aparado) é desprezível.

CAPÍTULO VIII

8.1 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos nesta experiência em um pequeno trecho da rede geodésica horizontal revelaram que as prováveis diferenças, que pudessem afetar a orientação da rede com a mudança de sistemas astronômicos, são desprezíveis. Este fato já foi comprovado quando os valores encontrados para os azimutes astronômicos calculados nos dois sistemas, FK4 e FK5, diferiram muito pouco. Esses fatores nos levaram a concluir que os pontos astronômicos deverão ser calculados para a época média padrão que sua determinação está referida. Por exemplo, o vértice Sobradinho foi determinado em 1982, portanto os cálculos devem ser referidos ao sistema astronômico FK4; o mesmo se aplica para os vértices Posto Chapadão e Estiva que foram determinados em 1984 e os cálculos devem ser referidos ao sistema FK5. Isto significa que a mudança de sistemas astronômicos a partir de 1984 não teve influências sensíveis no ajustamento da rede horizontal.

Deste modo o Projeto Pró-Astro conclui uma fase importante do Projeto de Reajustamento da Rede Planimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro (REPLAN), automatizando o processamento dos cálculos astronômicos e definindo com uma maior exatidão a classificação das determinações astronômicas nos pontos de Laplace.

A P Ê N D I C E A

MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO ASTRONÔMICA USADOS NO SISTEMA

A.1 MÉTODO DE STERNECK - DETERMINAÇÃO DA LATITUDE ATRAVÉS DE MEDIDAS DAS DISTÂNCIAS ZENITAIS MERIDIANAS

INTRODUÇÃO

O método de Sterneck é uma simplificação do método de Horrebow Talcolt. Ele consiste em observar duas estrelas nas suas passagens meridianas, uma ao norte e outra ao sul do zênite e nestas passagens medir a distância zenital.

Da expressão $\phi = \delta \pm z$ a latitude de uma estação pode ser determinada a partir da distância zenital meridiana de uma estrela de declinação conhecida.

Se a passagem for ao norte do zênite o sinal da equação é negativo, $\phi = \delta_n - Z_n$. Se a passagem for ao sul do zênite o sinal da equação é positivo, $\phi = \delta_s + Z_s$.

Para determinação de Alta Precisão, o instrumento usado deve ser um Wild T4 ou similar, pois o erro provável da latitude média não deve ser maior em valor absoluto que $0,1''$; se for maior a classificação da determinação passa ser de Precisão.

ESPECIFICAÇÕES

A. ALTA PRECISÃO

(1) Uma determinação da latitude astronômica consiste de oito séries, cada uma contendo oito ou mais observações. Uma série é composta de observações a quatro estrelas ao norte do zênite e quatro estrelas ao sul do zênite.

(2) As observações devem ser feitas pelo menos em duas noites, com um número mínimo de três séries em cada noite. É possível observar todos os oito grupos em uma noite se os dois períodos de observações forem separados por quatro horas.

(3) A distância zenital de qualquer estrela não deve exceder 40° , e preferencialmente 30° . Além disso, a soma das distâncias zenitais das estrelas ao norte não deve exceder a soma das distâncias zenitais das estrelas ao sul por mais de $\pm 10^\circ$ para qualquer série.

(4) Geralmente estrelas com magnitude de 3^m à 7^m podem ser observadas. Estrelas com brilho maior que 3.0 devem ser evitadas.

(5) O erro provável da latitude média não deve exceder $\pm 0''.1$. Se o erro da média exceder esse valor, séries adicionais devem ser observadas.

B. PRECISÃO

Os métodos, procedimentos e especificações para uma determinação de Precisão são os mesmos para uma determinação de Alta Precisão, exceto os seguintes itens:

(1) São observados em cada estação quatro séries, contendo oito estrelas cada uma.

(2) As observações devem ser completadas em uma noite.

(3) O resultado do erro provável da média não deve exceder $0''.30$, em valor absoluto.

INSTRUÇÕES GERAIS PARA AS OBSERVAÇÕES

(a). O instrumento deve estar no meridiano, com um erro máximo de 3s.

(b). Uma lista de observações é preparada incluindo todas as estrelas disponíveis. A lista de observações inclui mais estrelas do que são observadas em longitude, conseqüentemente, é comum na prática incluir a lista Sterneck com a lista de longitude. Essas estrelas adicionais para observação pelo método de Sterneck não tem o fator "A".

(c). As comparações rádio-cronômetro são feitas no início e no fim de cada período (noite); se for necessário no início e no fim de cada série. Três observações consecutivas de tempo devem ser feitas, isto é, ler o cronômetro no começo de um

período de cinco minutos e duas vezes mais nos pulsos de minutos identificáveis. Não é necessário tomar comparações rádio-cronômetro entre séries de latitude a menos que o intervalo entre elas seja maior que duas horas.

(d). A pressão barométrica e temperatura são registradas no início e no fim de cada série.

(e). As estrelas observadas são usualmente selecionadas de maneira que, uma estrela sul é observada depois de uma estrela norte, ou vice-versa. Não é aconselhável observar mais do que duas estrelas norte, ou duas estrelas sul, sucessivamente.

(f). Na observação das séries, todas estrelas são observadas em uma posição do círculo vertical, isto é, posição direta ou inversa quando fazemos a pontaria com o instrumento. Números iguais de séries são observadas com a posição do círculo a esquerda e a direita(alternadamente).

(g). Cerca de um minuto e meio deve ser permitido entre passagens sucessivas de estrelas, quando ambas estão no mesmo lado do zênite. Dois minutos são permitidos quando o instrumento for invertido, isto é, uma estrela norte seguida de estrela sul.

(h). Na observação de cada estrela devemos registrar na caderneta o instante cronométrico, a distância zenital, leituras no nível vertical (esquerda e direita), número da estrela no FK4 e sua posição com relação ao zênite.

LISTA DE OBSERVAÇÕES

(a). A lista de observações de latitude é incluída com a lista de longitude. Somente estrelas do FK4 são observadas. Todas estrelas devem ter uma distância zenital menor que 30° e brilho entre 7.0 e 3.0.

(1) As médias da temperatura e pressão lidas no início e final de cada série são calculadas.

(2) O estado e a marcha do cronômetro são determinados para cada período em que foi feita a comparação cronômetro e rádio. As fórmulas são as seguintes:

$$E_0 = M_0 - T_0$$

$$E = M - T$$

$$m = \frac{E - E_0}{T - T_0}$$

onde:

E_0 => estado do cronômetro (em Greenwich) no início do período de observação.

E => estado do cronômetro (em Greenwich) no fim do período de observação.

M_0 => hora média de Greenwich (ou sideral, caso o relógio seja sideral), no início do período de observação (média das 3 comparações).

M => hora média Greenwich (ou sideral, caso o relógio seja sideral), no fim do período de observação (média das 3 comparações).

T_0 => instante cronométrico médio no início do período de observação.

T => instante cronométrico médio no fim do período de observação.

m => marcha do cronômetro (por hora).

Após efetuarmos esses cálculos podemos atualizar o estado do cronômetro a cada instante cronométrico da observação, através da fórmula:

$$E_1 = E_0 + m (T_1 - T_0)$$

E_1 => estado do cronômetro em um determinado instante cronométrico de observação a uma estrela (T_1).

A hora média em Greenwich de uma observação qualquer é dada pela fórmula.

$$M_1 = T_1 + E_1$$

O resultado de M_1 é utilizado na redução das coordenadas celestes da estrela como fração do dia (quando dividido por 24 horas).

(3) A leitura no círculo vertical deve ser corrigida da inclinação do nível. A metade da sensibilidade do nível, $d/2$, é multiplicada pelo desnivelamento, ou seja, $E - D$, leitura à esquerda menos leitura à direita, e em cada observação é aplicado na leitura média do círculo. Se a série foi observada com o círculo na posição inversa, as distâncias zenitais devem ser subtraídas de 360° .

(b). Refração

A refração astronômica é o deslocamento aparente de um objeto celeste causado pelo desvio dos raios de luz quando atravessam a atmosfera.

(1) Devido a refração a estrela aparece na luneta com uma altura maior do que a real. A diferença entre a distância zenital aparente (observada) e a distância zenital verdadeira (corrigida) é a correção da refração.

(2) Um raio de luz passa de um ar rarefeito para um ar denso, desviando os raios de luz observados no local. A refração começa na camada limite da atmosfera e aumenta proporcionalmente com o aumento da densidade. A densidade do ar depende da temperatura e da quantidade de vapor d'água contida na atmosfera.

(3) As camadas da atmosfera são supostamente paralelas a superfície da Terra. Para reduzir o erro causado por essa suposição, distâncias zenitais, norte e sul, devem ser equilibradas.

(4) A correção da refração (C_r), para distância zenital observada (D_{zo}) é obtida pela fórmula:

$$C_r = \text{tag}(D_{zo}) \cdot 60,008 \cdot (P / 760,0) / (1 + (T / 273,16))$$

onde

P => pressão média da série em mmHg.

T => temperatura média da série em °C

e

$$D_x = D_{zo} + C_r$$

$D_x \Rightarrow$ distância zenital corrigida

(c). Redução da Estrela

Este assunto foi descrito no capítulo IV. Somente a declinação é reduzida ao dia (coordenada aparente), no cálculo da latitude

(d). Cálculo da Latitude Astronômica

(1) A latitude observada de cada estrela é determinada por:

$$\phi = \delta - D_x, \text{ para estrelas ao norte do zênite}$$

$$\phi = \delta + D_x, \text{ para estrelas ao sul do zênite}$$

(2) São calculadas as latitudes médias das estrelas ao norte e ao sul do zênite. A latitude originada de qualquer observação de estrela norte (sul) que variar mais que $\pm 2''.5$ da latitude média de estrelas norte (sul) é rejeitada, e uma nova média é calculada. A latitude da série é então determinada a partir da latitude média de estrelas norte e a latitude média de estrelas sul.

(3) São calculados os somatórios das correções da refração das estrelas ao norte e ao sul do zênite. A série é rejeitada se a diferença dos somatórios for maior que $10''$.

RESUMO DO CÁLCULO

(a). Latitude média e resíduos

Depois de serem calculadas todas as latitudes das séries, é determinada a latitude média final e os resíduos (v) para cada série.

(b). Erro provável da latitude média final (e_p)

$$e_p = \pm 0,6745 \left(\frac{\sum v^2}{n(n-1)} \right)^{1/2}$$

$\sum v^2 \Rightarrow$ somatório dos resíduos ao quadrado.

$n \Rightarrow$ número de séries aproveitáveis

(c). Rejeições

O critério de Chauvenet é utilizado para determinar o limite de rejeição.

$$r = t' e_p$$

$t' \Rightarrow$ critério de Chauvenet

$$e_p = e_p (n)^{1/2}$$

Se o resíduo de qualquer série for maior em valor absoluto que o limite de rejeição a série é rejeitada; e o cálculo a partir do item a deverá se repetir.

(d). Redução ao nível médio do mar

Essa correção parte da suposição de que a Terra é um elipsóide e que não existem irregularidades nas superfícies equipotenciais. Já que a força da gravidade é menor no equador do que nos polos, deduzimos que uma superfície equipotencial (superfície de nível) é mais afastada do nível do mar no equador do que nos polos. As superfícies equipotenciais são

paralelas entre si nos polos e no equador. Portanto as normais a cada superfície, no mesmo meridiano, não são paralelas. A redução ao nível médio do mar decorre da convergência das superfícies de nível, seu valor teórico para o elipsóide internacional é dado pela fórmula:

$$RNMM = - 0,000172'' h \operatorname{sen}(2\phi)$$

h => altitude da estação em metros

ϕ => latitude média final

(e). Redução ao polo médio

A redução ao polo médio destina-se a corrigir o efeito denominado "variação das latitudes" decorrente da variação da posição do eixo de rotação na superfície da Terra. A correção é dada por:

$$RPM = - (x \cos L + y \operatorname{sen} L)$$

L => longitude da estação (em arco)

x e y => coordenadas do pólo instantâneo

(f). Redução à estação geodésica

Quando a determinação da latitude astronômica não for na estação geodésica, devemos reduzi-la a esta estação. A redução é feita através da seguinte fórmula:

$$REG = \frac{-D \cos Az}{M}$$

D => distância entre os pontos (em metros)

Az => azimute (estação geodésica - estação astronômica)

M => raio médio de curvatura da seção meridiana

$$M = \frac{a(1 - e^2)}{(1 - e^2 \operatorname{sen}^2 \phi)^{3/2}}$$

(g). A latitude astronômica da estação geodésica(δ_a) é finalmente obtida aplicando todas correções na latitude média final(δ_f), da seguinte maneira:

$$\delta_a = \delta_f + RNMM + REG + RPM$$

A.2 MÉTODO DE MAYER - DETERMINAÇÃO DE LONGITUDE

INTRODUÇÃO

Na determinação da longitude astronômica, a hora local e a longitude são valores idênticos expressos em termos diferentes, e a diferença da hora local entre dois pontos é igual a diferença das longitudes.

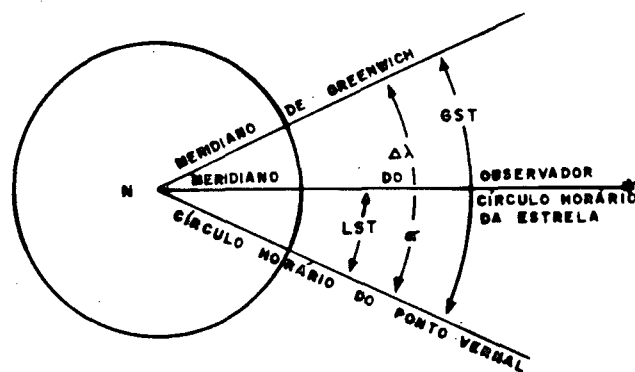


figura A.1 Longitude a partir da diferença de hora

As observações de longitude são executadas com o instrumento no meridiano do observador. Basicamente determinamos a longitude de uma estação adotando inicialmente um valor aproximado de longitude. Ajustando o cronômetro na hora local para o valor aproximado e, com o instrumento no meridiano, observamos os instantes cronométricos das passagens das estrelas. Neste caso sabemos que a hora sideral local é igual a ascensão reta de uma estrela na sua passagem pelo meridiano do observador, a correção da hora para o valor aproximado da longitude é igual a diferença entre a ascensão reta da estrela observada menos o instante cronométrico da passagem. Desse modo, a longitude pode ser definida como a diferença entre a hora sideral local e a hora sideral de Greenwich correspon-

dentos a um dado instante de tempo absoluto.

$$L = Sg - S1$$

Para determinação
tude média não de
sec ϕ . Se for maior
ser de Precisão.

ESPECIFICAÇÕES

A. ALTA PRECISÃO

(1). Deverão ser usadas somente estrelas catalogadas no FK4 (4 α Catálogo Fundamental).

(2). O fator azimute "A" de qualquer estrela não deve exceder $\pm 0,60''$. A soma algébrica do fator "A" em uma série não deve exceder $\pm 1,00''$.

(3). Normalmente uma série é constituída de seis passagens de estrelas, e o tempo requerido para sua observação não deve exceder numa hora.

O número mínimo de estrelas em uma série é cinco. Quando um determinado número de estrelas formam uma série, elas devem ser exatamente divididas entre estrelas norte e sul. Exemplo: 3N e 3S ou 4N e 4S. Em séries com um número ímpar de estrelas, o número de estrelas norte não deve exceder o número de estrelas sul, ou vice-versa, mais do que uma. Exemplo: 3N e 4S ou 3N e 2S.

(4). Pelo menos seis séries de estrelas devem ser observadas para cada estação. No mínimo duas séries são observadas em um período de observação (noite). Os períodos de observação são completados em duas ou mais noites; entretanto, eles podem ser completados em uma noite se pelo menos quatro horas separarem cada período de observação.

(5). Os contatos de registros do cronógrafo para determinar o tempo de passagem da estrela devem ser, 20 e no mínimo 10 pares, para obter uma observação de boa precisão.

(6). Devemos observar somente estrelas com brilho entre 3.0 e 7.0.

(7). As comparações rádio-cronômetro são feitas no início e no fim de cada período de observação (noite). As comparações contém não menos do que 20 sinais de rádio selecionados. Os sinais de rádio devem ser transmitidos por uma estação de rádio de posição conhecida e o sinal deve ser monitorado por um observatório que publique correções ao sinal de tempo.

(8). No cálculo de séries individuais, o resíduo de qualquer estrela (v) não deve exceder em valor absoluto 0,08s sec 0.

(9). No cálculo final da longitude, o resíduo de qualquer série não deve exceder o limite de rejeição dado pela fórmula:

$$r = 2,5 e_p \text{ sec } 0$$

onde $e_p = \pm 0,6745 \left(\frac{\sum v^2}{n-1} \right)^{1/2}$

e_p => erro médio provável da determinação

v^2 => é o somatório dos resíduos ao quadrado.

n => número de séries aproveitáveis

São então rejeitadas as longitudes das séries cujo resíduo exceder o limite de rejeição ($r = 2,5 e_p \text{ sec } \theta$) e refeitos os cálculos da média e dos resíduos. Este processo deve ser repetido até que não haja nenhuma rejeição. Consequentemente, o erro provável da longitude média é e_m .

$$e_m = \frac{e_p}{n^{1/2}}, \text{ onde } n \text{ é o número de séries.}$$

(10). O erro provável da longitude média das observações de Alta Precisão não deve exceder $0,10'' \text{ sec } \theta$, em valor absoluto.

B. PRECISÃO

Os métodos, procedimentos e especificações de Precisão são os mesmos que de Alta Precisão, exceto os seguintes:

(1). Três séries de estrelas são observadas para cada estação; uma série geralmente contém seis estrelas. Todas observações podem ser feitas em uma noite.

(2). O resultado do erro médio provável não deve exceder $0''.30$ em valor absoluto.

INSTRUÇÕES GERAIS PARA AS OBSERVAÇÕES

(a). O instrumento é cuidadosamente ajustado e posicionado no

meridiano com um erro de azimute menor que 1 segundo de tempo antes das observações começarem. Durante as observações, as diferenças no nível, (W - E), não devem nunca exceder ± 10 divisões e o somatório das diferenças do nível para todas as séries de longitude devem ser próximas de zero. O instrumento não pode ser renivelado durante uma série de passagens.

(b). Antes de começar as observações uma lista de estrelas é preparada. Esta lista contém todas estrelas disponíveis com considerações dadas ao fator "A".

(c). Nas comparações rádio-cronometro, o cronometro deve ser ajustado o mais próximo possível da hora local (ele não deve ser alterado durante o período de observação).

LISTA DAS OBSERVAÇÕES

(a). O que precisa ser conhecido para preparação da lista de observação de longitude é a hora sideral local na qual a observação começa e a latitude da estação. Cada hora sideral local é igual a ascensão reta de uma estrela no meridiano do observador.

(b). Além desses elementos a lista deve conter o número da estrela, sua posição com relação ao zênite e o fator "A" deve ser para cada estrela.

REGISTROS DAS OBSERVAÇÕES

(a). As seguintes informações são obtidas na observação.

(1) O cronógrafo registra dez pares de instante cronométrico para cada estrela, e posteriormente é calculado o valor médio.

(2) São registradas a temperatura e pressão no início e no fim de cada série, o tipo de cronógrafo, a emissora de rádio que foi usada na observação, a data (dia, mes e ano). Além disso para cada estrela são registradas as 4 leituras no nível duas com o instrumento na posição leste e duas com o instrumento na posição oeste.

(b). Comparação rádio-cronômetro

(1) Antes de seleccionar as passagens das estrelas as comparações rádio-cronômetro são seleccionadas e calculadas para saber se são aproveitáveis. As comparações incorretas ou insuficientes podem causar rejeição de uma ou mais séries. São registradas a hora transmitida do sinal (hora da rádio), e a hora cronométrica local do sinal (correspondendo a hora cronométrica). Com a fita de saída as comparações rádio-cronômetro, são identificadas e então, seleccionados os minutos exatos para cada segundo cronométrico e cada sinal de rádio identificável. Pelo menos 20 sinais são seleccionados

(2) A época média adotada é a hora de segundo cheio mais próxima da época média. A leitura média seleccionada é a média das horas cronométricas seleccionadas mais próxima de 0,0001s.

(3) Cada um dos sinais de rádio pode agora ser reduzido à

época média adotada, adicionando ou subtraindo das diferenças em tempo entre o sinal em questão e a época média adotada. Por exemplo se a época média adotada foi 38min 45s e a correspondente hora cronométrica 14min 26,48s e o sinal em questão foi 38min 33s com uma hora cronométrica correspondente de 14min 14,45s, um valor de 12s deve ser adicionado para reduzir o sinal de rádio para a época média, mais a quantidade que a hora sideral aumentou em 12,033s.

A correção para reduzir a hora sideral de um correspondente intervalo de hora média é $0,00273791s$ por segundo solar médio. A correção antes da época média é adicionada a hora cronométrica e a correção depois da época média é subtraída da hora cronométrica.

(c). marcha e estado do cronometro

Depois de calcular todas as épocas de sinal médio de rádio e suas correspondentes horas cronométricas, devemos determinar a marcha e estado do cronômetro. Esse cálculo é descrito no item 2 na lista de observação da latitude.

(d). tempo de transmissão(TT)

O tempo dispendido para um sinal de rádio ser transportado da estação transmissora à estação no campo não é instantâneo e varia com a distância entre as duas estações. Quando usamos apenas um sinal fonte, a correção é uma constante em qualquer estação no campo e é aplicada na longitude observada.

(e). CORREÇÃO DA EMISSÃO (DTU1)

Pequenas correções devem ser aplicadas aos sinais de tempo emitidos pelas estações de rádio. Essa correção é divulgada pelo boletim B do Bureau International l'Heure (BIH).

CORREÇÕES DAS OBSERVAÇÕES

(a). Correção do nível (bB)

Se o instrumento for perfeitamente nivelado e orientado no meridiano, o movimento vertical da luneta percorrerá o meridiano (ver figura A.2). Entretanto se o eixo horizontal estiver inclinado com relação ao plano do horizonte o eixo de colimação traça um círculo máximo resultando em um ângulo formado na interseção do meridiano e do horizonte (figura A.3). Se o círculo máximo for para leste do meridiano, todas passagens das estrelas são antecipadas, e a longitude será corrigida para oeste. Se o círculo máximo for para oeste do meridiano, todas passagens das estrelas são atrasadas e a correção oposta será aplicada.

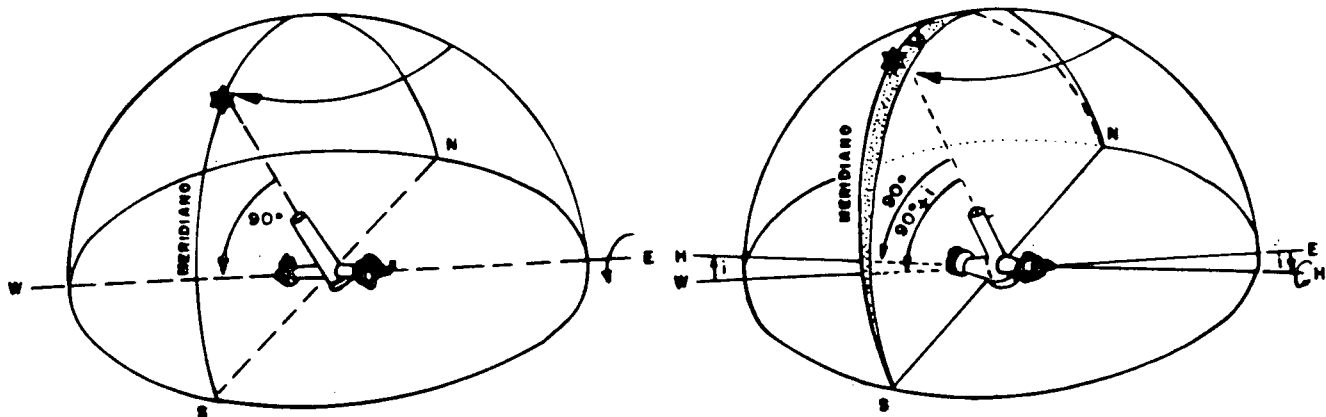


fig.A.2 instrumento nivelado fig.A.3 instrumento inclinado

HH' = eixo horizontal

i = inclinação do eixo

b = correção da inclinação

(1) Para corrigir o tempo de passagem devido a inclinação do eixo horizontal, são feitas quatro leituras no nível.

A inclinação aparente da luneta, "i", será:

$$i = (\Delta W - \Delta E)k$$

onde

ΔW = diferença aritmética da maior e menor leitura no nível (ocular à oeste)

ΔE = diferença aritmética da maior e menor leitura no nível (ocular à leste)

A inclinação no plano do horizonte (b) é dada em segundos de tempo será:

$$b = i \frac{d}{60}$$

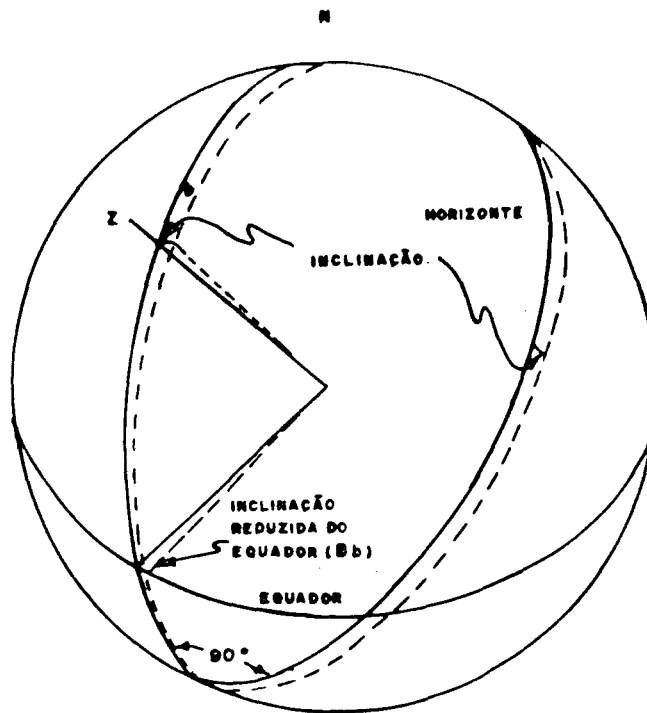
$d/60 \Rightarrow$ constante do nível, sendo k a sensibilidade em segundos de arco.

(2) As fórmulas acima fornecem a inclinação no plano do horizonte. Já que a longitude é medida no plano do equador, um fator é introduzido para efetuar uma transformação. O efeito do fator inclinação é mostrado na figura A.4. O fator inclinação é dado pela fórmula:

$$B = \cos \delta + \operatorname{tag} \zeta \operatorname{sen} \delta$$

$\delta \Rightarrow$ latitude astronômica da estação

$\delta \Rightarrow$ declinação da estrela observada



B=redução

b=correção da inclinação

i=inclinação do eixo horizontal

figura A.4 Fator inclinação

A parcela "Bb" na equação de Mayer é a correção de nível, sendo "b" a inclinação média das duas posições do instrumento.

(b). Correção da espessura dos contatos e movimento perdido do micrômetro (1).

Essa correção é dada pela seguinte fórmula:

$$l = \frac{R}{200} (m - s) C$$

onde R , m e s são constantes do instrumento.

$C = \sec \delta \Rightarrow$ é o fator de colimação considerado positivo para estrelas em culminação superior observadas com o micrômetro a oeste e negativo para estrelas em culminação superior observadas com micrômetro a leste.

$c \Rightarrow$ é a correção da colimação; eliminada quando observamos a estrela com o instrumento nas duas posições do círculo.

$R \Rightarrow$ valor equatorial da volta do micrômetro

$m \Rightarrow$ movimento perdido do micrômetro

$s \Rightarrow$ espessura média dos contactos do micrômetro

(c). Correção da aberração diurna (K)

Considerando um observador estacionado com relação ao movimento de rotação da Terra, quando observa uma estrela, os raios de luz emergem instantaneamente. Entretanto, a Terra no seu movimento de rotação leva o observador com ela, e a latitude tem um efeito direto.

Na sua velocidade de rotação deve-se então inclinar a luneta na direção do movimento de modo que os raios de luz atravessem a objetiva em linha reta. Esse deslocamento aparente é conhecido como aberração da luz. Existem dois tipos de aberração: a diurna, é a aberração devido ao movimento de rotação da Terra, e a aberração anual que é devido ao movimento de translação da Terra. Os efeitos da aberração diurna são ilustrados na figura C.1 onde:

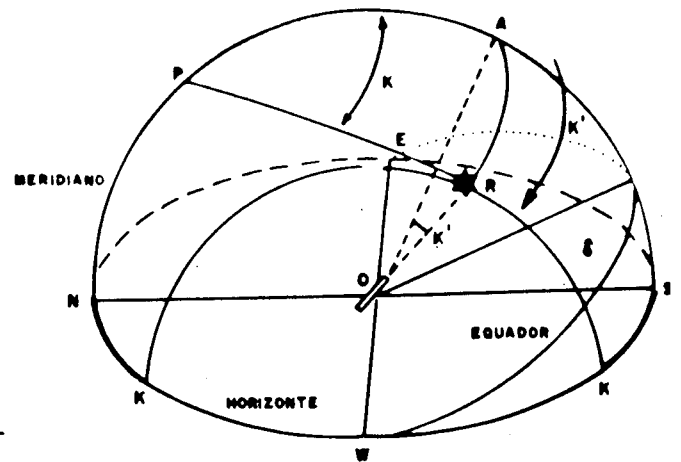
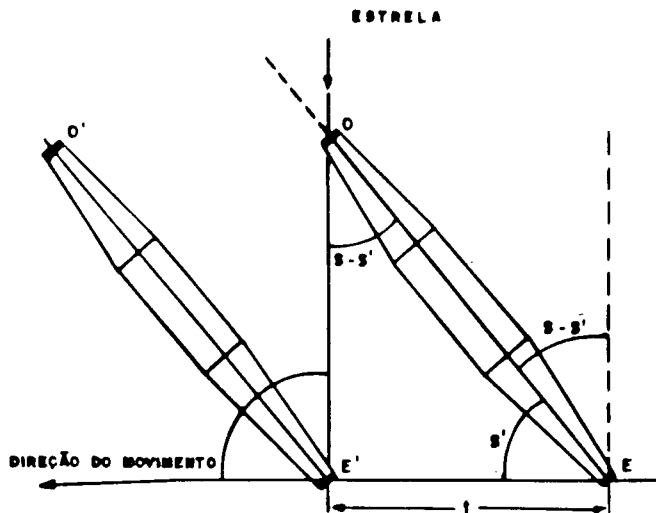


fig.C.1 efeito da aberração fig.C.2 aberração diurna

aplicada à longitude

OE => posição da luneta quando a luz da estrela incide em O.

S => ângulo que o raio da luz faz com a direção do movimento do observador.

S' => ângulo que a luneta faz com a direção do movimento do observador.

S - S' => ângulo de inclinação na direção do movimento.

t => tempo requerido para deslocar o observador de E para E'.

EE' => tv => onde v é a velocidade do observador.

OE' => tc => onde c é a velocidade da luz.

A correção da aberração diurna é dada pela fórmula:

$$K = -0,0213s \cos \delta / \cos \zeta$$

A correção da aberração diurna é sempre aplicada na longitude derivada da observação de uma estrela.

(d). Correção do azimute (Aa)

Esta correção é destinada a reduzir todas as observações de cada série ao azimute médio da série, ela é composta por dois elementos:

A => fator azimute da estrela em relação ao local, considerando positivo quando a culminação (superior) for ao sul do zênite, e negativo quando ao norte. O fator azimute é dado pela fórmula:

$$A = \text{sen} (\delta - \zeta) / \cos \zeta$$

a => é o azimute do eixo de colimação da luneta. Ele é uma das incógnitas na equação de Mayer.

CÁLCULO DA LONGITUDE ASTRONÔMICA

(1) Depois de serem calculadas todas as correções para cada estrela e a redução das coordenadas celestes (ascensão reta e declinação aparente, cap.IV) os resultados são aplicados na equação de Mayer. O número de observações na série corresponde ao número de equações.

$$L = S_1 - S_g = \alpha - S_g = \alpha - (S_0 + 1 + K + B_b + A_a)$$

$$\text{Se } t = S_0 + 1 + K + B_b \quad \text{então,}$$

$$L = (\alpha - t) - A_a \quad \text{ou} \quad \Delta L + A_a = 0$$

S_0 => hora sideral aparente em Greenwich

α => ascensão reta aparente

Calculados todos os valores da longitude de cada obser-

vação, eles são subtraídos do valor aproximado da longitude, obtendo assim a correção da longitude (ΔL) em cada observação. O valor de A também é calculado para cada estrela.

(2) Todas estrelas são colocadas por série em ordem cronológica, com os correspondentes ΔL e A . O ajustamento é feito através do modelo matemático $L_n = F(X_n)$. A forma linearizada do modelo matemático é:

$${}_n V_1 = {}_n A_u \cdot {}_u X_1 + {}_n L_1$$

$V \Rightarrow$ vetor dos resíduos

$L \Rightarrow L_o - L_b$, onde, L_o ($nx1$) é o valor aproximado da longitude e L_b ($nx1$) vetor dos valores observados. L_b corresponde aos valores da longitude derivada de cada equação de Mayer (equação de observação).

$X = X_n - X_o$, onde, X_n é o vetor dos parâmetros ajustados e X_o ($nx1$) são os valores aproximados dos parâmetros.

$$X = (A^T A)^{-1} A^T L$$

$A \Rightarrow$ a matriz A é formada pela derivada das equações com relação aos parâmetros.

$n \Rightarrow$ é o número de observações ou número de equações ($\Delta l + Aa = 0$) por série

$u \Rightarrow$ número de incógnitas

Os valores observados ajustados (L_n) são calculados através da fórmula.

$$L_n (nx1) = AX - L_o$$

O valor de "a" para cada série não deve exceder 15 em valor absoluto. Todos valores de ΔL são subtraídos da corre-

ção da emissão (DTU1) antes de serem somados algebricamente ao valor aproximado da longitude.

CÁLCULO FINAL

(1). Calculados todos valores da longitude para cada série, determinamos o valor da longitude final através da média aritmética, e de posse dos resíduos, são aplicados os testes de rejeição da série.

(2). longitude final determinada pelas séries aproveitáveis precisa ser submetida as seguintes correções:

(a). Redução ao polo instantâneo

$$RPM = - (x \operatorname{sen} L - y \operatorname{cos} L) \operatorname{tag} \phi$$

onde

x e y => coordenadas do polo

L => longitude final(arco)

ϕ => latitude astronômica

(b). redução à estação geodésica

$$REG = \frac{0,02376 D \operatorname{sen} Az}{\operatorname{cos} \phi}$$

D => distância entre os pontos geodésico e astronômico (em metros)

Az => azimute (estação geodésica-estação astronômica)

(c). Longitude Astronômica da estação geodésica

$$La = -L + REG + RPM + TT$$

A.3 MÉTODO DO ÂNGULO HORÁRIO - DETERMINAÇÃO DO AZIMUTE ATRAVÉS DE OBSERVAÇÕES A ESTRELA POLAR SUL SIGMA OCTANTIS

INTRODUÇÃO

O azimute astronômico é o ângulo medido no plano do horizonte no sentido horário, do meridiano do observador ao círculo vertical que contém o astro observado. Normalmente a contagem do azimute é a partir do ponto sul. Se o azimute do polo elevado de um observador a um corpo celeste é conhecido, e o ângulo horizontal entre o astro e um objeto terrestre (mira) for medido, o azimute do observador ao objeto terrestre é facilmente calculado.

Este método utiliza o ângulo horário da estrela (H), a colatitude ($90-\theta$), e a distância polar ($90-\delta$) para calcular o azimute (Az) de uma estrela. A declinação é obtida do catálogo de estrelas. O ângulo horário do astro é a hora sideral local da observação menos a ascensão reta do astro.

Este método é empregado nos lugares de latitudes médias, nas determinações de Alta Precisão, servindo para orientação das redes fundamentais. Ele consiste na observação da estrela σ OCTANTIS em um instante qualquer afastado do meridiano, ou seja, próxima a sua elongação (velocidade azimutal nula), sendo então satisfeita a condição de $q=90$ (q = ângulo paralático).

Para determinação de Alta Precisão o erro provável do

azimute médio astronômico não deve ser maior (em valor absoluto) que 0,3", e 0,5" para determinações de Precisão.

ESPECIFICAÇÕES

A. ALTA PRECISÃO

(1). Duas séries de observações contém 16 posições cada. Pelo menos 12 posições devem ser aceitáveis em cada série.

(2). As séries devem ser separadas por um período mínimo de quatro horas e preferencialmente são observadas em noites diferentes.

(3). Qualquer observação com um resíduo maior que 5,0" (em valor absoluto) será rejeitada.

(4). Os azimutes médios de cada série são calculadas separadamente. Se o azimute médio das duas séries diferirem mais que 1 segundo, uma terceira série de 16 posições deve ser observada.

(5). Quando mais do que duas séries forem observadas, o azimute de qualquer série deve ter um resíduo menor que 1 segundo do do azimute final.

B. PRECISÃO

Os métodos, procedimentos e especificações para uma determinação de Precisão são os mesmos para uma determinação de Alta Precisão, exceto os seguintes itens:

(1). O erro provável do azimute médio astronômico não deve exceder $0,50''$ (em valor absoluto).

(2). Se duas séries são observadas, seus azimutes médios não devem diferir mais de $2,0''$.

MÉTODOS E INSTRUMENTOS

(a). O método consiste em observar a estrela Octantis em um instante qualquer afastado do meridiano, de preferência na elongação, sendo então satisfeita a dupla condição $q = 90^\circ$ e $dAz = 0$.

(b). Em baixas e médias latitudes, as observações para azimute de Alta Precisão devem ser feitas com o Wild T-3 ou seu equivalente.

INSTRUÇÕES GERAIS PARA OBSERVAÇÃO

(a). O instrumento deve ser precisamente nivelado sobre a estação. As linhas de visada para a mira e para a estrela devem ser desobstruídas.

(b). As comparações rádio-cronômetro devem ser obtidas antes de começar a observação da série e imediatamente depois que for terminada a observação desta. O cronômetro será ajustado o mais próximo da hora sideral local. A precisão da comparação deve estar dentro de $0,2s$.

(c). A estrela deve ser observada numa posição que esteja afastada pelo menos 1 hora do meridiano (15°).

(d). Astro e mira devem ser medidos 32 vezes (cada um); 16 em cada posição do círculo horizontal. O intervalo de reiteração é $11^\circ 15'$.

(e). É recomendável que as observações se realizem pelo menos em duas noites diferentes, ou na mesma noite com quatro horas de intervalo entre as séries.

(f). A mira deve estar afastada do ponto estação a fim de que eles sejam observados com a mesma focalização.

(g). No caso de uma série com 16 observações, são cronometrados 2 instantes em cada observação (astro e mira), um no início (mira) e outro no fim (astro) fornecendo um total de 32 instantes cronométricos na série.

REGISTRO DOS DADOS DE CAMPO

São registrados o nome da estação, data, todas comparações rádio-cronômetro, instantes cronométricos, direções horizontais, leituras no nível, nome da estrela e da mira de orientação.

DETERMINAÇÃO DA HORA

O cronômetro deve ser acertado o mais próximo possível da hora sideral local. O cálculo do estado, marcha do cronô-

metro e o tempo corrigido em um dado instante são explicados no item 2 na lista de observações (latitude).

FÓRMULAS

(a). Para calcular o azimute do astro no instante da observação, empregamos a seguinte fórmula:

$$\text{tag Az} = \frac{\text{senH}}{\text{sen}\delta \text{ cosH} - \text{cos}\delta \text{ tag}\zeta}$$

δ = latitude astronômica

H = ângulo horário do astro medido por oeste de 0h a 24h

ζ = declinação aparente do astro

$$H = S_L + \alpha$$

S_L = hora sideral local

α = ascensão reta aparente do astro

$$S_L = S_G + L$$

L = longitude astronômica

S_G = hora sideral em Greenwich

(b). A hora sideral em Greenwich é a média dos instantes cronométricos de uma direção corrigidos do estado e da marcha cronométrica.

(c). Quando a ascensão reta é subtraída da hora sideral local da observação (adiciona-se 24h na S_L , se necessário para evitar ângulo negativo), o resultado é o ângulo horário local, "H". Quando "H" for de 0h a 12h a estrela está a oeste do ponto sul e o azimute é positivo, e quando "H" for de 12h a 24h a estrela está a leste do ponto sul e o azimute é

negativo.

(d). Correção da curvatura(CC)

(1). O intervalo de tempo entre as duas pontarias direta e inversa sobre a estrela devem ser tão pequenas quanto possível. O resultado do azimute é calculado usando a média dos instantes cronométricos e a média das pontarias do instrumento. O azimute assim calculado é o azimute do ângulo horário médio e não é igual ao azimute médio da hora cronométrica das pontarias individuais na observação; ver fig.(D.1).

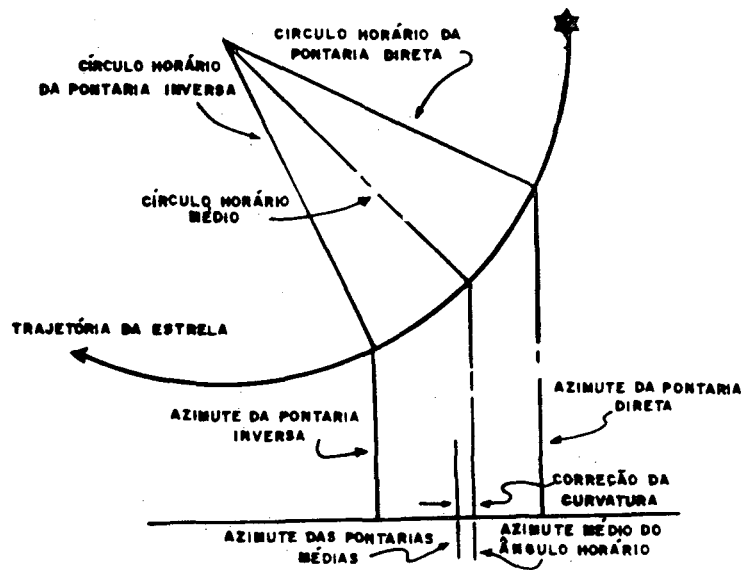


fig.D.1 correção da curvatura

A razão do azimute variar constantemente é devido a curvatura da órbita aparente de uma estrela. A diferença é pequena mas não negligenciável. A expressão geral para o cálculo da correção é:

$$CC = -2 \frac{\text{sen}^2 t}{2} \text{tag} \text{Az} / \text{sen} 1''$$

$$T = \frac{t_2 - t_1}{2}$$

t_1 = instante cronométrico da 1ª pontaria.

t_2 = instante cronométrico da última pontaria.

(e). Correção da inclinação(CI)

(1). O ângulo medido entre 2 objetos que não estão no mesmo plano não é um ângulo horizontal verdadeiro . Isso ocorre quando o eixo vertical do instrumento não está na vertical. Por essa razão as leituras no círculo são corrigidas usando a seguinte expressão:

$$CI = \frac{d}{4} (\Delta E - \Delta W) \operatorname{tag} h$$

d = constante do nível

ΔE = diferença aritmética das leituras do nível com o instrumento na posição leste.

ΔW = diferença aritmética das leituras do nível com o instrumento na posição oeste.

h = altura do astro.

$$\operatorname{cosh} = \operatorname{sen} \delta \operatorname{sen} \theta + \operatorname{cos} \delta \operatorname{cos} h \operatorname{cos} \theta$$

(f). Correção da aberração diurna em declinação(CA)

$$CA = -0,3198 \operatorname{cos} \delta \operatorname{cos} Az \operatorname{sech}$$

Az = azimute do astro

δ = latitude astronômica

h = altura do astro

Essa correção é negativa no hemisfério sul.

CÁLCULO DO AZIMUTE DA MIRA

(a). Depois de serem efetuados os cálculos dos azimutes do astro e das correções podemos calcular o azimute da mira através da seguinte fórmula:

$$Am = (Az + Lm - La) + (CA + CC + CI)$$

Az = azimute do astro

Lm = leitura horizontal na mira

La = leitura horizontal no astro

CA = correção da aberração diurna

CC = correção da curvatura

CI = correção da inclinação

Para cada observação calculamos o Am (azimute da mira).

A leitura horizontal no astro é subtraída da leitura na mira (+360° se o resultado for negativo), obtendo assim o ângulo da mira à estrela. Esse ângulo é adicionado algebricamente ao azimute corrigido da estrela.

RESUMO DO AZIMUTE

(a). Calculamos o azimute médio de cada série através da média aritmética. Será rejeitada qualquer observação que tiver um resíduo maior que 5".0, em valor absoluto, do azimute médio da série, e um novo azimute médio deve ser calculado.

(b). Em seguida calculamos o erro provável do azimute médio final através da fórmula:

$$E_m = \pm 0,6745 \left(\frac{v^2}{n(n-1)} \right)^{1/2}$$

v = é o resíduo determinado pela diferença entre o azimute médio final e o azimute de cada série.

n = número total de séries na determinação do azimute.

(c). Em determinações de Alta Precisão não deve ser maior que 0",3, em valor absoluto.

CORREÇÕES

O azimute médio final deve ser corrigido da elevação da mira e da variação polar.

(a). elevação da mira

Como as normais, nos dois pontos sobre o elipsoide, não estão em geral, no mesmo plano, teremos um erro na direção horizontal observada de uma estação, em função da sua altitude acima do elipsóide. A correção é dada pela fórmula:

$$RM = 0,000109 H \cos^2 \phi \operatorname{sen} 2A_e$$

H = altitude da mira

ϕ = latitude da estação astronômica

A_e = azimute médio final

(b). Redução ao polo instantâneo

O azimute observado é corrigido da variação polar, dada pela fórmula:

$$RP = -(x \operatorname{sen} L + y \operatorname{cos} L) \operatorname{sec} \phi$$

L = longitude astronômica da estação(arco) positiva para leste de Grw.

x e y = coordenadas do polo instantâneo médio

(c). O azimute astronômico da estação geodésica

$$\hat{A}_m = A_r + RP + RM$$

A.4 MÉTODO DE ESTRELAS LESTE-OESTE - DETERMINAÇÃO DO AZIMUTE

INTRODUÇÃO

Em latitudes muito baixas geralmente definidas entre 5° N e 10° S, as estrelas circumpolares não podem ser observadas. A determinação do azimute consiste de observações sobre estrelas a leste e a oeste, simetricamente, próximas à elongação. Tais posições de estrela ocorrem entre alturas de aproximadamente 12° a 18° .

As declinações das estrelas selecionadas devem ser do mesmo hemisfério da latitude da estação e seu valor absoluto deve ser maior que o da latitude.

As observações são iniciadas na hora se que verificar uma distribuição simétrica de posições, aproximadamente no ponto de elongação da estrela.

Para determinações de Alta Precisão o erro provável do azimute médio astronômico não deve ser maior (em valor absoluto) que $0,3''$, e $0,5''$ para determinações de Precisão.

ESPECIFICAÇÕES

A. ALTA PRECISÃO

(1). O azimute é determinado através da média de um mínimo de 64 observações aceitáveis. Essas observações são divididas em quatro séries, e em cada série observa-se uma estrela. As

observações são feitas em duas noites diferentes, cada uma com dois períodos de observações (séries) separados por quatro horas.

(2). O número de observações aceitáveis é dividido igualmente entre estrelas leste e oeste.

(3). Será rejeitada qualquer observação com um resíduo maior que 5,00", em valor absoluto, do azimute médio da série.

(4). O erro provável do resultado final de todas observações não deve exceder 0,30", em valor absoluto.

(5). O erro provável do resultado final é calculado por:

$$e_p = \pm \left(\frac{(e_{pO})^2 + (e_{pL})^2}{4} \right)^{1/2}$$

onde

e_{pO} = erro provável da média de observações sobre as estrelas a oeste

e_{pL} = erro provável da média de observações sobre as estrelas a leste

(6). As estrelas (leste e oeste) que foram observadas em uma noite podem ser repetidas na noite seguinte.

(7). São feitas normalmente 16 observações em cada estrela. Pelo menos 12 observações devem ser aproveitáveis.

(8). O azimute médio de uma série qualquer de estrelas leste (oeste) não deve variar mais do que 1,00" média de todas sé-

ries de estrelas leste (oeste).

B. PRECISÃO

(1). O azimute médio é determinado com um mínimo de 24 observações (aceitáveis).

(2). O número de observações deve ser dividida igualmente entre estrelas leste e oeste.

(3). São feitas 16 observações em cada estrela, e um mínimo de 12 observações.

(4). Será rejeitada qualquer observação com um resíduo maior que $5,00''$, em valor absoluto, do azimute médio da série.

(5). O erro provável do resultado final não deve exceder $0,50''$ (em valor absoluto).

DETERMINAÇÃO DAS ESTRELAS ADEQUÁVEIS A OBSERVAÇÃO

(a). As estrelas são seleccionadas de modo que suas posições de elongação ocorrem aproximadamente entre 12° a 18° de altura.

(b). Quando a latitude da estação for maior que 2° a variação da declinação para estrelas elongando é de três vezes e meia a 5 vezes a latitude da estação. Isso localizará a altura de elongação dentro do limite de 12° a 18° . Por exemplo: uma estação de latitude $02^\circ 35' S$ o limite da declinação é de -9°

a -13° .

(c). Quando a latitude da estação for menor que 2° , a variação das declinações adequadas de estrelas alongado é limitado, e a fim de aumentar esse limite, as observações sobre estrelas próximas ao 1° vertical podem ser feitas. Por exemplo: uma estação de latitude $00^\circ 50' N$ o limite da declinação será de 0° a $00^\circ 50'$ para estrelas no 1° vertical, tão bem como $+2^\circ 55'$ a $4^\circ 10'$ para estrelas na elongação.

(d). As estrelas devem ser facilmente visíveis à olho nú. O limite de magnitude é de 1.0 a 4.5.

LISTA DE OBSERVAÇÕES

Na seleção de estrelas adequáveis para observação, muitas aproximações são feitas. Quando as estrelas são selecionadas os dados são refinados.

(a). Ascensão Reta

(1). As estrelas são observadas quando estiverem meia hora acima do horizonte; tanto no início quanto na conclusão das observações. Consequentemente, a ascensão reta de uma estrela leste e oeste no início da observação deve ser a $S_L + 5h 1/2$ / $S_L - 4h 1/2$, estabelecendo uma hora de período de observação. Os ângulos horários podem ser obtidos com suficiente precisão calculando-se o ângulo horário no horizonte e então corrigi-lo para altura em hora. Com δ e ζ de 0° o ângulo horário da estrela no horizonte é 6 horas e em $\delta = 10^\circ$ e

$\delta = 45^\circ$ o ângulo horário deve ser aproximadamente 6h 40min. Entretanto o ângulo horário das estrelas leste deve ser aproximadamente $-5h \frac{1}{2}$ próximo ao equador e cerca de $-6h$ em $\delta = 10^\circ$. Com um período de observação de 1 hora, as estrelas oeste devem ter ângulo horário próximo de $4h \frac{1}{2}$ e $5h$ respectivamente. Uma interpolação linear entre esses extremos é suficiente para preparar a lista de estrelas.

(2). As estrelas são procuradas no catálogo com as três restrições: ascensão reta, declinação e magnitude; e listadas em duas colunas, leste e oeste, de acordo com o aumento da ascensão reta.

Exemplo:

Estação: Pilikos $\delta = 2^\circ 35' 16'' S$
 $= 10h 01min 19s 0$

Data 5/05/1988 às 8h 51min (S_L)

limites da declinação => -8° a -13°

limites da ascensão reta => L = 8h 51min + 5h 30min = 14h 21min
 O = 8h 51min - 4h 30min = 4h 21min

(3). Na lista de observações devem constar os seguintes elementos: hora, magnitude da estrela, altura e azimute.

a. Ângulo horário da observação

$$\cos \theta = \tan \delta \cot \theta \delta$$

Adiciona-se o ângulo horário a ascensão reta da estrela para obter a S_L da elongação. O período de observação começ

b. Altura da elongação

$$\text{senh}_e = \text{sen} \delta \text{ cosssec } \zeta$$

No caso de uma estrela a leste, metade do período de observação convertido em unidades de arco é subtraído da altura da elongação para obter a altura da estrela e começar as observações. Para uma estrela a oeste, a metade do intervalo é adicionado à altura da elongação.

c. Azimute da elongação

Essa fórmula é suficiente para encontrar a estrela na hora de começar as observações. Isso pressupõe um conhecimento do azimute aproximado da mira.

$$\text{sen} \hat{A}_e = \text{cos } \zeta \text{ sec } \delta$$

OBSERVAÇÕES

Os procedimentos de observação são exatamente os mesmos para observação de estrelas circumpolares (ver Octantis).

CÁLCULO DO AZIMUTE

(a). Cálculo do Azimute da Estrela

$$\text{tag} \hat{A}_z = \text{sen} H / \text{sen} \delta \text{ cos} H - \text{cos} \delta \text{ tag } \zeta$$

H = ângulo horário do astro

$$H = S_L - \alpha$$

S_L = hora sideral local

α = ascensão reta aparente do astro

ϕ = latitude da estação

δ = declinação aparente do astro

O azimute da estrela é calculado para os dois instantes cronométricos t_1 e t_2 , portanto, o ângulo horário, a declinação e a ascensão reta devem ser calculados para esses dois instantes. Depois de obtermos os azimutes Az_1 e Az_2 dos instantes t_1 e t_2 , é calculado o azimute da observação através da média aritmética de Az_1 e Az_2 . Devemos usar esse método para o cálculo do azimute do astro para evitar a correção da curvatura.

(b). Correção da aberração diurna em declinação, correção da inclinação e cálculo do azimute da mira.

As fórmulas são as mesmas usadas na determinação de azimute pelo método do ângulo horário através da estrela Sigma Octantis.

(c). No cálculo do azimute os procedimentos e correções são os mesmos usados no método do ângulo horário.

A P Ê N D I C E B

A R Q U I V O S D E O B S E R V A C O E S

(B.1) L A T I T U D E

VT - DESBARRANCADO

ARAGUARI

MG

M B P

J A S

HELIO PEREIRA

T4 - 149 223

-18.3211921,-03.1343343

935.40

331.1654440, 9.127

0.020,0.184

11

8,19,20, 8,1981,15.85, 940.2, 3.260000, .260150, 5.170000, 2.170150

840, 0.36038, 10.39356

1584, 0.40460, 3.09088

1585, 0.44308, 19.49009

845, 0.47448, 20.40531

1591, 0.49500, 7.45494

1592, 0.50375, 13.53585

855, 1.00406, 29.15523

856, 1.01420, 28.26067

10,19,20, 8,1981,14.75, 940.2, 3.260000, .260150, 5.170000, 2.170150

1597, 1.06400,358.49448

860, 1.07335,327.08029

861, 1.08437,355.09140

1599, 1.10052,339.17207

864, 1.11456,349.08344

866, 1.13466,357.22558

867, 1.16430,348.49161

1602, 1.23011,337.44509

1603, 1.26089,332.09384

873, 1.28308,357.15588

8,19,20, 8,1981,14.40, 940.2, 3.260000, .260150, 5.170000, 2.170150

1608, 1.34577, 9.20510

878, 1.36145, 21.42472

1611, 1.40180, 8.32517

883, 1.45356, 34.16330

1614, 1.47025, 24.48298

885, 1.48135, 31.11128

886, 1.51585, 19.22360

1617, 1.54047, 24.10202

8,19,20, 8,1981,14.60, 940.2, 3.260000, .260150, 5.170000, 2.170150

889, 1.56500,332.57066

1618, 1.59380,346.22041

1620, 2.01045,339.47224

1623, 2.06568,344.19509
896, 2.07548,350.18329
897, 2.09145,351.32291
1625, 2.11370,330.37373
1626, 2.13360,338.08312
8,21,22, 8,1981,18.55, 940.0,22.130000,19.130150, 1.570000,22.570150
1447,19.18550, 7.57016
1450,19.21564, 8.02131
638,19.23594, 24.40260
1453,19.28444, 19.45557
644,19.34008, 6.26077
1459,19.38430, 22.41258
649,19.42372, 18.44298
1461,19.46503, 7.18255
10,21,22, 8,1981,18.50, 940.3,22.130000,19.130150, 1.570000,22.570150
658,19.49370,356.51040
1463,19.55235,356.51525
666,19.59213,338.25119
668,20.00017,338.45103
669,20.01392,341.30137
1467,20.07006,349.11452
677,20.12454,338.32087
679,20.17383,348.06561
1471,20.18120,328.27055
680,20.19295,331.54253
10,21,22, 8,1981,18.25, 940.5,22.130000,19.130150, 1.570000,22.570150
1472,20.21406, 4.35588
1473,20.22520, 27.24562
682,20.25396, 2.31322
1475,20.29220, 8.46175
687,20.32475, 11.17508
689,20.35550, 15.51157
1478,20.37430, 26.33163
692,20.39474, 6.53406
696,20.41057, 3.57356
1480,20.41402, 16.32159
8,21,22, 8,1981,17.90, 940.8,22.130000,19.130150, 1.570000,22.570150
1484,20.48312,332.21405
1485,20.49438,357.07299
1486,20.54110,350.32095
1487,20.57245,351.31467
1490,21.00240,334.50323
1495,21.07205,357.51472
708,21.09514,325.34567
712,21.11400,326.25382
8,21,22, 8,1981,17.80, 940.9,22.130000,19.130150, 1.570000,22.570150
1497,21.18290, 17.09357
720,21.21308, 2.30565
1500,21.24318, 10.33548
1501,21.31160, 16.54545
727,21.33290, 2.32519
728,21.35254, 22.06358
730,21.37220, 21.36403
731,21.38348, 11.14297
10,21,22, 8,1981,17.40, 940.8,22.130000,19.130150, 1.570000,22.570150

1509,21.42330,344.17354
 736,21.48210,353.36546
 1512,21.52256,357.48002
 1516,21.57355,346.35101
 745,22.02372,332.39007
 746,22.04158,340.30349
 1520,22.06425,336.37310
 751,22.11140,353.12525
 755,22.18392,325.36431
 1526,22.26064,326.19506
 10,21,22, 8,1981,17.10, 940.8,22.130000,19.130150, 1.570000,22.570150
 1527,22.29170, 5.58185
 1530,22.32200, 17.11232
 763,22.33512, 23.33592
 1531,22.34548, 23.49016
 1532,22.36573, 10.11049
 1533,22.41190, 15.35153
 768,22.44570, 29.46161
 769,22.49528, 28.48461
 774,22.51230, 34.22345
 776,22.55165, 33.26330

=====
 (B.2) L O N G I T U D E
 =====

VT-PONTINHA

PILAR

GOIAS

M.B.P.

T4-149225

OMEGA

HELIO PEREIRA

-14.4823110, -3.1814000

1.1870, 0.0900, 0.7000, 9.5070, 0.4550, 0.2780

0.039,0.181

49.0331373, 9.218

7

8, 9,10, 8,1981,23.0404000, 0.0504006, 2.0935000, 3.1035060 0.3160

1449, 0.1300772,30.8,75.0,75.0,30.8

1451, 0.1641242,75.0,31.0,38.0,75.2

1453, 0.2124729,30.8,75.0,75.0,30.8

644, 0.2640575,75.0,31.0,30.8,75.2

647, 0.3126330,31.0,75.0,75.2,30.8

649, 0.3517328,75.2,31.0,31.0,75.4

652, 0.3807715,31.0,75.2,75.4,30.8

665, 0.4818182,75.4,31.0,30.8,75.4

8, 9,10, 8,1981,23.0404000, 0.0504006, 2.0935000, 3.1035060 0.3160

673, 1.0342724,31.0,75.4,75.4,30.8

679, 1.1018366,75.0,31.2,30.2,76.0

682, 1.1819384,31.2,75.6,76.0,30.8

1475, 1.2202304,76.0,31.0,31.0,76.0

687, 1.2527490,31.0,75.6,75.8,30.8
 689, 1.2835191,75.4,31.2,30.6,76.0
 1481, 1.3552191,31.2,75.2,76.0,30.4
 1484, 1.4110478,75.0,31.0,30.0,76.0
 8, 9,10, 8,1981,23.0404000, 0.0504006, 2.0935000, 3.1035060 0.3160
 1486, 1.4650936,31.0,75.0,76.0,30.0
 1489, 1.5145957,75.0,31.2,30.0,76.2
 1493, 1.5517826,31.0,75.0,76.0,30.0
 706, 1.5940470,75.0,31.2,30.0,76.2
 712, 2.0419462,31.2,75.0,76.2,30.0
 717, 2.1047390,75.0,31.0,30.0,76.0
 718, 2.1344212,31.0,75.0,76.0,30.0
 722, 2.2202822,75.0,31.2,30.0,76.2
 8, 9,10, 8,1981,23.0404000, 0.0504006, 2.0935000, 3.1035060 0.3160
 1511, 2.3838048,30.4,75.0,75.4,30.0
 737, 2.4120188,75.6,31.4,30.8,76.4
 1512, 2.4505734,31.2,75.0,76.2,30.0
 1516, 2.5015773,75.0,31.0,30.0,76.0
 744, 2.5510046,31.0,75.2,76.0,30.2
 1519, 2.5744391,75.2,31.4,30.2,76.4
 751, 3.0355178,31.2,75.0,76.2,30.0
 753, 3.0653768,75.0,31.2,30.0,76.2
 8,10,11, 8,1981,22.5309000, 0.0109010, 1.0212000, 2.1012033 0.3160
 635, 0.1325975,31.0,76.0,76.0,31.0
 1449, 0.1604716,76.2,31.0,31.2,76.0
 1451, 0.1945419,31.0,75.2,76.0,30.2
 1452, 0.2444605,76.0,31.0,31.0,76.0
 644, 0.2944686,31.0,75.8,76.0,30.8
 1458, 0.3351726,76.0,31.0,31.0,76.0
 649, 0.3821464,30.2,75.8,75.2,30.8
 1461, 0.4234708,75.8,31.0,30.8,76.0
 8,10,11, 8,1981,22.5309000, 0.0109010, 1.0212000, 2.1012033 0.3160
 665, 0.5122210,30.8,75.8,75.8,30.8
 666, 0.5505874,75.8,31.2,30.8,76.2
 1467, 1.0244425,30.0,75.8,75.2,30.8
 1469, 1.0759984,75.2,31.2,30.2,76.2
 679, 1.1322626,31.0,75.2,76.0,30.2
 682, 1.2123404,76.0,31.2,31.0,76.2
 1475, 1.2506333,31.0,75.0,76.0,30.0
 687, 1.2831488,75.0,31.4,30.0,76.4
 8,10,11, 8,1981,22.5309000, 0.0109010, 1.0212000, 2.1012033 0.3160
 689, 1.3139122,31.4,75.8,76.4,30.8
 1480, 1.3724463,75.8,31.4,30.8,76.4
 1482, 1.4252542,30.4,75.8,75.4,30.8
 1485, 1.4528148,76.0,31.2,31.0,76.2
 1486, 1.4955002,31.0,76.0,76.0,31.0
 1487, 1.5309030,76.0,31.2,31.0,76.2
 706, 2.0244550,31.0,75.4,76.0,30.4
 712, 2.0723476,75.4,31.4,30.4,76.4

=====

(B.3) A Z I M U T E - S I G M A O C T A N T I S

=====

VT DESBARRANCADO

ARAGUARI

MINAS GERAIS

M.B.P.

J.A.S.

T-3 N-210861

VT MARTINESIA

SONIA

-18.3212232, -3.1342880

6.4280

0.021, 0.183

854.81

923

3

18,19,20, 8,1981,21.4960000,18.5001500,22.3560000,19.3601500
18.5346200,18.5445100, 0.001160,358.220400,12.8,37.2,37.6,12.2
18.5611000,18.5650000, 11.002200, 9.222705,37.2,11.8,12.2,36.8
18.5801100,18.5842000, 22.003135, 20.225120,12.0,37.2,37.0,12.2
19.0002600,19.0037800, 33.005090, 31.232635,37.4,11.8,12.4,36.8
19.0204800,19.0252000, 45.001170, 43.230235,12.0,37.2,37.0,12.2
19.0420000,19.0459200, 56.002885, 54.233340,37.4,12.0,12.4,37.0
19.0639000,19.0716500, 67.003525, 65.240005,12.0,37.2,37.0,12.2
19.0901200,19.0946000, 78.003935, 76.242005,37.4,12.0,12.4,37.0
19.1117000,19.1205000, 90.000905, 88.240785,12.0,37.2,37.0,12.2
19.1335000,19.1419400,101.002370, 99.244260,37.4,12.7,12.4,37.0
19.1545800,19.1628600,112.003395,110.251090,12.0,37.2,37.0,12.2
19.1822000,19.1907000,123.004010,121.253770,37.2,12.0,12.2,37.0
19.2036500,19.2122200,135.000805,133.252275,12.0,37.2,37.0,12.2
19.2309000,19.2353700,146.002370,144.260185,37.4,11.8,12.4,36.8
19.2521500,19.2609000,157.003620,155.263430,12.0,37.4,37.0,12.4
19.2735500,19.2815000,168.004755,166.265995,37.6,12.0,12.6,37.0
19.2956000,19.3040000, 0.000685,358.264210,12.2,37.2,37.2,12.2
19.3201000,19.3251100, 11.002730, 9.272355,37.6,12.0,12.6,37.0
18,19,20, 8,1981, 2.1960000,23.2001500, 3.1360000, 0.1401500
23.2648800,23.2741700, 0.001080,359.213795,11.8,38.0,37.0,12.8
23.2922000,23.3003600, 11.002415, 10.222945,37.8,11.2,12.6,36.4
23.3151200,23.3238500, 22.002795, 21.231580,11.6,37.8,36.8,12.6
23.3415000,23.3459800, 33.005025, 32.241555,37.8,11.4,12.6,36.6
23.3630800,23.3718000, 45.001205, 44.241475,11.8,37.0,37.0,12.6
23.3854000,23.3946000, 56.002820, 55.250875,37.8,11.4,12.6,36.6
23.4124000,23.4210800, 67.003430, 66.255590,11.8,37.8,37.0,12.6
23.4407200,23.4453000, 78.005260, 77.265605,38.0,11.6,13.0,36.8
23.4645000,23.4738800, 90.000645, 89.265350,11.8,37.8,37.0,12.6
23.4943000,23.5030200,101.002385,100.275730,38.0,11.4,13.0,36.6
23.5241000,23.5334500,112.003085,111.285200,11.8,37.8,37.0,12.6
23.5515400,23.5607800,123.005035,122.295305,38.0,11.8,12.8,37.0
23.5754200,23.5838500,135.001525,134.300045,11.8,37.8,37.0,12.6
0.0003000, 0.0056800,146.003050,145.304875,38.0,11.6,12.8,36.8
0.0256300, 0.0342400,157.003945,156.314330,11.8,38.0,37.0,12.8
0.0526500, 0.0607600,168.004855,167.323220,38.0,11.6,12.8,36.8
0.0755600, 0.0842000, 0.002315,359.324635,11.8,37.8,37.0,12.6
0.1016800, 0.1059500, 11.003035, 10.332825,38.0,11.6,12.8,36.8
16,20,21, 8,1981,21.4860000,18.4901500, 0.2860000,21.2901500

18.5448000,18.5525500, 0.001660,358.224970,12.0,37.0,37.0,12.0
 18.5645600,18.5722600, 11.002705, 9.230595,37.0,12.0,12.0,37.0
 18.5822600,18.5855400, 22.004225, 20.233280,12.0,37.0,37.0,12.0
 19.0014900,19.0051200, 33.004580, 31.234845,37.0,12.0,12.0,37.0
 19.0200600,19.0235000, 45.001510, 43.233070,12.2,37.2,37.2,12.2
 19.0352400,19.0434000, 56.003475, 54.240705,37.2,12.0,12.2,37.0
 19.0543000,19.0625700, 67.003400, 65.242175,12.2,37.2,37.2,12.2
 19.0735000,19.0808600, 78.004600, 76.244495,37.4,12.0,12.4,37.0
 19.0925500,19.1002200, 90.001335, 88.242840,12.2,37.2,37.2,12.2
 19.1130500,19.1215200,101.002345, 99.245525,37.6,12.0,12.6,37.0
 19.5010400,19.5052600,123.002785,121.313270,37.0,12.0,12.0,37.0
 19.5228000,19.5319000,135.003410,133.313190,12.0,37.0,37.0,12.0
 19.5452000,19.5538000,146.004025,144.320270,37.2,11.8,12.0,37.0
 19.5712000,19.5756000,157.004200,155.322965,12.0,37.0,37.2,11.8
 20.2943500,20.3035700, 0.001140,358.381855,12.0,37.2,37.2,12.0
 20.3158700,20.3239000, 11.001935, 9.385100,37.2,11.8,12.0,37.0

=====
 (B.4) A Z I M U T E - L E S T E - O E S T E
 =====

EP-2D
 CRISTALINO CASTRO
 PIAUI
 J.PERSOYRE

DKM3A-103038

EP-1D
 SONIA
 SIDERAL - 2E-11703
 -8.4310559,-02.5628727
 1.6000
 -0.032, 0.325
 333.50
 4

17,16,17, 7,1973,00.3700000,17.1918300,01.4600000,18.2830000,0867
 17.2839800,17.2944500, 0.010435, 71.483718, 0.5
 17.3236800,17.3137500, 11.022112, 82.473107,-0.1
 17.3449000,17.3547500, 22.032922, 93.462585, 0.0
 17.3857700,17.3758000, 33.041575,104.451682, 0.1
 17.4142000,17.4248500, 45.005312,116.400018, 0.0
 17.4909000,17.4814000, 56.021400,127.385518, 0.0
 17.5110000,17.5208000, 67.033655,138.392880, 0.0
 17.5521000,17.5421000, 78.041408,149.393772, 0.0
 17.5733000,17.5831800, 90.010495,161.361652, 0.0
 18.0051800,18.0156000,101.021222,172.373008, 0.0
 18.0416300,18.0516500,112.032635,183.391615, 0.0
 18.0853200,18.0745000,123.040865,194.404785,-0.1
 18.1054300,18.1159800,135.010165,206.384828,-0.1
 18.1517500,18.1415000,146.021552,217.412570, 0.0
 18.1714000,18.1812800,157.032662,228.441522, 0.2
 18.2146000,18.2041000,168.041565,239.472310, 0.0

18.2412200,18.2512000,180.010110,251.464925, 0.0
17,19,20, 7,1973,03.0400000,19.5833000,04.2100000,21.1545700,0592
20.1429000,20.1540000,000.010402,198.120775, 0.0
20.1848600,20.1748000,011.021815,209.155320, 0.0
20.2112000,20.2217000,022.032462,220.192748, 0.0
20.2650000,20.2444300,033.040980,231.223705, 0.0
20.2925000,20.3027300,045.010388,243.212290,-1.1
20.3543000,20.3247000,056.020615,254.233720,-0.9
20.3558000,20.3713800,067.032898,265.255450, 0.1
20.4107300,20.3957000,078.041935,276.272022,-0.1
20.4332200,20.4437000,090.005885,288.241155,-0.1
20.4814200,20.4710800,101.021108,299.251460, 0.1
20.5028800,20.5154200,112.033820,310.261320, 0.0
20.5505090,20.5352000,123.041145,321.255452, 0.0
20.5722500,20.5845000,135.005665,333.213543, 0.0
21.0211000,21.0101500,146.022122,344.212852, 0.0
21.0432000,21.0548000,157.033225,355.205135, 0.0
21.0928700,21.0812000,168.040935,006.191672, 0.0
21.1149500,21.1259800,180.010190,018.134638, 0.0
15,17,18,08,1973, 1.0200000,19.5033200,02.1700000,21.0546000,0594
20.1153500,20.1038500,011.021915,213.051875,-0.5
20.1408300,20.1510000,022.030948,224.075618, 0.0
20.1928300,20.1825000,033.041762,235.104692, 0.0
20.2158000,20.2301000,045.005660,247.082825,-0.6
20.2632000,20.2520200,056.021835,258.102680, 0.0
20.2852600,20.3002500,067.030658,269.114210, 0.6
20.3330000,20.3235800,078.042430,280.130758, 0.0
20.3559000,20.3700000,090.010160,292.092978,-0.2
20.4036500,20.3932200,101.022288,303.101820, 0.0
20.4314000,20.4417000,112.033750,314.103658,-0.3
20.4732000,20.4628000,123.041485,325.101265, 0.0
20.5011300,20.5112300,135.004798,337.051465, 0.0
20.5432500,20.5324000,146.022915,348.052162,-0.3
20.5702200,20.5801000,157.032540,359.041555, 0.0
21.0114000,21.0009500,168.042165,010.031060,-0.2
16,18,19,08,1973, 2.4700000,21.3947500,04.0500000,22.5801000,1085
21.5324300,21.5427500,000.005728,065.214328, 0.0
21.5757000,21.5635300,011.022320,076.205360, 0.0
22.0000000,22.0207000,022.031850,087.193455, 0.4
22.0533300,22.0409000,033.041945,098.184182, 0.2
22.0809000,22.0926000,045.004755,110.133398, 0.0
22.1247000,22.1141800,056.022060,121.135790,-0.2
22.1519800,22.1617000,067.032230,132.141225, 0.0
22.2219150,22.1818700,078.042445,143.144598, 0.0
22.2416000,22.2309500,090.005028,155.105658, 0.1
22.2719500,22.2618000,101.021778,166.123648, 0.6
22.2925200,22.3029000,112.032270,177.141098, 0.2
22.3408000,22.3246000,123.042638,188.154025, 0.1
22.3717000,22.3829500,135.005862,200.140710, 0.0
22.4307000,22.4142500,146.022598,211.174310, 0.1
22.4919500,22.4815200,157.032002,222.141502, 0.0
22.5501000,22.5159020,168.042588,233.163090, 0.0

APÊNDICE C

RELATÓRIOS DE SAÍDA

IBGE
 DEPARTAMENTO DE GEODESIA (DEGED)
 DIVISAO DE PESQUISAS E ANALISES (DIPAN)

D E T E R M I N A C A O D E L A T I T U D E P E L O M E T O D O D E S T E R N F E C K (FK4)

SERIE NUMERO : 6

DATA : 21-22/ 8/1981

ESTACAO : VT - DESBARRANCADO

LOCALIDADE : ARAGUARI

ESTADO : MG

OBSERVADOR : M B P

ANOTADOR : J A S

INSTRUMENTO : T4 - 149 223

TEMPERATURA (C): 18.50

PRESSAO (mb): 940.3

ESTADO DO (INICIO): 2 59 58.500
 CRONOMETRO (FIM): 2 59 58.500

HORA SIDERAL (INICIO): 0 0 .000
 AS 0 TU (FIM): 0 0 .000

HORA (INICIO): 19 13 1.500
 CRONOMETRICA (FIM): 22 57 1.500

MARCHA: .000

ESTRELA	N OU S	CIRCULO VERTICAL	CORRECAO DA REFRACAO	DISTANCIA ZENITAL CORRIGIDA	DECLINACAO	LATITUDE	INSTANTE CRONOMETRICO	OBSERVACAO
658	N	356 51 4.00	-2.869	3 8 58.869	-15 23 9.972	-18 32 8.841	19 49 37.000	
1463	S	356 51 52.50	-2.857	3 8 10.357	-21 40 26.489	-18 32 16.132	19 55 23.500	
666	S	338 25 11.90	-20.628	21 35 8.728	-40 7 16.865	-18 32 8.137	19 59 21.300	REJEITADA
668	N	338 45 10.30	-20.278	21 15 9.978	2 43 .121	-18 32 9.857	20 0 1.700	
669	S	341 30 13.70	-17.446	18 30 3.746	-37 2 18.863	-18 32 15.117	20 1 39.200	
1467	N	349 11 45.20	-9.952	10 48 24.752	- 7 43 43.125	-18 32 7.878	20 7 .600	
677	N	338 32 8.00	-20.506	21 28 11.806	2 56 5.462	-18 32 6.344	20 12 45.400	
679	S	348 6 56.10	-10.975	11 53 14.875	-30 25 29.478	-18 32 14.603	20 17 38.300	
1471	S	328 27 5.50	-32.020	31 33 26.520	-50 5 42.587	-18 32 16.068	20 18 12.000	
680	N	331 54 25.30	-27.839	28 6 2.539	9 33 51.020	-18 32 11.519	20 19 29.500	REJEITADA
SOMATORIO (N): -53.605				LATITUDE MEDIA (N): -18 32 8.230				
SOMATORIO (S): -63.298				LATITUDE MEDIA (S): -18 32 15.480				
DIFERENCA: 9.693				DIFERENCA: 0 0 7.250				

LATITUDE MEDIA DA SERIE : -18 32 11.855

IBGE
 DEPARTAMENTO DE GEODÉSIA (DEGED)
 DIVISÃO DE PESQUISAS E ANÁLISES (DIPAN)

DETERMINAÇÃO DE LATITUDE PELO MÉTODO DE STERNCK (FK4)

SERIE NUMERO : 7

DATA : 21-22/ 8/1981

ESTACAO : VT - DESBARRANCADO

LOCALIDADE : ARAGUARI

ESTADO : MG

OBSERVADOR : M B P

ANOTADOR : J A S

INSTRUMENTO : T4 - 149 223

TEMPERATURA (C): 18.25

PRESSAO (mb): 940.5

ESTADO DO (INICIO): 2 59 58.500
 CRONOMETRO (FIM): 2 59 58.500

HORA SIDERAL (INICIO): 0 0 .000
 AS 0 TU (FIM): 0 0 .000

HORA (INICIO): 19 13 1.500
 CRONOMETRICA (FIM): 22 57 1.500

MARCHA: .000

ESTRELA	N OU S	CIRCULO VERTICAL	CORRECAO DA REFRACAO	DISTANCIA ZENITAL CORRIGIDA	DECLINACAO	LATITUDE	INSTANTE CRONOMETRICO	OBSERVACAO
1472	N	4 35 58.80	4.200	4 36 3.000	-13 56 11.736	-18 32 14.737	20 21 40.600	
1473	S	27 24 56.20	27.080	27 25 23.280	-45 57 34.035	-18 32 10.755	20 22 52.000	
682	S	2 31 32.20	2.303	2 31 34.503	-21 3 48.081	-18 32 13.578	20 25 39.600	REJEITADA
1475	N	8 46 17.50	8.056	8 46 25.556	- 9 45 49.217	-18 32 14.773	20 29 32.000	
687	S	11 17 50.80	10.430	11 18 1.230	-29 50 11.278	-18 32 10.048	20 32 47.500	
689	S	15 51 15.70	14.827	15 51 30.527	-34 23 39.356	-18 32 8.829	20 35 55.000	
1478	N	26 33 16.30	26.092	26 33 42.392	8 1 27.523	-18 32 14.869	20 37 43.000	
692	S	6 53 40.60	6.313	6 53 46.913	-25 25 55.027	-18 32 8.114	20 39 47.400	
696	N	3 57 35.60	3.614	3 57 39.214	-14 34 36.350	-18 32 15.564	20 41 5.700	
1480	N	16 32 15.90	15.502	16 32 31.402	- 1 59 43.272	-18 32 14.674	20 41 40.200	

SOMATORIO (N): 57.464
 SOMATORIO (S): 58.650
 DIFERENCA: 1.186

LATITUDE MEDIA (N): -18 32 14.923
 LATITUDE MEDIA (S): -18 32 9.437
 DIFERENCA: 0 0 5.487

LATITUDE MEDIA DA SERIE : -18 32 12.180

IBGE
 DEPARTAMENTO DE GEODESIA (DEGED)
 DIVISAO DE PESQUISAS E ANALISES (DIPAN)

DETERMINACAO DE LATITUDE PELO METODO DE STERNECK (FK4)

SERIE NUMERO : 8

DATA : 21-22/ 8/1981

ESTACAO : UT - DESBARRANCADO

LOCALIDADE : ARAGUARI

ESTADO : MG

OBSERVADOR : M B P

ANOTADOR : J A S

INSTRUMENTO : T4 - 149 223

TEMPERATURA (C): 17.90

PRESSAO (mb): 940.8

ESTADO DO (INICIO): 2 59 58.500
 CRONOMETRO (FIM): 2 59 58.500

HORA SIDERAL (INICIO): 0 0 .000
 AS 0 TU (FIM): 0 0 .000

HORA (INICIO): 19 13 1.500
 CRONOMETRICA (FIM): 22 57 1.500

MARCHA: .000

ESTRELA	N OU S	CIRCULO VERTICAL	CORRECAO DA REFRACAO	DISTANCIA ZENITAL CORRIGIDA	DECLINACAO	LATITUDE	INSTANTE CRONOMETRICO	OBSERVACAO
1484	N	332 21 40.50	-27.380	27 38 46.880	9 6 38.312	-18 32 8.568	20 48 31.200	
1485	S	357 7 29.90	-2.626	2 52 32.726	-21 24 45.738	-18 32 13.012	20 49 43.100	
1486	N	350 32 9.50	-8.716	9 27 59.216	- 9 4 8.106	-18 32 7.322	20 54 11.000	
1487	S	351 31 46.70	-7.787	8 28 21.087	-27 0 35.644	-18 32 14.557	20 57 24.500	
1490	S	334 50 32.30	-24.558	25 9 52.258	-43 42 5.925	-18 32 13.668	21 0 24.000	
1495	N	357 51 47.20	-1.951	2 8 14.751	-16 23 54.352	-18 32 9.104	21 7 20.500	
708	S	325 34 56.70	-35.826	34 25 39.126	-52 57 53.487	-18 32 14.361	21 9 51.400	
712	N	326 25 38.20	-34.704	33 34 56.504	15 2 45.871	-18 32 10.633	21 11 40.000	
SOMATORIO (N): -72.751				LATITUDE MEDIA (N): -18 32 8.907				
SOMATORIO (S): -70.796				LATITUDE MEDIA (S): -18 32 13.899				
DIFERENCA: 1.956				DIFERENCA: 0 0 4.993				

LATITUDE MEDIA DA SERIE : -18 32 11.403

IBGE
 DEPARTAMENTO DE GEODESIA (DEGED)
 DIVISAO DE PESQUISAS E ANALISES (DIPAN)

D E T E R M I N A C A O D E L A T I T U D E P E L O M E T O D O D E S T E R N E C K (FK4)

SERIE NUMERO : 9

DATA : 21-22/ 8/1981

ESTACAO : VT - DESBARRANCADO

LOCALIDADE : ARAGUARI

ESTADO : MG

OBSERVADOR : M B P

ANOTADOR : J A S

INSTRUMENTO : T4 - 149 223

TEMPERATURA (C): 17.80

PRESSAO (mb): 940.9

ESTADO DO (INICIO): 2 59 58.500
 CRONOMETRO (FIM): 2 59 58.500

HORA SIDERAL (INICIO): 0 0 .000
 AS 0 TU (FIM): 0 0 .000

HORA (INICIO): 19 13 1.500
 CRONOMETRICA (FIM): 22 57 1.500

MARCHA: .000

ESTRELA	N OU S	CIRCULO VERTICAL	CORRECAO DA REFRACAO	DISTANCIA ZENITAL CORRIGIDA	DECLINACAO	LATITUDE	INSTANTE CRONOMETRICO	OBSERVACAO
1497	N	17 9 35.70	16.153	17 9 51.853	- 1 22 21.365	-18 32 13.217	21 18 29.000	
720	S	2 30 56.50	2.298	2 30 58.798	-21 3 9.353	-18 32 10.555	21 21 30.800	
1500	N	10 33 54.80	9.757	10 34 4.557	- 7 58 8.689	-18 32 13.246	21 24 31.800	
1501	S	16 54 54.50	15.908	16 55 10.408	-35 27 20.498	-18 32 10.089	21 31 16.000	
727	N	2 32 51.90	2.328	2 32 54.228	-15 59 20.084	-18 32 14.312	21 33 29.000	
728	S	22 6 35.80	21.252	22 6 57.052	-40 39 6.134	-18 32 9.082	21 35 25.400	
730	N	21 36 40.30	20.723	21 37 1.023	3 4 47.857	-18 32 13.166	21 37 22.000	
731	S	11 14 29.70	10.397	11 14 40.097	-29 46 47.523	-18 32 7.426	21 38 34.800	
SOMATORIO (N): 48.961				LATITUDE MEDIA (N): -18 32 13.485				
SOMATORIO (S): 49.856				LATITUDE MEDIA (S): -18 32 9.288				
DIFERENCA: .895				DIFERENCA: 0 0 4.197				

LATITUDE MEDIA DA SERIE : -18 32 11.387

IBGE
 DEPARTAMENTO DE GEODESIA (DEGED)
 DIVISAO DE PESQUISAS E ANALISES (DIPAN)

D E T E R M I N A C A O D E L A T I T U D E P E L O M E T O D O D E S T E R N E C K (F&4)

SERIE NUMERO : 10

DATA : 21-22/ 8/1981

ESTACAO : VT - DESBARRANCADO

LOCALIDADE : ARAGUARI

ESTADO : MG

OBSERVADOR : M B P

ANOTADOR : J A S

INSTRUMENTO : T4 - 149 223

TEMPERATURA (C):17.40

PRESSAO (mb): 940.0

ESTADO DO (INICIO): 2 59 58.500
 CRONOMETRO (FIM): 2 59 58.500

HORA SIDERAL (INICIO): 0 0 .000
 AS 0 TU (FIM): 0 0 .000

HORA (INICIO): 19 13 1.500
 CRONOMETRICA (FIM): 22 57 1.500

MARCHA: .000

ESTRELA	N OU S	CIRCULO VERTICAL	CORRECAO DA REFRACAO	DISTANCIA ZENITAL CORRIGIDA	DECLINACAO	LATITUDE	INSTANTE CRONOMETRICO	OBSERVACAO
1509	N	344 17 35.40	-14.729	15 42 39.329	- 2 49 32.486	-18 32 11.816	21 42 33.000	REJEITADA
736	S	353 36 54.60	-5.861	6 23 11.261	-24 55 26.787	-18 32 15.526	21 48 21.000	
1512	N	357 48 .20	-2.012	2 12 1.812	-16 20 5.127	-18 32 6.939	21 52 25.600	
1516	S	346 35 10.10	-12.491	13 25 2.391	-31 57 12.011	-18 32 9.619	21 57 35.000	REJEITADA
745	N	332 39 .70	-27.092	27 21 26.392	8 49 18.214	-18 32 0.177	22 2 37.200	
746	N	340 30 34.90	-18.538	19 29 43.638	0 57 35.924	-18 32 7.713	22 4 15.800	
1520	S	336 37 31.00	-22.638	23 22 51.638	-41 55 3.595	-18 32 11.956	22 6 42.500	
751	S	353 12 52.50	-6.232	6 47 13.732	-35 19 35.623	-28 32 21.891	22 11 14.000	REJEITADA
755	S	325 36 43.10	-35.848	34 23 52.748	-52 56 6.068	-18 32 13.321	22 18 39.200	
1526	N	326 19 50.60	-34.891	33 40 44.291	15 8 36.354	-18 32 7.937	22 26 6.400	

SOMATORIO (N): -82.533
 SOMATORIO (S): -64.347
 DIFERENCA: 18.186

LATITUDE MEDIA (N): -18 32 7.692
 LATITUDE MEDIA (S): -18 32 12.605
 DIFERENCA: 0 0 4.914

LATITUDE MEDIA DA SERIE : -18 32 10.149

CORRECAO DA REFRACAO PASSOU DOS 10" (SERIE
 S E R I E R E J E I T A D A

REJEITADA)

IBGE
 DEPARTAMENTO DE GEODESIA (DEGED)
 DIVISAO DE PESQUISAS E ANALISES (DIPAN)

D E T E R M I N A C A O D E L A T I T U D E P E L O M E T O D O D E S T E R N E C K (FK4)

SERIE NUMERO : 11

DATA : 21-22/ 8/1981

ESTACAO : VT - DESBARRANCADO

LOCALIDADE : ARAGUARI

ESTADO : MG

OBSERVADOR : M B P

ANOTADOR : J A S

INSTRUMENTO : T4 - 149 223

TEMPERATURA (C): 17.10

PRESSAO (mb): 940.8

ESTADO DO (INICIO): 2 59 58.500
 CRONOMETRO (FIM): 2 59 58.500

HORA SIDERAL (INICIO): 0 0 .000
 AS 0 TU (FIM): 0 0 .000

HORA (INICIO): 19 13 1.500
 CRONOMETRICA (FIM): 22 57 1.500

MARCHA: .000

ESTRELA	N OU S	CIRCULO VERTICAL	CORRECAO DA REFRACAO	DISTANCIA ZENITAL CORRIGIDA	DECLINACAO	LATITUDE	INSTANTE CRONOMETRICO	OBSERVACAO	
1527	N	5 58 18.50	5.485	5 58 23.985	-12 33 51.365	-18 32 15.350	22 29 17.000		
1530	S	17 11 23.20	16.220	17 11 39.420	-35 43 55.265	-18 32 15.845	22 32 20.000	REJEITADA	
763	S	23 33 59.20	22.870	23 34 22.070	-42 6 30.095	-18 32 8.025	22 33 51.200		
1531	N	23 49 1.60	23.144	23 49 24.744	5 17 8.591	-18 32 16.153	22 34 54.800		
1532	S	10 11 4.90	9.419	10 11 14.319	-28 43 22.300	-18 32 7.980	22 36 57.300		
1533	N	15 35 15.30	14.627	15 35 29.927	- 2 56 43.703	-18 32 13.630	22 41 19.000	REJEITADA POR	
768	N	29 46 16.10	29.993	29 46 46.093	11 14 32.681	-18 32 13.412	22 44 57.000		
769	S	28 48 46.10	28.840	28 49 14.940	-47 21 23.264	-18 32 8.324	22 49 52.800		
774	N	34 22 34.50	35.869	34 23 10.369	15 50 55.685	-18 32 14.684	22 51 23.000		
776	S	33 26 33.00	34.628	33 27 7.628	-51 59 15.791	-18 32 8.163	22 55 16.500		
SOMATORIO (N): 94.490				LATITUDE MEDIA (N): -18 32 14.900					
SOMATORIO (S): 95.758				LATITUDE MEDIA (S): -18 32 8.123					
DIFERENCA: 1.268				DIFERENCA: 0 0 6.777					

LATITUDE MEDIA DA SERIE : -18 32 11.511

IBGE
DEPARTAMENTO DE GEODESIA (DEGED)
DIVISAO DE PESQUISAS E ANALISES (DIPAN)

C A L C U L O F I N A L D A L A T I T U D E

NUMERO DE SERIES:11 DATA:
OBSERVADOR:M B P ANOTADOR:J A S INSTRUMENTO:T4 - 149 223
ESTACAO:VT - DESBARRANC LOCALIDADE:ARAGUARI ESTADO:MG
ALTITUDE(metros): 935.40 DISTANCIA DO VERTICE GEODESICO: 9.127 AZIMUTE:331.1654440
LONGITUDE:- 3 13 43.343 FUSO: 0 0 .000 COORDENADAS X: .020
DO Y: .184
POLO

SERIE	LATITUDE	V	OBSERVACAO
1	-18 32 12.501	.643	
2	-18 32 12.098	.240	
3	-18 32 11.542	.316	
4	-18 32 12.248	.390	
5	-18 32 15.105	.000	R E J E I T A D A
6	-18 32 11.855	.004	
7	-18 32 12.180	.322	
8	-18 32 11.403	.455	
9	-18 32 11.387	.472	
10	-18 32 10.149	.000	R E J E I T A D A
11	-18 32 11.511	.347	

LATITUDE MEDIA :-18 32 11.858

LATITUDE MEDIA DE 9 SERIES :-18 32 11.858
REDUCAO AO NIVEL MEDIO DOS MARES: .0970
REDUCAO A ESTACAO GEODESICA: -.2603
REDUCAO AO POLO: -.1509
LATITUDE ASTROMOMICA DA ESTACAO GEODESICA:-18 32 12.173

LIMITE DE REJEICAO : .7945

ERRO PROVAVEL : .093 A L T A P R E C I S A O

CALCULISTA : HELIO PEREIRA

IBGE
 DEPARTAMENTO DE GEODÉSIA (DEGED)
 DIVISÃO DE PESQUISAS E ANÁLISES (DIPAN)

DETERMINAÇÃO DA LONGITUDE PELO MÉTODO DE MAYER (FK4)

SERIE NUMERO : 1

DATA : 9-10/ 8/1981

ESTACAO :VT-PONTINHA

LOCALIDADE :PILAR

ESTADO :GOIAS

OBSERVADOR :M.B.P.

INSTRUMENTO :T4-149225

CRONOGRAFO :OMEGA

ESTADO DO (INICIO): 22 58 59.994
 CRONOMETRO (FIM): 22 58 59.940
 EM GRW.

HORA SIDERAL (INICIO): 21 4 35.840
 AS 0 TU (FIM): 0 0 .000

HORA (INICIO): 0 5 4.000
 CRONOMETRICA (FIM): 3 10 30.000

NIVEL : 1.1870 T.M. : .0900 E.C. : .7000 D.T.M. : 9.5070 DTU1 : .3160 MARCHA: -.017

ESTRELAS	N OU S	HORA CRONOMETRICA	TEMPO UNIVERSAL (TU)	LEITURAS NO NIVEL DE CAVALETE	HORA SIDERAL GRW.	ASCENCAO RETA	LONGITUDE
1449	S	0 13 .772	23 12 .764	E 30.8 75.0 W 75.0 30.8	20 25 25.276	17 7 10.396	- 3 18 14.882
1451	N	0 16 41.242	23 15 41.233	E 75.0 31.0 W 38.0 75.2	20 29 6.349	17 10 51.802	- 3 18 14.622 REJ.
1453	N	0 21 24.729	23 20 24.718	E 30.8 75.0 W 75.0 30.8	20 33 50.611	17 15 35.477	- 3 18 15.236 REJ.
644	S	0 26 40.575	23 25 40.563	E 75.0 31.0 W 30.8 75.2	20 39 7.320	17 20 52.493	- 3 18 14.796
647	N	0 31 26.330	23 30 26.316	E 31.0 75.0 W 75.2 30.8	20 43 53.856	17 25 39.083	- 3 18 14.849
649	S	0 35 17.328	23 34 17.313	E 75.2 31.0 W 31.0 75.4	20 47 45.485	17 29 30.533	- 3 18 14.032
652	S	0 38 7.715	23 37 7.699	E 31.0 75.2 W 75.4 30.8	20 50 36.338	17 32 21.350	- 3 18 14.674
665	N	0 48 18.182	23 47 18.163	E 75.4 31.0 W 30.8 75.4	21 0 48.473	17 42 33.755	- 3 18 14.840

VTPV= .005
 GRAUS DE LIBERDADE= 4
 VARIANCIA A POSTERIORI= .001
 LONGITUDE MEDIA DA SERIE= - 3 18 15.161

S E R I E R E J E I T A D A

IBGE
 DEPARTAMENTO DE GEODESIA (DEGED)
 DIVISAO DE PESQUISAS E ANALISES (DIPAN)

DETERMINAÇÃO DA LONGITUDE PELO MÉTODO DE KAYFER (K4)

SERIE NUMERO : 2

DATA : 9-10/ 8/1981

ESTACAO :VT-PONTINHA

LOCALIDADE :PILAR

ESTADO :GOIAS

OBSERVADOR :M.B.P.

INSTRUMENTO :T4-149225

CRONOGRÁFO :OMEGA

ESTADO DO (INICIO): 22 58 59.994
 CRONOMETRO (FIM): 22 58 59.940
 EM GRW.

HORA SIDERAL (INICIO): 21 9 32.840
 AS 0 TU (FIM): 21 13 32.396

HORA (INICIO): 9 10 1.000
 CRONOMETRICA (FIM): 9 10 31.000

NIVEL : 1.1870 T.M. : .0900 E.C. : .7000 D.T.M. : 9.5070 DTU : .3160 MARCA: -1.017

ESTRELAS	N OU S	HORA CRONOMETRICA	TEMPO UNIVERSAL (TU)	LEITURAS NO NIVEL DE CAVALETE	HORA SIDERAL GRW.	ASCENSAO RETA	LONGITUDE
673	N	1 3 42.724	0 2 42.701	E 31.0 75.4 W 75.4 30.8	21 16 15.543	17 58 1.743	- 3 18 14.840
679	S	1 10 18.366	0 9 18.341	E 75.0 31.2 W 30.2 76.0	21 22 52.266	18 4 37.512	- 3 18 14.750
682	S	1 18 19.384	0 17 19.357	E 31.2 75.6 W 76.0 30.8	21 30 54.599	18 12 39.764	- 3 18 14.844
1475	N	1 22 2.304	0 21 2.276	E 76.0 31.0 W 31.0 76.0	21 34 38.128	18 16 23.369	- 3 18 14.796
687	S	1 25 27.490	0 24 27.461	E 31.0 75.6 W 75.8 30.8	21 38 3.875	18 19 49.015	- 3 18 14.823
689	S	1 28 35.191	0 27 35.161	E 75.4 31.2 W 30.6 76.0	21 41 12.089	18 22 57.137	- 3 18 14.911
1481	N	1 35 52.191	0 34 52.159	E 31.2 75.2 W 76.0 30.4	21 48 30.283	18 30 15.604	- 3 18 14.845
1484	N	1 41 10.478	0 40 10.444	E 75.0 31.0 W 30.0 76.0	21 53 49.440	18 35 35.358	- 3 18 14.847 REFL.

UTPV= .013
 GRAUS DE LIBERDADE= 5
 VARIANCIA A POSTERIORI= .003
 LONGITUDE MEDIA DA SERIE= - 3 18 15.146

IBGE
 DEPARTAMENTO DE GEODESIA (DEGED)
 DIVISAO DE PESQUISAS E ANALISES (DIPAN)

D E T E R M I N A C A O D A L O N G I T U D E P E L O M E T O D O D E M A Y E R (PK4)

SERIE NUMERO : 3

DATA : 9-10/ 8/1981

ESTACAO :VT-PONTINHA

LOCALIDADE :PILAR

ESTADO :GOIAS

OBSERVADOR :M.B.P.

INSTRUMENTO :T4-149225

CRONOGRARO :OMEGA

ESTADO DO (INICIO): 22 58 59.994 HORA SIDERAL (INICIO): 21 9 35.840 HORA (INICIO): 0 5 41.000
 CRONOMETRO (FIM): 22 58 59.940 AS 0 TU (FIM): 21 19 32.396 CRONOGRARO (FIM): 0 5 35.000
 EM GRW.

NIVEL : 1.1870 T.M. : .0900 E.C. : .7000 D.T.M. : 9.5070 DTU1 : .3160 MARCHA: -.017

ESTRELAS	N OU S	HORA CRONOMETRICA	TEMPO UNIVERSAL (TU)	LEITURAS NO NIVEL DE CAVALETE	HORA SIDERAL GRW.	ASCENCAO RETA	LONGITUDE
1486	N	1 46 50.936	0 45 50.900	E 31.0 75.0 W 76.0 30.0	21 59 30.829	18 41 18.085	- 3 18 14.840
1489	N	1 51 45.957	0 50 45.920	E 75.0 31.2 W 30.0 76.2	22 4 26.656	18 46 12.040	- 3 18 14.754
1493	S	1 55 17.826	0 54 17.788	E 31.0 75.0 W 76.0 30.0	22 7 59.104	18 49 44.226	- 3 18 14.880
706	S	1 59 40.470	0 58 40.431	E 75.0 31.2 W 30.0 76.2	22 12 22.466	18 54 7.631	- 3 18 14.811
712	N	2 4 19.462	1 3 19.421	E 31.2 75.0 W 76.2 30.0	22 17 2.220	18 58 47.613	- 3 18 14.887
717	N	2 10 47.390	1 9 47.347	E 75.0 31.0 W 30.0 76.0	22 23 31.208	19 5 16.550	- 3 18 14.780
718	S	2 13 44.212	1 12 44.169	E 31.0 75.0 W 76.0 30.0	22 26 28.514	19 8 13.518	- 3 18 14.852
722	S	2 22 2.822	1 21 2.776	E 75.0 31.2 W 30.0 76.2	22 34 48.486	19 16 33.716	- 3 18 14.805

UTPV= .014
 GRAUS DE LIBERDADE= 6
 VARIANCIA A POSTERIORI= .002
 LONGITUDE MEDIA DA SERIE= - 3 18 15.143

IBGE
 DEPARTAMENTO DE GEODESIA (DEGED)
 DIVISAO DE PESQUISAS E ANALISES (DIPAN)

D E T E R M I N A C A O D A L O N G I T U D E P E L O M E T O D O D E R A Y E R (X)

SERIE NUMERO : 4

DATA : 19 01 1972

ESTACAO : VT-PONTINHA

LOCALIDADE : PILAR

ESTADO : GOIAS

OBSERVADOR : M.B.P.

INSTRUMENTO : T4-149225

CRONOGR AFO : OMEGA

ESTADO DO (INICIO): 22 58 59.994
 CRONOMETRO (FIM): 22 58 59.940
 EM GRW.

HORA SIDERAL (INICIO): 21 9 35.040
 AS 0 TU (FIM): 21 13 32.396

HORA (INICIO): 0 15 3.467
 CRONOMETRICA (FIM): 3 10 33.060

NIVEL : 1.1870 T.M. : .0900 E.C. : .7000 D.T.M. : 9.5070 DTU : .3160 MARCHA: -1.017

ESTRELAS	N OU S	HORA CRONOMETRICA	TEMPO UNIVERSAL (TU)	LEITURAS NO NIVEL DE CAVALETE	HORA SIDERAL GRW.	ASCENCAO RETA	LONGITUDE
1511	N	2 38 38.048	1 37 37.997	E 30.4 75.0 W 75.4 30.0	22 51 26.432	19 33 41.004	- 3 18 14.820
737	N	2 41 20.188	1 40 20.137	E 75.6 31.4 W 30.8 76.4	22 54 9.016	19 35 54.354	- 3 18 14.769
1512	S	2 45 5.734	1 44 5.681	E 31.2 75.0 W 76.2 30.0	22 57 55.178	19 39 40.418	- 3 18 14.815
1516	S	2 50 15.773	1 49 15.719	E 75.0 31.0 W 30.0 76.0	23 3 6.064	19 44 51.151	- 3 18 14.831
744	N	2 55 10.046	1 54 9.990	E 31.0 75.2 W 76.0 30.2	23 8 1.142	19 49 46.364	- 3 18 14.857
1519	N	2 57 44.391	1 56 44.335	E 75.2 31.4 W 30.2 76.4	23 10 35.908	19 52 21.255	- 3 18 14.802
751	S	3 3 55.178	2 2 55.120	E 31.2 75.0 W 76.2 30.0	23 16 47.709	19 58 32.774	- 3 18 14.829
753	S	3 6 53.768	2 5 53.709	E 75.0 31.2 W 30.0 76.2	23 19 46.787	20 1 32.004	- 3 18 14.748

UTPV= .009
 GRAUS DE LIBERDADE= 6
 VARIANCIA A POSTERIORI= .001
 LONGITUDE MEDIA DA SERIE= - 3 18 15.124

IBGE
 DEPARTAMENTO DE GEODESIA (DEGED)
 DIVISAO DE PESQUISAS E ANALISES (DIPAN)

D E T E R M I N A C A O D A L O N G I T U D E P E L O M E T O D O D E K A Y E R (FK1)

SERIE NUMERO : 5

DATA : 10-11/ 07/1980

ESTACAO : VT-PONTINHA

LOCALIDADE : PILAR

ESTADO : GOIAS

OBSERVADOR : M.B.P.

INSTRUMENTO : T4-149225

CRONOGRAFO : OMEGA

ESTADO DO (INICIO): 22 51 59.990
 CRONOMETRO (FIM): 22 51 59.967
 EM GRW.

HORA SIDERAL (INICIO): 21 13 32.396
 AS 0 TU (FIM): 21 13 32.396

HORA (INICIO): 0 1 2.016
 CRONOMETRICA (FIM): 0 1 2.031

NIVEL : 1.1870 T.M. : .0900 E.C. : .7000 D.T.M. : 9.5070 DTU : .3160 MARCHA: -.011

ESTRELAS	N OU S	HORA CRONOMETRICA	TEMPO UNIVERSAL (TU)	LEITURAS NO NIVEL DE CAVALETE	HORA SIDERAL GRW.	ASCENCAO RETA	LONGITUDE
635	N	0 13 25.975	23 5 25.963	E 31.0 76.0 W 76.0 31.0	20 22 45.951	17 4 31.293	- 3 18 14.842
1449	S	0 16 4.716	23 8 4.703	E 76.2 31.0 W 31.2 76.0	20 25 25.126	17 7 10.388	- 3 18 14.730
1451	N	0 19 45.419	23 11 45.406	E 31.0 75.2 W 76.0 30.2	20 29 6.432	17 10 51.792	- 3 18 14.824
1452	S	0 24 44.605	23 16 44.591	E 76.0 31.0 W 31.0 76.0	20 34 6.437	17 15 51.496	- 3 18 14.833
644	S	0 29 44.686	23 21 44.671	E 31.0 75.8 W 76.0 30.8	20 39 7.338	17 20 52.485	- 3 18 14.813
1458	N	0 33 51.726	23 25 51.710	E 76.0 31.0 W 31.0 76.0	20 43 15.054	17 25 10.774	- 3 18 14.777
649	S	0 38 21.464	23 30 21.447	E 30.2 75.8 W 75.2 30.8	20 47 45.530	17 29 30.524	- 3 18 14.831
1461	N	0 42 34.708	23 34 34.691	E 75.8 31.0 W 30.8 76.0	20 51 59.466	17 33 44.730	- 3 18 14.782

VTPU= .010
 GRAUS DE LIBERDADE= 6
 VARIANCIA A POSTERIORI= .002
 LONGITUDE MEDIA DA SERIE= - 3 18 15.119

IBGE
 DEPARTAMENTO DE GEODESIA (DEGED)
 DIVISAO DE PESQUISAS E ANALISES (DIPAN)

D E T E R M I N A C A O D A L O N G I T U D E P E L O M E T O D O D E M A Y E R (FK4)

SERIE NUMERO : 6

DATA : 10-11/ 8/1981

ESTACAO : VT-PONTINHA

LOCALIDADE : PILAR

ESTADO : GOIAS

OBSERVADOR : M.B.P.

INSTRUMENTO : T4-149225

CRONOGRACO : OMEGA

ESTADO DO (INICIO): 22 51 59.990

HORA SIDERAL (INICIO): 21 13 32.396

HORA (INICIO): 0 1 2.010

CRONOMETRO (FIM): 22 51 59.967

AS 0 TU (FIM): 21 17 28.954

CRONOMETRICA (FIM): 0 10 10.633

EM GRW.

NIVEL : 1.1870

T.M. : .0900

E.C. : .7000

D.T.M. : 9.5070

DTM : .3160

MARCHA: -.011

ESTRELAS	N OU S	HORA CRONOMETRICA	TEMPO UNIVERSAL (TU)	LEITURAS NO NIVEL DE CAVALETE	HORA SIDERAL GRW.	ASCENCAO RETA	LONGITUDE
665	N	0 51 22.210	23 43 22.191	E 30.8 75.8 W 75.8 30.8	21 0 48.411	17 42 33.747	- 3 18 14.103
666	S	0 55 5.874	23 47 5.854	E 75.8 31.2 W 30.8 76.2	21 4 32.687	17 46 17.701	- 3 18 14.775
1467	N	1 2 44.425	23 54 44.404	E 30.0 75.8 W 75.2 30.8	21 12 12.492	17 53 57.202	- 3 18 14.740
1469	N	1 7 59.984	23 59 59.962	E 75.2 31.2 W 30.2 76.2	21 17 28.914	17 59 14.405	- 3 18 14.779
679	S	1 13 22.626	0 5 22.603	E 31.0 75.2 W 76.0 30.2	21 22 52.441	18 4 37.106	- 3 18 14.866
682	S	1 21 23.404	0 13 23.380	E 76.0 31.2 W 31.0 76.2	21 30 54.533	18 12 39.719	- 3 18 14.755
1475	N	1 25 6.333	0 17 6.308	E 31.0 75.0 W 76.0 30.0	21 34 38.072	18 16 23.364	- 3 18 14.801
687	S	1 28 31.488	0 20 31.462	E 75.0 31.4 W 30.0 76.4	21 38 3.788	18 19 49.010	- 3 18 14.741

VTPU= .011
 GRAUS DE LIBERDADE= 6
 VARIANCIA A POSTERIORI= .002
 LONGITUDE MEDIA DA SERIE= - 3 18 15.101

IBGE
 DEPARTAMENTO DE GEODESIA (DEGED)
 DIVISAO DE PESQUISAS E ANALISES (DIPAN)

D E T E R M I N A C A O D A L O N G I T U D E P E L O M E T O D O D E M A Y E R (PK4)

SERIE NUMERO : 7

DATA : 10-11/ 8/1981

ESTACAO : VT-PONTINHA

LOCALIDADE : PILAR

ESTADO : GOIAS

OBSERVADOR : M.B.P.

INSTRUMENTO : T4-149225

CRONOGRAFO : OMEGA

ESTADO DO (INICIO): 22 51 59.990 . HORA SIDERAL (INICIO): 21 13 32.396 HORA (INICIO): 0 1 2.019
 CRONOMETRO (FIM): 22 51 59.967 AS 0 TU (FIM): 21 17 28.954 CRONOMETRICA (FIM): 2 10 12.033
 EM GRW.

NIVEL : 1.1870 T.M. : .0900 E.C. : .7000 D.T.M. : 9.5070 DTUA : .3160 MARCHA: -.031

ESTRELAS	N OU S	HORA CRONOMETRICA	TEMPO UNIVERSAL (TU)	LEITURAS NO NIVEL DE CAVALETE	HORA SIDERAL GRW.	ASCENCAO RETA	LONGITUDE
689	S	1 31 39.122	0 23 39.096	E 31.4 75.8 W 76.4 30.8	21 41 11.935	18 22 57.032	- 3 18 14.714
1480	N	1 37 24.463	0 29 24.436	E 75.8 31.4 W 30.8 76.4	21 46 58.221	18 28 43.616	- 3 18 14.729
1482	N	1 42 52.542	0 34 52.514	E 30.4 75.8 W 75.4 30.8	21 52 27.197	18 34 12.432	- 3 18 14.805
1485	S	1 45 28.148	0 37 28.119	E 76.0 31.2 W 31.0 76.2	21 55 3.229	18 36 48.409	- 3 18 14.805
1486	N	1 49 55.002	0 41 54.973	E 31.0 76.0 W 76.0 31.0	21 59 30.813	18 41 16.082	- 3 18 14.781
1487	S	1 53 9.030	0 45 9.000	E 76.0 31.2 W 31.0 76.2	22 0 45.371	18 44 30.577	- 3 18 14.782
706	S	2 2 44.550	0 54 44.518	E 31.0 75.4 W 76.0 30.4	22 02 22.465	18 54 7.629	- 3 18 14.806
712	N	2 7 23.476	0 59 23.444	E 75.4 31.4 W 30.4 76.4	22 07 02.154	18 58 47.609	- 3 18 14.771

UTPV= .009
 GRAUS DE LIBERDADE= 6
 VARIANCIA A POSTERIORI= .002
 LONGITUDE MEDIA DA SERIE= - 3 18 15.089

IBGE
 DEPARTAMENTO DE GEODESIA (DEGED)
 DIVISAO DE PESQUISAS E ANALISES (DIPAN)

DETERMINAÇÃO DO AZIMUTE PELO METODO DO ANGUIO HORARIO (FK-1)

SERIE NUMERO : 1

DATA : 19-20/ 8/1981

ESTACAO : VT DESBARRANCADO

LOCALIDADE : ARAGUARI

ESTADO : MINAS GERAIS

OBSERVADOR : M.B.P.

INSTRUMENTO : T-3 N-210861

ANOTADOR : J.A.S.

ESTADO DO (INICIO): 2 59 58.500
 CRONOMETRO (FIM): 2 59 58.500

HORA SIDERAL (INICIO): 21 49 1.389
 AS 0 10 (FIM): 0 0 .000

HORA (INICIO): 18 50 11.000
 CRONOMETRICA (FIM): 19 12 11.000

EM GRW.

NIVEL : 6.4280

MARCHA: .000

	HORA CRONOMETRICA	LEITURA HORIZONTAL (MIRA)	LEITURA HORIZONTAL (ASTRO)	LEITURA NIVEL DE CAVALETE	NO	ANGULO HORARIO	AZIMUTE	OBSERVACAO
1	18 54 15.650	0 0 11.600	358 22 4.000	E 12.8 37.2 W 37.6 12.2		295 15 44.099	0 42 29.707	
2	18 56 30.500	11 0 22.000	9 22 27.050	E 37.2 11.8 W 12.2 36.8		295 49 32.395	0 42 31.541	
3	18 58 21.550	22 0 31.350	20 22 51.200	E 12.0 37.2 W 37.0 12.2		296 17 22.711	0 42 29.954	
4	19 0 20.200	33 0 50.900	31 23 26.350	E 37.4 11.8 W 12.4 36.8		296 47 7.340	0 42 28.000	
5	19 2 28.400	45 0 11.700	43 23 2.350	E 12.0 37.2 W 37.0 12.2		297 19 15.612	0 42 28.816	
6	19 4 39.600	56 0 28.850	54 23 33.400	E 37.4 12.0 W 12.4 37.0		297 52 9.007	0 42 30.890	
7	19 6 57.750	67 0 35.250	65 24 .050	E 12.0 37.2 W 37.0 12.2		298 26 46.938	0 42 28.251	
8	19 9 23.600	78 0 39.350	76 24 20.050	E 37.4 12.0 W 12.4 37.0		299 3 20.685	0 42 30.841	
9	19 11 41.000	90 0 9.050	88 24 7.850	E 12.0 37.2 W 37.0 12.2		299 37 47.335	0 42 30.904	
10	19 13 57.200	101 0 23.700	99 24 42.600	E 37.4 12.7 W 12.4 37.0		300 11 55.936	0 42 29.130	
11	19 16 7.200	112 0 33.950	110 25 10.900	E 12.0 37.2 W 37.0 12.2		300 44 31.282	0 42 28.515	
12	19 18 44.500	123 0 40.100	121 25 37.700	E 37.2 12.0 W 12.2 37.0		301 23 57.250	0 42 29.548	
13	19 20 59.350	135 0 8.050	133 25 22.750	E 12.0 37.2 W 37.0 12.2		301 57 45.545	0 42 31.369	
14	19 23 31.350	146 0 23.700	144 26 1.850	E 37.4 11.8 W 12.4 36.8		302 35 51.796	0 42 29.168	
15	19 25 45.250	157 0 36.200	155 26 34.300	E 12.0 37.4 W 37.0 12.4		303 9 25.802	0 42 28.871	
16	19 27 55.250	168 0 47.550	166 26 59.950	E 37.6 12.0 W 12.6 37.0		303 42 1.147	0 42 33.496	
17	19 30 18.000	0 0 6.850	358 26 42.100	E 12.2 37.2 W 37.2 12.2		304 17 48.267	0 42 32.562	
18	19 32 26.050	11 0 27.300	9 27 23.550	E 37.6 12.0 W 12.6 37.0		304 49 54.283	0 42 30.429	

AZIMUTE MEDIO DA SERIE= 0 42 30.120

IBGE
 DEPARTAMENTO DE GEODESIA (DEGED)
 DIVISAO DE PESQUISAS E ANALISES (DIPAN)

D E T E R M I N A C A O D O A Z I M U T E P E L O M E T O D O D O A N G U L O H O R A R I O (PK4)

SERIE NUMERO : 2

DATA :19-20/ 8/1981

ESTACAO :VT DESBARRANCADO

LOCALIDADE :ARAGUARI

ESTADO :MINAS GERAIS

OBSERVADOR :M.B.P.

INSTRUMENTO :T-3 N-210861

ANOTADOR :J.A.S.

ESTADO DO (INICIO): 2 59 58.500

HORA SIDERAL (INICIO): 21 49 1.389

HORA (INICIO): 23 20 1.500

CRONOMETRO (FIM): 2 59 58.500

AS 0 TU (FIM): 21 52 57.938

CRONOMETRICA (FIM): 0 14 1.599

CM GRW.

NIVEL : 6.4280

MARCHA: .000

	HORA CRONOMETRICA	LEITURA HORIZONTAL (MIRA)	LEITURA HORIZONTAL (ASTRO)	LEITURA NIVEL DE CAVALETE	NO	ANGULO HORARIO	AZIMUTE	OBSERVACAO
1	23 27 15.250	0 0 10.800	359 21 37.950	E 11.8 38.0 W 37.0 12.8		3 41 51.955	0 42 30.279	
2	23 29 42.800	11 0 24.150	10 22 29.450	E 37.8 11.2 W 12.6 36.4		4 18 50.873	0 42 31.372	
3	23 32 14.850	22 0 27.950	21 23 15.800	E 11.6 37.8 W 36.8 12.6		4 56 57.875	0 42 30.204	
4	23 34 37.400	33 0 50.250	32 24 15.550	E 37.8 11.4 W 12.6 36.6		5 32 41.987	0 42 30.859	
5	23 36 54.400	45 0 12.050	44 24 14.750	E 11.8 37.0 W 37.0 12.6		6 7 2.621	0 42 31.173	
6	23 39 20.000	56 0 28.200	55 25 8.750	E 37.8 11.4 W 12.6 36.6		6 43 32.608	0 42 31.482	
7	23 41 47.400	67 0 34.300	66 25 55.900	E 11.8 37.8 W 37.0 12.6		7 20 29.670	0 42 30.390	
8	23 44 30.100	78 0 52.600	77 26 56.050	E 38.0 11.6 W 13.0 36.8		8 1 16.860	0 42 31.509	
9	23 47 11.900	90 0 6.450	89 26 53.500	E 11.8 37.8 W 37.0 12.6		8 41 50.514	0 42 31.701	
10	23 50 6.600	101 0 23.850	100 27 57.300	E 38.0 11.4 W 13.0 36.6		9 25 38.198	0 42 31.035	
11	23 53 7.750	112 0 30.850	111 28 52.000	E 11.8 37.8 W 37.0 12.6		10 11 2.897	0 42 32.375	
12	23 55 41.600	123 0 50.350	122 29 53.050	E 38.0 11.8 W 12.8 37.0		10 49 36.974	0 42 31.433	
13	23 58 16.350	135 0 15.250	134 30 .450	E 11.8 37.8 W 37.0 12.6		11 28 24.588	0 42 30.155	
14	0 0 29.900	146 0 30.500	145 30 48.750	E 38.0 11.6 W 12.8 36.8		12 1 53.329	0 42 31.944	
15	0 3 19.350	157 0 39.450	156 31 43.300	E 11.8 38.0 W 37.0 12.8		12 44 22.048	0 42 31.250	
16	0 5 47.050	168 0 48.550	167 32 32.200	E 38.0 11.6 W 12.8 36.8		13 21 23.621	0 42 30.065	
17	0 8 18.800	0 0 23.150	359 32 46.350	E 11.8 37.8 W 37.0 12.6		13 59 26.112	0 42 30.770	
18	0 10 38.150	11 0 30.350	10 33 28.250	E 38.0 11.6 W 12.8 36.8		14 34 22.092	0 42 32.065	

AZIMUTE MEDIO DA SERIE= 0 42 31.115

IBGE
 DEPARTAMENTO DE GEODESIA (DEGED)
 DIVISÃO DE PESQUISAS GEODÉSICAS (DIPAG)

DETERMINAÇÃO DO AZIMUTE PELO MÉTODO DO ÂNGULO HORÁRIO (197)

SERIE NUMERO : 3

DATA : 20-21/ 8/1981

ESTACAO : VT DESBARRANCADO

LOCALIDADE : ARAGUARI

ESTADO : MINAS GERAIS

OBSERVADOR : M.B.P.

INSTRUMENTO : T-3 N-210861

ANOTADOR : J.A.S.

ESTADO DO (INICIO): 2 59 58.500

HORA SIDERAL (INICIO): 21 52 57.938

HORA (INICIO): 18 59 1.500

CRONOMETRO (FIM): 2 59 58.500

AS 0 TU (FIM): 21 52 57.938

CRONOMETRICA (FIM): 21 29 1.500

EM GRW.

NIVEL : 6.4280

MARCHA: .000

	HORA CRONOMETRICA	LEITURA HORIZONTAL (MIRA)	LEITURA HORIZONTAL (ASTRO)	LEITURA NIVEL DE CAVALETE	NO	ANGULO HORARIO	AZIMUTE	OBSERVACAO
1	18 55 6.750	0 0 16.600	358 22 49.700	F 12.0 37.0	W 37.0 12.0	296 27 45.639	0 42 22.117	REJEITADA
2	18 57 4.100	11 0 27.050	9 23 5.950	E 37.0 12.0	W 12.0 37.0	296 57 10.715	0 42 30.363	
3	18 58 39.000	22 0 42.250	20 23 32.800	E 12.0 37.0	W 37.0 12.0	297 20 58.117	0 42 30.253	
4	19 0 33.050	33 0 45.800	31 23 48.450	E 37.0 12.0	W 12.0 37.0	297 49 33.558	0 42 32.233	
5	19 2 17.800	45 0 15.100	43 23 30.700	E 12.2 37.2	W 37.2 12.2	298 15 49.115	0 42 32.414	
6	19 4 13.200	56 0 34.750	54 24 7.050	E 37.2 12.0	W 12.2 37.0	298 44 44.861	0 42 30.181	
7	19 6 4.350	67 0 34.000	65 24 21.750	E 12.2 37.2	W 37.2 12.2	299 12 36.642	0 42 29.318	
8	19 7 51.800	78 0 46.000	76 24 44.950	E 37.4 12.0	W 12.4 37.0	299 39 32.851	0 42 31.764	
9	19 9 43.850	90 0 13.350	88 24 28.400	E 12.2 37.2	W 37.2 12.2	300 7 38.209	0 42 31.012	
10	19 11 52.850	101 0 23.450	99 24 55.250	E 37.6 12.0	W 12.6 37.0	300 39 58.514	0 42 31.024	
11	19 50 31.500	123 0 27.850	121 31 32.700	E 37.0 12.0	W 12.0 37.0	310 21 13.616	0 41 58.607	REJEITADA
12	19 52 53.500	135 0 34.100	133 31 31.900	E 12.0 37.0	W 37.0 12.0	310 56 49.456	0 42 30.450	
13	19 55 15.000	146 0 40.250	144 32 2.700	E 37.2 11.8	W 12.0 37.0	311 32 17.775	0 42 30.600	
14	19 57 34.000	157 0 42.000	155 32 29.650	E 12.0 37.0	W 37.2 11.8	312 7 8.491	0 42 30.709	
15	20 30 9.600	0 0 11.400	358 38 18.550	E 12.0 37.2	W 37.2 12.0	320 17 22.914	0 42 29.754	
16	20 32 18.850	11 0 19.350	9 38 51.000	E 37.2 11.8	W 12.0 37.0	320 49 46.979	0 42 31.864	

AZIMUTE MEDIO DA SERIE = 0 42 30.854

IBGE
 DEPARTAMENTO DE GEODESIA (DEGED)
 DIVISAO DE PESQUISAS E ANALISES (DIPAN)

DETERMINAÇÃO DO AZIMUTE PELO METODO LESTE - OESTE

SERIE NUMERO : 1

DATA : 16-17/ 7/1973

ESTACAO : EP-2D

LOCALIDADE : CRISTALINO CASTRO

ESTADO : PIAUI

ASC.RETA: 22 56 13.686

OBSERVADOR : J.PERSOYRE

INSTRUMENTO : DKM3A-103038

ANOTADOR :

DECLINACAO: -29 45 48.343

ESTADO DO (INICIO): 2 56 30.034
 CRONOMETRO (FIM): 2 56 29.669
 EM GRW.

HORA SIDERAL (INICIO): 0 0 1000
 AS 0 TU (FIM): 19 34 44.591

HORA (INICIO): 17 29 00.000
 CRONOMETRICA (FIM): 18 28 30.330

NIVEL : 1.6000 MARCHA: -.317 NUMERO DA ESTRELA : R67 (E) CRONOMETRO : SIDERAL - 25-11703
 HORA LEITURA INCLINACAO AZIMUTE DA OBSERVACAO
 CRONOMETRICA HORIZONTAL HORIZONTAL DO NIVEL DO (ASTRO) DA (MIRA)

	D	I	(MIRA)	(ASTRO)	DO NIVEL	(ASTRO)	DA (MIRA)	OBSERVACAO
1	17 28 39.80	17 29 44.50	0 1 4.35	71 48 37.18	.5	- 61 13 50.667	226 58 36.307	
2	17 32 36.80	17 31 37.50	11 2 21.12	82 47 31.07	-1.1	- 61 16 8.901	226 58 41.902	
3	17 34 49.00	17 35 47.50	22 3 29.22	93 46 25.85	.0	- 61 18 23.736	226 58 39.479	
4	17 38 57.70	17 37 58.00	33 4 15.75	104 45 16.82	.1	- 61 20 20.811	226 58 37.954	
5	17 41 42.00	17 42 48.50	45 0 53.12	116 40 .18	.0	- 61 22 19.105	226 58 33.678	REJEITADA
6	17 49 9.00	17 48 14.00	56 2 14.00	127 38 55.18	.0	- 61 24 44.414	226 58 34.249	REJEITADA
7	17 51 10.00	17 52 8.00	67 3 36.55	138 39 28.80	.0	- 61 25 27.298	226 58 40.295	
8	17 55 21.00	17 54 21.00	78 4 14.08	149 39 37.72	.0	- 61 25 56.581	226 58 39.621	
9	17 57 33.00	17 58 31.80	90 1 4.95	161 36 16.52	.0	- 61 26 7.914	226 58 40.357	
10	18 0 51.80	18 1 56.00	101 2 12.22	172 37 30.08	.0	- 61 26 .282	226 58 41.698	
11	18 4 16.30	18 5 16.50	112 3 26.35	183 39 16.15	.0	- 61 25 32.271	226 58 37.769	
12	18 8 53.20	18 7 45.00	123 4 8.65	194 40 47.85	-1.1	- 61 24 40.411	226 58 40.243	
13	18 10 54.30	18 11 59.80	135 1 1.65	206 38 48.28	-1.1	- 61 23 35.346	226 58 37.877	
14	18 15 17.50	18 14 15.00	146 2 15.52	217 41 25.70	.0	- 61 22 6.306	226 58 43.351	
15	18 17 14.00	18 18 12.80	157 3 26.62	228 44 15.22	.2	- 61 20 29.513	226 58 41.691	
16	18 21 46.00	18 20 41.00	168 4 15.65	239 47 23.10	.0	- 61 18 12.782	226 58 39.604	
17	18 24 12.20	18 25 12.00	180 1 1.10	251 46 49.25	.0	- 61 15 33.268	226 58 38.416	

AZIMUTE MEDIO DA SERIE= 226 58 39.711

IBGE
 DEPARTAMENTO DE GEODÉSIA (DEGED)
 DIVISÃO DE PESQUISAS E ANÁLISES (DIPAN)

DETERMINAÇÃO DO AZIMUTE PELO MÉTODO LESTE - OESTE

SÉRIE NÚMERO : 2

DATA : 19-20/ 7/1973

ESTAÇÃO : EP-2D

LOCALIDADE : CRISTALINO CASTRO

ESTADO : PIAUI

ASC.RETA: 15 57 16.964

OBSERVADOR : J.PERSOYRE

INSTRUMENTO : DKM3A-10303B

ANOTADOR :

DECLINAÇÃO: -26 2 29.313

ESTADO DO (INÍCIO): 2 56 29.142
 CRONOMETRO (FIM): 2 56 29.091
 EM GRW.

HORA SIDERAL (INÍCIO): 0 0 .000
 AS 0 TU (FIM): 19 50 30.813

HORA (INÍCIO): 19 58 33.000
 CRONOMETRICA (FIM): 21 15 45.700

NÍVEL : 1.6000 MARCHA: -.040 NÚMERO DA ESTRELA : 592 (W) CRONOMETRO : SIDRAL - 2E-11703
 HORA LEITURA LEITURA INCLINAÇÃO AZIMUTE CRONOMETRO : SIDRAL - 2E-11703
 CRONOMETRICA LEITURA HORIZONTAL AZIMUTE DA OBSERVAÇÃO
 D I (MIRA) (ASTRO) DO NÍVEL (ASTRO) (MIRA)

1	20 14 29.00	20 15 40.00	0 1 4.02	198 12 7.75	.0	65 9 44.379	226 58 40.501	
2	20 18 48.60	20 17 48.00	11 2 18.15	209 15 53.20	.0	65 12 21.256	226 58 46.058	REJEITADA
3	20 21 12.00	20 22 17.00	22 3 24.62	220 19 27.48	.0	65 14 46.339	226 58 43.333	
4	20 26 50.00	20 24 44.30	33 4 9.80	231 22 37.05	.0	65 17 8.361	226 58 40.966	
5	20 29 25.00	20 30 27.30	45 1 3.88	243 21 22.90	-1.1	65 19 4.811	226 58 45.837	REJEITADA
6	20 35 43.00	20 32 47.00	56 2 6.15	254 23 37.20	-1.9	65 20 31.170	226 59 .126	REJEITADA
7	20 35 58.00	20 37 13.80	67 3 28.98	265 25 54.50	.1	65 21 7.006	226 58 41.328	
8	20 41 7.30	20 39 57.00	78 4 19.35	276 27 20.22	-1.1	65 21 43.507	226 58 42.511	
9	20 43 32.20	20 44 37.00	90 0 58.85	288 24 11.55	-1.1	65 21 54.110	226 58 41.284	
10	20 48 14.20	20 47 10.80	101 2 11.08	299 25 14.60	.1	65 21 43.453	226 58 39.779	
11	20 50 28.80	20 51 54.20	112 3 38.20	310 26 13.20	.0	65 21 12.885	226 58 37.746	
12	20 55 5.09	20 53 52.00	123 4 11.45	321 25 54.52	.0	65 20 26.519	226 58 43.311	
13	20 57 22.50	20 58 45.00	135 0 56.65	333 21 35.43	.0	65 19 16.158	226 58 37.240	
14	21 2 11.00	21 1 1.50	146 2 21.22	344 21 28.52	.0	65 17 47.099	226 58 39.661	
15	21 4 32.00	21 5 48.00	157 3 32.25	355 20 51.35	.0	65 15 57.759	226 58 38.522	
16	21 9 28.70	21 8 12.00	168 4 9.35	6 19 16.72	.0	65 13 44.715	226 58 37.209	
17	21 11 49.50	21 12 59.80	180 1 1.90	18 13 46.38	.0	65 11 15.720	226 58 31.103	REJEITADA

IBGE
 DEPARTAMENTO DE GEODESIA (DEGED)
 DIVISAO DE PESQUISAS E ANALISES (DIPAN)

DETERMINACAO DO AZIMUTE PELO METODO LESTE - OESTE

SERIE NUMERO : 3

DATA : 17-18/ 8/1973

ESTACAO : EP-2D

LOCALIDADE : CRISTALINO CASTRO

ESTADO : PIAUI

ASC. RETA : 15 58 47.632

OBSERVADOR : J. PERSOYRE

INSTRUMENTO : DKM3A-103038

ANOTADOR :

DECLINACAO : -22 32 58.024

ESTADO DO (INICIO): 2 56 29.008
 CRONOMETRO (FIM): 2 56 20.520
 EM GRW.

HORA SIDERAL (INICIO): 0 0 1.000
 AS 0 10 (FIM): 21 40 54.363

HORA (INICIO): 19 50 33.200
 CRONOMETRICA (FIM): 21 5 44.000

NIVEL : 1.6000		MARCHA: - .382		NUMERO DA ESTRELA : 594 (W)			CRONOMETRO : SIDERAL - 2F-11703	
HORA		LEITURA		LEITURA		AZIMUTE		OBSERVACAO
D	I	HORIZONTAL (MIRA)		HORIZONTAL (ASTRO)		DO	DA	
						DO NIVEL	(ASTRO)	(MIRA)
1	20 11 53.50	20 10 38.50	11 2 19.15	213 5 18.75	- .5	69 1 41.323	226 58 41.701	
2	20 14 8.30	20 15 10.00	22 3 9.48	224 7 56.10	.0	69 3 25.100	226 58 38.273	
3	20 19 28.30	20 18 25.00	33 4 17.62	235 10 46.92	.0	69 5 8.872	226 58 39.444	
4	20 21 58.00	20 23 1.00	45 0 56.60	247 8 28.25	- .6	69 6 11.912	226 58 40.252	
5	20 26 32.00	20 25 20.20	56 2 18.35	258 10 26.80	.0	69 6 53.798	226 58 45.224	
6	20 28 52.60	20 30 2.50	67 3 6.58	269 11 42.10	.6	69 7 17.528	226 58 41.778	
7	20 33 30.00	20 32 35.80	78 4 24.30	280 13 7.58	.0	69 7 22.185	226 58 38.783	
8	20 35 59.00	20 37 .00	90 1 1.60	292 9 29.78	- .2	69 7 8.269	226 58 40.000	
9	20 40 36.50	20 39 32.20	101 2 22.88	303 10 18.20	.0	69 6 35.127	226 58 39.756	
10	20 43 14.00	20 44 17.00	112 3 37.50	314 10 36.58	- .3	69 5 41.685	226 58 42.529	
11	20 47 32.00	20 46 28.00	123 4 14.85	325 10 12.65	.0	69 4 38.503	226 58 40.583	
12	20 50 11.30	20 51 12.30	135 0 47.98	337 5 14.65	.0	69 3 8.348	226 58 41.559	
13	20 54 32.50	20 53 24.00	146 2 29.15	348 5 21.62	- .3	69 1 32.505	226 58 39.955	
14	20 57 2.20	20 58 1.00	157 3 25.40	359 4 15.55	.0	68 59 31.778	226 58 41.310	
15	21 1 14.00	21 0 9.50	168 4 21.65	10 3 10.60	- .2	68 57 29.551	226 58 40.506	

AZIMUTE MEDIO DA SERIE = 226 58 40.790

IBGE
DEPARTAMENTO DE GEODÉSIA (DEGED)
DIVISÃO DE PESQUISAS E ANÁLISES (DIPAN)

D E T E R M I N A Ç A O D O A Z I M U T E P E L O M E T O D O L E S T E - O E S T E

SERIE NUMERO : 4

DATA : 18-19/ 8/1973

ESTACAO : EP-2D

LOCALIDADE : CRISTALINO CASTRO

ESTADO : PIAUI

ASC. RETA : 3 1 14.838

OBSERVADOR : J. PERSOYRE

INSTRUMENTO : DKM3A-103038

ANOTADOR :

DECLINACAO : -23 43 17.747

ESTADO DO (INICIO): 2 56 28.507
CRONOMETRO (FIM): 2 56 27.020
EM GRW.

HORA SIDERAL (INICIO): 0 0 .000
AS 0 TU (FIM): 21 48 47.474

HORA (INICIO): 21 39 47.500
CRONOMETRICA (FIM): 22 58 1.000

NIVEL	NIVEL : 1.6000		MARCHA: -1.527	NUMERO DA ESTRELA : 1085 (E)		CRONOMETRO : SIDERAL - DE-11700		OBSERVACAO
	HORA	CRONOMETRICA		LEITURA	INCLINACAO	AZIMUTE	AZIMUTE	
D	I		HORIZONTAL	HORIZONTAL	DO NIVEL	DA		
			(MIRA)	(ASTRO)		(MIRA)		
1	21 53 24.30	21 54 27.50	0 0 57.28	65 21 43.28	.0	- 67 40 36.905	226 58 36.970	
2	21 57 57.00	21 56 35.30	11 2 23.20	76 20 53.60	.0	- 67 42 51.626	226 58 37.849	
3	22 0 .00	22 2 7.00	22 3 18.50	87 19 34.55	.4	- 67 45 5.127	226 58 38.649	
4	22 5 33.30	22 4 9.00	33 4 19.45	98 18 41.82	.2	- 67 46 59.125	226 58 39.353	
5	22 8 9.00	22 9 26.00	45 0 47.55	110 13 33.98	.0	- 67 48 34.997	226 58 39.446	
6	22 12 47.00	22 11 41.80	56 2 20.60	121 13 57.90	-.2	- 67 49 40.254	226 58 42.340	
7	22 15 19.80	22 16 17.00	67 3 22.30	132 14 12.25	.0	- 67 50 29.085	226 58 40.838	
8	22 22 19.15	22 18 18.70	78 4 24.45	143 14 45.98	.0	- 67 51 .287	226 58 39.055	
9	22 24 16.00	22 23 9.50	90 0 50.28	155 10 56.58	.1	- 67 51 8.186	226 58 45.369	REJEITADA
10	22 27 19.50	22 26 18.00	101 2 17.78	166 12 36.48	.6	- 67 50 57.051	226 58 44.017	
11	22 29 25.20	22 30 29.00	112 3 22.70	177 14 10.98	.2	- 67 50 30.136	226 58 41.419	
12	22 34 8.00	22 32 46.00	123 4 26.38	188 15 40.25	.1	- 67 49 41.203	226 59 4.777	REJEITADA
13	22 37 17.00	22 38 29.50	135 0 58.62	200 14 7.10	.0	- 67 48 10.291	226 58 41.096	
14	22 43 7.00	22 41 42.50	146 2 25.98	211 17 43.10	.1	- 67 46 3.011	226 58 39.715	
15	22 49 19.50	22 48 15.20	157 3 20.02	222 14 15.02	.0	- 67 42 3.116	227 7 1.749	REJEITADA
16	22 55 1.00	22 51 59.02	168 4 25.88	233 16 30.90	.0	- 67 38 16.467	227 9 38.376	REJEITADA

AZIMUTE MEDIO DA SERIE = 226 58 39.813

IBGE
 DEPARTAMENTO DE GEODESIA (DEGED)
 DIVISAO DE PESQUISAS E ANALISES (DIPAN)

DETERMINACAO DE LATITUDE PELO METODO DE STERNECK (FK4)

SERIE NUMERO : 1

DATA : 19-20/ 8/1981

ESTACAO : VT - DESBARRANCADO

LOCALIDADE : ARAGUARI

ESTADO : MG

OBSERVADOR : M B P

ANOTADOR : J A S

INSTRUMENTO : T4 - 149 223

TEMPERATURA (C): 15.85

PRESSAO (mb): 940.2

ESTADO DO (INICIO): 2 59 58.500
 CRONOMETRO (FIM): 2 59 58.500

HORA SIDERAL (INICIO): 0 0 .000
 AS 0 TU (FIM): 0 0 .000

HORA (INICIO): 0 26 1.500
 CRONOMETRICA (FIM): 2 17 1.500

MARCHA: .000

ESTRELA	N OU S	CIRCULO VERTICAL	CORRECAO DA REFRACAO	DISTANCIA ZENITAL CORRIGIDA	DECLINACAO	LATITUDE	INSTANTE CRONOMETRICO	OBSERVACAO
840	N	10 39 35.60	9.905	10 39 45.505	- 7 52 26.679	-18 32 12.185	0 36 3.800	
1584	S	3 9 8.80	2.898	3 9 11.698	-21 41 22.363	-18 32 10.665	0 40 46.000	
1585	N	19 49 .90	18.964	19 49 19.864	1 17 5.035	-18 32 14.829	0 44 30.800	
845	S	20 40 53.10	19.866	20 41 12.966	-39 13 26.646	-18 32 13.681	0 47 44.800	
1591	N	7 45 49.40	7.175	7 45 56.575	-10 46 16.518	-18 32 13.093	0 49 50.000	
1592	S	13 53 58.50	13.023	13 54 11.523	-32 26 21.669	-18 32 10.146	0 50 37.500	
855	N	29 15 52.30	29.489	29 16 21.789	10 44 8.609	-18 32 13.180	1 0 40.600	
856	S	28 26 6.70	28.496	28 26 35.196	-46 58 47.426	-18 32 12.230	1 1 42.000	

SOMATORIO (N): 65.533
 SOMATORIO (S): 64.283
 DIFERENCA: 1.250

LATITUDE MEDIA (N): -18 32 13.822
 LATITUDE MEDIA (S): -18 32 11.680
 DIFERENCA: 0 0 1.641

LATITUDE MEDIA DA SERIE : -18 32 12.501

IBGE
 DEPARTAMENTO DE GEODESIA (DEGED)
 DIVISAO DE PESQUISAS E ANALISES (DIPAN)

DETERMINAÇÃO DE LATITUDE PELO METODO DE STERNECK (FK4)

SERIE NUMERO : 2

DATA : 19-20/ 8/1981

ESTACAO : VT - DESBARRANCADO

LOCALIDADE : ARAGUARI

ESTADO : MG

OBSERVADOR : M B P

ANOTADOR : J A S

INSTRUMENTO : T4 - 149 220

TEMPERATURA (C): 14.75

PRESSAO (mb): 940.2

ESTADO DO (INICIO): 2 59 58.500
 CRONOMETRO (FIM): 2 59 58.500

HORA SIDERAL (INICIO): 0 0 .000
 AS 0 TU (FIM): 0 0 .000

HORA (INICIO): 0 26 1.500
 CRONOMETRICA (FIM): 2 17 1.500

MARCHA: .000

ESTRELA	N OU S	CIRCULO VERTICAL	CORRECAO DA REFRACAO	DISTANCIA ZENITAL CORRIGIDA	DECLINACAO	LATITUDE	INSTANTE CRONOMETRICO	OBSERVACAO
1597	S	358 49 44.80	-1.080	1 10 16.280	-19 42 29.648	-18 32 13.369	1 6 40.000	
860	S	327 8 2.90	-34.130	32 52 31.230	-51 24 44.920	-18 32 13.690	1 7 33.500	
861	N	355 9 14.00	-4.479	4 50 50.479	-13 41 19.471	-18 32 9.950	1 8 43.700	
1599	S	339 17 20.70	-19.973	20 42 59.273	-39 15 11.323	-18 32 12.050	1 10 5.200	
864	N	349 8 34.40	-10.132	10 51 35.732	- 7 40 36.102	-18 32 11.834	1 11 45.600	
866	N	357 22 55.80	-2.415	2 37 6.615	-15 55 3.550	-18 32 10.165	1 13 46.600	
867	S	348 49 16.10	-10.440	11 10 54.340	-29 43 6.789	-18 32 12.450	1 16 43.000	
1602	N	337 44 50.90	-21.614	22 15 30.714	3 43 17.484	-18 32 13.231	1 23 1.100	
1603	N	332 9 38.40	-27.898	27 50 49.498	9 18 37.318	-18 32 12.180	1 26 8.900	
873	S	357 15 58.80	-2.522	2 44 3.722	-21 16 15.787	-18 32 12.064	1 28 30.800	

SOMATORIO (N): -66.538
 SOMATORIO (S): -68.144
 DIFERENCA: 1.606

LATITUDE MEDIA (N): -18 32 11.472
 LATITUDE MEDIA (S): -18 32 12.725
 DIFERENCA: 0 0 1.253

LATITUDE MEDIA DA SERIE : -18 32 12.098

IBGE
 DEPARTAMENTO DE GEODESIA (DEGED)
 DIVISAO DE PESQUISAS E ANALISES (DIPAN)

D E T E R M I N A C A O D E L A T I T U D E P E L O M E T O D O D E S T E R N E C K (FK4)

SERIE NUMERO : 3

DATA : 19-20/ 8/1981

ESTACAO : VT - DESBARRANCADO

LOCALIDADE : ARAGUARI

ESTADO : MG

OBSERVADOR : H B P

ANOTADOR : J A S

INSTRUMENTO : T4 - 149 223

TEMPERATURA (C): 14.40

PRESSAO (mb): 940.2

ESTADO DO (INICIO): 2 59 58.500
 CRONOMETRO (FIM): 2 59 58.500

HORA SIDERAL (INICIO): 0 0 .000
 AS 0 TU (FIM): 0 0 .000

HORA (INICIO): 0 26 1.500
 CRONOMETRICA (FIM): 2 17 1.500

MARCHA: .000

ESTRELA	N OU S	CIRCULO VERTICAL	CORRECAO DA REFRACAO	DISTANCIA ZENITAL CORRIGIDA	DECLINACAO	LATITUDE	INSTANTE CRONOMETRICO	OBSERVACAO
1608	N	9 20 51.00	8.706	9 20 59.706	- 9 11 13.461	-18 32 13.167	1 34 57.700	
878	N	21 42 47.20	21.062	21 43 8.262	3 10 56.056	-18 32 12.206	1 36 14.500	
1611	S	8 32 51.70	7.950	8 32 59.650	-27 5 10.189	-18 32 10.540	1 40 18.000	
883	S	34 16 33.00	36.047	34 17 9.047	-52 49 10.205	-18 32 9.238	1 45 35.600	
1614	N	24 48 29.80	24.448	24 48 54.248	6 16 41.473	-18 32 12.775	1 47 2.500	
885	N	31 11 12.80	32.015	31 11 44.815	12 39 32.861	-18 32 11.954	1 48 13.500	
886	S	19 22 46.00	18.601	19 22 54.601	-37 55 6.780	-18 32 12.187	1 51 58.500	
1617	S	24 10 20.20	23.739	24 10 43.939	-42 42 54.211	-18 32 10.272	1 54 4.700	
SOMATORIO (N): 86.231				LATITUDE MEDIA (N): -18 32 12.525				
SOMATORIO (S): 86.337				LATITUDE MEDIA (S): -18 32 10.559				
DIFERENCA: .106				DIFERENCA: 0 0 1.966				

LATITUDE MEDIA DA SERIE : -18 32 11.542

IBGE
 DEPARTAMENTO DE GEODESIA (DEGED)
 DIVISAO DE PESQUISAS E ANALISES (DIPAN)

DETERMINACAO DE LATITUDE PELO METODO DE STERNECK (FK4)

SERIE NUMERO : 4

DATA : 19-20/ 8/1981

ESTACAO : UT - DESBARRANCADO

LOCALIDADE : ARAGUARI

ESTADO : MG

OBSERVADOR : M B P

ANOTADOR : J A S

INSTRUMENTO : T4 - 149 223

TEMPERATURA (C): 14.60

PRESSAO (mb): 940.2

ESTADO DO (INICIO): 2 59 58.500
 CRONOMETRO (FIM): 2 59 58.500

HORA SIDERAL (INICIO): 0 0 .000
 AS 0 TU (FIM): 0 0 .000

HORA (INICIO): 0 26 1.500
 CRONOMETRICA (FIM): 2 17 1.500

MARCHA: .000

ESTRELA	N OU S	CIRCULO VERTICAL	CORRECAO DA REFRACAO	DISTANCIA ZENITAL CORRIGIDA	DECLINACAO	LATITUDE	INSTANTE CRONOMETRICO	OBSERVACAO
889	S	332 57 6.60	-26.986	27 3 20.386	-45 35 32.504	-18 32 12.117	1 56 50.000	
1618	S	346 22 4.10	-12.818	13 38 8.718	-32 10 23.562	-18 32 14.844	1 59 38.000	
1620	N	339 47 22.40	-19.457	20 12 57.057	1 40 45.622	-18 32 11.476	2 1 4.500	
1623	N	344 19 50.90	-14.826	15 40 23.926	- 2 51 47.482	-18 32 11.408	2 6 56.800	
896	S	350 18 32.90	-9.026	9 41 36.126	-28 13 49.420	-18 32 13.294	2 7 54.800	
897	N	351 32 29.10	-7.860	8 27 38.760	-10 4 33.285	-18 32 12.045	2 9 14.500	
1625	N	330 37 37.30	-29.749	29 22 52.449	10 50 42.122	-18 32 10.327	2 11 37.000	
1626	S	338 8 31.20	-21.202	21 51 50.002	-40 24 2.518	-18 32 12.516	2 13 36.000	
SOMATORIO (N): -71.892				LATITUDE MEDIA (N): -18 32 11.304				
SOMATORIO (S): -70.032				LATITUDE MEDIA (S): -18 32 13.193				
DIFERENCA: 1.860				DIFERENCA: 0 0 1.889				

LATITUDE MEDIA DA SERIE : -18 32 12.248

IBGE
 DEPARTAMENTO DE GEODESIA (DEGED)
 DIVISAO DE PESQUISAS E ANALISES (DIPAN)

DETERMINAÇÃO DE LATITUDE PELO METODO DE STERNFCK (FK4)

SERIE NUMERO : 5

DATA : 21-22/ 8/1981

ESTACAO : VT - DESBARRANCADO

LOCALIDADE : ARAGUARI

ESTADO : MG

OBSERVADOR : M B P

ANOTADOR : J A S

INSTRUMENTO : T4 - 149 223

TEMPERATURA (C): 18.55

PRESSAO (mb): 940.0

ESTADO DO (INICIO): 2 59 58.500
 CRONOMETRO (FIM): 2 59 58.500

HORA SIDERAL (INICIO): 0 0 .000
 AS 0 TU (FIM): 0 0 .000

HORA (INICIO): 19 13 1.500
 CRONOMETRICA (FIM): 22 57 1.500

MARCHA: .000

ESTRELA	N OU S	CIRCULO VERTICAL	CORRECAO DA REFRACAO	DISTANCIA ZENITAL CORRIGIDA	DECLINACAO	LATITUDE	INSTANTE CRONOMETRICO	OBSERVACAO
1447	S	7 57 1.60	7.280	7 57 8.880	-26 29 17.571	-18 32 8.691	19 18 55.000	
1450	N	8 2 13.10	7.360	8 2 20.460	-10 29 52.135	-18 32 12.595	19 21 56.400	
638	S	24 40 26.00	23.947	24 40 49.947	-43 12 59.952	-18 32 10.005	19 23 59.400	
1453	N	19 45 55.70	18.731	19 46 14.431	1 14 1.102	-18 32 13.330	19 28 44.400	
644	S	6 26 7.70	5.880	6 26 13.580	-24 58 52.141	-18 32 38.562	19 34 .800	REJEITADA
1459	N	22 41 25.80	21.795	22 41 47.595	4 9 32.680	-18 32 14.914	19 38 43.000	
649	S	18 44 29.80	17.686	18 44 47.486	-37 16 56.551	-18 32 9.065	19 42 37.200	
1461	N	7 18 25.50	6.684	7 18 32.184	-11 13 41.490	-18 32 13.674	19 46 50.300	
		SOMATORIO (N):	54.571	LATITUDE MEDIA (N):		-18 32 13.628		
		SOMATORIO (S):	48.913	LATITUDE MEDIA (S):		-18 32 16.581		
		DIFERENCA:	5.658	DIFERENCA:		0 0 2.952		

LATITUDE MEDIA DA SERIE : -18 32 15.105

S E R I E R E J E I T A D A

APÊNDICE D

SUBROTINAS BARVEL E BARCOR


```

C *****
C SUBROUTINE BARV(DJE,DV,DCB,DCH)
C
C IBM-VERSION
C
C *****
C TEST PROGRAM FOR SUBROUTINES BARVEL AND BARCOR. BARYCENTRIC VELOCITY
C COMPONENTS AND COORDINATES ARE GENERATED IN 10-DAY INTERVALS BETWEEN
C JED 2431500.5 AND JED 2451500.5. THESE DATA ARE CONVERTED TO INTERSERS
C (UNITS =10 CM/S AND 0.00001 A.U., RESPECTIVELY), AND ADDED UP OVER THE
C ENTIRE TIME INTERVAL. THE VELOCITY COMPONENTS ARE PRINTED IN 500-DAY
C INTERVALS. THE INTEGER-SUMS ARE GIVEN AT THE END OF THE TABLE.
C *****
C
C IMPLICIT REAL*8 (D)
C DIMENSION DVELH(3),DVELB(3),DCORH(3),DCORB(3),DCB(3),DCH(3),
C *DV(3),DE(3,3)
C DATA DEQ/1950.0D0/
C DATA DE/0.99996791774783,0.0111815116959975,0.0048590037714450
C * -0.0111815116768724,0.9999374845751042,-0.0000271704492210,
C * -0.0048590038154553,-0.0000271625775175,0.9999881946023742/
C DV(1)=0.D0
C DV(2)=0.D0
C DV(3)=0.D0
C DCB(1)=0.D0
C DCB(2)=0.D0
C DCB(3)=0.D0
C DCH(1)=0.D0
C DCH(2)=0.D0
C DCH(3)=0.D0
C 10 CALL BARVEL(DJE,DEQ,DVELH,DVELB)
C CALL BARCOR(DCORH,DCORB)
C DO 100 I=1,3
C DO 100 J=1,3
C DV(I)=DV(I)+DE(I,J)*DVELB(J)
C 100 CONTINUE
C DO 150 I=1,3
C DV(I)=DV(I)*86400.D0
C 150 CONTINUE
C DO 200 I=1,3
C DO 200 J=1,3
C DCB(I)=DCB(I)+DE(I,J)*DCORB(J)
C 200 CONTINUE
C DO 250 I=1,3
C DO 250 J=1,3
C DCH(I)=DCH(I)+DE(I,J)*DCORH(J)
C 250 CONTINUE
C RETURN
C END
C
C *****
C SUBROUTINE BARVEL(DJE,DEQ,DVELH,DVELB)
C
C VERSION IBM (P. STUMPF,1979 JULY 15)

```

```

C
C *****
C
C CALCULATION OF THE HELIOCENTRIC AND BARYCENTRIC VELOCITY COMPONENTS
C OF THE EARTH. THE LARGEST DEVIATIONS FROM THE JPL-DE96 ARE 42 CM/S
C FOR BOTH HELIOCENTRIC AND BARYCENTRIC VELOCITY COMPONENTS.
C

```

```

C GIVEN DJE      = JULIAN EPHEMERIDES DATE
C DE0           = EPOCH OF MEAN EQUATOR AND EQUINOX OF DVELH
C               AND DVELB. IF DE0=0, BOTH VECTORS ARE REFERRED TO
C               MEAN EQUATOR AND MEAN EQUINOX OF DJE.
C

```

```

C RESULT DVELH(K)=HELIOCENTRIC,DVELB=BARYCENTRIC VELOCITY
C COMPONENTS. (K=1,2,3---DX/DT,DY/DT,DZ/DT. UNIT=A.U./S
C

```

```

C THE COMMON /BARXYZ/ CONTAINS THOSE INTERMEDIATE RESULTS OF
C BARVEL WHICH CAN BE USED TO COMPUTE THE HELIOCENTRIC AND
C BARYCENTRIC COORDINATES (SUBROUTINE BARCOR).
C

```

```

C *****
C

```

```

C IMPLICIT REAL*8 (D)
C DIMENSION DVELH(3),DVELB(3),SN(4)
C DIMENSION DCFEL(3,8),DCEPS(3),CCSEL(3,17),DCARG(2,15),
C * CCAMPS(5,15),CCSEC(3,4),DCARGM(2,3),CCAMPM(4,3),CCPAMU(4)
C COMMON/BARXYZ/DPREMA(3,3),DPSI,D1PDRO,DSINLS,DCOSLS,DSINEP,DCOSEP,
C * FORBEL(7),SORBEL(17),SINLP(4),COSLP(4),SINLM,COSLM,SIGMA,IDE0
C

```

```

C EQUIVALENCE (SORBEL(1),E),(FORBEL(1),G)
C

```

```

C DATA DC2PI/6.2831853071796D0/,CC2PI/6.283185/,
C * DC1/1.0D0/,DCT0/2415020.0D0/,DCJUL/36525.0D0/,DCBES/0.313D0/,
C * DCTROP/365.24219572D0/,DC1900/1900.0D0/
C

```

```

C CONSTANTS DCFEL(I,K) OF FAST CHANGING ELEMENTS
C

```

```

C           I=1           I=2           I=3
C DATA DCFEL/1.7400353D+00, 6.2833195099091D+02, 5.2796D-06,
C * 6.2565636D+00, 6.2830194572674D+02, -2.6180D-06,
C * 4.7199666D+00, 5.3997091449254D+03, -1.9780D-05,
C * 1.1117589E+01, 5.7354462961720D+03, -5.6044D-05,
C * 1.1117589E+01, 5.7354462961720D+03, -5.6044D-05,
C * 4.6524223D+00, 7.1584879E+12, 5.6097D-06,
C * 4.2620466D+00, 7.1625842197656D+00, 5.5817D-06,
C * 1.4740694D+00, 3.8377331909193D+00, 5.6093D-06/
C

```

```

C CONSTANTS DCEPS AND CCSEL(I,K) OF SLOWLY CHANGING ELEMENTS
C

```

```

C           I=1           I=2           I=3
C DATA DCEPS/ 4.093198D-01, -2.271110D-04, -2.860401D-08/
C DATA CCSEL/ 1.675104E-02, -4.179579E-05, -1.260516E-07,
C * 2.220221E-01, 2.809917E-02, 1.857582E-05,
C * 1.589963E+00, 3.418075E-02, 1.430200E-05,
C * 2.994089E+00, 2.590824E-02, 4.155840E-06,
C * 8.155457E-01, 2.486352E-02, 6.836840E-06,
C * 1.735614E+00, 1.763719E-02, 6.370440E-06,
C

```

```

*      1.968564E+00, 1.524020E-02, -2.517152E-06,
*      1.282417E+00, 8.703393E-03, 2.289292E-05,
*      2.260820E+00, 1.918010E-02, 4.484520E-06,
*      4.833473E-02, 1.641773E-04, -4.654200E-07,
*      5.589232E-02, -3.455092E-04, -7.388560E-07,
*      4.634443E-02, -2.658234E-05, 7.757000E-08,
*      8.997041E-03, 6.329728E-06, -1.939256E-09,
*      2.284178E-02, -9.941590E-05, 6.787400E-08,
*      4.350267E-02, -6.839749E-05, -2.714956E-07,
*      1.348204E-02, 1.091504E-05, 6.903760E-07,
*      3.106570E-02, -1.665665E-04, -1.590188E-07/

```

C
C
C
C

CONSTANTS OF THE ARGUMENTS OF THE SHORT-PERIOD PERTURBATIONS
BY THE PLANETS: DCARGS(I,K)

```

          I=1                      I=2
DATA DCARGS/5.0974222D+00,-7.8604195454652D+02,
*      3.9584962D+00,-5.7533848094674D+02,
*      1.6338070D+00,-1.1506769618935D+03,
*      2.5487111D+00,-3.9302097727326D+02,
*      4.9255514D+00,-5.8849265665348D+02,
*      1.3363463D+00,-5.5076098609303D+02,
*      1.6072053D+00,-5.2237501616674D+02,
*      1.3629480D+00,-1.1790629318198D+03,
*      5.5657014D+00,-1.0977134971135D+03,
*      5.0708205D+00,-1.5774000881978D+02,
*      3.9318944D+00, 5.2963464780000D+01,
*      4.8989497D+00, 3.9809289073258D+01,
*      1.3097446D+00, 7.7540959633708D+01,
*      3.5147141D+00, 7.9618578146517D+01,
*      3.5413158D+00,-5.4868336758022D+02/

```

C
C
C

AMPLITUDES CCAMPS(N,K) OF THE SHORT-PERIOD PERTURBATIONS

```

          N=1          N=2          N=3          N=4          N=5
DATA CCAMPS/
* -2.279594E-5, 1.407414E-5, 8.273188E-6, 1.340565E-5, -2.490817E-7,
* -3.494537E-5, 2.860401E-7, 1.289448E-7, 1.627237E-5, -1.823138E-7,
* 6.593466E-7, 1.322572E-5, 9.258695E-6, -4.674248E-7, -3.646275E-7,
* 1.140767E-5, -2.049792E-5, -4.747930E-6, -2.638763E-6, -1.245408E-7,
* 9.516893E-6, -2.748894E-6, -1.319381E-6, -4.549908E-6, -1.864821E-7,
* 7.310990E-6, -1.924710E-6, -8.772849E-7, -3.334143E-6, -1.745256E-7,
* -2.603449E-6, 7.359472E-6, 3.168357E-6, 1.119056E-6, -1.655307E-7,
* -3.228859E-6, 1.308997E-7, 1.013137E-7, 2.403899E-6, -3.736225E-7,
* 3.442177E-7, 2.671323E-6, 1.832858E-6, -2.394688E-7, -3.478444E-7,
* 8.702406E-6, -8.421214E-6, -1.372341E-6, -1.455234E-6, -4.998479E-6,
* -1.488378E-6, -1.251789E-5, 5.226868E-7, -2.049301E-7, 0.00E0,
* -8.048059E-6, -2.991300E-6, 1.473654E-7, -3.154542E-7, 0.00E0,
* 3.699128E-6, -3.316126E-6, 2.901257E-7, 3.407826E-7, 0.00E0,
* 2.550120E-6, -1.241123E-6, 9.901116E-8, 2.210482E-7, 0.00E0,
* -6.351059E-7, 2.341650E-6, 1.061492E-6, 2.878231E-7, 0.00E0/

```

C
C
C
C
C

CONSTANTS OF THE SECULAR PERTURBATIONS IN LONGITUDE
CCSECS AND CCSEC(N,K)

```

          N=1          N=2          N=3
DATA CCSECS/-7.757020E-8/
DATA CCSEC/ 1.289600E-06, 5.550147E-04, 2.076942E+00,

```

```

*          3.102810E-05, 4.035027E+00, 3.525565E-01,
*          9.124190E-06, 9.990765E-01, 2.622706E+00,
*          9.793240E-07, 5.508259E+00, 1.559103E+01/
C
C SIDERAL RATE DCSLD IN LONGITUDE, RATE CCSGD IN MEAN ANOMALY
  DATA DCSLD/ 1.990987D-07/, CCSGD/ 1.990969E-07/
C
C SOME CONSTANTS USED IN THE CALCULATION OF THE LUNAR CONTRIBUTION
  DATA CCKM/ 3.122140E-05/, CCMLD/ 2.661699E-06/, CCFDI/ 2.399485E-07/
C
C CONSTANTS DCARGM(I,K) OF THE ARGUMENTS OF THE PERTURBATIONS
C OF THE MOTION OF THE MOON
C          I=1          I=2
  DATA DCARGM/5.1679830D+00, 8.3286911095275D+03,
*          5.4913150D+00, -7.2140632838100D+03,
*          5.9598530D+00, 1.5542754389685D+04/
C
C AMPLITUDES CCAMP(N,K) OF THE PERTURBATIONS OF THE MOON
C          N=1          N=2          N=3          N=4
  DATA CCAMP/
*  1.097594E-01, 2.896773E-07, 5.450474E-02, 1.438491E-07,
* -2.223581E-02, 5.083103E-08, 1.002548E-02, -2.291823E-08,
*  1.148966E-02, 5.658888E-08, 6.249439E-03, 4.063015E-08/
C
C CCPAMV(K)=A*M*DL/DT (PLANETS), DC1MME=1-MASS(EARTH+MOON)
  DATA CCPAMV/8.326827E-11, 1.843464E-11, 1.988712E-12, 1.881276E-12/,
*  DC1MME/0.99999696D0/
C
C EXECUTION
C
C CONTROL-PARAMETER IDEQ, AND TIME-ARGUMENTS
  IDEQ=DEG
  DT=(DJE-DCT0)/DCJUL
  T=DT
  DTSQ=DT*DT
  TSSQ=DTSQ
C
C VALUES OF ALL ELEMENTS FOR THE INSTANT DJE
  DO 100 K=1,8
  DLOCAL=DMOD(DCFEL(1,K)+DT*DCFEL(2,K)+DTSQ*DCFEL(3,K),DC2PI)
  IF(K.EQ.1) DML=DLOCAL
  IF(K.NE.1) FORBEL(K-1)=DLOCAL
100 CONTINUE
  DEPS=DMOD(DCEPS(1)+DT*DCEPS(2)+DTSQ*DCEPS(3),DC2PI)
  DO 200 K=1,17
  SORBEL(K)=AMOD(COSEL(1,K)+T*COSEL(2,K)+TSSQ*COSEL(3,K),DC2PI)
200 CONTINUE
C
C SECULAR PERTURBATIONS IN LONGITUDE
  DO 300 K=1,4
  A=AMOD(COSEC(2,K)+T*COSEC(3,K),DC2PI)
  SN(K)=SIN(A)
300 CONTINUE
C
C PERIODIC PERTURBATIONS OF THE EMB(EARTH-MOON BARYCENTER )

```

```

PERTL = CCSEC(1,1)*SN(1)+CCSEC(1,2)*SN(2)
*      + (CCSEC(1,3)+1*CCSEC(3))*SN(3)+CCSEC(1,4)*SN(4)
PERTLD=0.0
PERTR=0.0
PERTRD=0.0
DO 400 K=1,15
A=DMOD(DCARGS(1,K)+DT*DCARGS(2,K),DC2PI)
COSA=COS(A)
SINA=SIN(A)
PERTL=PERTL + CCAMPS(1,K)*COSA+CCAMPS(2,K)*SINA
PERTR=PERTR + CCAMPS(3,K)*COSA+CCAMPS(4,K)*SINA
IF(K.GE.11) GO TO 400
PERTLD=PERTLD+(CCAMPS(2,K)*COSA-CCAMPS(1,K)*SINA)*CCAMPS(5,K)
PERTRD=PERTRD+(CCAMPS(4,K)*COSA-CCAMPS(3,K)*SINA)*CCAMPS(5,K)
400 CONTINUE
C
C ELLIPTIC PART OF THE MOTION OF THE EMB
ESQ=E*E
DPARAM=DC1-ESQ
PARAM=DPARAM
TWOE=E+E
TWOG=G+G
PHI=TWOE*((1.0-ESQ*0.125)*SIN(G)+E*0.625*SIN(TWOG)
*      +ESQ*0.5416667*SIN(G+TWOG))
F=G+PHI
SINF=SIN(F)
COSF=COS(F)
DPSI=DPARAM/(DC1+E*COSF)
PHID=TWOE*CCSGD*((1.0+ESQ*1.5)*COSF+E*(1.25-SINF*SINF*0.5))
PSID=CCSGD*E*SINF/SQRT(PARAM)
C
C PERTURBED HELIOCENTRIC MOTION OF THE EMB.
D1PDRO=(DC1+PERTR)
DRD=D1PDRO*(PSID+DPSI*PERTRD)
DRLD=D1PDRO*DPSI*(DCSLD+PHID+PERTLD)
DTL=DMOD(DML+PHI+PERTL, DC2PI)
DSINLS=DSIN(DTL)
DCOSLS=DCOS(DTL)
DXHD =DRD*DCOSLS-DRLD*DSINLS
DYHD =DRD*DSINLS+DRLD*DCOSLS
C
C INFLUENCE OF EXECCENTRICITY , EJECTION AND VARIATION ON THE
C GEOCENTRIC MOTION OF THE MOON
PERTL=0.0
PERTLD=0.0
PERTP=0.0
PERTPD=0.0
DO 500 K=1,3
A=DMOD(DCARGM(1,K)+DT*DCARGM(2,K), DC2PI)
SINA=SIN(A)
COSA=COS(A)
PERTL=PERTL +CCAMPM(1,K)*COSA
PERTLD=PERTLD +CCAMPM(2,K)*COSA
PERTP=PERTP + CCAMPM(3,K)*COSA
PERTPD=PERTPD -CCAMPM(4,K)*SINA

```

```

500 CONTINUE
C
C HELIOCENTRIC MOTION OF THE EARTH
  TL=FORBEL(2)+PERTL
  SINLM=SIN(TL)
  COSLM=COS(TL)
  SIGMA=CCKM/(1.0+PERTP)
  A=SIGMA*(CCMLD+PERTLD)
  B=SIGMA*PERTPD
  DXHD=DXHD+A*SINLM+B*COSLM
  DYHD=DYHD-A*COSLM+B*SINLM
  DZHD=-SIGMA*CCFDI*COS(FORBEL(3))
C
C BARICENTRIC MOTION OF THE EARTH
  DXBD=DXHD*DC1MME
  DYBD=DYHD*DC1MME
  DZBD=DZHD*DC1MME
  DO 600 K = 1,4
  PLON = FORBEL(K+3)
  POMG = SORBEL(K+1)
  PECC = SORBEL(K+9)
  TL = AMOD(PLON+2.0*PECC*SIN(PLON-POMG),CC2PI)
  SINLP(K)=SIN(TL)
  COSLP(K) = COS(TL)
  DXBD =DXBD+CCPAMV(K)*(SINLP(K)+PECC*SIN(POMG))
  DYBD = DYBD-CCPAMV(K)*(COSLP(K)+PECC*COS(POMG))
  DZBD=DZBD-CCPAMV(K)*SORBEL(K+13)*COS(PLON-SORBEL(K+5))
600 CONTINUE
C
C TRANSITION TO MEAN EQUATOR OF DATE
  DCOSEP=DCOS(DEPS)
  DSINEP=DSIN(DEPS)
  DYAND=DCOSEP*DYHD-DSINEP*DZHD
  DZAND=DSINEP*DYHD+DCOSEP*DZHD
  DYABD=DCOSEP*DYBD-DSINEP*DZBD
  DZABD=DSINEP*DYBD+DCOSEP*DZBD
C
  IF(IDE(LNE,0) GO TO 700
  DVELH(1)=DXHD
  DVELH(2)=DYAND
  DVELH(3)=DZAND
  DVELB(1)=DXSD
  DVELB(2)=DYABD
  DVELB(3)=DZABD
  RETURN
C
C GENERAL PRECESSION FROM EPOCH DUE TO DE0
700 DEQDAT=(DJE-DCT0-DCBES)/DCTROP+DC1900
  CALL PRE(DEQDAT,DE0,DPREMA)
  DO 710 N = 1, 3
  DVELH(N)=DXHD*DPREMA(N,1)+DYAND*DPREMA(N,2)+DZAND*DPREMA(N,3)
  DVELB(N)=DXBD*DPREMA(N,1)+DYABD*DPREMA(N,2)+DZABD*DPREMA(N,3)
710 CONTINUE
  RETURN
  END

```

```

C*****
C SUBROUTINE BARCOR(DCORH,DCORB)
C
C *****
C
C CALCULATION OF THE HELIOCENTRIC AND BARYCENTRIC COORDINATES OF THE
C EARTH, THE LARGEST DEVIATIONS FROM THE JPL-DE96 ARE 0.000013 A.U.
C FOR THE HELIOCENTRIC, AND 0.000046 A.U. FOR THE BARYCENTRIC
C COORDINATES.
C
C GIVEN THE DATA IN THE COMMON/BARXYZ/. THEY MUST BE GENERATED
C BY CALLING SUBROUTINE BARVEL IMMEDIATELY BEFORE THIS
C CALL OF SUBROUTINE BARCOR.
C
C RESULT DCORH(K)=HELIOCENTRIC, DCORB(K)=BARYCENTRIC COORDINATES.
C MEAN EQUATOR AND MEAN EQUINOX AS IN BARVEL.
C (K=1,2,3---X,Y,Z;UNIT=A.U.)
C *****
C
C IMPLICIT REAL*8 (D)
C DIMENSION DCORH(3),DCORB(3),CCPAM(4)
C COMMON/BARXYZ/DPREMA(3,3),DPSI,D1PDR0,DSINLS,DCOSLS,DSINEP,DCOSEP,
C * FORBEL(7),SORBEL(17),SINLP(4),COSLP(4),SINLM,COSLM,SIGMA,IDEQ
C
C CCPAM(K)=A*M(PLANETS),CCIM=INCLINATION(MOON),DC1MME=1-MASS(EMB)
C DATA CCPAM/4.960906E-3,2.727436E-3,8.392311E-4,1.556861E-3/,
C * CCIM /8.978749E-2/, DC1MME/0.99999696D0/
C
C HELIOCENTRIC COORDINATES OF THE EARTH(BARVEL197-232)
C DR=DPSI*D1PDR0
C FLATM = CCIM*SIN(FORBEL(3))
C A=SIGMA*COS(FLATM)
C DXH=DR*DCOSLS-A*COSLM
C DYH=DR*DSINLS-A*SINLM
C DZH=-SIGMA*SIN(FLATM)
C
C
C BARYCENTRIC COORDINATES OF THE EARTH(BARVEL234-248)
C DXB=DXH*DC1MME
C DYB=DYH*DC1MME
C DZB=DZH*DC1MME
C DO 10 K = 1 , 4
C FLAT = SORBEL(K+13)*SIN(FORBEL(K+3)-SORBEL(K+5))
C A = CCPAM(K)*(1.0-SORBEL(K+9)*COS(FORBEL(K+3)-SORBEL(K+11)))
C B = A*COS(FLAT)
C DXB=DXH-B*COSLP(K)
C DYB=DYH-B*SINLP(K)
C DZB=DZH-A*SIN(FLAT)
C 10 CONTINUE
C
C TRANSITION TO MEAN EQUATOR OF DATE (BARVEL250-256)
C DYAH=DCOSEP*DYH-DSINEP*DZH
C DZAH=DSINEP*DYH+DCOSEP*DZH
C DYAB= DCOSEP*DYB-DSINEP*DZB
C DZAB= DSINEP*DYB+DCOSEP*DZB
C
C IF (IDEQ.NE.0) GO TO 20

```

```

DCORH(1)=DXH
DCORH(2)=DYAH
DCORH(3)=DZAH
DCORB(1)=DXB
DCORB(2)=DYAB
DCORB(3)=DZAB
RETURN

```

```

C
C   GENERAL PRECESSION FROM EPOCH TO DEQ (BARVEL267-275)
20 DO 30 N = 1, 3
   DCORH(N)=DXH*DPREMA(N,1)+DYAH*DPREMA(N,2)+DZAH*DPREMA(N,3)
   DCORB(N)=DXB*DPREMA(N,1)+DYAB*DPREMA(N,2)+DZAB*DPREMA(N,3)
30 CONTINUE
RETURN
END

```

```

C*****
C   SUBROUTINE PRE(DEQ1,DEQ2,DPREMA)

```

```

C*****

```

```

C
C   CALCULATION OF THE MATRIX OF GENERAL PRECESSION FROM DEQ1 TO DEQ2.
C   THE PRECESSION ANGLES (DZETA,DZETT,DTHET) ARE COMPUTED FROM THE
C   CONTANSTS (DC1-DC9) CORRESPONDING TO THE DEFINITIONS IN THE
C   EXPLANATORY SUPPLEMENT TO THE ASTRONOMICAL EPHEMERIS (1961,P.30F).

```

```

C*****
C

```

```

IMPLICIT REAL*8 (D)
DIMENSION DPREMA(3,3)
DATA DCSAR/4.848136812D-6/,DC1900/1900.D0/,DC1M2/0.01D0/,
* DC1/2304.25D0/,DC2/1.396D0/,DC3/0.302D0/,DC4/0.018D0/,
* DC5/0.791D0/,DC6/2004.683D0/,DC7/-0.853D0/,DC8/-0.426D0/,
* DC9/-0.042D0/
DT0=(DEQ1-DC1900)*DC1M2
DT=(DEQ2-DEQ1)*DC1M2
DTS=DT*DT
DTC=DTS*DT
DZETA=((DC1+DC2*DT0)*DT+DC3*DTS+DC4*DTC)*DCSAR
DZETT=DZETA+DC5*DTS*DCSAR
DTHET=((DC6+DC7*DT0)*DT+DC8*DTS+DC9*DTC)*DCSAR
DSZETA=DSIN(DZETA)
DCZETA=DCOS(DZETA)
DSZETT=DSIN(DZETT)
DCZETT=DCOS(DZETT)
DSTHET=DSIN(DTHET)
DCTHET=DCOS(DTHET)
DA=DSZETA*DSZETT
DB=DCZETA*DSZETT
DC=DSZETA*DCZETT
DD=DCZETA*DCZETT
DPREMA(1,1)=DD*DCTHET-DA
DPREMA(1,2)=-DC*DCTHET-DB
DPREMA(1,3)=-DSTHET*DCZETT
DPREMA(2,1)=DB*DCTHET+DC
DPREMA(2,2)=-DA*DCTHET+DD

```



```
DPREMA(2,3)=-DSTHET*DSZETT
DPREMA(3,1)=DCZETA*DSTHET
DPREMA(3,2)=-DSZETA*DSTHET
DPREMA(3,3)=DCTHET
RETURN
END
```

[*****]

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

01. AOKI, S. SÔMA, M. KINOSHITA, H. INOUE, K. Conversion Matrix of Epoch B1950.0 FK4-based Positions of Stars to Epoch J2000.0 Positions in Accordance with the New IAU Resolutions. *Astronomy and Astrophysics*, 1983. nº 128, p.263-267.
02. AOKI, S. GUINOT, B. KAPLAN, G. H. KINOSHITA, H. MCCARTHY, D. D. SEIDELMANN, P. K. The New Definition of Universal Time. *Astronomy and Astrophysics*, 1982. nº 105, p.359-361.
03. FRICKE, W. Determination of the Equinox and Equator of the FK5. *Astronomy and Astrophysics*, 1982. nº 107, p.L13-L16.
04. GREEN, R. M. *Spherical Astronomy*. Cambridge, Cambridge University Press, 1985. p.49-58, 225-230, 249-251.
05. GUTERRES, I. G. *Astronomia de Posição*. Rio de Janeiro, Instituto Militar de Engenharia, 1984.
06. HATSCHBACH, F. *Tempo em Astronomia*. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 1979.
07. LIESKE, J. H. Precession Matrix Based on IAU (1976), System of Astronomical Constants. *Astronomy and Astrophysics*, 1979. nº 73, p.282-284.
08. RODRIGUEZ, L. V. *Coordenadas Astronômicas nos Pontos de LaLace*. Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro de Geografia e

Estatística, 1951.

09. SEIDELMANN, P. K. 1980 IAU Theory of Nutation: The Final Report of the IAU Working Group on Nutation. *Celestial Mechanics*. nº 27,79 p.

10. SILVA, M. V. D. Projeto de Reajustamento da Rede Geodésica Planimétrica Nacional. Brasília, IBGE, 1985.

11. SILVA, M. V. D. A Experiência do Brasil em Ajustamentos de Redes Geodésicas Planimétricas de Grandes Dimensões. Rio de Janeiro, IBGE, 1986.

12. STANDISH, E. M. Orientation of the JPL Ephemerides, DE200/LE200, to the Dynamical Equinox of J2000.0. *Astronomy and Astrophysics*, 1982. nº 114, p.297-302.

13. STUMPF, P. Two Self-consistent FORTRAN Subroutines for the Computation of the Earth's Motion. *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 1980. nº 41, p.1-8.

14. The Astronomical Almanac (1984). Washington, U. S. Government Printing Office, 1984.

15. TM 5-442, DMA, 1968.