



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ASTRONOMIA

UFRJ  
BIBLIOTECA  
OBSERVATÓRIO DO VALONGO

## CO-LOCALIZAÇÃO DE SATÉLITES

*Walkíria Schulz*

**Orientador : Evandro Paiva de Andrade**

**Projeto Final do Curso de Graduação em Astronomia  
Dezembro de 1994**

# CO-LOCALIZAÇÃO DE SATÉLITES

UFPR  
BIBLIOTECA  
OBSERVATÓRIO DO VALMOR

Aos meus pais

## O TAMANHO DA GENTE

O homem acha o Cosmos infinitamente grande

E o micróbio infinitamente pequeno.

E ele, naturalmente,

Julga-se do tamanho natural ...

Mas, para Deus é diferente:

Cada ser, para Ele, é um universo próprio.

E, a Seus olhos, o bacilo de Koch,

A estrela Sírius e o Prefeito de Três Vassouras

São todos infinitamente do mesmo tamanho ...

*Mario Quintana*

## Agradecimentos

Agradeço ao meu orientador Evandro Paiva de Andrade por toda confiança depositada, apoio durante a execução do trabalho e pela sua amizade. Também agradeço a todos colegas e amigos da EMBRATEL por todo tipo de ajuda que me foi prestada e pelos momentos divertidos e agradáveis que me proporcionaram.

Gostaria de agradecer ao Presidente da EMBRATEL Sr. Renato Archer pelo incentivo dado ao trabalho através da reimplantação do Programa de Estágio na Cia.

A prof. Sueli quero agradecer sinceramente por suas aulas motivadoras, pela preocupação e pela paciência.

Elaine obrigada pelos desenhos.

Muito obrigada aos meus pais, parentes e amigos, com os quais criei uma dívida durante a realização deste trabalho que será difícil de pagar.

Elton John, Bruce Dickinson e Tchaikowsky obrigada pelos momentos de inspiração.

Walkíria

## CO-LOCATION OF GEOSTATIONARY SATELLITES

Co-location is the maintenance of more than one satellite in the same tolerance window. The objective of a co-location strategy is to avoid collisions and interferences by maintaining a minimum distance between the satellite and its neighbour(s).

This work intends to explain the co-location strategies, and has the operational objective of making the co-location of two BRASILSATs feasible, suppressing more sophisticated mathematical deductions.

This work's motivation was given by the need of a best way of two BRASILSATs co-location study due to the eminent first generation end of life.

The co-location strategies discussed here are :

1. Uncoordinated strategy : where independent stationkeeping is performed for each satellite;
2. Mean longitude separation : where satellites at different mean longitudes are maintained with a near constant separation over the stationkeeping cycle;
3. Eccentricity vector separation : with all elements equal, apart from the eccentricity vector. One satellite will move around another in an elliptical path in the orbit plane, with minimum separation proportional to the magnitude of the relative eccentricity vector;
4. Inclination separation : with all elements equal, apart from the inclination vector. The separation between two satellites varies periodically perpendicular to the orbit plane;
5. Combined eccentricity and inclination vector separation : by suitable phasing of the relative or proper inclination and eccentricity vectors, a separation is guaranteed at the intersection of the orbit planes.

The transition between the BRASILSATs requires a co-location strategy that depends

on the time they will be together, the maximum allowable separation between them in order to be covered by the same antenna beam and the minimum separation to avoid collision or interferences.

## CO-LOCALIZAÇÃO DE SATÉLITES GEOESTACIONÁRIOS

Co-localização é a manutenção de mais de um satélite na mesma janela de tolerância. O objetivo de uma estratégia de co-localização é evitar colisões e interferências, mantendo uma distância mínima entre o satélite e o(s) seu(s) vizinho(s).

Este trabalho tem o objetivo didático de explicar as estratégias de co-localização e o objetivo operacional de viabilizar a co-localização de dois BRASILSATs, omitindo, assim, deduções matemáticas mais sofisticadas.

A motivação para este trabalho foi dada pela necessidade de se estudar a melhor forma de co-localizar dois BRASILSATs devido ao eminente fim do tempo de vida dos satélites da primeira geração.

As estratégias de co-localização discutidas aqui são :

1. Estratégia não sincronizada : onde manobras para manutenção dos satélites em seus locais orbitais são executadas independentemente;
2. Separação longitudinal : onde os satélites são mantidos em diferentes longitudes médias com alguma separação nominal constante durante o ciclo de manobras;
3. Separação entre os vetores excentricidade : todos os elementos orbitais são iguais, a menos do vetor excentricidade. Um satélite irá se mover em torno do outro em uma trajetória elíptica no plano orbital, com uma separação mínima proporcional à magnitude do vetor excentricidade relativo;
4. Separação entre os vetores inclinação : todos os elementos orbitais são iguais, a menos do vetor inclinação. A separação entre dois satélites varia periodicamente e é perpendicular ao plano orbital;
5. Combinação entre a separação entre vetores excentricidade e inclinação : através do controle dos vetores excentricidade e inclinação relativos ou próprios pode-se garantir

uma separação em raio substancial na interseção dos planos orbitais.

A transição entre os BRASILSATS requer uma estratégia de co-localização que depende do tempo em que os satélites permanecerão co-localizados, da máxima separação possível entre eles de forma que ambos sejam atingidos pelo feixe da mesma antena e da separação mínima para evitar colisão ou interferências.

## INDICE

### Capítulo I - Introdução

|  |   |
|--|---|
| 1. Breve Histórico .....   | 1 |
| 2. Propriedades das Órbitas Elípticas e Equações de Movimento para um Campo de Força Central ..... | 2 |
| 2.1. O Campo de Força Central .....  | 2 |
| 2.2. A Órbita Elíptica .....   | 3 |
| 2.2.1. Localização do Satélite no Espaço Inercial .....  | 3 |
| 2.2.2. Definição dos Elementos Orbitais Clássicos .....  | 4 |
| 2.2.3. Localização do Satélite em uma Órbita Elíptica .....  | 4 |
| 3. Vetores .....   | 7 |

### Capítulo II - Perturbações em uma Órbita Geoestacionária

|   |    |
|---|----|
| 1. Introdução .....   | 9  |
| 2. Efeito da Atração Gravitacional do Sol e da Lua e do Achatamento dos Polos Terrestres sobre a Inclinação ..... | 9  |
| 3. Efeito da triaxialidade Terrestre na Deriva .....  | 11 |
| 4. Efeito da Pressão de Radiação Solar sobre a Excentricidade .....   | 14 |

### Capítulo III - Co-localização de Satélites

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 1. Introdução .....       | 16 |
| 2. Controle Orbital ..... | 18 |

|  |    |
|--|----|
| 3. Estratégias de Co-localização .....   | 24 |
| 3.1. Separação Longitudinal .....  | 24 |
| 3.2. Separação entre os Vetores Excentricidade ou Inclinação .....                         | 26 |
| 3.3. Combinação entre a Separação dos Vetores Excentricidade e Inclinação .....            | 28 |
| 3.3.1. Separação Latitude / Raio .....   | 28 |
| 3.3.2. Separação Através do Defasamento entre os Vetores Excentricidade e Inclinação ..... | 33 |
| 4. Requisitos .....  | 34 |

#### Capítulo IV - Operações Orbitais

|   |    |
|---|----|
| 1. O Software .....   | 36 |
| 1.1. Função Elementos Médios (Mean Elements) .....  | 36 |
| 1.2. Função Inicialização Deriva / Excentricidade (Drift Eccentricity Initialization) ..... | 38 |
| 1.3. Função Delta Velocidade (Delta Velocity Maneuver) .....                                | 38 |
| 1.4. Função Controle de Inclinação (Inclination Control) .....                              | 39 |
| 2. As Simulações .....  | 41 |
| 2.1. Defasamento entre os Vetores Excentricidade e Inclinação .....                         | 41 |
| 2.2. Separação Longitudinal .....   | 43 |

#### Capítulo V - Co-localização dos BRASILSATs B1 e A2 ..... 46 |

#### Conclusão e Perspectivas Futuras ..... 52 |

|   |    |
|---|----|
| Anexo I - Simulação da Estratégia de Defasamento entre os Vetores Excentricidade e Inclinação ..... | 53 |
| Anexo II - Simulação da Estratégia de Separação Longitudinal .....                                  | 70 |
| Glossário .....   | 88 |
| Bibliografia .....  | 89 |

*Capítulo I*  
**INTRODUÇÃO**

**1. Breve Histórico**

A partir de 250 a.c. observadores como Apolônio (262 - 200 a.c.), Hiparco (130 a.c.) e Ptolomeu (100 - 178 d.c.) começaram a elaborar um mecanismo que explicasse os intrincados movimentos dos planetas, tendo-se a posição da Terra fixa no centro do Universo. Data desta época o nascimento da Mecânica Celeste.

Nicolau Copérnico (1473 - 1543) pôs fim à teoria geocêntrica e propôs um modelo através do qual fosse possível a determinação da distância de um planeta ao Sol em relação à distância da Terra ao Sol, além de determinar o período destes planetas.

A teoria de Copérnico foi violentamente atacada principalmente pela igreja cristã que não aceitava um sistema que não fosse geocêntrico. Um grande reforço foi dado à teoria heliocêntrica por Galileu Galilei (1564 - 1643), com a descoberta das fases de Vênus e dos satélites de Júpiter, derrubando o dogma de que somente um sistema estacionário (Terra) poderia ser o centro de movimento.

De 1601 até 1606 Johannes Kepler (1571 - 1630) tentou ajustar várias curvas geométricas aos dados de Tycho Brahe (1546 - 1601) sobre as posições de Marte, para resolver a questão de que as trajetórias circulares não estavam de acordo com os dados observacionais. Kepler encontrou a elipse e em 1609 publicou suas duas primeiras leis do movimento planetário. A terceira lei surgiu em 1619.

Mas as leis de Kepler eram ainda apenas uma descrição e não uma explicação do movimento planetário. Coube a Isaac Newton (1642 - 1727) desvendar o porque do movimento planetário.

Em 1666 Newton concebeu a lei da gravitação e as leis do movimento, mas isto só veio a ser conhecido 20 anos depois.

Durante o sec XVIII potentes métodos analíticos, que apareceram devido ao desenvolvimento do cálculo diferencial e integral, foram aplicados a problemas de Mecânica Celeste.

O advento da teoria da relatividade geral de Albert Einstein tornou a lei de Newton insuficiente para a perfeita representação dos fenômenos gravitacionais. Entende-se por Mecânica Celeste a ciência dos fenômenos puramente mecânicos que ocorrem no universo e dos problemas matemáticos que sugerem os métodos utilizados em seu estudo. Excluem-se da Mecânica Celeste os processos para os quais a lei de Newton deixa de ser uma aproximação razoável da realidade e incluem-se nela os processos que envolvem os corpos celestes artificiais (satélites artificiais e sondas espaciais).

## **2. Propriedades das Órbitas Elípticas e Equações de Movimento para um Campo de Força Central**

Um dos mais importantes problemas estudados na mecânica é o do movimento de uma partícula submetida apenas à ação de um campo de forças centrais. É o caso do movimento de um satélite em torno da Terra. Do ponto de vista histórico, o problema do movimento de uma partícula num campo de forças centrais é, mesmo, o mais importante de toda a mecânica. É digno de nota, ainda, que este problema apresenta, também, uma grande importância intrínseca, por ser um dos poucos que se sabe resolver completamente.

### **2.1 O Campo de Força Central**

Tomando por base um satélite artificial desenvolvendo uma órbita kepleriana, se toda a massa da Terra estivesse concentrada em seu centro (ou se esta massa estivesse distribuída

em camadas esféricas homogêneas) o problema assim constituído é o do movimento de um ponto em um campo central com lei de força inversamente proporcional ao quadrado da distância.

$$\vec{F} = \frac{\mu}{r^3} \vec{r},$$

a aceleração do satélite em cada instante é dada por :

$$\ddot{\vec{r}} = -\frac{\mu}{r^3} \vec{r}$$

onde  $\mu$  é o produto da constante da gravitação universal pela massa da Terra,  $\mu = GM$ . O estudo do problema dos dois corpos nos mostra que se  $r$  é o raio vetor ligando um corpo ao outro devemos tomar  $\mu = G(M + m)$ ; mas a massa do satélite  $m$  é desprezível em relação à massa da Terra.

## 2.2 A Órbita Elíptica

### 2.2.1 Localização do Satélite no Espaço Inercial

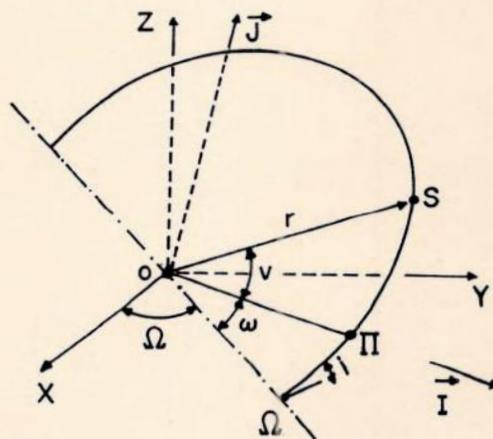


Fig.1 - Localização do Satélite no Espaço Inercial

Toma-se como sistema de referência um sistema tri-ortogonal cujo centro é o centro da Terra e cujo plano fundamental é o equador terrestre.

### 2.2.2 Definição dos Elementos Orbitais Clássicos

Cinco parâmetros são necessários para fixar completamente uma órbita elíptica. Dois deles fixam o plano da órbita :

$i$  - inclinação do plano orbital sobre o plano fundamental de referência (no caso o plano equatorial).

$\Omega$  - longitude do nodo ascendente.

Dois outros elementos fixam a dimensão e a forma da elipse :

$a$  - semi-eixo maior da elipse.

$e$  - excentricidade da elipse.

Um quinto elemento fixa a posição da elipse em seu plano :

$\omega$  - argumento do perigeu (distância angular entre o nodo ascendente e o perigeu).

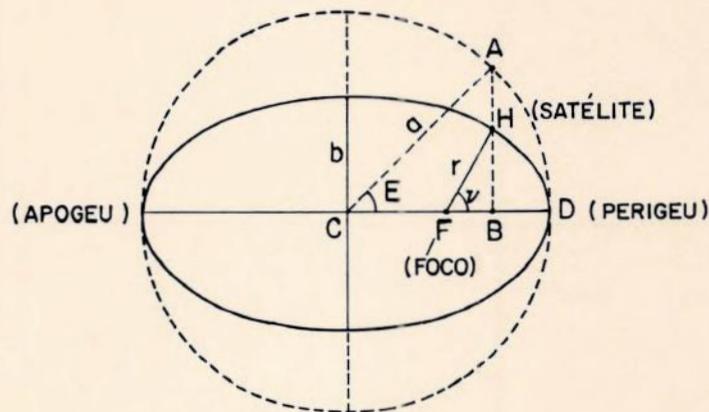
É necessário um sexto elemento para conhecer a posição do satélite em um dado instante:

$\nu$  - anomalia verdadeira.

### 2.2.3 Localização do Satélite em uma Órbita Elíptica

É necessário determinar a posição do satélite, i.e., as coordenadas polares do satélite  $(r, \nu)$  no plano de sua órbita, no instante  $t$  conhecendo-se seus elementos orbitais.

Para resolver este problema considera-se em uma mesma figura a elipse e um círculo cujo raio é o semi-eixo maior da elipse (Fig. 2).



**Fig.2** - A projeção de um círculo sobre o plano do movimento é uma elipse.

O ângulo  $j$  entre o plano em que está o círculo e o plano da elipse, é definido por :

$$\cos(j) = \frac{b}{a} \quad (1.1)$$

Da Fig. 2 e das propriedades da elipse temos [8]:

$$r \cos(\nu) = a \cos(E) - ae \quad (1.2)$$

$$r \sin(\nu) = a \sin(E) - \overline{HA} \quad (1.3)$$

$$\frac{\overline{BH}}{\overline{BA}} = \frac{b}{a} = (1 - e^2)^{\frac{1}{2}} \quad (1.4)$$

onde  $b$  é o semi-eixo menor da elipse.

Desta forma :

$$\overline{HA} = \overline{BA} - \overline{BH} = \overline{BA}[1 - (1 - e^2)^{\frac{1}{2}}] \quad (1.5)$$

$$(1.5) \rightarrow (1.3) \rightarrow r \sin(\nu) = a \sin(E)(1 - e^2)^{\frac{1}{2}} \quad (1.6)$$

Elevando a equação (1.6) ao quadrado e adicionando-se a equação (1.2) também elevada ao quadrado, tem-se que :

$$r = a[1 - e \cos(E)] \quad (1.7)$$

Uma vez que se tenha  $E$  em função do tempo, o valor de  $r$  vem da equação (1.7). Para achar  $E$  como função do tempo devemos usar um argumento geométrico :

A área de uma figura projetada é a área da figura original multiplicada pelo cosseno do ângulo entre os planos das figuras. Desta forma a área da elipse é a área do círculo multiplicada por  $\cos(j)$ .

Assim :

$$\frac{\text{área}BDH}{\text{área}BDA} = \frac{b}{a} = (1 - e^2)^{\frac{1}{2}} \quad (1.8)$$

mas :

$$\text{área}BDH = \text{área}DFH - \text{área}BFH \quad (1.9)$$

$$\text{área}BDA = \text{área}DCA - \text{área}BCA \quad (1.10)$$

A área do setor elíptico  $DFH$  é necessária já que pela lei das áreas de Kepler o tempo que o satélite leva para ir do perigeu  $D$  à posição  $H$  é proporcional a esta área, i.e.:

$$\text{área}DFH = c(t - T) \quad (1.11)$$

onde  $c = na^2/2(1 - e^2)^{\frac{1}{2}}$ ,  $n$  é o movimento médio do satélite,  $T$  é o tempo da passagem do perigeu e  $t$  é o instante em consideração.

Assim, podemos escrever a equação (1.8) como :

$$(1 - e^2)^{\frac{1}{2}} = \frac{\frac{na^2}{2}(1 - e^2)^{\frac{1}{2}}(t - T) - \frac{r^2}{2} \text{sen}(\nu) \cos(\nu)}{\frac{a^2E}{2} - \frac{a^2}{2} \text{sen}(E) \cos(E)} \quad (1.12)$$

$$(1.2), (1.6) \rightarrow (1.12) \rightarrow n(t - T) = E - e \operatorname{sen}(E) \quad (1.13)$$

A equação (1.13) é a equação de Kepler.

### 3. Vetores

Será introduzido um conjunto de elementos orbitais (não singulares que são definidos em função dos elementos orbitais clássicos  $a, e, i, \omega, \Omega, M$ ) que são a base do tratamento vetorial de controle que vamos utilizar <sup>[4]</sup>.

$$a = a$$

$$e_x = e \cos(\omega + \Omega)$$

$$e_y = e \operatorname{sen}(\omega + \Omega)$$

$$i_x = \operatorname{sen}(i) \cos(\Omega)$$

$$i_y = \operatorname{sen}(i) \operatorname{sen}(\Omega)$$

$$S = M + \omega + \Omega$$

Para órbitas quase estacionárias  $S$  é a ascensão reta média do satélite no instante  $t$ . Além disto, para órbitas pouco inclinadas  $\sin(i) \simeq i$ . O novo conjunto de elementos orbitais que serão utilizados é dado por :

$$l = \text{longitude média} = S - \text{GHA Áries}$$

$$d = \dot{l}$$

$$e_x = e \cos(\omega + \Omega)$$

$$e_y = e \operatorname{sen}(\omega + \Omega)$$

$$i_x = i \cos(\Omega)$$

$$i_y = i \operatorname{sen}(\Omega)$$

e os elementos vetoriais são dados por :

$$\bar{d} = [l - l_n, d], \text{ onde } l_n = \text{longitude nominal}$$

$$\bar{e} = [e_x, e_y] = e \exp i(\omega + \Omega) = e[ \cos(\omega + \Omega) + i \operatorname{sen}(\omega + \Omega) ]$$

$$\bar{i} = [i_x, i_y] = i \exp i(\Omega) = i[ \cos(\Omega) + i \operatorname{sen}(\Omega) ]$$

A abscissa (tanto  $e_x$  quanto  $i_x$ , dependendo de que elemento está sendo considerado) está direcionada para Áries, sendo referência para a ascensão reta  $S'$ . Assim os seis elementos, que estão relacionados com os elementos não singulares, podem ser encarados como as componentes ortogonais dos elementos vetoriais definidos.

## Capítulo II

# PERTURBAÇÕES EM UMA ÓRBITA GEOESTACIONÁRIA

### 1. Introdução

Se um satélite estiver apenas sob a influência de uma força que varia com o inverso do quadrado da distância, os elementos orbitais  $a, e, i, \omega, \Omega$ , se mantêm constantes. Apenas a anomalia média  $M$  varia com o tempo segundo as leis de Kepler. Na prática, o campo de forças a que o satélite está sujeito não é puramente do tipo que varia com o inverso do quadrado da distância, mas é resultante de vários efeitos. Os efeitos que provocam desvios no movimento do segundo corpo em torno de um corpo primário, no caso a Terra, são chamados de perturbações.

As perturbações mais importantes sobre um satélite em órbita quase-estacionária são as devidas ao achatamento dos polos terrestres, triaxialidade, atração gravitacional do Sol e da Lua e pressão de radiação solar.

### 2. Efeito da Atração Gravitacional do Sol e da Lua e do Achatamento dos Polos Terrestres sobre a Inclinação

O movimento de  $\bar{R}$ , um vetor unitário na direção da normal à órbita do satélite, é da forma :

$$\dot{\bar{R}} = - \sum_{j=0}^2 \omega_j (\bar{R} \cdot \bar{R}_j) (\bar{R}_j \times \bar{R})$$

onde:

$\bar{R}_0$  = vetor unitário na direção do eixo polar terrestre

$\bar{R}_1$  = vetor unitário na direção do polo da eclíptica

$\bar{R}_2$  = vetor unitário na direção da normal à órbita da Lua

Para o termo  $j$  o movimento será representado por uma precessão de  $\bar{R}$  em torno de  $\bar{R}_j$  a taxa constante de  $\omega_j (\bar{R} \cdot \bar{R}_j)$ . Assim o movimento de  $\bar{R}$  é descrito como uma precessão simultânea em torno de três eixos. O achatamento dos polos tende a precessionar a normal à órbita do satélite em torno do eixo polar terrestre, a atração gravitacional do Sol faz esta precessionar em torno do polo da eclíptica, enquanto a atração da Lua a faz precessionar em torno do polo da órbita da Lua.

Podemos reescrever esta equação da forma :

$$\dot{\bar{R}} = -\bar{Q} \times \bar{R}$$

onde

$$Q = \sum_{j=0}^2 \omega_j (\bar{R} \cdot \bar{R}_j) \bar{R}_j.$$

Assim, para um dado intervalo de tempo pode-se considerar que a normal à órbita  $R$  precessiona em torno de um valor médio de  $|Q|$ , pois  $\bar{R} \cdot \bar{R}_j$  varia pouco para pequenas variações de  $R$ .

Usando o fato de que a longitude do nodo ascendente da órbita da Lua na eclíptica em março de 1969 era igual a zero, instante no qual o eixo polar terrestre, o polo da eclíptica e o polo da órbita da Lua eram coplanares, podemos encontrar previsões para os termos de longo período de  $R$ .

Considerando um satélite equatorial  $R = R_0$ , e sendo  $\Lambda_m$  a longitude do nodo ascendente da órbita da Lua na eclíptica, obtemos para as componentes de  $\bar{Q}$  em graus/ano [4]:

$$Q_x = 0.852 + 0.098 \cos(\Lambda_m)$$

$$Q_y = 0.132 \operatorname{sen}(\Lambda_m)$$

$$Q_z = 6.86 - 0.105 \cos(\Lambda_m)$$

onde  $\Lambda_m$  tem um período de 18.6 anos e é igual a zero em março de 1969.

Como  $\dot{\bar{R}} = -\bar{Q} \times \bar{R} \simeq \bar{R}_o \times \bar{Q}$  temos a variação da inclinação para um satélite equatorial inicialmente síncrono :

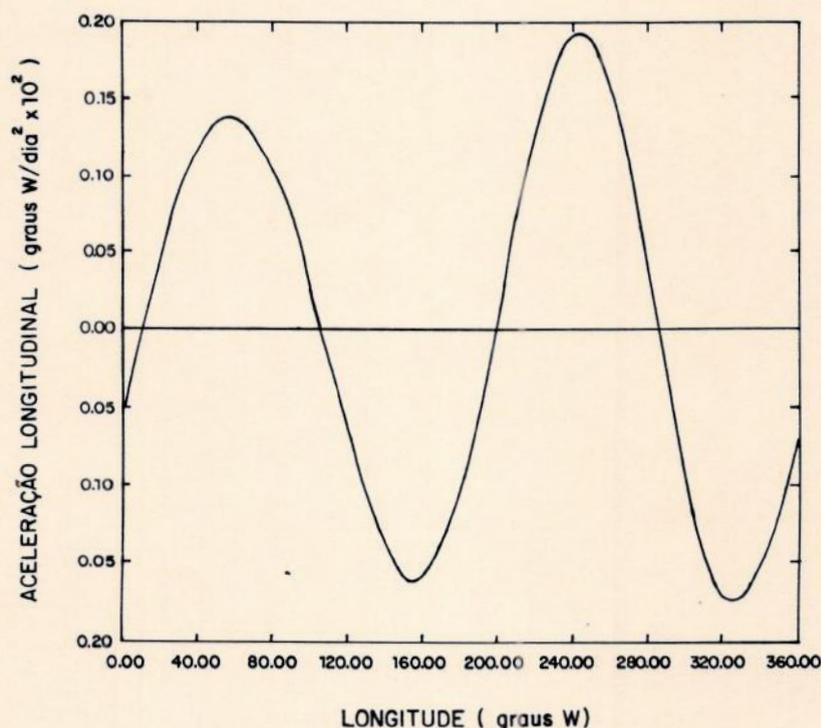
$$\dot{i}_y = Q_x \quad \dot{i}_x = -Q_y \quad \text{graus/ano}$$

### 3. Efeito da Triaxialidade Terrestre na Deriva

Um satélite estacionário tende a derivar de sua posição longitudinal devido a perturbações tangenciais. A perturbação de longo período mais importante que provoca deriva é devida a triaxialidade terrestre. O movimento longitudinal resultante pode ser comparado com o movimento angular de um pêndulo sem atrito. Um pêndulo irá oscilar com amplitude e período dependentes na energia dada inicialmente. O eixo em torno do qual o pêndulo oscila está direcionado para baixo, ou seja, na direção da atração gravitacional. Se um pêndulo for perturbado em seu eixo, uma componente da força gravitacional o fará retornar, pois este eixo é dinamicamente estável. Se a energia adicionada for grande o suficiente, o pêndulo não irá oscilar, mas continuará na mesma direção diminuindo sua velocidade quando se aproxima do zenite e aumentando ao máximo com a proximidade do nadir. A direção zenital é dinamicamente instável, i.e., se o pêndulo for perturbado neste eixo, o efeito da força é o de produzir uma divergência. Ambos eixos estável e instável são posições de equilíbrio pois existe aceleração tangencial igual a zero nos dois casos.

A deriva que produz aceleração vem da forma elíptica do equador terrestre (triaxialidade). Esta aceleração é igual a zero em duas longitudes estáveis e em duas longitudes instáveis. Se a analogia com o pêndulo fosse perfeita, as duas longitudes estáveis deveriam estar nos pontos opostos do eixo menor da elipse, enquanto as duas longitudes instáveis deveriam estar nos pontos opostos do eixo maior da elipse. Longitudes estáveis e instáveis

deveriam estar alternadamente separadas de  $90^\circ$  com a aceleração máxima ocorrendo a  $45^\circ$  de cada; e a variação da aceleração deveria ser senoidal. Porém outros termos de ordem superior aparecem no potencial terrestre, alterando, assim, a simetria da aceleração e das longitudes de equilíbrio.



**Fig.3** - Aceleração longitudinal versus a longitude

Os nodos estáveis estão em  $106^\circ W$  e  $285^\circ W$ . Um satélite derivando para oeste em  $103^\circ W$  experimentará uma aceleração positiva nesta longitude, uma aceleração igual a zero quando passar por  $106^\circ W$ , e uma aceleração na direção leste depois que passar por  $106^\circ W$  que tenderá a diminuir a deriva para oeste. Quando a deriva para oeste terminar, o satélite irá derivar para leste de volta até ser parado em aproximadamente  $102^\circ W$ , e começar a repetir a oscilação.

Nos nodos instáveis  $11^\circ W$  e  $198^\circ W$ , a aceleração é zero, mas qualquer desvio em longi-

tude destes pontos resultará em um movimento divergente pois a aceleração em torno destes pontos é na mesma direção da deriva.

Para um satélite síncrono com raio  $R \simeq 6.611$  raios terrestres, com  $i = e = 0$ , a dependência da longitude do potencial gravitacional terrestre tem uma expressão harmônica [4]:

$$\Phi(l) = \frac{\mu}{R} \sum_{n=2}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{P_{nm}(0)}{R^n} J_{nm} \cos[m(l - \lambda_{nm})]$$

onde  $l$  é a longitude média diária, positiva para oeste,  $\mu$  é a constante gravitacional terrestre, e  $P_{nm}(0)$  é zero a menos que  $(n - m)$  seja ímpar, e onde:

$$P_{nm}(0) = \frac{(-1)^{[\frac{n-m}{2}]} (n+m)!}{2^n [\frac{(n-m)}{2}]! [\frac{(n+m)}{2}]!}$$

A aceleração tangencial resultante é  $dV/dt = 1/R d\Phi/dl$ , e a aceleração longitudinal é  $\ddot{l} = -d\bar{n}/dt$ , onde  $V$  é a velocidade orbital e  $\bar{n}$  é o movimento médio. Como  $\mu = n^2 a^3$  e  $V^2 = \mu(2/r - 1/a)$  para uma órbita elíptica, onde  $a$  é o semi-eixo maior e  $r$  a distância ao foco, tem-se que:

$$\frac{d\bar{n}}{\bar{n}} = \frac{-3}{2} \frac{da}{a} \quad e \quad \frac{dV}{V} = \frac{1}{2} \frac{da}{a}$$

Para um satélite síncrono  $e = 0$  e  $a = R$ ,  $\mu = (2\pi)^2 R^3$ , tem-se que:

$$\ddot{l} = 12\pi^2 \sum_{n=2}^{\infty} \sum_{m=1}^{\eta} \frac{m P_{nm}(0)}{R^n} J_{nm} \sin m(l - \lambda_{nm}) \text{ rad/dias siderais}^2$$

#### 4. Efeito da Pressão de Radiação Solar sobre a Excentricidade

A ação da pressão de radiação solar depende da área do satélite e de sua massa sendo tão mais importante quanto maior a relação área/massa do satélite. A aceleração do satélite devido a esta força é :

$$a = KA \frac{q}{m},$$

onde  $K$  é o coeficiente de refletividade,  $A$  é a área do satélite que esta sendo atingida pela radiação solar,  $q$  é uma constante que depende de cada satélite e  $m$  é a massa do satélite.

A pressão de radiação solar afeta diretamente o semi-eixo e a excentricidade da órbita.

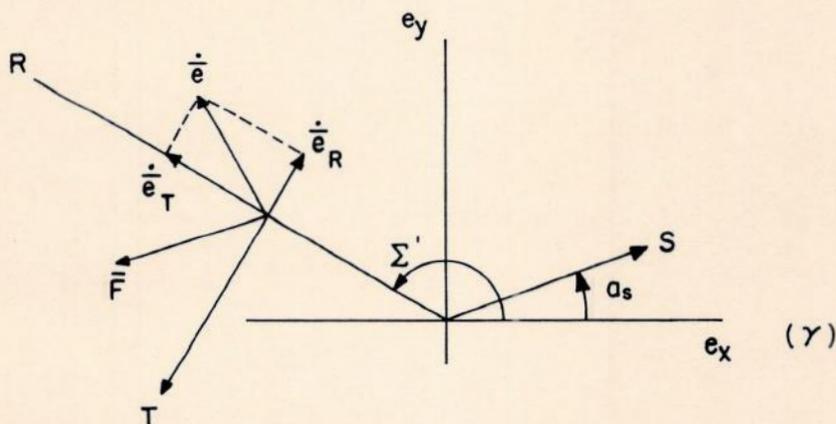


Fig.4 - Efeito da pressão de radiação solar sobre a excentricidade

Na Fig. 4 o Sol  $S$  exerce uma força devido a pressão de radiação  $F$  quando o satélite está na ascensão reta média  $\Sigma'$ . Os efeitos das componentes tangencial e radial da força nas componentes do vetor  $e$  são mostradas ao longo das direções radial e tangencial para um raio vetor da Terra para o satélite, onde a direção tangencial é positiva na direção do movimento orbital. O vetor variação  $\dot{e}$  é perpendicular à linha entre o Sol e a Terra e descreve um círculo ( $360^\circ$ ) durante um ano devido ao movimento do Sol no plano  $[e_x, e_y]$ . A magnitude deste efeito varia com a declinação do Sol, entretanto, a perturbação pode, em média, ser

representada por um vetor rotacionando no plano  $[e_x, e_y]$  com amplitude constante e desta forma traçando um círculo. O raio deste círculo é proporcional a força de radiação solar e à relação área/massa do satélite.

## CO-LOCALIZAÇÃO DE SATÉLITES

### 1. Introdução

Para que um satélite seja mantido dentro de uma região angular predeterminada em torno de sua posição nominal sofrendo continuamente a ação de perturbações, manobras de correção orbital são feitas de tempos em tempos. Isto é feito através de um sistema de propulsão a bordo o qual é capaz de produzir empuxos nas direções norte-sul ou leste-oeste. É operacionalmente conveniente fazer manobras de correção periodicamente, como uma sequência de ciclos de correção repetidos de tal forma que as manobras adquiram características típicas cujo padrão estabelecido configure um primeiro critério de verificação das mesmas. A EMBRATEL realiza suas manobras de correções orbitais com período igual a um número inteiro de semanas de forma que as manobras sejam planejadas sempre no mesmo dia da semana.

Os tempos de duração das manobras e os incrementos na velocidade são computados com base na última determinação de órbita e uma série de elementos orbitais target (alvo), que têm que ser atingidos em tempos predeterminados, são computados no fim de cada ciclo. Os elementos orbitais target dependem do tempo e são definidos para cada ciclo de correção pela estratégia de controle orbital em termos de:

- .Taxa de deriva média;
- .Desvio da longitude média a partir do centro da janela;
- .Componentes do vetor excentricidade

$$e_x = e \cos(\omega + \Omega)$$

$$e_y = e \sin(\omega + \Omega);$$

.Componentes do vetor inclinação :

$$i_x = i \cos(\Omega)$$

$$i_y = i \operatorname{sen}(\Omega).$$

com o objetivo de minimizar o combustível requerido para seu controle. Nestas definições, os símbolos  $e$ ,  $i$ ,  $\omega$ ,  $\Omega$  denotam elementos orbitais clássicos com seu significado usual.

A triaxialidade do potencial terrestre causa uma aceleração na longitude. A pressão de radiação solar tem o efeito de mover o vetor excentricidade  $(e_x, e_y)$  em torno de um círculo de uma dada excentricidade, completando uma revolução por ano. Ambas perturbações podem ser controladas pelas manobras leste-oeste especificadas. O controle de otimização do combustível tem como objetivo reverter a taxa de deriva em longitude em cada ciclo e simultaneamente manter o vetor excentricidade em um círculo de controle, o qual normalmente tem que ser menor do que o círculo de excentricidade provocado pela pressão de radiação solar de forma a não exceder a janela de tolerância. Isto é feito através da estratégia de controle onde o perigeu aponta para o Sol que essencialmente mantém o vetor excentricidade no círculo de controle e na direção do Sol. Consoante o vetor excentricidade target é definido de forma que no meio de cada ciclo de correção a direção do vetor excentricidade coincida com a ascensão reta do Sol.

A gravitação luni-solar causa uma variação secular no vetor inclinação  $(i_x, i_y)$  que tem que ser compensada por correções norte-sul. O vetor inclinação target para cada ciclo é definido de tal forma que o movimento total controlado do vetor inclinação durante o próximo ciclo seja aproximadamente simétrico em relação ao eixo polar terrestre.

As manobras norte-sul são geralmente muito maiores que as leste-oeste. Seu incremento anual em velocidade é da ordem de 50m/s em contraste com apenas 1m/s a 2m/s para o controle leste-oeste.

O projeto de uma estratégia de controle orbital deve incluir os efeitos de imprecisões em determinações de órbitas e de modelos de manobras. O acoplamento existente entre as grandes manobras norte-sul e o movimento leste-oeste força a programação de manobras leste-oeste logo após cada correção norte-sul de forma a minimizar seus efeitos na longitude.

Para um local orbital específico, um par de satélites pode ser operado de duas formas: configuração "não sincronizada" onde os dois satélites devem se manter em uma janela de mais ou menos  $0.1^\circ$  mas têm ligações com antenas terrestres distintas. Esta configuração é relativamente precisa, onde dois satélites podem ser mantidos em bandas de longitudes adjacentes e exclusivas de  $+/- 0.05^\circ$ , não requerendo coordenação entre os dois satélites.

A segunda categoria é designada "iluminação dupla" na qual a distância entre os dois satélites é mantida tão pequena quanto possível de forma que se possa utilizar apenas uma antena carreando comunicação de ambos os satélites.

## 2. Controle Orbital

O limite mínimo para co-localização é dado pela necessidade de evitar interferências entre os sensores de satélites localizados muito próximos, levar em conta a inacurácia da determinação orbital e eliminar a possibilidade de qualquer contato físico entre os satélites. Baseado em experiências anteriores, foi confirmado que uma separação menor do que  $0.01^\circ$  (7km) entre dois satélites pode resultar em um risco excessivo.

Vários fatores controlam o limite superior de separação angular entre dois satélites co-localizados. Se, após a co-localização, apenas as forças naturais agirem sobre ambos satélites (i.e. nenhuma manobra de controle orbital ou de atitude é executada) então os dois satélites deverão permanecer estacionários um em relação ao outro, desde que a sua relação área/massa seja igual. Entretanto, na ausência de manobras, a taxa de deriva, a excentricidade da órbita, o plano orbital e a inclinação da órbita variam devido à radiação

solar e às forças gravitacionais; desta forma, cada satélite necessita ser controlado para se manter em seu local orbital determinado e também para manter a sua própria atitude.

Para tal controle usam-se jatos, que podem ter desempenhos diferentes ou mesmo irregularidades em suas montagens, o que provoca distúrbios nas órbitas desejadas dos satélites. Os distúrbios, eles próprios não são o problema, desde que qualquer distúrbio pode ser compensado pela aplicação de uma força igual e oposta. Entretanto, a detecção e a medida da magnitude do distúrbio não podem ser feitas instantaneamente; além do que a correção deve ser feita em uma determinada posição orbital. O tempo total requerido para coletar dados suficientes, planejar e executar uma manobra é de aproximadamente 24 horas [5]. Os distúrbios resultantes de uma manobra norte-sul na direção leste-oeste podem ser maiores do que  $0.0015^\circ$  por dia para um único satélite. Para satélites co-localizados, no pior caso, onde os satélites terão erros opostos, a variação efetiva na separação angular pode ser maior do que  $0.003^\circ$  em um dia. Para assegurar o limite mínimo de  $0.01^\circ$ , as manobras deverão ser feitas com uma separação angular de pelo menos  $0.013^\circ$ .

Para atingir os requerimentos da co-localização, os planos orbitais devem ser quase coincidentes para manter uma margem de separação a ser usada por uma manobra leste-oeste de aspecto mais crítico. Uma pequena separação de  $0.005^\circ$  entre os planos orbitais assegura alguma separação em latitude pela maior parte do dia. É claro, não haverá separação em latitude duas vezes ao dia quando os satélites estão na interseção dos seus planos orbitais. O benefício disto é aumentar a magnitude da separação física no caso da co-localização ser interrompida, e um satélite ultrapassar o outro em longitude.

As manobras leste-oeste são executadas nominalmente às 18:00 hs local do satélite para o BRASILSAT, assim, os efeitos da aceleração em longitude e excentricidade podem ser controlados simultaneamente sem que para isto seja necessário alocar combustível para o controle da excentricidade.

A principal diferença entre co-localização de curto período e co-localização permanente, é que no caso de curto período, após o ajuste inicial em inclinação, nenhuma manobra norte-sul é executada em nenhum satélite. Por outro lado, co-localização permanente requer manobras de controle norte-sul regulares. A componente da velocidade na direção leste-oeste resultante de uma manobra norte-sul pode aumentar a dificuldade de manter a fase e a separação entre os dois satélites. Além disto, a separação requerida e os limites de controle orbital podem ser mais apertados do que para co-localização de curto período.

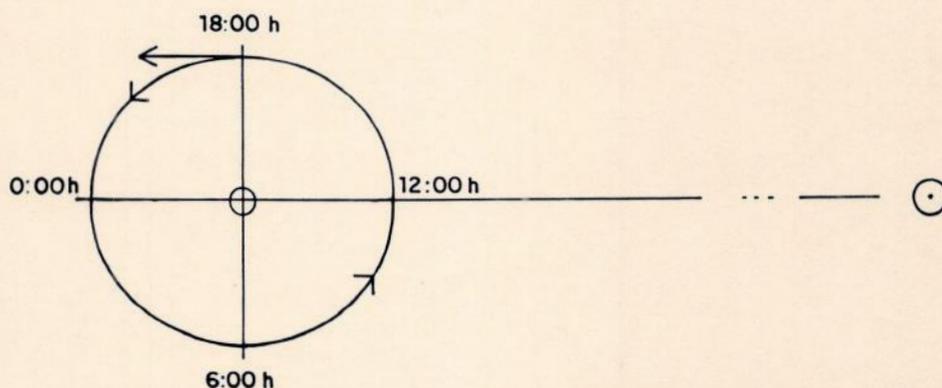
O maior impacto para a co-localização vem do fato de que, em geral, uma estação terrestre pode comandar apenas um satélite de cada vez. Desta forma, quando uma mesma antena está sendo usada para acessar ambos satélites simultaneamente, os sinais de e para o satélite que não está sendo comandado podem experimentar alguma degradação em ganho ou em isolamento da polarização se o apontamento for otimizado para o outro satélite. A magnitude desta degradação relativa é dependente da separação angular entre os dois satélites, do tamanho da antena terrestre e da banda de frequência que está sendo usada. Este problema poderá ser minimizado se for possível manter o vértice do feixe com um deslocamento sistemático na direção da mediana entre os dois satélites.

Em determinadas estratégias de co-localização as manobras não devem ser simultâneas. Porém existem estratégias onde a simultaneidade das manobras é necessária, e neste caso se uma manobra for adiada para um satélite por mais de 30 minutos mas não para o outro, o movimento relativo pode ser afetado e uma manobra corretiva adicional pode ser requerida em 24 horas.

### Controle em excentricidade

O crescimento da excentricidade em um longo período pode ser visualizado se começarmos com uma órbita perfeitamente circular, cujo centro é o centro da Terra. Considerando os efeitos da pressão da radiação solar quando o satélite está entrando na parte escura de

sua trajetória (tempo local do satélite 18:00 hs) e quando está entrando na parte iluminada (tempo local do satélite 6:00 hs). A Fig. 5 mostra que quando o satélite se põe (entra na parte escura) ele está se afastando do Sol e a pressão de radiação solar aumenta sua velocidade. A órbita se torna diferente da circular. A velocidade adicionada nesta posição faz com que a altura da posição oposta aumente e se torne um apogeu. Doze horas depois o satélite nasce (entra na região iluminada) movendo-se na direção do Sol, a pressão de radiação solar diminui sua velocidade. Esta redução de velocidade cria um novo perigeu na posição oposta mais próximo da Terra. Ambas variações são aditivas, provocando um deslocamento do centro da órbita na direção do nascente do satélite durante um dia. O efeito da pressão de radiação solar nas posições meio-dia e meia-noite é negligenciável.



**Fig. 5** - Variação da excentricidade devido à pressão de radiação solar (Órbita inicialmente circular)

Se for permitido que este processo continue ininterruptamente durante um ano, o centro da órbita continuará a se dirigir para a posição de nascente a cada dia. A órbita do satélite está dinamicamente definida em um referencial inercial centrado na Terra. Neste referencial inercial o Sol parece revolucionar em torno da Terra uma vez por ano, e, desta forma, os pontos de nascente e poente também. Em uma boa aproximação, o efeito em um longo período de tempo é o de direcionar o centro da órbita em um grande círculo com o período

de um ano até restaurar o centro da Terra como centro da órbita. O raio deste círculo é diretamente proporcional à pressão de radiação solar e à área da seção de choque do satélite, então o raio do círculo é também proporcional à razão área/massa do satélite.

O local inicial para o centro da órbita não necessita coincidir com o centro da Terra. Uma boa inicialização coloca o centro da órbita na linha que conecta o Sol e o centro da Terra, de forma que o centro da Terra esteja entre o Sol e o centro da órbita. Este é colocado a uma distância ao centro da Terra igual ao raio descrito no parágrafo acima. Assim, o efeito da pressão de radiação solar em um longo período é dirigir o centro da órbita em um círculo cujo centro é o centro da Terra. Como o centro da órbita está sempre à mesma distância do centro da Terra, a excentricidade é constante ao longo de um ano. Esta é a excentricidade de controle e é uma propriedade fundamental do satélite através de sua razão área/massa.

A excentricidade causa uma variação senoidal da longitude em torno da longitude média (a média da longitude em um período orbital). A amplitude desta oscilação é mais ou menos duas vezes a excentricidade (radianos). Para alguns satélites esta oscilação pode ser acomodada no box (região em torno da longitude nominal do satélite) e não se faz nada para reduzi-la. Para satélites co-localizados pode haver a necessidade de se reduzir substancialmente a excentricidade de ambos satélites.

As manobras para manter uma excentricidade reduzida são executadas nos pontos de nascente e poente consecutivos de forma a contrabalançar o efeito da pressão de radiação solar.

### Controle em longitude média

A não uniformidade do campo gravitacional terrestre (triaxialidade) faz com que um satélite inicialmente geostacionário seja lentamente acelerado para leste ou para oeste em longitude média. A magnitude e a direção da aceleração dependem da longitude. Existem quatro longitudes onde esta aceleração é zero e, o seu valor máximo é  $1.98 \times 10^{-30}/\text{dia}^2$

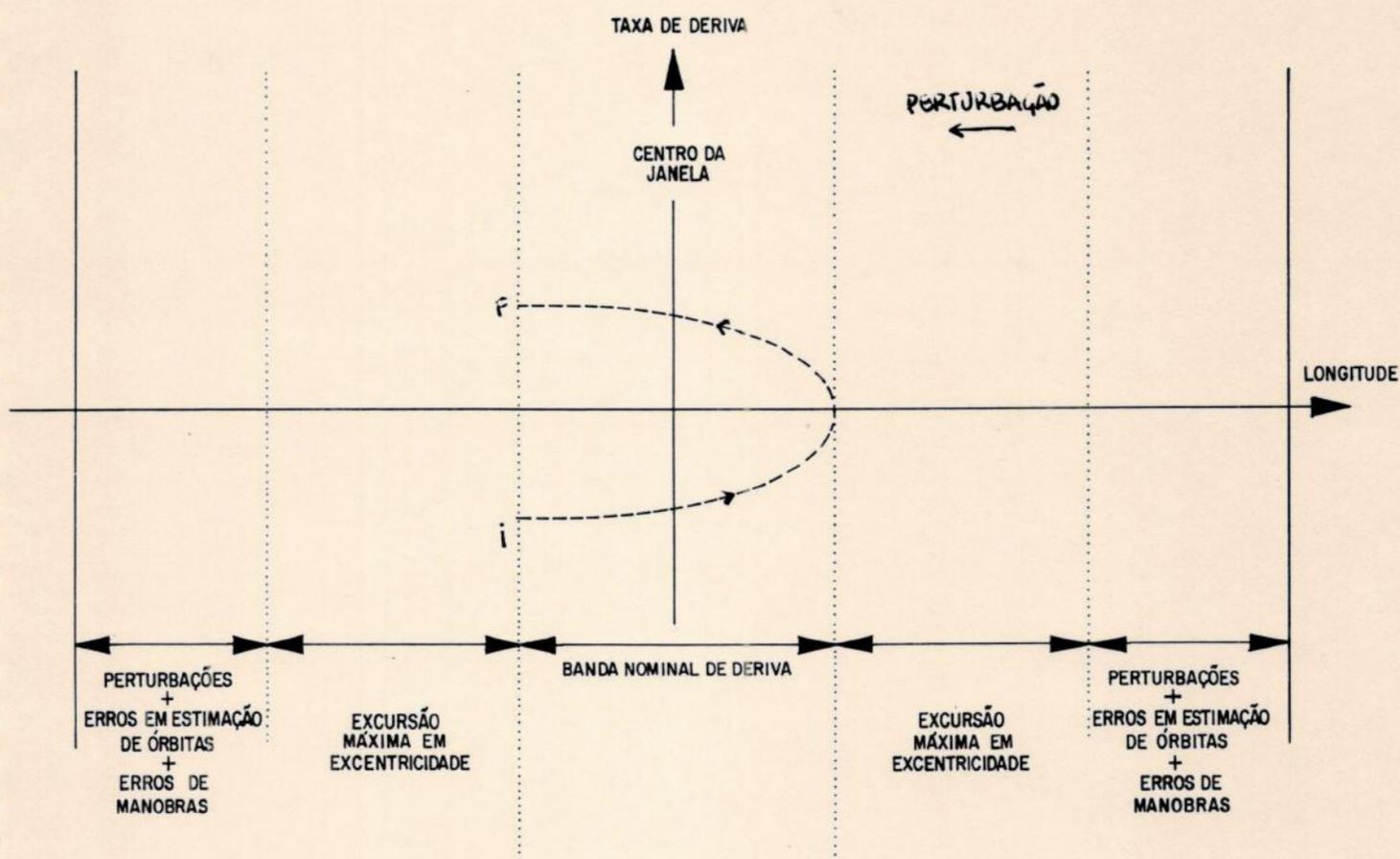


Fig. 6 - Excursão total em longitude durante o ciclo de manobras, onde  $i$  é a posição inicial e  $f$  a final do satélite

determinando assim o limite superior de sua contribuição. O movimento em longitude média desejado em seguida a uma manobra leste-oeste é escolhido de forma que a longitude média seja igual ao valor nominal de controle na metade da excursão total em longitude durante o ciclo de manobras (21 dias), e ao fim deste ciclo tri-semanal ela retorne ao valor inicial (Fig.6). Isto minimiza a excursão em longitude média durante cada ciclo.

### Interferência entre sensores

Com os satélites fisicamente separados entre 7 e 25 quilômetros, o risco de interferência entre sensores, embora pareça pequeno, deve ser considerado. Se ocorrer, a interferência entre sensores deve ser induzida pela luz do Sol refletida pelas células solares ou pela própria superfície de um satélite no campo de visão do sensor de Sol do outro satélite.

O risco de interferência entre sensores não existe quando a intensidade da radiação refletida se mantém abaixo da intensidade que o sensor pode detectar como na maioria dos casos.

### 3. Estratégias de Co-localização

#### 3.1. Separação Longitudinal

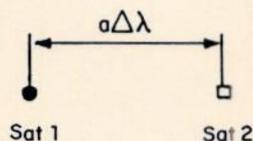


Fig. 7 - Separação longitudinal

A separação angular geocêntrica dos satélites não pode exceder  $0.05^\circ$  [6] quando se deseja operar com iluminação dupla. A porção de longitude deste valor deve ser  $0.045^\circ$ . O quadrado deste valor com a separação dos planos orbitais igual a  $0.020^\circ$  produz uma separação angular geocêntrica de  $0.049^\circ$  que contém uma margem adicional de  $0.001^\circ$  até o máximo de  $0.050^\circ$  [7].

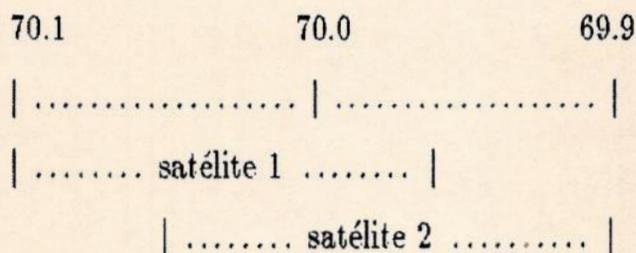
Uma separação angular geocêntrica mínima de  $0.010^\circ$  também deve ser imposta para assegurar uma separação física mínima de 7 quilômetros.

A alocação em longitude da tabela 3.1 tem flexibilidade suficiente para permitir algumas variações nos itens, mas limita em dois o número de satélites co-localizados em uma janela  $\pm 0.1^\circ$ .

**Tabela 3.1: Desvio da longitude nominal de controle**

|  |               |
|--|---------------|
| 1. Oscilação devido à excentricidade [8]   | 0.018°        |
| 2. Metade da variação em longitude causada pela diferença de fase entre as excentricidades | 0.002°        |
| 3. Desvio máximo da longitude nominal devido à aceleração causada pela triaxialidade       | 0.038°        |
| 4. Metade da separação máxima possível em longitude  | 0.023°        |
| 5. Erros em determinações orbitais   | 0.001°        |
| 6. Metade da excursão em longitude devido a calibrações de manobras                        | 0.004°        |
| 7. Perda de oportunidade de realização de manobra  | <u>0.008°</u> |
| TOTAL (máximo possível mantendo o ciclo de 21 dias = 0.10°)                                | 0.094°        |

A mais simples separação possível é um desvio da longitude média nominal de controle como indicado na Fig. 8.



**Fig.8** - Separação pela longitude média nominal de controle

Tal separação diminui a região de controle do satélite o que pode levar a um menor círculo de controle da excentricidade ou ao aumento do número de manobras com um consequente aumento do consumo de combustível para cada satélite.

Deve ser lembrado que o aumento do consumo de combustível é uma consequência natural de algumas estratégias de co-localização.

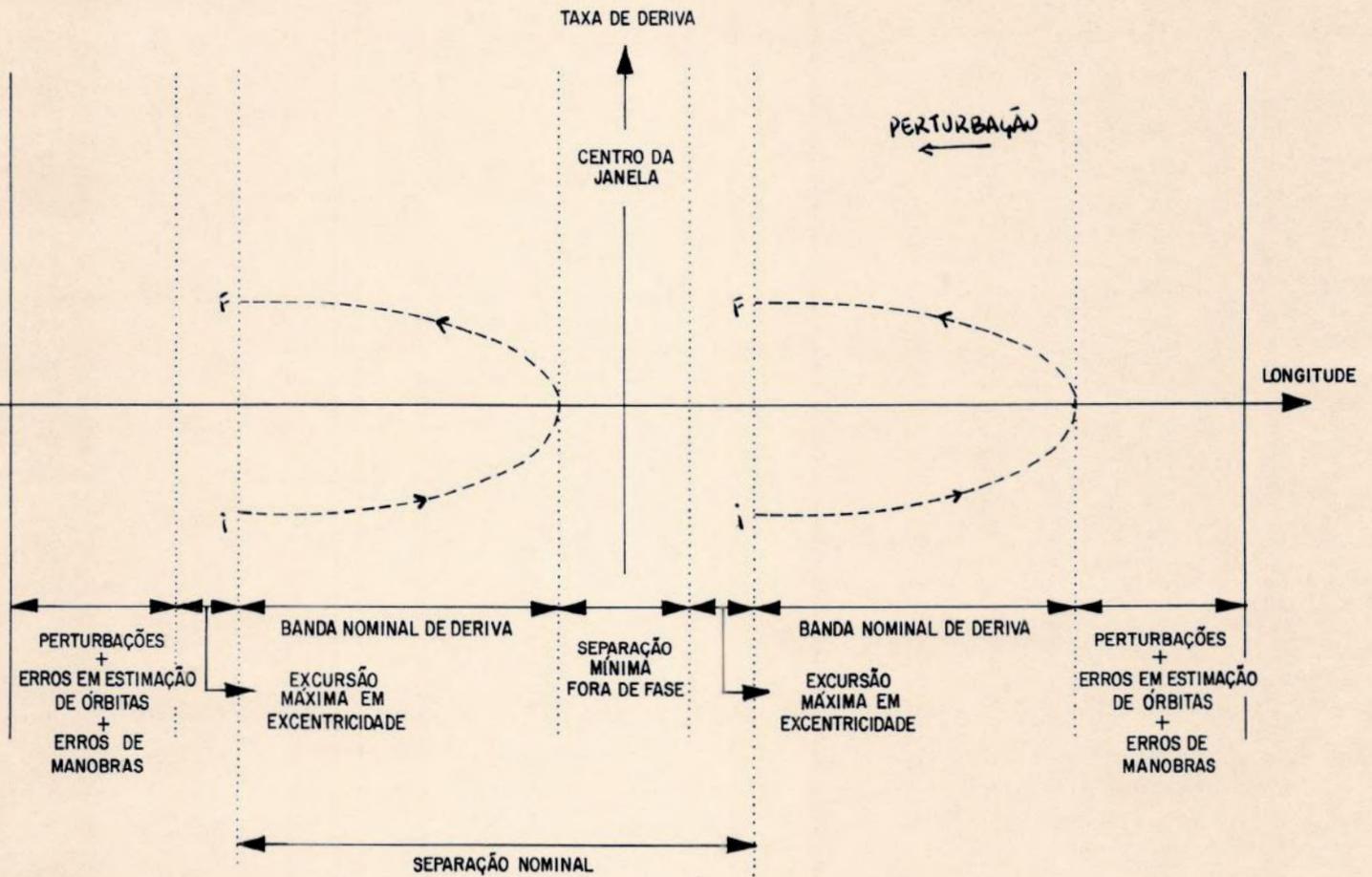


Fig. 9 - Exemplo de separação longitudinal

### 3.2. Separação entre os Vetores Excentricidade ou Inclinação

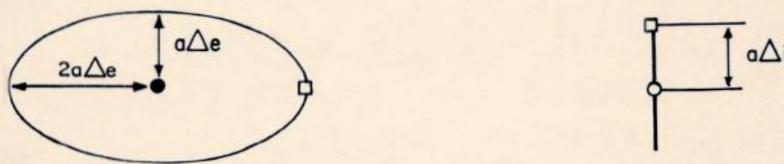
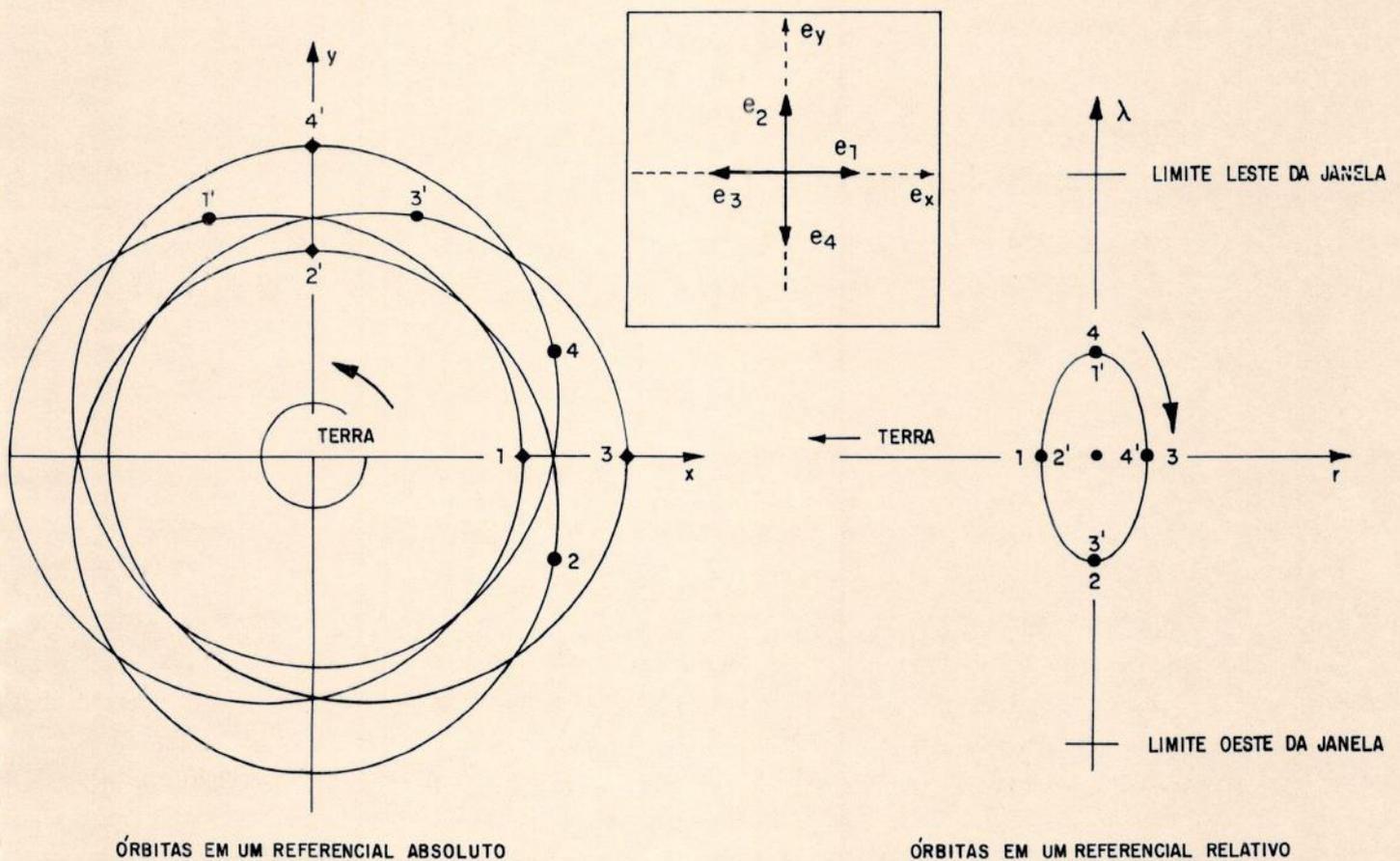


Fig. 10 - Separação em excentricidade e em inclinação

É possível achar uma separação periódica das componentes radiais e/ou normais através de desvios nos vetores excentricidade e/ou inclinação entre os dois satélites. Ambas as

componentes são então funções senoidais do tempo com período de um dia sideral.

O desvio entre os vetores excentricidade também provoca uma separação em longitude periódica com uma amplitude duas vezes maior do que a separação radial. Como resultado, um desvio  $\Delta e$  em relação a alguma órbita de referência provoca um movimento relativo do satélite ao longo de uma elipse coplanar na direção retrógrada em torno da posição de referência. A distância mínima é  $r_{min} = R_{geo} |\Delta e|$ , onde  $R_{geo}$  é o raio geostacionário [6].



**Fig. 11** - Separação entre os vetores excentricidade para 4 satélites

Como os desvios podem ser feitos em qualquer direção do plano de fase  $[e_x, e_y]$  (plano do vetor excentricidade), é possível acomodar mais satélites do que apenas na dimensão promovida pela separação em longitude. A Fig. 11 ilustra as variações no vetor excentricidade de quatro satélites co-localizados. A órbita de referência neste exemplo é a geostacionária.

As órbitas absolutas são mostradas no lado esquerdo, e o movimento relativo no lado direito. Como as variações são iguais em tamanho, todos os satélites se movem na mesma elipse relativa em fases diferentes. Deve ser deixada alguma margem dentro dos limites da janela para o controle adicional da banda de longitude comum a todo grupo de satélites. Atente para o fato de que a longitude média de todos os satélites é idêntica à da órbita de referência.

Esta estratégia, no entanto, dá margem a eclipses em longitude. Ou seja, cria trajetórias se cruzando e pode até promover grandes aproximações sempre que a distância geocêntrica coincidir, o que acontece duas vezes por dia.

O desvio entre os vetores inclinação provoca uma separação em latitude em todos os pontos exceto nas interseções dos planos orbitais. Esta separação é periódica e o seu valor máximo é igual à variação entre os vetores inclinação.

### **3.3 Combinação entre a Separação dos Vetores Excentricidade e Inclinação**

#### **3.3.1 Separação Latitude / Raio**

Nesta estratégia os parâmetros orbitais inclinação e excentricidade são controlados de tal forma que quando as latitudes dos dois satélites forem iguais, os raios (distância à Terra) sejam significativamente diferentes, e vice versa.

Uma vantagem deste método é que a separação em longitude não é necessária. Entretanto, os dois ciclos de deriva/excentricidade devem estar defasados de forma que as manobras nos dois satélites fiquem espaçadas por meio ciclo, e que quando a longitude média de um satélite estiver na extremidade oeste de seu caminho, a longitude média do outro esteja na extremidade leste. As razões para isto estão relacionadas com o fato de que cada manobra de inclinação deve ser seguida (2 dias) por uma manobra de deriva/excentricidade.

A primeira razão vem de que, em cada meio ciclo as operações de controle orbital, principalmente as determinações de órbitas pré-manobra e pós-manobra, as determinações de atitude, as manobras de inclinação e as próprias manobras de deriva ficam concentradas em apenas um satélite. As únicas manobras requeridas pelo outro satélite são de controle de atitude.

A segunda razão é para manter uma diferença sistemática entre os vetores inclinação dos dois satélites. Pois se ambas manobras de inclinação forem programadas para o mesmo dia, ou seja, forem simultâneas, como as estratégias usadas para ambos satélites são as mesmas, os vetores inclinação dos dois satélites serão mantidos aproximadamente iguais, e assim suas latitudes serão quase iguais o tempo todo. A estratégia de separação latitude/raio se baseia no fato de que as latitudes dos satélites irão coincidir apenas duas vezes por dia (em tempos predeterminados) e que no resto do dia serão significativamente diferentes.

A determinação dos instantes nos quais as latitudes dos satélites irão coincidir depende da compreensão das perturbações que afetam a inclinação e da estratégia escolhida para controlar a inclinação sob estas perturbações. Sobre as perturbações no vetor inclinação, os principais termos de longo período são o secular e o  $\omega_s$ , onde  $\omega_s$  é a frequência solar (0.9856 graus/dia). O termo secular é o maior e varia em um ciclo de 18.6 anos, com :

$$\dot{i}_{x_{sec}} = -0.132 \operatorname{sen}(\Lambda_m)$$

$$\dot{i}_{y_{sec}} = 0.852 + 0.098 \operatorname{cos}(\Lambda_m)$$

onde  $\Lambda_m$  é a fase do ciclo de 18.6 anos (ascensão reta do nodo ascendente da órbita da Lua em relação à eclíptica). Assim a magnitude do termo secular varia entre 0.75 e 0.95 graus/ano e é aproximadamente constante durante um ciclo de correções [9].

O termo  $2\omega_s$ , se estivesse agindo sozinho, faria o vetor inclinação precessionar em um círculo de raio 0.023 graus a cada 6 meses.

Durante cada meio ciclo, os dois vetores inclinação sofrerão os mesmos efeitos da per-

turbação e irão manter uma diferença relativa constante.

Os dois instantes do dia em que as latitudes dos dois satélites são iguais serão os instantes nos quais a ascensão reta dos satélites for igual à ascensão reta do nodo ascendente ou descendente do vetor inclinação relativo entre os dois satélites.

Sendo  $N = 1, 2$  :

$i_N$  = inclinação do satélite  $N$

$\Omega_N$  = nodo ascendente do satélite  $N$

$S$  = ascensão reta de ambos satélites

$L_N = i_N \text{ sen}(S - \Omega_N)$  = latitude do satélite  $N$

Então :

$$\Delta i_x = i_{x2} - i_{x1} = i_2 \cos(\Omega_2) - i_1 \cos(\Omega_1)$$

$$\Delta i_y = i_{y2} - i_{y1} = i_2 \text{ sen}(\Omega_2) - i_1 \text{ sen}(\Omega_1)$$

$$\tan(\Omega_{rel}) = \frac{\Delta i_y}{\Delta i_x} = \frac{i_2 \text{ sen}(\Omega_2) - i_1 \text{ sen}(\Omega_1)}{i_2 \cos(\Omega_2) - i_1 \cos(\Omega_1)} \quad (3.1)$$

$$L_N = i_N \text{ sen}(S) \cos(\Omega_N) - i_N \cos(S) \text{ sen}(\Omega_N)$$

$L_1 = L_2$  implica que :

$$\text{sen}(S)[i_2 \cos(\Omega_2) - i_1 \cos(\Omega_1)] = \cos(S)[i_2 \text{ sen}(\Omega_2) - i_1 \text{ sen}(\Omega_1)]$$

Assim :

$$\tan(S) = \frac{\text{sen}(S)}{\text{cos}(S)} = \frac{i_2 \text{sen}(\Omega_2) - i_1 \text{sen}(\Omega_1)}{i_2 \text{cos}(\Omega_2) - i_1 \text{cos}(\Omega_1)} \quad (3.2)$$

$$(3.1) = (3.2) \rightarrow \tan(\Omega_{rel}) = \tan(S)$$

Que implica em  $S = \Omega_{rel}$  ou  $\Omega_{rel} + 180^\circ$ . Como o nodo relativo está sempre na direção secular, então as latitudes dos dois satélites serão iguais apenas nos dois instantes do dia em que a ascensão reta dos satélites for igual à ascensão reta da direção secular ou  $180^\circ$  depois.

É possível provar que nos dois instantes do dia em que as latitudes são iguais, os raios são diferentes. Esta separação em raio será alcançada através do controle dos vetores excentricidade dos dois satélites

Para  $N = 1, 2$  temos que :

$a_N$  = semi-eixo maior do satélite  $N$

$e_N$  = excentricidade do satélite  $N$

$\omega_N$  = ascensão reta do nodo ascendente + argumento do perigeu do satélite  $N$

$E_N$  = anomalia excêntrica do satélite  $N$

Assim :

$$r_N = a_N [1 - e_N \cos(E_N)] = \text{raio do satélite } N$$

e :

$$r_2 - r_1 = (a_2 - a_1) - [a_2 e_2 \cos(E_2) - a_1 e_1 \cos(E_1)] \quad (3.3)$$

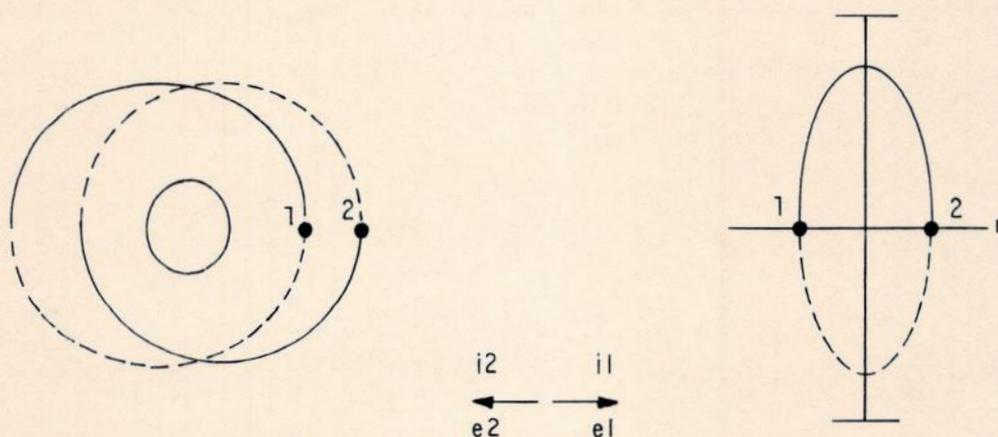
A diferença entre os semi-eixos maiores dos dois satélites será muito pequena em comparação com os valores dos próprios semi-eixos maiores que estarão sempre próximos ao raio síncrono. Desta forma na equação (3.3) o segundo  $a_2$  pode ser aproximado por  $a_1$ . E também, como as duas órbitas são quase circulares, a anomalia excêntrica pode ser aproximada pela ascensão reta dos satélites menos a ascensão reta do perigeu.

$$\begin{aligned} r_2 - r_1 &= (a_2 - a_1) - a_1 [e_2 \cos(S - o_2) - e_1 \cos(S - o_1)] \\ &= (a_2 - a_1) - a_1 \{ e_2 [ \cos(S) \cos(o_2) + \text{sen}(S) \text{sen}(o_2) ] - e_1 [ \cos(S) \cos(o_1) + \text{sen}(S) \text{sen}(o_1) ] \} \\ &= (a_2 - a_1) - a_1 \{ \cos(S) [e_{x2} - e_{x1}] + \text{sen}(S) [e_{y2} - e_{y1}] \} \end{aligned}$$

A expressão entre chaves é a componente do vetor excentricidade relativo, ou seja, a diferença entre os vetores excentricidade, na direção da ascensão reta  $S$ . O primeiro termo  $(a_2 - a_1)$  tem magnitude quase constante. Desta forma a magnitude de  $(r_2 - r_1)$  pode ser forçada a ser grande nos instantes em que as latitudes dos dois satélites forem iguais fazendo com que o segundo termo seja maior do que o primeiro nestes instantes, o que pode ser feito mantendo o vetor excentricidade relativo grande o suficiente na direção secular.

Como os satélites estão na mesma longitude, eles sofrem a mesma aceleração devido à triaxialidade. Partindo do princípio de que a pressão de radiação solar e a massa são iguais para os dois satélites, e que eles estão sendo controlados pela mesma estratégia, seus vetores excentricidade target deverão ser aproximadamente iguais o que se verifica para os satélites BRASILSATs A e B no final e início da vida, respectivamente. Os satélites não serão manobrados na mesma data, assim haverá alguma diferença entre seus vetores excentricidade, mas esta diferença será relativamente pequena. Assim assumindo que os vetores excentricidade são aproximadamente os mesmos, se adicionarmos desvios grandes o suficiente na direção secular e  $180^\circ$  depois, ou seja, nas direções em que as latitudes

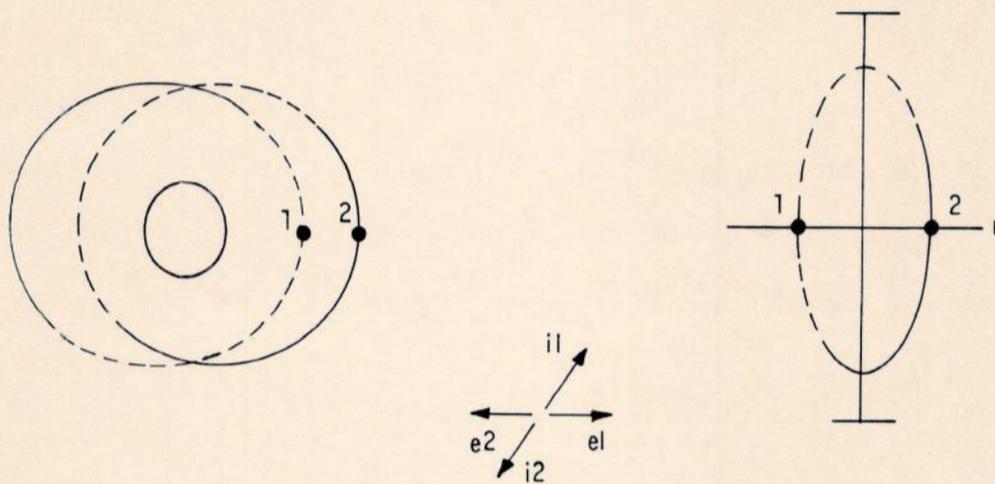
são iguais, poderemos garantir uma separação em raio substancial nestas direções. O que garante que não haverá colisão em qualquer tempo.



**Fig. 12** - Separação entre os vetores excentricidade e inclinação para 2 satélites

### 3.3.2 Separação Através do Defasamento Entre os Vetores Excentricidade e Inclinação

Um exemplo para as variações nos vetores de dois satélites co-localizados é mostrado na Fig. 12 onde o vetor inclinação de um satélite é anti-paralelo ao vetor inclinação do outro. O mesmo ocorrendo para os vetores excentricidade. O movimento relativo de cada satélite em torno da posição de referência (ou em torno de cada um dos outros) é uma elipse com o eixo menor ao longo da direção radial e o eixo maior perpendicular a este, devido às magnitudes dos vetores excentricidade e inclinação dos 2 satélites. Este exemplo indica a possibilidade de eclipses, uma solução para evitá-los seria provocar um deslocamento entre



**Fig. 13** - Separação através do defasamento entre os vetores excentricidade e inclinação

os vetores excentricidade e inclinação de cada satélite, mudando assim, a orientação da normal ao plano da elipse relativa (Fig.13).

#### 4. Requisitos

Um elemento chave para o sucesso de uma co-localização é a habilidade de corrigir erros na deriva rapidamente, principalmente após manobras de inclinação. Isto, de certa forma, depende da habilidade de determinar órbitas pós-manobras acuradas muito rapidamente (a implementação de determinações orbitais em tempo real pelo Filtro de Kalman é um dos projetos principais na EMBRATEL atualmente). Cada satélite, em um par co-localizado, requer que os dados sejam coletados a partir de uma mesma antena (ou de um mesmo sistema) para evitar erros sistemáticos inerentes à(s) mesma(s).

Os satélites estão sujeitos a requisitos para serem co-localizados, independentes da estratégia de co-localização:

- . Ambos os satélites devem se manter dentro de limites específicos nas direções norte-sul e leste-oeste, como no caso de um único satélite. Desta forma, ambos estão confinados a uma caixa angular quadrada característica centrada na latitude zero e na longitude nominal;
- . Os satélites devem respeitar os requisitos da estratégia de comunicação. A separação angular geocêntrica nunca pode exceder  $0.05^\circ$  ( $\simeq 35$  km) para o caso de co-localização de iluminação dupla;
- . A separação física adequada entre dois satélites deve ser de pelo menos 7 km;
- . As manobras deverão ser mais frequentes, podendo necessitar execução simultânea para ambos satélites. A fase inicial será particularmente crítica. Atingir um nível de risco aceitável irá requerer rápida e acurada determinação orbital.

## Capítulo IV

### OPERAÇÕES ORBITAIS

Para um melhor entendimento do método utilizado para co-localizar os satélites BRASILSATs A2 e B1 torna-se necessária uma descrição detalhada do software utilizado pelas simulações. A posterior apresentação do método tornar-se-á mais clara com o acompanhamento das respectivas simulações que se encontram nos anexos 1 e 2.

#### 1. O Software

O software STA (Stationkeeping Software) foi desenvolvido pela Hughes Aircraft Company e é utilizado pela EMBRATEL desde o lançamento dos BRASILSATs A1 e A2. Este software promove estimativas de órbita e atitude dos satélites, gera efemérides, planeja manobras de deriva/excentricidade, inclinação e controle de apontamento, e prevê eclipses de satélites. Serão explicitadas aqui apenas as funções do STA utilizadas pelas simulações de co-localização.

##### 1.1. Função Elementos Médios (Mean Elements)

Os parâmetros relacionados à órbita que devem ser controlados para uma comunicação satisfatória são os que fixam a posição do satélite em relação às estações terrestres. Um conjunto destes parâmetros para um satélite geoestacionário é formado pelo raio, latitude e longitude instantâneos  $r$ ,  $\delta$ ,  $\lambda$ . Este conjunto depende dos valores instantâneos dos elementos não singulares  $S$ ,  $d$ ,  $e_x$ ,  $e_y$ ,  $i_x$ ,  $i_y$  para um dado tempo  $t$ , onde  $S$  é a ascensão reta média.

É impossível manter uma órbita perfeitamente estacionária.  $\lambda$  está sujeito a acelerações longitudinais produzidas por perturbações no campo gravitacional terrestre local e pelas gravidades do Sol e da Lua. Uma oscilação diurna em torno da longitude média é devida à

magnitude da excentricidade, que é perturbada pela pressão de radiação solar. A variação senoidal diária de  $\delta$  em torno de zero tem uma magnitude que varia secularmente de acordo com perturbações causadas pelo Sol e pela Lua.

Para controlar um satélite é necessário aplicar correções orbitais que minimizem as magnitudes de  $e$  e  $i$ , enquanto mantém  $l$ , o valor médio diário de  $\lambda$ , próximo à longitude estacionária  $l_s$  (no nosso caso  $l_s = 70.0^\circ$ ).

É necessário obter um conjunto de elementos médios, os vetores deriva  $\bar{d}$ , excentricidade  $\bar{e}$  e inclinação  $\bar{i}$  (Introdução - 3. Vetores), a partir de vetores osculadores, para omitir os efeitos das perturbações de curto período.

Um método numérico é utilizado para gerar elementos médios, pois ajusta elementos não singulares obtidos diretamente de uma integração numérica sobre um determinado tempo.

Os elementos numéricos são coeficientes de polinômios de 2ª ordem no tempo que omitem os efeitos das oscilações de curto período. Cada elemento não singular osculador  $E_i$  é calculado em intervalos de 4 horas por integração numérica sobre um período de tempo  $T$ , partindo-se de uma órbita inicial no tempo  $t_0$ . Os pontos  $E_i(t)$  são encontrados através de um mínimo quadrado da forma [4]:

$$E_i(t) = A_i t^2 + B_i t + C_i + \sum_j (D_{ij} \text{sen}(W_j t) + F_{ij} \text{cos}(W_j t))$$

onde  $W_j$  são as frequências a serem removidas.

Assim, em  $t_0 = 0$  :  $\bar{E}_i(t_0) = C_i$ , a taxa de variação é  $\dot{\bar{E}}_i(t_0) = B_i$ , e a derivada segunda média é  $\ddot{\bar{E}}_i(t_0) = 2A_i$ .

Baseada em valores dados da órbita do satélite, e da época para a qual se quer gerar elementos médios, a função elementos médios gera os coeficientes dos elementos orbitais médios para a época especificada.

## 1.2. Função Inicialização Deriva / Excentricidade (Drift Eccentricity Initialization)

Baseada em valores dados para as datas das primeira e última manobras (em uma série de até 3 manobras), número de dias entre a última manobra e a próxima manobra de controle de deriva/excentricidade e longitude do satélite, a função inicialização calcula os delta velocidade requeridos e as datas exatas das manobras de inicialização dos parâmetros orbitais, através do método de Encke, onde são integradas numericamente as equações de movimento da órbita de referência de um problema de dois corpos, satisfazendo:

$$\frac{d^2 r}{dt^2} + \frac{\mu \bar{r}}{r^3} = \bar{a}_t + \bar{a}_s + \bar{a}_l + \bar{a}_r = \bar{f}(\bar{r}, \dot{\bar{r}}, t)$$

onde:

$r$  = raio vetor do centro da Terra ao satélite (urt);

$\mu$  = constante gravitacional terrestre ( $\text{urt}^3/\text{s}^2$ );

$\bar{a}_t$  = não uniformidade terrestre;

$\bar{a}_s$  = gravidade solar;

$\bar{a}_l$  = gravidade lunar;

$\bar{a}_r$  = pressão de radiação solar;

$\bar{f} = 0, \bar{R}(0) = \bar{r}_0, \dot{\bar{R}}(0) = \dot{r}_0.$

## 1.3. Função Delta Velocidade (Delta Velocity Maneuver)

O incremento em velocidade,  $\Delta V^r$ , dado ao satélite é:

$$\Delta V^r = \frac{F \cdot T}{m}$$

onde:

$F = \text{jato};$

$T = \text{duração da combustão};$

$m = \text{massa do satélite}.$

Baseada em valores dados de órbita do satélite, data da manobra e componentes de delta velocidade (radial, normal, tangencial) a função Delta Velocidade calcula a órbita resultante de uma manobra qualquer.

Os dados de saída se dividem em dois conjuntos. Primeiramente obtém-se um conjunto de valores pré-manobra calculados através da propagação da órbita dada até a data da manobra. Então, obtém-se um conjunto de valores pós-manobra calculados adicionando-se as componentes do delta velocidade ao vetor velocidade pré-manobra e calculando-se a órbita resultante. A função delta velocidade admite que a componente tangencial do delta velocidade está no plano equatorial e é perpendicular ao raio vetor do satélite, que a componente normal é perpendicular ao plano equatorial, e que a componente radial está no plano equatorial na direção da projeção do raio vetor neste plano.

#### 1.4. Função Controle de Inclinação (Inclination Control)

A latitude do satélite é uma função senoidal com frequência  $\omega_e$  (taxa de rotação da Terra) e amplitude  $i$  (inclinação da órbita).

$$\delta = i \text{ sen}(nt + \omega_e)$$

Assim qualquer variação desejada na latitude requer correções (delta velocidade) no vetor inclinação. Para um ciclo de correções de duração  $T$ , a variação total do elemento médio  $\vec{i}$  pode ser encontrada assumindo-se que o vetor inclinação descreve uma linha reta no plano  $[i_x, i_y]$  dada por:

$$\Delta i = T \dot{\vec{i}}$$

onde:

$$\dot{i} = -[Q_y + \sum_L Q_{yi} W_i \text{sen} I_i, Q_x + \sum_L Q_{xi} W_i \text{cos} I_i]$$

$\dot{i}$  é primariamente causado pela atração gravitacional do Sol e da Lua e pelo achatamento nos polos terrestres e, em consequência disto, os termos de longo período são os seculares e suas magnitudes são:

$$Q_x = 0.852 + 0.098 \text{ cos} \Lambda_m \text{ graus/ano}$$

$$Q_y = 0.132 \text{ sen} \Lambda_m \text{ graus/ano}$$

e  $W = 2S$ , onde  $S = 2 \times 10^{-7}$  rad/s é a frequência solar.

Qualquer correção na latitude do satélite requer um incremento em velocidade normal ao plano orbital e com magnitude  $\Delta V_N$  dada por:

$$\Delta V_N = V_S \left| \vec{i}_I - \vec{i}_O \right|$$

este incremento deve ser aplicado quando a ascensão reta do satélite estiver na direção do vetor variação  $(\vec{i}_I - \vec{i}_O)$  desejado:

$$S_A = \frac{(\vec{i}_D \cdot \vec{i}_h)}{|\vec{i}_D \cdot \vec{i}_h|} \text{cos}^{-1} \frac{(\vec{i}_D \cdot \vec{i}_k)}{|\vec{i}_D|}$$

onde:

$V_S$  = velocidade de um satélite em órbita estacionária;

$\vec{i}_I$  = vetor inclinação desejado;

$\vec{i}_D = \vec{i}_I - \vec{i}_O$ ;

$\vec{i}_k = [1, 0]$ ;

$\vec{i}_h = [0, 1]$ .

Baseada em valores dados de data da manobra, vetor inclinação desejado e número de dias entre a manobra e o vetor inclinação desejado a função controle de inclinação calcula

as componentes do delta velocidade requerido, a data exata da manobra e a atitude do eixo de rotação no qual se deve executar a manobra de controle de inclinação.

## 2. As Simulações

### 2.1. Defasamento Entre os Vetores Excentricidade e Inclinação

Nesta estratégia as magnitudes dos vetores excentricidade e inclinação dos dois satélites são iguais, porém a orientação destes vetores é defasada de  $180^\circ$  entre um satélite e o outro. Esta estratégia cumpre o requerimento básico de não haver colisão, além de diminuir a possibilidade de eclipses e interferências entre os sensores dos satélites durante uma co-localização de curto período (15 dias).

Para atingir a separação adequada entre os vetores excentricidade e inclinação dos dois satélites primeiramente foi calculada a órbita do BRASILSAT A2 para 93, 7, 23 (data do início da simulação da co-localização):

$$42163.59, 0.0001211, 0.01556, 168.3948, -45.4688, 134.8019$$

onde os elementos orbitais estão na seguinte ordem:  $a$ (km),  $e$ (rad),  $i$ (graus),  $M$ (graus),  $\omega$ (graus),  $\Omega$ (graus).

Baseada nesta órbita foi, então, calculada a órbita desejada para o BRASILSAT B1 para a mesma época:

$$42163.59, 0.0001211, 0.01556, 348.3948, -45.4688, -45.1981$$

de forma que os vetores excentricidade e inclinação tivessem a mesma magnitude ( $e_{A2} = e_{B1}$ ,  $i_{A2} = i_{B1}$ ) porém orientações diferentes ( $M_{A2} = M_{B1} + 180^\circ$ ,  $\omega_{A2} = \omega_{B1}$ ,  $\Omega_{A2} = \Omega_{B1} + 180^\circ$ ).

Na simulação partimos da órbita em que o BRASILSAT B1 é testado, em 93, 6, 21:

42162.44, 0.0002248, 0.15799, 309.0834, 159.4631, 99.6203

desta forma teremos 32 dias para, através de manobras de correção orbital, atingir a órbita desejada.

A simulação destas manobras se encontra no anexo 1.

Primeiramente foram gerados os elementos médios para a órbita inicial do BRASILSAT B1. Com isto, foi calculada uma manobra de inicialização deriva/excentricidade para atingir a excentricidade e a longitude desejadas em 93, 7, 23. Esta manobra é dividida em 5 partes, sendo 2 manobras de partida e 3 de chegada; as 3 manobras de chegada inicializam  $d, e, \lambda$ .

Como nesta etapa desejamos apenas fazer uma mudança de estação, a função delta velocidade foi aplicada apenas na primeira parte da manobra de inicialização deriva/excentricidade.

Após a primeira manobra foram gerados os elementos médios para a órbita pós-manobra do BRASILSAT B1.

Foi calculada a segunda manobra, desta vez uma manobra de inclinação para atingir-se o vetor inclinação desejado. Esta manobra foi simulada através da função delta velocidade  $e$ , com isto, foram gerados os elementos médios pós-manobra de inclinação.

Novamente calculou-se uma manobra de inicialização deriva/excentricidade e foi-lhe aplicada a função delta velocidade. Chegou-se, assim, a uma órbita final para o BRASILSAT B1 em 93, 7, 22, 21, 33, 24, igual a:

42164.99, 0.0001224, 0.01539, 290.4489, 308.4264, 315.0724

Foi utilizada, então, a função co-localização (Co-location Predicts), cujos dados de entrada são as órbitas dos dois satélites para a época de início da co-localização, o passo e

a duração da integração. Esta função gera efemérides e um gráfico (anexo 1) onde pode-se acompanhar a evolução da co-localização.

Os resultados desta simulação são apresentados na tabela 4.1, e foram considerados satisfatórios, desde que as efemérides geradas pela função co-localização mostraram que não haveria colisão durante os 15 dias, porém haveriam eclipses nas vezes em que as diferenças em latitude e longitude entre os dois satélites são iguais a zero. Isto ocorrendo devido às diferenças entre os vetores atingidos e os objetivados (target) mostradas na tabela 4.1.

**Tabela 4.1 - Resultados da 1ª Simulação**

|      | $ECC_{TARGET}$ | ECC     | $INC_{TARGET}$ | INC      |
|------|----------------|---------|----------------|----------|
| Mag  | 0.00012        | 0.00012 | 0.01556        | 0.01539  |
| A.R. | 269.333        | 263.498 | -45.1981       | -44.9276 |

## 2.2 Separação Longitudinal

Com o objetivo de realizar uma transição de tráfego sem descontinuidade de serviço para os usuários do sistema BRASILSAT, os satélites B1 e A2 deverão ser posicionados de forma que não haja separação angular maior do que  $0.05^\circ$  entre eles. Assim a comunicação com os dois satélites poderá ser realizada a partir de uma mesma antena. Esta simulação encontra-se no anexo 2.

Considerando que as determinações orbitais serão feitas através de antenas diferentes para cada satélite (TART para o A2 e T&C para o B1), é conveniente que esta separação angular de  $0.05^\circ$  seja decomposta em uma separação longitudinal ( $< 0.045^\circ$ ) e outra latitudinal ( $< 0.020^\circ$ ). Esta estratégia promove uma maior flexibilidade e protege de erros sistemáticos em qualquer dos eixos decorrentes da imprecisão dos dados observacionais, do

modelo matemático utilizado no software de controle orbital, das diferenças de calibrações existentes tanto entre as duas antenas como entre as técnicas de determinação orbital.

Como precaução adicional para o momento da intersecção entre os planos orbitais, foi introduzida uma diferença de orientação das órbitas de cada satélite em seu próprio plano de modo que a distância dos mesmos ao centro da Terra fosse diferente, através de um pequeno defasamento entre os vetores excentricidade.

Partindo de uma órbita padrão para o BRASILSAT A2 em 94, 9, 17:

0.02, 70.02, 42166.4, 3074.6, 0, 0

onde os elementos orbitais são: latitude (graus, +N), longitude (graus, +W), distância à Terra (km), velocidade (mps), ângulo de vôo (graus), azimute do vetor velocidade (graus).

Foi calculada a órbita do BRASILSAT B1 para a mesma época:

0, 69.98, 42166.4, 3074.6, 0, 0

de forma que os satélites tivessem uma diferença em longitude menor do que  $0.045^\circ$ , garantindo uma separação latitudinal de aproximadamente  $0.02^\circ$  e estivessem o mais próximo possível da longitude nominal de controle  $70.0^\circ$ .

Aos dois satélites foi aplicada a mesma sequência de passos e manobras antes da co-localização.

Primeiramente os elementos de vôo foram convertidos para elementos clássicos ( $a, e, i, M, \omega, \Omega$ ) através da função conversão de elementos (Element Conversion Function). Em seguida foram calculados os elementos médios para estas órbitas.

Foi calculada uma manobra de inicialização deriva/excentricidade para ajustar a longitude dos satélites à desejada em 94, 9, 20 (data do início da co-localização). Foi aplicada a função delta velocidade para efetivar a manobra calculada.

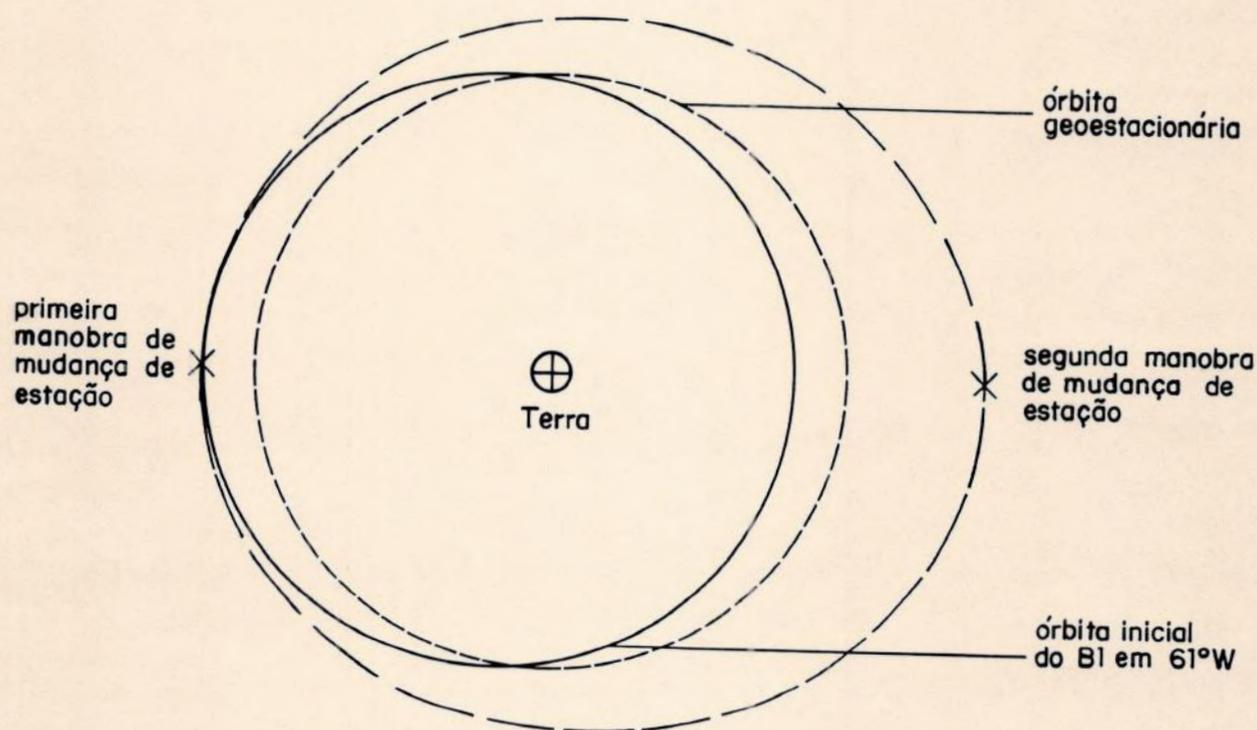
Foram calculados os elementos médios dos satélites em 94, 9, 20 e finalmente foi aplicada a função co-localização às órbitas finais. Esta simulação mostrou que durante o período de 15 dias da co-localização não só não haverá colisão, como também não haverá eclipse pois um satélite não ultrapassa o outro em longitude, nem haverá interferências entre os sensores.

## Capítulo V

### CO-LOCALIZAÇÃO DOS BRASILSATS B1 E A2

As análises desenvolvidas neste projeto recomendaram a estratégia descrita a seguir para co-localização dos BRASILSATS B1 e A2. Um sumário de todas as manobras encontra-se nas tabelas 5.1 e 5.2.

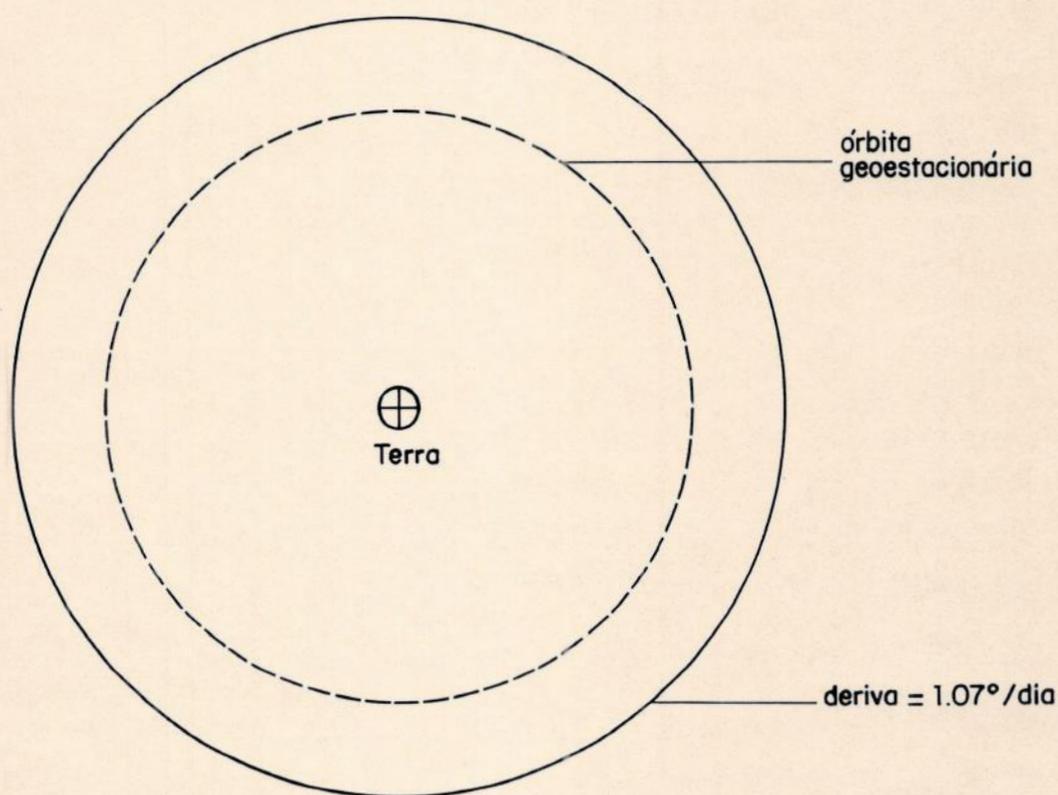
Estando o BRASILSAT B1 na longitude  $61^{\circ}\text{W}$  para testes foi preciso estipular uma estratégia para leva-lo para a longitude  $70^{\circ}\text{W}$  (onde estava o BRASILSAT A2) que já levasse em conta a futura co-localização.



**Fig.14** - Primeira e segunda manobras de mudança de estação

Esta mudança de estação foi desenvolvida através de duas manobras. A primeira delas

foi dividida em duas partes, para manter a rotação do satélite e cancelar as precessões de 2 graus causadas por cada manobra devido à posição dos jatos em relação ao centro de gravidade do satélite. Esta manobra tinha como objetivo aumentar a velocidade do satélite em relação à Terra para  $1.07^\circ/\text{dia}$  de forma que a órbita final não cruzasse a órbita geoestacionária (Fig. 14). Como a órbita do BRASILSAT B1 em  $61^\circ$  não era perfeitamente circular foi preciso realizar uma segunda manobra de mudança de estação para circularizar a órbita após a primeira manobra e garantir, assim, que pudéssemos voltar à órbita geoestacionária em qualquer momento e não apenas no apogeu (Fig. 15).

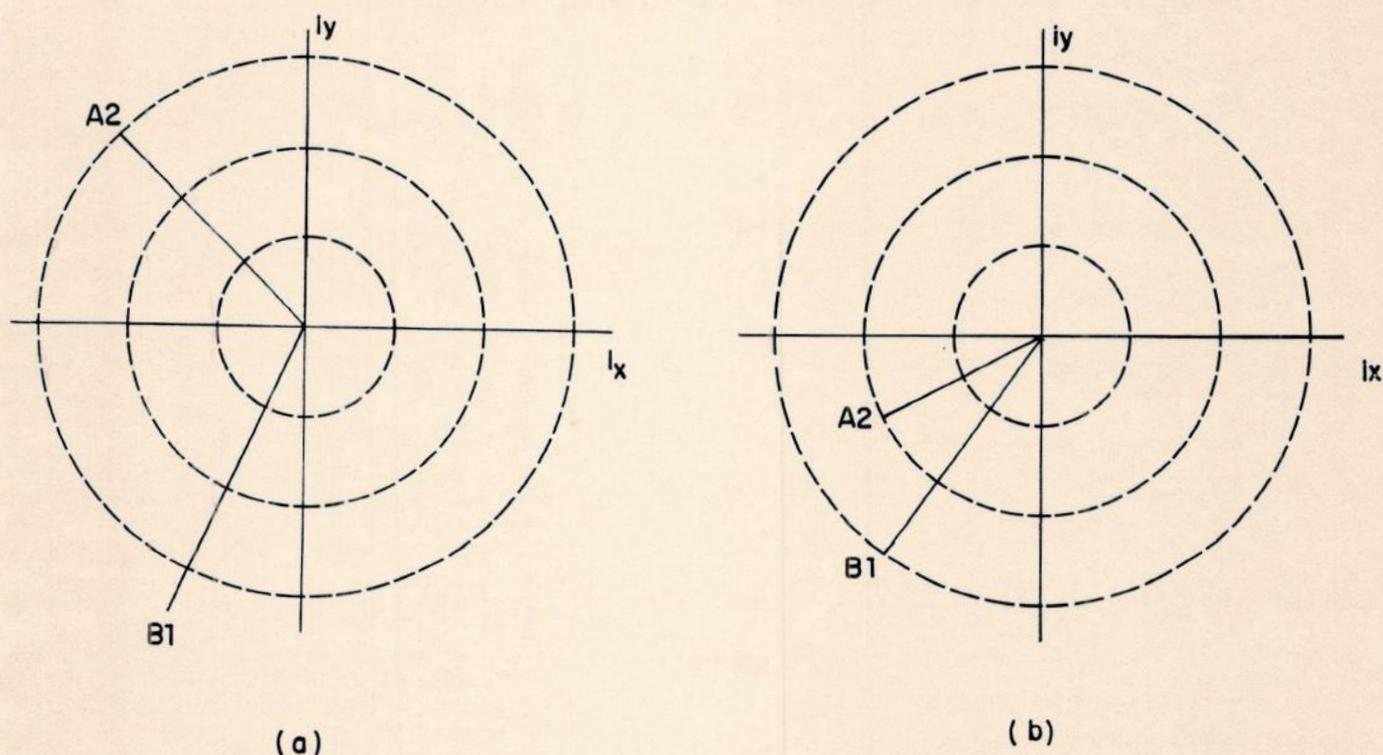


**Fig.15** - Órbita do BRASILSAT B1 após a segunda manobra de mudança de estação

A deriva de  $1.07^\circ/\text{dia}$  foi definida baseada na data do início da co-localização: 94, 09, 21. Assim, em 94, 09, 17 o satélite estaria a aproximadamente  $1^\circ$  do seu objetivo e teríamos quatro dias para realizar as manobras de parada e verifica-las.

Durante este período de deriva do B1 as únicas manobras realizadas nos BRASILSATs

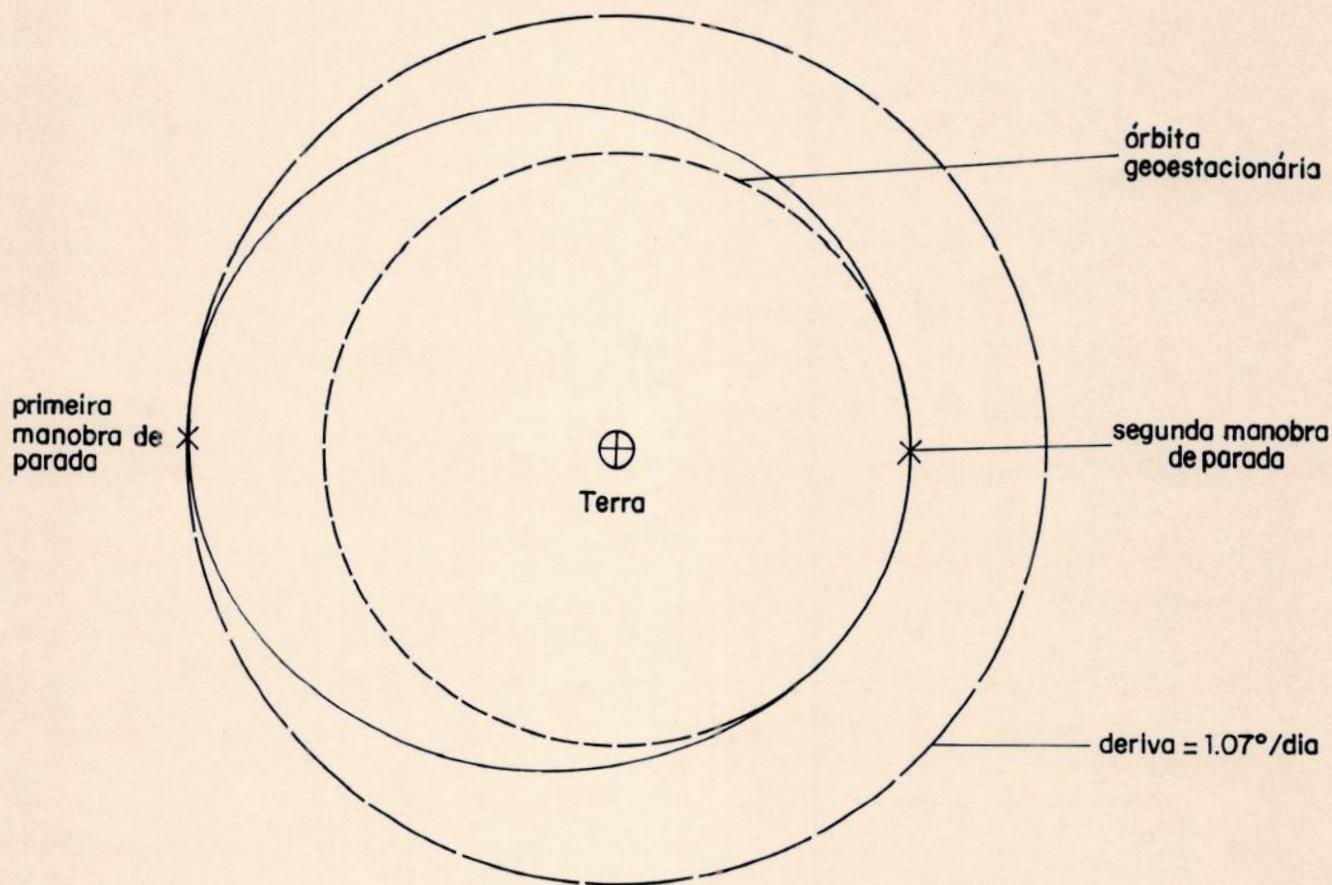
B1 e A2 foram de inclinação, pois era necessário garantir uma diferença de no máximo  $0.02^\circ$  em latitude para a co-localização (Fig. 16).



**Fig.16** - Vetores inclinação dos BRASILSATs B1 e A2 (a) antes das manobras de inclinação e (b) depois das manobras de inclinação garantindo uma diferença máxima de  $0.02^\circ$  em latitude entre os dois satélites (o espaçamento entre as linhas concêntricas é de  $0.01^\circ$ )

A quatro dias do início da co-localização começou a fase de parada do BRASILSAT B1. Três manobras foram necessárias e todas foram divididas em duas partes, também, para não provocar grande variação da rotação do satélite e cancelamento das precessões em cada manobra (consegue-se isto usando um jato diferente em cada parte da manobra).

A primeira manobra de parada transformou a órbita em uma elipse com perigeu próximo à órbita geoestacionária (Fig. 17). A segunda manobra de parada foi executada exatamente neste perigeu um dia e meio após a primeira e circularizou a órbita.



**Fig.17** - Primeira e segunda manobras de parada do BRASILSAT B1

A terceira manobra de parada já tinha como objetivo sincronizar o movimento do BRASILSAT B1 com o A2. Em seguida, foram realizadas simultaneamente manobras de inicialização do BRASILSAT A2 e de sincronização do BRASILSAT B1 com o anterior para garantir a separação de  $0.045^\circ$  em longitude planejada pela estratégia de co-localização.

A primeira parte da manobra de inicialização parou o BRASILSAT A2 no final do box para esperar o B1 e a segunda parte centralizou o movimento do A2 em torno de  $70.0225^\circ W$ . A manobra de sincronização do B1 centralizou o satélite em torno da longitude de  $69.9775^\circ W$ .

As manobras de parada e de sincronização do B1 inicializaram o seu movimento com

controle de todos os elementos orbitais, a menos da excentricidade que por estar dentro de uma margem aceitável operacionalmente não foi controlada para economia de combustível.

**Tabela 5.1: Manobras do BRASILSAT B1**

| Manobra | Descrição                                  | Época             | $\Delta d(+W)$ | $\Delta M(Kg)$ | Long(+W) |
|---------|--|-------------------|----------------|----------------|----------|
| 46      | 1ª Manobra de Mudança de Estação (Parte 1) | 94-09-09-08-33-04 | 0.49091        | 0.586          | 60.9147  |
| 47      | 1ª Manobra de Mudança de Estação (Parte 2) | 94-09-09-09-18-07 | 0.47824        | 0.586          | 60.9185  |
| 48      | 2ª Manobra de Mudança de Estação           | 94-09-10-21-52-12 | 0.09414        | 0.115          | 62.3880  |
| 50      | Inclinação                                 | 94-09-13-23-58-32 |                | 1.303          | 65.6980  |
| 51      | 1ª Manobra de Parada (Parte 1)             | 94-09-17-01-52-18 | -0.21753       | 0.259          | 69.0180  |
| 52      | 1ª Manobra de Parada (Parte 2)             | 94-09-17-02-16-51 | -0.25266       | 0.303          | 69.0437  |
| 53      | 2ª Manobra de Parada (Parte 1)             | 94-09-18-13-46-59 | -0.23671       | 0.289          | 69.9580  |
| 54      | 2ª Manobra de Parada (Parte 2)             | 94-09-18-14-11-31 | -0.27184       | 0.332          | 69.9744  |
| 55      | 3ª Manobra de Parada (Parte 1)             | 94-09-19-01-39-30 | -0.03699       | 0.044          | 70.0198  |
| 56      | 3ª Manobra de Parada (Parte 2)             | 94-09-19-01-59-00 | -0.07211       | 0.087          | 70.0219  |
| 57      | Manobra de Sincronização                   | 94-09-21-01-59-15 | -0.00651       | 0.008          | 70.0158  |

**Tabela 5.2: Manobras do BRASILSAT A2**

| Manobra | Descrição               | Época             | $\Delta d(+W)$ | $\Delta M(Kg)$ | Long(+W) |
|---------|-------------------------|-------------------|----------------|----------------|----------|
| 719     | Inclinação              | 94-09-16-11-38-52 |                | 0.503          | 70.019   |
| 720     | Inicialização (Parte 1) | 94-09-18-21-49-29 | -0.01562       | 0.015          | 70.053   |
| 721     | Inicialização (Parte 2) | 94-09-21-03-02-12 | -0.01882       | 0.019          | 70.064   |

## CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS FUTURAS

Este trabalho teve a proposta original de desenvolver a base teórica necessária para viabilizar as co-localizações que viriam a ser realizadas durante a implantação da segunda geração de satélites BRASILSAT.

Com o sucesso das duas co-localizações já realizadas (A2/B1 e A1/A2) nos sentimos confiantes e seguros para a próxima e também para a necessidade eventual de se operar dois satélites co-localizados por período indeterminado.

## ANEXO 1

STA 10.0 Mean Elements

Orbit Epoch Yr Mo Dy Hr Mn Se 93 6 21 00 00 00 Stepsize 900.0 sec  
S/C Weight 1055.0001 kg  
SRF 0.0001059 nc

Input Osculating Classical Elements  
SMA I M Omega Node  
42162.44 km 0.0002248 0.15799 dg 309.0834 dg 159.4631 dg 99.6203 dg

Osculating Classical Elements at Mean Elements Epoch  
SMA I M Omega Node  
42162.44 km 0.0002248 0.15799 dg 309.0834 dg 159.4631 dg 99.6203 dg

Mean Elements Epoch Yr Mo Dy Hr Mn Se 93 6 21 00 00 00

|               |               |               |               |               |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| K1Zer         | H1Zer         | K2Zer         | H2Zer         | LonZer        |
| K1Lin         | H1Lin         | K2Lin         | H2Lin         | LonLin        |
| K1Qua         | H1Qua         | K2Qua         | H2Qua         | LonQua        |
| - .639654E-04 | - .168618E-03 | - .496908E-03 | 0.269179E-02  | 61.0390       |
| - .372434E-05 | 0.521606E-06  | 0.551489E-05  | 0.533791E-04  | - .311882E-01 |
| 0.588678E-08  | - .345036E-07 | - .149553E-06 | - .131884E-06 | 0.701865E-03  |

|                |    |    |    |    |    |    |            |                   |         |            |                 |          |
|----------------|----|----|----|----|----|----|------------|-------------------|---------|------------|-----------------|----------|
| Estimated Time | Yr | Mo | Dy | Hr | Mn | Se | On-Station | Mean              | Lon and | Satellite  | Solar Radiation | Lon      |
| Maneuver 1     | 93 | 6  | 24 | 00 | 00 | 00 | Lon(+W)    | Acceleration(+W)  | Drift   | Weight     | Force           | Ctrl Box |
| Maneuver 3     | 93 | 7  | 23 | 00 | 00 | 00 | 70.000 dg  | 0.001261 dg/dy**2 | Compute | 1055.00 kg | 0.0001059 nt    | 0.100 dg |

Target E Vector      Longitude Guardband  
 Input      0.015 deg

|      |    |    |    |    |    |    |               |               |            |                  |                  |           |             |            |            |
|------|----|----|----|----|----|----|---------------|---------------|------------|------------------|------------------|-----------|-------------|------------|------------|
| Mnvr | Yr | Mo | Dy | Hr | Mn | Se | Longitude(+W) | Tangential DV | Pre-Mnvr   | Mnvr Delta       | Drift(+W)        | E Mag     | E Rt Asc    | K1         | H1         |
| 1    | 93 | 6  | 24 | 10 | 50 | 20 | 60.93396 deg  | 0.9457 mps    | Mnvr Delta | 0.33217 deg/day  | -0.02640 deg/day | 0.0001858 | 245.399 deg | -0.0000774 | -0.0001689 |
| 2    | 93 | 7  | 22 | 09 | 36 | 29 | 70.0080 deg   | -0.8249 mps   | Post-Mnvr  | 0.30577 deg/day  | 0.33217 deg/day  | 0.0006151 | 14.250 deg  | 0.0005962  | 0.0001514  |
| 3    | 93 | 7  | 22 | 21 | 34 | 38 | 70.0348 deg   | -0.1916 mps   | Pre-Mnvr   | 0.34316 deg/day  | 0.30577 deg/day  | 0.0005192 | 338.065 deg | 0.0005189  | -0.0000175 |
|      |    |    |    |    |    |    |               |               | Mnvr Delta | -0.28976 deg/day | 0.34316 deg/day  | 0.0004188 | 353.101 deg | 0.0004158  | -0.0000503 |
|      |    |    |    |    |    |    |               |               | Post-Mnvr  | 0.05339 deg/day  | -0.28976 deg/day | 0.0005366 | 194.267 deg | -0.0005201 | -0.0001322 |
|      |    |    |    |    |    |    |               |               | Mnvr Delta | 0.05405 deg/day  | 0.05339 deg/day  | 0.0002102 | 240.260 deg | -0.0001043 | -0.0001825 |
|      |    |    |    |    |    |    |               |               | Pre-Mnvr   | -0.06729 deg/day | 0.05405 deg/day  | 0.0002120 | 240.007 deg | -0.0001060 | -0.0001836 |
|      |    |    |    |    |    |    |               |               | Post-Mnvr  | -0.01324 deg/day | -0.06729 deg/day | 0.0001246 | 14.267 deg  | 0.0001208  | 0.0000307  |
|      |    |    |    |    |    |    |               |               |            |                  |                  | 0.0001536 | 275.530 deg | 0.0000148  | -0.0001529 |

|          |    |    |    |    |    |    |               |             |                    |               |             |               |             |
|----------|----|----|----|----|----|----|---------------|-------------|--------------------|---------------|-------------|---------------|-------------|
| Maneuver | Yr | Mo | Dy | Hr | Mn | Se | Radial Jet DV | PsiFC       | Earth to Sun Angle | Tangential DV | Normal DV   | Spacecraft RA | Sun RA      |
| 1        | 93 | 6  | 24 | 10 | 50 | 20 | 0.9547 mps    | 168.951 deg | 101.049 deg        | 0.9457 mps    | -0.1308 mps | 14.250 deg    | 93.200 deg  |
| 2        | 93 | 7  | 22 | 09 | 36 | 29 | 0.8328 mps    | 17.490 deg  | 72.510 deg         | -0.8249 mps   | -0.1141 mps | 14.267 deg    | 121.757 deg |
| 3        | 93 | 7  | 22 | 21 | 34 | 38 | 0.1934 mps    | 197.986 deg | 252.014 deg        | -0.1916 mps   | -0.0265 mps | 194.267 deg   | 122.253 deg |



|                                     |                   |                  |             |              |
|-------------------------------------|-------------------|------------------|-------------|--------------|
| Orbit Epoch                         | Yr Mo Dy Hr Mn Se | 93 6 24 10 50 20 | Stepsize    | 900.0 sec    |
|                                     |                   |                  | S/C Weight  | 1055.0000 kg |
|                                     |                   |                  | SRF         | 0.0001059 nt |
| Input Osculating Classical Elements |                   |                  |             |              |
|                                     |                   |                  |             |              |
| SMA                                 | I                 | M                | Omega       | Node         |
| 42189.43 km                         | 0.0005647         | 0.16990 dg       | 252.6783 dg | 101.1665 dg  |

|  |           |            |             |            |
|--|-----------|------------|-------------|------------|
| Osculating Classical Elements at Mean Elements Epoch |           |            |             |            |
|  |           |            |             |            |
| SMA  | I         | M          | Omega       | Node       |
| 42191.82 km  | 0.0004604 | 0.23257 dg | 251.5151 dg | 96.3019 dg |

|  |              |              |              |              |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Mean Elements Epoch Yr Mo Dy Hr Mn Se 93 7 18 00 00 00 |              |              |              |              |  |  |  |  |  |  |  |  |
| K1Zer  | H1Zer        | K2Zer        | H2Zer        | LonZer       |  |  |  |  |  |  |  |  |
| K1Lin  | H1Lin        | K2Lin        | H2Lin        | LonLin       |  |  |  |  |  |  |  |  |
| K1Qua  | H1Qua        | K2Qua        | H2Qua        | LonQua       |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0.433370E-03   | -.264100E-04 | -.484938E-03 | 0.403251E-02 | 68.5404      |  |  |  |  |  |  |  |  |
| -.321112E-05   | -.135366E-05 | -.607437E-05 | 0.466006E-04 | 0.340420E+00 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0.166133E-07   | -.222967E-07 | 0.205157E-07 | -.189215E-06 | 0.570839E-03 |  |  |  |  |  |  |  |  |

Mean Elements Epoch  
Yr Mo Dy Hr Mn Se  
93 7 18 00 00 00

K1Zer H1Zer K2Zer LonZer  
K1Lin H1Lin K2Lin LonLin  
K1Qua H1Qua K2Qua LonQua  
0.433370E-03 -.264100E-04 -.484938E-03 0.403251E-02 68.540413  
-.321112E-05 -.135366E-05 -.607437E-05 0.466006E-04 0.340420E+00  
0.166133E-07 -.222967E-07 0.205157E-07 -.189215E-06 0.570839E-03

Input Estimated Maneuver Time Yr Mo Dy Hr Mn Se  
93 7 18 00 00 00

Control Mode  
Input Target

Days to Target I  
3

Mean Longitude (+W)  
68.421 deg

Pre-Maneuver I 0.0040450 rad  
Maneuver Delta I 0.0045420 rad  
Post-Maneuver I 0.005584 rad  
Perturbation Delta I 0.0001397 rad  
Target I 0.0004404 rad

Magnitude Right Ascension  
96.855 deg  
280.257 deg  
305.718 deg  
97.438 deg  
314.359 deg

K2  
-0.0004828 rad  
0.0008088 rad  
0.0003260 rad  
-0.0000181 rad  
0.0003079 rad

H2  
0.0040161 rad  
-0.0044695 rad  
-0.0004534 rad  
0.0001385 rad  
-0.00003149 rad

S/C RA at Maneuver  
117.000 deg

Maneuver Time Yr Mo Dy Hr Mn Se  
93 7 17 15 32 50

Axial Jet DV 13.9653 mps  
Earth to Sun Spin Angle 163.257 deg  
Avg Normal Attitude 182.520 deg  
SARA SAdec Normal DV  
182.520 deg -89.898 deg -13.9653 mps

BCS Calibration for Off-Pulsed Axial Jet Maneuver

Jets OPWCal(ms) Ox\_PreMode Fu\_PreMode Step(se) SpnPeriods T01i(dC) T02i(dC) TF1i(dC) TF2i(dC) SCWTi(kg) SCWTF(kg) DelW(kg)  
1.000 13.965 295.637 1723.690 1683.682 1723.690 20.0 20.0 1055.000 1049.946 -5.054  
1.000 997.961 48.624 492.058 488.856 356.343 1568.317 1928.244 1920.223 0.000  
1.000 224.645 997.765 14651.474 163.257 0.801 0.960 0.955 30.000 1.0701 6057.76  
0.180 336.965 179.945 0.005349 0.002947 295.515 24.042 1.000 1.000 30.104 6053.53  
0.180 156.965 179.910 0.005348 0.002947 295.514 24.039 1.000 1.000 0.000 0.00  
0.000 173.608 4.771 AngISSOP(nms) YawA11+f(nms) RollA11+f(nms) WdTOCal2 WdTFCal2 IspCal2 IspCall PhsCor(dg) DHD11 DHD12  
axial 1,2 Regulated 20.010 151.0 20.0 20.0 20.0 20.0 1055.000 1049.946 -5.054  
1.000 13.965 295.637 1723.690 1683.682 1723.690 20.0 20.0 1928.244 1920.223 0.000  
1.000 997.961 48.624 492.058 488.856 356.343 1568.317 1928.244 1920.223 0.000  
1.000 224.645 997.765 14651.474 163.257 0.801 0.960 0.955 30.000 1.0701 6057.76  
0.180 336.965 179.945 0.005349 0.002947 295.515 24.042 1.000 1.000 30.104 6053.53  
0.180 156.965 179.910 0.005348 0.002947 295.514 24.039 1.000 1.000 0.000 0.00  
0.000 173.608 4.771 AngISSOP(nms) YawA11+f(nms) RollA11+f(nms) WdTOCal2 WdTFCal2 IspCal2 IspCall PhsCor(dg) DHD11 DHD12

Zero Radial Delta V Attitude 100.257 deg -89.898 deg SAdec

Radial Delta Velocity Canceled: 0.021 mps

Initial PoiErr 0.248 deg  
Mid-Maneuver PoiErr 0.134 deg  
Final PoiErr 0.093 deg

Delta Velocity  
Tangential -0.0562 mps  
Normal -13.9209 mps  
Radial 0.0215 mps

Orbit Epoch Yr Mo Dy Hr Mn Se Classical Elements SMA Ecc I M Omega Node  
 93 6 24 10 50 20 Elements 42189.43 km 0.0005647 0.169896 deg 20.3998 deg 252.6782 deg 101.1665 deg  
 Satellite Wt 1054.9999 kg Solar Radiation Force 0.0001059 nt

Maneuver Yr Mo Dy Tangential DV(mps) DV(mps) DV(mps)  
 Time Hr Mn Se Normal DV(mps) Radial DV(mps)  
 Delta Wt(kg)

93 7 17 -0.05621  
 15 32 50 -13.92089  
 -5.0536 0.00000

SMA(km) Lat(deg) X(km) Ecc Lon(deg) Y(km) I(deg) R(km) Z(km) M(deg) V(mps) XDot(mps) Omega(deg) Gamma(deg) YDot(mps) Node(deg) AzFl(deg) ZDot(mps)

Pre-Maneuver 1

42193.50 0.0004211 0.23133 97.1675 266.9097 96.1721  
 -0.0166 68.3798 42195.719 3073.432 0.0239 -0.2307  
 -7542.578 41516.117 12.255 -3024.136 -548.118 12.377

Post-Maneuver 1

42192.82 0.0004234 0.03325 99.3256 50.5967 310.3269  
 0.0166 68.3798 42195.719 3073.408 0.0239 0.0288  
 -7542.578 41516.117 12.255 -3024.137 -548.115 -1.544

Orbit Epoch Yr Mo Dy Hr Mn Se 93 7 17 15 32 50  
 Stepsize 900.0 sec  
 S/C Weight 1049.9464 kg  
 SRF 0.0001059 nt

Input Osculating Classical Elements

SMA  
 42192.82 km 0.0004234 0.03325 dg 99.3256 dg 50.5967 dg 310.3268 dg  
 Ecc I M Omega Node

Osculating Classical Elements at Mean Elements Epoch

SMA  
 42190.34 km 0.0004733 0.02049 dg 235.3752 dg 35.6738 dg 318.1835 dg  
 Ecc I M Omega Node

Mean Elements Epoch Yr Mo Dy Hr Mn Se 93 7 21 00 00 00

|              |              |              |              |              |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| K1zer        | H1zer        | K2zer        | H2zer        | LonZer       |
| K1Lin        | H1Lin        | K2Lin        | H2Lin        | LonLin       |
| K1Qua        | H1Qua        | K2Qua        | H2Qua        | LonQua       |
| 0.429527E-03 | -.474773E-04 | 0.306398E-03 | -.286075E-03 | 69.5334      |
| -.343578E-05 | -.132801E-05 | -.797956E-05 | 0.453612E-04 | 0.335839E+00 |
| 0.231100E-07 | -.265375E-07 | 0.367716E-07 | -.188476E-06 | 0.558441E-03 |

Estimated Time      Yr Mo Dy Hr Mn Se      Maneuver      On-Station      Mean      Lon and      Satellite      Solar Radiation      Lon  
 Maneuver 1      93 7 21 00 00 00      Cycle Time      Lon(+W)      Acceleration(+W)      Drift      Weight      Force      Ctrl Box  
 Maneuver 3      93 7 23 00 00 00      21 days      70.000 dg      0.001261 dg/dy\*\*2      Compute      1049.95 kg      0.0001059 nt      0.100 dg

Target E Vector      Longitude Guardband  
 Input      0.015 deg

| Mnvr | Yr Mo Dy Hr Mn Se | Longitude(+W) | Tangential DV | Pre-Mnvr   | Drift(+W)        | E Mag     | E Rt Asc    | K1         | H1         |
|------|-------------------|---------------|---------------|------------|------------------|-----------|-------------|------------|------------|
| 1    | 93 7 20 21 39 04  | 69.5005 deg   | 0.0084 mps    | Mnvr Delta | 0.33571 deg/day  | 0.0004325 | 353.723 deg | 0.0004299  | -0.0000473 |
|      |                   |               |               | Post-Mnvr  | 0.00295 deg/day  | 0.0000055 | 193.941 deg | -0.0000053 | -0.0000013 |
| 2    | 93 7 22 09 35 15  | 70.0090 deg   | -0.8237 mps   | Pre-Mnvr   | 0.33866 deg/day  | 0.0004273 | 353.470 deg | 0.0004246  | -0.0000486 |
|      |                   |               |               | Post-Mnvr  | 0.34056 deg/day  | 0.0004226 | 352.977 deg | 0.0004194  | -0.0000517 |
| 3    | 93 7 22 21 33 24  | 70.0348 deg   | -0.1853 mps   | Mnvr Delta | -0.28932 deg/day | 0.0005358 | 193.959 deg | -0.0005200 | -0.0001292 |
|      |                   |               |               | Post-Mnvr  | 0.05123 deg/day  | 0.0002070 | 240.944 deg | -0.0001005 | -0.0001809 |
|      |                   |               |               | Pre-Mnvr   | 0.05187 deg/day  | 0.0002087 | 240.679 deg | -0.0001022 | -0.0001820 |
|      |                   |               |               | Mnvr Delta | -0.06511 deg/day | 0.0001206 | 13.959 deg  | 0.0001170  | 0.0000291  |
|      |                   |               |               | Post-Mnvr  | -0.01324 deg/day | 0.0001536 | 275.530 deg | 0.0000148  | -0.0001529 |

| Maneuver | Yr Mo Dy Hr Mn Se | Radial Jet DV | PsiFC       | Earth to Sun Angle | Tangential DV | Normal DV   | Spacecraft RA | Sun RA      |
|----------|-------------------|---------------|-------------|--------------------|---------------|-------------|---------------|-------------|
| 1        | 93 7 20 21 39 04  | 0.0085 mps    | 16.322 deg  | 253.678 deg        | 0.0084 mps    | -0.0012 mps | 193.941 deg   | 120.263 deg |
| 2        | 93 7 22 09 35 15  | 0.8315 mps    | 17.797 deg  | 72.203 deg         | -0.8237 mps   | -0.1139 mps | 13.959 deg    | 121.756 deg |
| 3        | 93 7 22 21 33 24  | 0.1871 mps    | 198.294 deg | 251.706 deg        | -0.1853 mps   | -0.0256 mps | 193.959 deg   | 122.252 deg |

Orbit Epoch Yr Mo Dy Hr Mn Se Classical Elements SMA Ecc I M Omega Node  
 93 7 17 15 32 50 Elements 42192.82 km 0.0004234 0.033251 deg 99.3256 deg 50.5967 deg 310.3268 deg  
 Satellite Wt 1055.0000 kg Solar Radiation Force 0.0001059 nt

| Maneuver<br>Time<br>Delta Wt(kg) | Yr Mo Dy<br>Hr Mn Se | Tangential<br>Normal<br>Radial<br>DV(mps) | SMA(km)<br>Lat(deg)<br>X(km)      | Ecc<br>Lon(deg)<br>Y(km)           | I(deg)<br>R(km)<br>Z(km)        | M(deg)<br>V(mps)<br>XDot(mps)    | Omega(deg)<br>Gamma(deg)<br>YDot(mps) | Node(deg)<br>AzFl(deg)<br>ZDot(mps) |
|----------------------------------|----------------------|---|-----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
|                                  |                      |   |                                   |                                    |                                 |                                  |                                       |                                     |
| 93 7 20<br>21 39 04<br>-0.1000   |                      | 0.00840<br>-0.00120<br>0.00000            | 42190.96<br>-0.0169<br>-40969.676 | 0.0004389<br>69.5263<br>-10151.565 | 0.02053<br>42208.633<br>-12.469 | 197.3558<br>3072.399<br>739.331  | 38.1777<br>-0.0075<br>-2982.118       | 318.3981<br>0.0116<br>-0.623        |
| 93 7 22<br>09 35 15<br>-0.3000   |                      | -0.82370<br>-0.11390<br>0.00000           | 42191.19<br>-0.0169<br>-40969.676 | 0.0004337<br>69.5263<br>-10151.565 | 0.02055<br>42208.633<br>-12.469 | 197.5723<br>3072.408<br>739.333  | 37.9098<br>-0.0075<br>-2982.126       | 318.4496<br>0.0116<br>-0.624        |
| 93 7 22<br>21 33 24<br>-0.1000   |                      | -0.18530<br>-0.02560<br>0.00000           | 42169.68<br>0.0138<br>40926.434   | 0.0002292<br>69.9958<br>10180.425  | 0.01587<br>42173.621<br>10.172  | 114.0593<br>3074.999<br>-741.660 | 306.4700<br>0.0120<br>2983.419        | 313.4155<br>-0.0078<br>0.419        |
|                                  |                      |   | 42170.08<br>-0.0132<br>-40922.371 | 0.0001995<br>70.0590<br>-10153.527 | 0.01515<br>42163.195<br>-9.696  | 324.9350<br>3074.950<br>740.836  | 275.4845<br>-0.0066<br>-2984.373      | 313.5282<br>0.0075<br>-0.402        |
|                                  |                      |   | 42164.99<br>-0.0132<br>-40922.371 | 0.0001224<br>70.0590<br>-10153.527 | 0.01539<br>42163.195<br>-9.696  | 290.4489<br>3074.765<br>740.792  | 308.4264<br>-0.0066<br>-2984.193      | 315.0724<br>0.0080<br>-0.427        |

Orbit Epoch      Yr Mo Dy Hr Mn Se    Classical Elements    SMA    Ecc    I    M    Omega    Node  
 93 7 22 21 33 24    Elements    42164.99 km    0.0001224    0.015393 deg    290.4489 deg    308.4264 deg    315.0724 deg  
                  Stepsize    Satellite Weight    Solar Radiation Force  
                  900.0 sec    1049.95 kg    0.0001059 nt

Collocated Satellite

Orbit Epoch      Yr Mo Dy Hr Mn Se    Classical Elements    SMA    Ecc    I    M    Omega    Node  
 93 7 23 01 47 46    Elements    42163.59 km    0.0001211    0.015560 deg    168.3948 deg    -45.4688 deg    134.8019 deg  
                  Stepsize    Satellite Weight    Solar Radiation Force  
                  900.0 sec    571.37 kg    0.0000570 nt

Station Name  
GUARATIBA

Latitude  
-22.99809 deg

Longitude(+W)  
43.60635 deg

Altitude  
-5.4 m

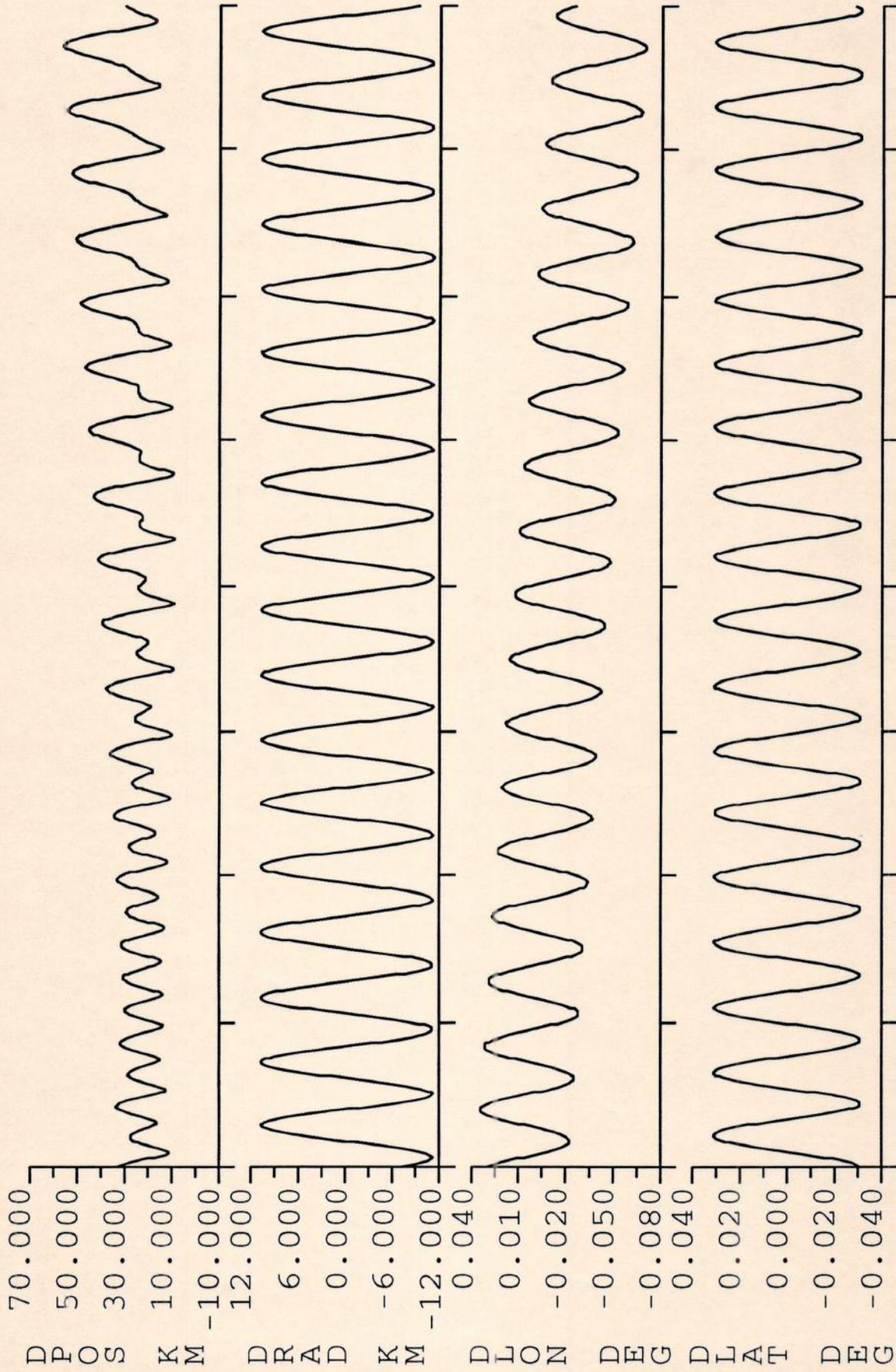
| Yr | Mo | Dy | Hr | Mn | Se | Lat (dg) | Lon (dg) | Rad (km) | LatC (dg) | LonC (dg) | RadC (km) | DLat (dg) | DLon (dg) | DRad (km) | DPos (km) | DLOS (dg) |
|----|----|----|----|----|----|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 93 | 7  | 23 | 00 | 00 | 00 | -0.0153  | 70.0547  | 42160.29 | 0.0155    | 70.0235   | 42167.32  | -0.0308   | 0.0312    | -7.029    | 32.992    | 0.0499    |
| 93 | 7  | 23 | 02 | 00 | 00 | -0.0125  | 70.0479  | 42158.24 | 0.0126    | 70.0294   | 42168.64  | -0.0251   | 0.0185    | -10.395   | 25.210    | 0.0353    |
| 93 | 7  | 23 | 04 | 00 | 00 | -0.0064  | 70.0385  | 42157.06 | 0.0063    | 70.0355   | 42168.08  | -0.0127   | 0.0030    | -11.014   | 14.606    | 0.0140    |
| 93 | 7  | 23 | 06 | 00 | 00 | 0.0013   | 70.0281  | 42157.59 | -0.0019   | 70.0395   | 42166.31  | 0.0032    | -0.0114   | -8.727    | 12.305    | 0.0128    |
| 93 | 7  | 23 | 08 | 00 | 00 | 0.0086   | 70.0198  | 42160.14 | -0.0096   | 70.0405   | 42164.29  | 0.0181    | -0.0207   | -4.148    | 20.660    | 0.0312    |
| 93 | 7  | 23 | 10 | 00 | 00 | 0.0135   | 70.0163  | 42164.11 | -0.0147   | 70.0388   | 42162.61  | 0.0282    | -0.0225   | 1.495     | 26.627    | 0.0411    |
| 93 | 7  | 23 | 12 | 00 | 00 | 0.0148   | 70.0190  | 42168.03 | -0.0159   | 70.0355   | 42161.36  | 0.0307    | -0.0165   | 6.971     | 26.515    | 0.0394    |
| 93 | 7  | 23 | 14 | 00 | 00 | 0.0121   | 70.0267  | 42170.36 | -0.0128   | 70.0309   | 42160.37  | 0.0249    | -0.0042   | 9.993     | 21.131    | 0.0279    |
| 93 | 7  | 23 | 16 | 00 | 00 | 0.0063   | 70.0359  | 42170.30 | -0.0061   | 70.0250   | 42159.73  | 0.0124    | -0.0019   | 10.569    | 16.111    | 0.0171    |
| 93 | 7  | 23 | 18 | 00 | 00 | -0.0012  | 70.0431  | 42168.17 | 0.0023    | 70.0184   | 42159.93  | -0.0034   | 0.0247    | 8.238     | 20.111    | 0.0275    |
| 93 | 7  | 23 | 20 | 00 | 00 | -0.0083  | 70.0461  | 42165.14 | 0.0101    | 70.0126   | 42161.52  | -0.0184   | 0.0334    | 3.627     | 28.308    | 0.0432    |
| 93 | 7  | 23 | 22 | 00 | 00 | -0.0132  | 70.0447  | 42162.36 | 0.0152    | 70.0101   | 42164.38  | -0.0283   | 0.0347    | -2.016    | 33.035    | 0.0510    |
| 93 | 7  | 24 | 00 | 00 | 00 | -0.0146  | 70.0404  | 42160.21 | 0.0161    | 70.0124   | 42167.40  | -0.0307   | 0.0280    | -7.181    | 31.440    | 0.0473    |
| 93 | 7  | 24 | 02 | 00 | 00 | -0.0122  | 70.0338  | 42158.68 | 0.0126    | 70.0184   | 42169.14  | -0.0248   | 0.0153    | -10.464   | 23.837    | 0.0328    |
| 93 | 7  | 24 | 04 | 00 | 00 | -0.0066  | 70.0253  | 42157.92 | 0.0056    | 70.0256   | 42168.90  | -0.0122   | -0.0003   | -10.985   | 14.182    | 0.0127    |
| 93 | 7  | 24 | 06 | 00 | 00 | 0.0008   | 70.0164  | 42158.46 | -0.0029   | 70.0309   | 42167.07  | 0.0037    | -0.0145   | -8.607    | 13.993    | 0.0164    |
| 93 | 7  | 24 | 08 | 00 | 00 | 0.0078   | 70.0090  | 42160.63 | -0.0107   | 70.0327   | 42164.59  | 0.0186    | -0.0237   | -3.963    | 22.474    | 0.0341    |
| 93 | 7  | 24 | 10 | 00 | 00 | 0.0128   | 70.0058  | 42164.03 | -0.0156   | 70.0310   | 42162.34  | 0.0285    | -0.0252   | 1.683     | 28.030    | 0.0432    |
| 93 | 7  | 24 | 12 | 00 | 00 | 0.0144   | 70.0079  | 42167.56 | -0.0163   | 70.0269   | 42160.75  | 0.0307    | -0.0190   | 6.819     | 27.381    | 0.0408    |
| 93 | 7  | 24 | 14 | 00 | 00 | 0.0122   | 70.0146  | 42169.89 | -0.0124   | 70.0212   | 42159.83  | 0.0246    | -0.0065   | 10.055    | 21.267    | 0.0282    |
| 93 | 7  | 24 | 16 | 00 | 00 | 0.0068   | 70.0233  | 42170.09 | -0.0051   | 70.0146   | 42159.55  | 0.0119    | -0.0087   | 10.536    | 15.108    | 0.0151    |
| 93 | 7  | 24 | 18 | 00 | 00 | -0.0003  | 70.0306  | 42168.17 | 0.0037    | 70.0082   | 42160.06  | -0.0040   | 0.0223    | 8.111     | 18.546    | 0.0250    |
| 93 | 7  | 24 | 20 | 00 | 00 | -0.0074  | 70.0337  | 42165.08 | 0.0114    | 70.0029   | 42161.64  | -0.0188   | 0.0308    | 3.442     | 26.797    | 0.0409    |
| 93 | 7  | 24 | 22 | 00 | 00 | -0.0125  | 70.0321  | 42162.09 | 0.0160    | 70.0004   | 42164.30  | -0.0286   | 0.0317    | -2.208    | 31.544    | 0.0487    |
| 93 | 7  | 25 | 00 | 00 | 00 | -0.0145  | 70.0271  | 42159.98 | 0.0161    | 70.0022   | 42167.30  | -0.0306   | 0.0249    | -7.322    | 29.978    | 0.0449    |
| 93 | 7  | 25 | 02 | 00 | 00 | -0.0127  | 70.0201  | 42158.83 | 0.0117    | 70.0081   | 42169.35  | -0.0244   | 0.0121    | -10.526   | 22.635    | 0.0305    |
| 93 | 7  | 25 | 04 | 00 | 00 | -0.0076  | 70.0123  | 42158.58 | 0.0040    | 70.0160   | 42169.53  | -0.0117   | -0.0037   | -10.949   | 14.169    | 0.0124    |
| 93 | 7  | 25 | 06 | 00 | 00 | -0.0006  | 70.0045  | 42159.36 | -0.0048   | 70.0232   | 42167.84  | 0.0042    | -0.0177   | -8.480    | 15.857    | 0.0200    |
| 93 | 7  | 25 | 08 | 00 | 00 | 0.0066   | 69.9985  | 42161.32 | -0.0124   | 70.0253   | 42165.11  | 0.0190    | -0.0267   | -3.790    | 24.344    | 0.0371    |
| 93 | 7  | 25 | 10 | 00 | 00 | 0.0121   | 69.9961  | 42164.21 | -0.0166   | 70.0239   | 42162.34  | 0.0287    | -0.0278   | 1.871     | 29.491    | 0.0455    |
| 93 | 7  | 25 | 12 | 00 | 00 | 0.0144   | 69.9979  | 42167.26 | -0.0162   | 70.0192   | 42160.29  | 0.0306    | -0.0212   | 6.968     | 28.328    | 0.0423    |
| 93 | 7  | 25 | 14 | 00 | 00 | 0.0130   | 70.0038  | 42169.39 | -0.0112   | 70.0127   | 42159.25  | 0.0243    | -0.0089   | 10.124    | 21.531    | 0.0288    |
| 93 | 7  | 25 | 16 | 00 | 00 | 0.0083   | 70.0118  | 42169.74 | -0.0031   | 70.0055   | 42159.25  | 0.0114    | 0.0063    | 10.493    | 14.236    | 0.0133    |
| 93 | 7  | 25 | 18 | 00 | 00 | 0.0014   | 70.0187  | 42168.10 | 0.0059    | 69.9988   | 42160.11  | -0.0045   | 0.0199    | -7.985    | 17.024    | 0.0226    |
| 93 | 7  | 25 | 20 | 00 | 00 | -0.0058  | 70.0220  | 42165.07 | 0.0134    | 69.9937   | 42161.81  | -0.0192   | 0.0283    | 3.261     | 25.347    | 0.0387    |
| 93 | 7  | 25 | 22 | 00 | 00 | -0.0117  | 70.0204  | 42161.90 | 0.0171    | 69.9915   | 42164.30  | -0.0288   | 0.0289    | -2.396    | 30.129    | 0.0464    |
| 93 | 7  | 26 | 00 | 00 | 00 | -0.0146  | 70.0149  | 42159.66 | 0.0160    | 69.9930   | 42167.13  | -0.0305   | 0.0219    | -7.463    | 28.621    | 0.0426    |
| 93 | 7  | 26 | 02 | 00 | 00 | -0.0138  | 70.0073  | 42158.73 | 0.0103    | 69.9985   | 42169.32  | -0.0241   | 0.0088    | -10.583   | 21.632    | 0.0285    |
| 93 | 7  | 26 | 04 | 00 | 00 | -0.0095  | 69.9995  | 42158.96 | 0.0017    | 70.0063   | 42169.88  | -0.0112   | -0.0068   | -10.970   | 14.574    | 0.0133    |
| 93 | 7  | 26 | 06 | 00 | 00 | -0.0028  | 69.9927  | 42160.14 | -0.0076   | 70.0135   | 42168.50  | 0.0048    | -0.0209   | -8.357    | 17.841    | 0.0237    |
| 93 | 7  | 26 | 08 | 00 | 00 | 0.0047   | 69.9880  | 42162.13 | -0.0148   | 70.0176   | 42165.73  | 0.0194    | -0.0295   | -3.609    | 26.264    | 0.0401    |
| 93 | 7  | 26 | 10 | 00 | 00 | 0.0110   | 69.9865  | 42164.64 | -0.0179   | 70.0171   | 42162.59  | 0.0289    | -0.0306   | 2.052     | 31.008    | 0.0478    |
| 93 | 7  | 26 | 12 | 00 | 00 | 0.0142   | 69.9884  | 42167.17 | -0.0161   | 70.0122   | 42160.06  | 0.0305    | -0.0238   | 7.109     | 29.346    | 0.0439    |
| 93 | 7  | 26 | 14 | 00 | 00 | 0.0104   | 70.0009  | 42169.33 | -0.0097   | 70.0048   | 42158.78  | 0.0239    | -0.0110   | 10.185    | 21.921    | 0.0295    |
| 93 | 7  | 26 | 16 | 00 | 00 | 0.0039   | 70.0073  | 42167.93 | -0.0005   | 69.9967   | 42158.88  | 0.0109    | 0.0042    | 10.453    | 13.522    | 0.0118    |
| 93 | 7  | 26 | 18 | 00 | 00 | -0.0036  | 70.0107  | 42165.08 | 0.0090    | 69.9899   | 42160.08  | -0.0051   | 0.0175    | 7.854     | 15.558    | 0.0202    |
| 93 | 7  | 26 | 20 | 00 | 00 | -0.0102  | 70.0093  | 42161.81 | 0.0161    | 69.9851   | 42162.00  | -0.0197   | 0.0256    | -3.077    | 23.958    | 0.0366    |
| 93 | 7  | 27 | 00 | 00 | 00 | -0.0144  | 70.0034  | 42159.37 | 0.0161    | 69.9846   | 42166.98  | -0.0305   | 0.0188    | -7.608    | 27.386    | 0.0404    |
| 93 | 7  | 27 | 02 | 00 | 00 | -0.0150  | 69.9951  | 42158.48 | 0.0088    | 69.9896   | 42169.13  | -0.0238   | 0.0055    | -10.649   | 20.860    | 0.0269    |
| 93 | 7  | 27 | 04 | 00 | 00 | -0.0118  | 69.9871  | 42159.08 | -0.0012   | 70.0073   | 42169.96  | -0.0107   | -0.0103   | -10.873   | 15.358    | 0.0151    |
| 93 | 7  | 27 | 06 | 00 | 00 | -0.0057  | 69.9808  | 42160.73 | -0.0110   | 69.9949   | 42168.95  | 0.0053    | -0.0240   | -8.227    | 19.907    | 0.0273    |
| 93 | 7  | 27 | 08 | 00 | 00 | 0.0020   | 69.9772  | 42162.92 | -0.0179   | 70.0098   | 42166.35  | 0.0199    | -0.0326   | -3.428    | 28.222    | 0.0431    |

| Yr | Mo | Dy | Hr | Mn | Se | Lat (dg) | Lon (dg) | Rad (km) | LatC (dg) | LonC (dg) | RadC (km) | DLat (dg) | DLon (dg) | DRad (km) | DPos (km) | DLOS (dg) |
|----|----|----|----|----|----|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 93 | 7  | 27 | 10 | 00 | 00 | 0.0092   | 69.9767  | 42165.25 | -0.0199   | 70.0100   | 42163.01  | 0.0291    | -0.0333   | 2.240     | 32.570    | 0.0502    |
| 93 | 7  | 27 | 12 | 00 | 00 | 0.0141   | 69.9794  | 42167.31 | -0.0163   | 70.0056   | 42160.07  | 0.0304    | -0.0262   | 7.246     | 30.433    | 0.0456    |
| 93 | 7  | 27 | 14 | 00 | 00 | 0.0154   | 69.9844  | 42168.69 | -0.0082   | 69.9977   | 42158.45  | 0.0236    | -0.0133   | 10.243    | 22.431    | 0.0305    |
| 93 | 7  | 27 | 16 | 00 | 00 | 0.0128   | 69.9907  | 42168.93 | 0.0024    | 69.9890   | 42158.51  | 0.0104    | 0.0017    | 10.424    | 12.996    | 0.0108    |
| 93 | 7  | 27 | 18 | 00 | 00 | 0.0070   | 69.9966  | 42167.70 | 0.0126    | 69.9816   | 42159.97  | -0.0056   | 0.0150    | 7.728     | 14.167    | 0.0178    |
| 93 | 7  | 27 | 20 | 00 | 00 | -0.0006  | 69.9999  | 42165.09 | 0.0195    | 69.9769   | 42162.18  | -0.0201   | 0.0229    | 2.903     | 22.644    | 0.0347    |
| 93 | 7  | 27 | 22 | 00 | 00 | -0.0081  | 69.9985  | 42161.84 | 0.0210    | 69.9753   | 42164.61  | -0.0291   | 0.0232    | -2.773    | 27.542    | 0.0423    |
| 93 | 7  | 28 | 00 | 00 | 00 | -0.0137  | 69.9927  | 42159.19 | 0.0166    | 69.9771   | 42166.95  | -0.0304   | 0.0156    | -7.753    | 26.285    | 0.0385    |
| 93 | 7  | 28 | 02 | 00 | 00 | -0.0159  | 69.9841  | 42158.19 | 0.0075    | 69.9819   | 42168.89  | -0.0234   | 0.0022    | -10.706   | 20.341    | 0.0257    |
| 93 | 7  | 28 | 04 | 00 | 00 | -0.0142  | 69.9756  | 42159.02 | -0.0041   | 69.9888   | 42169.85  | -0.0101   | -0.0132   | -8.837    | 16.473    | 0.0175    |
| 93 | 7  | 28 | 06 | 00 | 00 | -0.0089  | 69.9892  | 42161.11 | -0.0148   | 69.9966   | 42169.21  | 0.0059    | -0.0273   | -8.104    | 22.031    | 0.0309    |
| 93 | 7  | 28 | 08 | 00 | 00 | -0.0013  | 69.9666  | 42163.64 | -0.0216   | 70.0020   | 42166.88  | 0.0203    | -0.0354   | -3.247    | 30.209    | 0.0463    |
| 93 | 7  | 28 | 10 | 00 | 00 | 0.0067   | 69.9673  | 42165.95 | -0.0225   | 70.0032   | 42163.52  | 0.0292    | -0.0359   | 2.421     | 34.172    | 0.0527    |
| 93 | 7  | 28 | 12 | 00 | 00 | 0.0131   | 69.9705  | 42167.66 | -0.0173   | 69.9993   | 42160.27  | 0.0303    | -0.0288   | 10.297    | 31.585    | 0.0475    |
| 93 | 7  | 28 | 14 | 00 | 00 | 0.0162   | 69.9758  | 42168.59 | -0.0071   | 69.9915   | 42158.29  | 0.0232    | -0.0156   | 10.297    | 23.054    | 0.0317    |
| 93 | 7  | 28 | 16 | 00 | 00 | 0.0152   | 69.9817  | 42168.57 | 0.0053    | 69.9822   | 42158.19  | 0.0099    | -0.0005   | 10.381    | 12.679    | 0.0103    |
| 93 | 7  | 28 | 18 | 00 | 00 | 0.0103   | 69.9871  | 42167.40 | 0.0165    | 69.9741   | 42159.80  | -0.0061   | 0.0129    | 7.601     | 12.871    | 0.0157    |
| 93 | 7  | 28 | 20 | 00 | 00 | 0.0029   | 69.9900  | 42165.03 | 0.0234    | 69.9677   | 42162.30  | -0.0205   | 0.0203    | 2.722     | 21.419    | 0.0328    |
| 93 | 7  | 28 | 22 | 00 | 00 | -0.0054  | 69.9888  | 42161.91 | 0.0239    | 69.9688   | 42164.87  | -0.0293   | 0.0200    | -2.954    | 26.398    | 0.0405    |
| 93 | 7  | 29 | 00 | 00 | 00 | -0.0124  | 69.9832  | 42159.16 | 0.0179    | 69.9707   | 42167.05  | -0.0303   | 0.0125    | -7.891    | 25.338    | 0.0368    |
| 93 | 7  | 29 | 02 | 00 | 00 | -0.0164  | 69.9741  | 42157.98 | 0.0067    | 69.9753   | 42168.74  | -0.0230   | -0.0012   | -10.790   | 20.102    | 0.0250    |
| 93 | 7  | 29 | 04 | 00 | 00 | -0.0163  | 69.9651  | 42158.87 | -0.0067   | 69.9817   | 42169.66  | -0.0096   | -0.0166   | -10.790   | 17.854    | 0.0203    |
| 93 | 7  | 29 | 06 | 00 | 00 | -0.0122  | 69.9587  | 42161.32 | -0.0186   | 69.9890   | 42169.29  | 0.0064    | -0.0303   | -7.974    | 24.199    | 0.0346    |
| 93 | 7  | 29 | 08 | 00 | 00 | -0.0050  | 69.9565  | 42164.23 | -0.0257   | 69.9949   | 42167.31  | 0.0207    | -0.0383   | -3.077    | 32.219    | 0.0494    |
| 93 | 7  | 29 | 10 | 00 | 00 | 0.0036   | 69.9583  | 42166.67 | -0.0258   | 69.9968   | 42164.07  | 0.0294    | -0.0386   | 2.599     | 35.810    | 0.0552    |
| 93 | 7  | 29 | 12 | 00 | 00 | 0.0114   | 69.9626  | 42168.15 | -0.0188   | 69.9939   | 42160.63  | 0.0302    | -0.0313   | 7.521     | 32.791    | 0.0494    |
| 93 | 7  | 29 | 14 | 00 | 00 | 0.0163   | 69.9683  | 42168.64 | -0.0066   | 69.9863   | 42158.29  | 0.0229    | -0.0181   | 10.352    | 23.787    | 0.0330    |
| 93 | 7  | 29 | 16 | 00 | 00 | 0.0171   | 69.9739  | 42168.27 | 0.0077    | 69.9766   | 42157.94  | 0.0094    | -0.0027   | 10.330    | 11.591    | 0.0105    |
| 93 | 7  | 29 | 18 | 00 | 00 | 0.0136   | 69.9785  | 42167.04 | 0.0202    | 69.9683   | 42159.57  | -0.0067   | 0.0103    | 7.478     | 12.708    | 0.0137    |
| 93 | 7  | 29 | 20 | 00 | 00 | 0.0066   | 69.9810  | 42164.87 | 0.0275    | 69.9631   | 42162.33  | -0.0209   | 0.0178    | 2.541     | 20.301    | 0.0311    |
| 93 | 7  | 29 | 22 | 00 | 00 | -0.0021  | 69.9797  | 42161.98 | 0.0274    | 69.9624   | 42165.11  | -0.0295   | 0.0173    | -3.131    | 25.373    | 0.0388    |
| 93 | 7  | 30 | 00 | 00 | 00 | -0.0104  | 69.9744  | 42159.24 | 0.0198    | 69.9648   | 42167.26  | -0.0301   | 0.0095    | -8.021    | 24.563    | 0.0353    |
| 93 | 7  | 30 | 02 | 00 | 00 | -0.0161  | 69.9653  | 42157.90 | 0.0065    | 69.9697   | 42168.71  | -0.0227   | -0.0044   | -10.808   | 20.147    | 0.0249    |
| 93 | 7  | 30 | 04 | 00 | 00 | -0.0179  | 69.9558  | 42158.74 | -0.0088   | 69.9761   | 42169.48  | -0.0091   | -0.0203   | -10.746   | 19.442    | 0.0234    |
| 93 | 7  | 30 | 06 | 00 | 00 | -0.0153  | 69.9495  | 42161.42 | -0.0222   | 69.9829   | 42169.27  | 0.0069    | -0.0334   | -7.851    | 26.397    | 0.0382    |
| 93 | 7  | 30 | 08 | 00 | 00 | -0.0087  | 69.9475  | 42164.73 | -0.0298   | 69.9888   | 42167.62  | 0.0211    | -0.0413   | -2.896    | 34.246    | 0.0526    |
| 93 | 7  | 30 | 10 | 00 | 00 | 0.0002   | 69.9502  | 42167.39 | -0.0294   | 69.9915   | 42164.62  | 0.0296    | -0.0413   | 2.776     | 37.476    | 0.0578    |
| 93 | 7  | 30 | 12 | 00 | 00 | 0.0091   | 69.9558  | 42168.76 | -0.0210   | 69.9893   | 42161.11  | 0.0301    | -0.0334   | 7.644     | 34.048    | 0.0514    |
| 93 | 7  | 30 | 14 | 00 | 00 | 0.0157   | 69.9632  | 42168.86 | -0.0068   | 69.9824   | 42158.46  | 0.0225    | -0.0203   | 10.395    | 24.615    | 0.0345    |
| 93 | 7  | 30 | 16 | 00 | 00 | 0.0184   | 69.9675  | 42168.06 | 0.0096    | 69.9724   | 42157.78  | 0.0088    | -0.0049   | 10.287    | 12.745    | 0.0114    |
| 93 | 7  | 30 | 18 | 00 | 00 | 0.0164   | 69.9714  | 42166.64 | 0.0236    | 69.9636   | 42159.30  | -0.0078   | 0.0078    | 7.344     | 10.727    | 0.0121    |
| 93 | 7  | 30 | 20 | 00 | 00 | 0.0103   | 69.9731  | 42164.59 | 0.0315    | 69.9580   | 42162.22  | -0.0213   | 0.0151    | 2.367     | 19.311    | 0.0297    |
| 93 | 7  | 30 | 22 | 00 | 00 | 0.0014   | 69.9717  | 42161.96 | 0.0311    | 69.9573   | 42165.27  | -0.0297   | 0.0144    | -3.308    | 24.484    | 0.0373    |
| 93 | 7  | 31 | 00 | 00 | 00 | -0.0079  | 69.9666  | 42159.37 | 0.0221    | 69.9604   | 42167.52  | -0.0300   | 0.0061    | -8.155    | 23.981    | 0.0342    |
| 93 | 7  | 31 | 02 | 00 | 00 | -0.0153  | 69.9578  | 42157.96 | 0.0070    | 69.9653   | 42168.81  | -0.0223   | -0.0076   | -10.855   | 20.477    | 0.0253    |
| 93 | 7  | 31 | 04 | 00 | 00 | -0.0189  | 69.9485  | 42158.70 | -0.0103   | 69.9717   | 42169.39  | -0.0086   | -0.0232   | -10.696   | 21.190    | 0.0267    |
| 93 | 7  | 31 | 06 | 00 | 00 | -0.0178  | 69.9417  | 42161.50 | -0.0253   | 69.9780   | 42169.21  | 0.0075    | -0.0364   | -7.713    | 28.613    | 0.0419    |
| 93 | 7  | 31 | 08 | 00 | 00 | -0.0122  | 69.9402  | 42165.14 | -0.0337   | 69.9844   | 42167.85  | 0.0215    | -0.0442   | -2.711    | 36.282    | 0.0557    |
| 93 | 7  | 31 | 10 | 00 | 00 | -0.0034  | 69.9436  | 42168.09 | -0.0331   | 69.9875   | 42165.13  | 0.0297    | -0.0439   | 2.957     | 39.161    | 0.0604    |
| 93 | 7  | 31 | 12 | 00 | 00 | 0.0064   | 69.9502  | 42169.45 | -0.0236   | 69.9863   | 42161.68  | 0.0300    | -0.0361   | 7.771     | 35.348    | 0.0534    |
| 93 | 7  | 31 | 14 | 00 | 00 | 0.0146   | 69.9570  | 42169.21 | -0.0076   | 69.9800   | 42158.77  | 0.0221    | -0.0229   | 10.439    | 25.531    | 0.0361    |
| 93 | 7  | 31 | 16 | 00 | 00 | 0.0191   | 69.9629  | 42167.96 | 0.0108    | 69.9702   | 42157.73  | 0.0083    | -0.0073   | 10.232    | 13.132    | 0.0128    |
| 93 | 7  | 31 | 18 | 00 | 00 | 0.0187   | 69.9661  | 42166.23 | 0.0265    | 69.9609   | 42159.02  | -0.0077   | 0.0051    | 7.214     | 9.989     | 0.0109    |

| Yr | Mo | Dy | Hr | Mn | Se | Lat (dg) | Lon (dg) | Rad (km) | LatC (dg) | LonC (dg) | RadC (km) | DLat (dg) | DLon (dg) | DRad (km) | DPos (km) | DLOS (dg) |
|----|----|----|----|----|----|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 93 | 7  | 31 | 22 | 00 | 00 | 0.0136   | 69.9673  | 42164.17 | 0.0353    | 69.9548   | 42161.98  | -0.0217   | 0.0125    | 2.186     | 18.476    | 0.0284    |
| 93 | 7  | 31 | 22 | 00 | 00 | 0.0049   | 69.9656  | 42161.80 | 0.0347    | 69.9539   | 42165.29  | -0.0298   | 0.0117    | -3.486    | 23.752    | 0.0361    |
| 93 | 8  | 1  | 00 | 00 | 00 | -0.0051  | 69.9602  | 42159.46 | 0.0248    | 69.9573   | 42167.74  | -0.0299   | 0.0029    | -8.278    | 23.607    | 0.0334    |
| 93 | 8  | 1  | 02 | 00 | 00 | -0.0139  | 69.9517  | 42158.10 | 0.0080    | 69.9624   | 42169.00  | -0.0219   | -0.0107   | -10.895   | 21.080    | 0.0262    |
| 93 | 8  | 1  | 04 | 00 | 00 | -0.0193  | 69.9424  | 42158.77 | -0.0112   | 69.9650   | 42169.40  | -0.0081   | -0.0266   | -10.638   | 23.062    | 0.0301    |
| 93 | 8  | 1  | 06 | 00 | 00 | -0.0197  | 69.9358  | 42161.60 | -0.0277   | 69.9756   | 42169.18  | 0.0080    | -0.0398   | -7.579    | 30.840    | 0.0455    |
| 93 | 8  | 1  | 08 | 00 | 00 | -0.0152  | 69.9341  | 42165.48 | -0.0371   | 69.9812   | 42168.02  | 0.0219    | -0.0471   | -2.537    | 38.322    | 0.0589    |
| 93 | 8  | 1  | 10 | 00 | 00 | -0.0067  | 69.9385  | 42168.74 | -0.0366   | 69.9854   | 42165.61  | 0.0299    | -0.0469   | 3.127     | 40.862    | 0.0631    |
| 93 | 8  | 1  | 12 | 00 | 00 | 0.0036   | 69.9458  | 42170.18 | -0.0263   | 69.9844   | 42162.29  | 0.0298    | -0.0386   | 7.887     | 36.679    | 0.0555    |
| 93 | 8  | 1  | 14 | 00 | 00 | 0.0130   | 69.9541  | 42169.70 | -0.0087   | 69.9750   | 42159.22  | 0.0218    | -0.0249   | 10.471    | 26.522    | 0.0378    |
| 93 | 8  | 1  | 16 | 00 | 00 | 0.0192   | 69.9600  | 42167.98 | 0.0114    | 69.9700   | 42157.81  | 0.0078    | -0.0100   | 10.171    | 13.731    | 0.0145    |
| 93 | 8  | 1  | 18 | 00 | 00 | 0.0204   | 69.9629  | 42165.84 | 0.0286    | 69.9600   | 42158.77  | -0.0082   | 0.0029    | 7.076     | 9.556     | 0.0104    |
| 93 | 8  | 1  | 20 | 00 | 00 | 0.0164   | 69.9631  | 42163.66 | 0.0384    | 69.9534   | 42161.65  | -0.0221   | 0.0098    | -2.005    | 17.821    | 0.0275    |
| 93 | 8  | 1  | 22 | 00 | 00 | -0.0024  | 69.9553  | 42159.44 | 0.0274    | 69.9553   | 42167.84  | -0.0298   | 0.0083    | 3.659     | 23.194    | 0.0351    |
| 93 | 8  | 2  | 00 | 00 | 00 | -0.0123  | 69.9470  | 42158.27 | 0.0093    | 69.9614   | 42169.20  | -0.0216   | -0.0144   | -8.397    | 23.454    | 0.0329    |
| 93 | 8  | 2  | 02 | 00 | 00 | -0.0191  | 69.9377  | 42158.93 | -0.0116   | 69.9678   | 42169.50  | -0.0076   | -0.0300   | -10.573   | 25.023    | 0.0277    |
| 93 | 8  | 2  | 04 | 00 | 00 | -0.0211  | 69.9312  | 42161.75 | -0.0296   | 69.9741   | 42169.19  | 0.0085    | -0.0430   | -7.438    | 33.073    | 0.0336    |
| 93 | 8  | 2  | 06 | 00 | 00 | -0.0176  | 69.9299  | 42165.81 | -0.0399   | 69.9797   | 42168.17  | 0.0223    | -0.0498   | -2.360    | 40.360    | 0.0621    |
| 93 | 8  | 2  | 08 | 00 | 00 | -0.0096  | 69.9346  | 42169.35 | -0.0396   | 69.9836   | 42166.05  | 0.0300    | -0.0491   | 3.305     | 42.566    | 0.0657    |
| 93 | 8  | 2  | 10 | 00 | 00 | 0.0010   | 69.9438  | 42170.94 | -0.0287   | 69.9844   | 42162.93  | 0.0297    | -0.0405   | 8.010     | 38.037    | 0.0577    |
| 93 | 8  | 2  | 12 | 00 | 00 | 0.0113   | 69.9526  | 42170.29 | -0.0100   | 69.9802   | 42159.79  | 0.0214    | -0.0276   | 10.504    | 27.577    | 0.0397    |
| 93 | 8  | 2  | 14 | 00 | 00 | 0.0188   | 69.9592  | 42168.15 | 0.0116    | 69.9714   | 42158.04  | 0.0073    | -0.0122   | 10.109    | 14.515    | 0.0166    |
| 93 | 8  | 2  | 16 | 00 | 00 | 0.0215   | 69.9622  | 42165.53 | 0.0302    | 69.9617   | 42158.59  | -0.0088   | 0.0005    | 6.935     | 9.473     | 0.0107    |
| 93 | 8  | 2  | 18 | 00 | 00 | 0.0185   | 69.9614  | 42163.09 | 0.0410    | 69.9546   | 42161.26  | -0.0224   | 0.0068    | 1.828     | 17.371    | 0.0268    |
| 93 | 8  | 2  | 20 | 00 | 00 | 0.0107   | 69.9580  | 42160.98 | 0.0408    | 69.9526   | 42164.81  | -0.0301   | 0.0054    | -3.829    | 22.825    | 0.0344    |
| 93 | 8  | 3  | 00 | 00 | 00 | 0.0001   | 69.9521  | 42159.27 | 0.0297    | 69.9556   | 42167.78  | -0.0296   | -0.0034   | -8.509    | 23.525    | 0.0328    |
| 93 | 8  | 3  | 02 | 00 | 00 | -0.0106  | 69.9438  | 42158.38 | 0.0105    | 69.9614   | 42169.34  | -0.0212   | -0.0176   | -10.960   | 23.006    | 0.0295    |
| 93 | 8  | 3  | 04 | 00 | 00 | -0.0187  | 69.9351  | 42159.15 | -0.0116   | 69.9683   | 42169.66  | -0.0070   | -0.0332   | -10.507   | 27.054    | 0.0371    |
| 93 | 8  | 3  | 06 | 00 | 00 | -0.0219  | 69.9287  | 42161.97 | -0.0309   | 69.9746   | 42169.27  | 0.0090    | -0.0459   | -7.297    | 35.304    | 0.0527    |
| 93 | 8  | 3  | 08 | 00 | 00 | -0.0194  | 69.9272  | 42166.13 | -0.0421   | 69.9805   | 42168.30  | 0.0226    | -0.0532   | -2.168    | 42.393    | 0.0652    |
| 93 | 8  | 3  | 10 | 00 | 00 | -0.0119  | 69.9326  | 42169.91 | -0.0421   | 69.9849   | 42166.43  | 0.0302    | -0.0522   | 3.475     | 44.275    | 0.0683    |
| 93 | 8  | 3  | 12 | 00 | 00 | -0.0012  | 69.9424  | 42171.68 | -0.0308   | 69.9854   | 42163.56  | 0.0296    | -0.0430   | 8.126     | 39.412    | 0.0598    |
| 93 | 8  | 3  | 14 | 00 | 00 | 0.0098   | 69.9526  | 42170.96 | -0.0112   | 69.9819   | 42160.43  | 0.0210    | -0.0293   | 10.536    | 28.683    | 0.0415    |
| 93 | 8  | 3  | 16 | 00 | 00 | 0.0183   | 69.9595  | 42168.45 | 0.0116    | 69.9741   | 42158.40  | 0.0068    | -0.0146   | 10.048    | 15.454    | 0.0187    |
| 93 | 8  | 3  | 18 | 00 | 00 | 0.0221   | 69.9629  | 42165.32 | 0.0314    | 69.9648   | 42158.53  | -0.0093   | -0.0020   | 6.794     | 9.748     | 0.0116    |
| 93 | 8  | 3  | 20 | 00 | 00 | 0.0201   | 69.9614  | 42162.52 | 0.0429    | 69.9570   | 42160.88  | -0.0228   | 0.0044    | 1.647     | 17.142    | 0.0265    |
| 93 | 8  | 3  | 22 | 00 | 00 | 0.0127   | 69.9565  | 42160.38 | 0.0429    | 69.9546   | 42164.38  | -0.0302   | 0.0020    | -3.996    | 22.655    | 0.0340    |
| 93 | 8  | 4  | 00 | 00 | 00 | 0.0020   | 69.9502  | 42158.93 | 0.0315    | 69.9565   | 42167.55  | -0.0295   | -0.0063   | -8.625    | 23.821    | 0.0331    |
| 93 | 8  | 4  | 02 | 00 | 00 | -0.0092  | 69.9419  | 42158.41 | 0.0115    | 69.9629   | 42169.39  | -0.0208   | -0.0210   | -10.985   | 24.269    | 0.0316    |
| 93 | 8  | 4  | 04 | 00 | 00 | -0.0181  | 69.9336  | 42159.37 | -0.0116   | 69.9697   | 42169.82  | -0.0065   | -0.0361   | -10.442   | 29.137    | 0.0406    |
| 93 | 8  | 4  | 06 | 00 | 00 | -0.0223  | 69.9277  | 42162.23 | -0.0319   | 69.9771   | 42169.38  | 0.0095    | -0.0493   | -7.149    | 37.532    | 0.0562    |
| 93 | 8  | 4  | 08 | 00 | 00 | -0.0207  | 69.9272  | 42166.45 | -0.0438   | 69.9824   | 42168.43  | 0.0230    | -0.0552   | -1.987    | 44.418    | 0.0684    |
| 93 | 8  | 4  | 10 | 00 | 00 | -0.0136  | 69.9326  | 42170.41 | -0.0438   | 69.9868   | 42166.75  | 0.0303    | -0.0542   | 3.656     | 45.981    | 0.0710    |
| 93 | 8  | 4  | 12 | 00 | 00 | -0.0029  | 69.9429  | 42172.38 | -0.0323   | 69.9888   | 42164.14  | 0.0294    | -0.0459   | 8.242     | 40.801    | 0.0620    |
| 93 | 8  | 4  | 14 | 00 | 00 | 0.0086   | 69.9541  | 42171.67 | -0.0120   | 69.9858   | 42161.11  | 0.0206    | -0.0317   | 10.562    | 29.833    | 0.0435    |
| 93 | 8  | 4  | 16 | 00 | 00 | 0.0179   | 69.9624  | 42168.86 | 0.0117    | 69.9790   | 42158.88  | 0.0062    | -0.0166   | 9.983     | 16.514    | 0.0210    |
| 93 | 8  | 4  | 18 | 00 | 00 | 0.0225   | 69.9653  | 42165.25 | 0.0322    | 69.9697   | 42158.61  | -0.0098   | -0.0044   | 6.645     | 10.349    | 0.0131    |
| 93 | 8  | 4  | 20 | 00 | 00 | 0.0211   | 69.9634  | 42162.02 | 0.0443    | 69.9619   | 42160.55  | -0.0303   | 0.0015    | 1.470     | 17.144    | 0.0265    |
| 93 | 8  | 4  | 22 | 00 | 00 | 0.0141   | 69.9580  | 42159.72 | 0.0444    | 69.9585   | 42163.89  | -0.0303   | -0.0005   | -4.166    | 22.688    | 0.0340    |
| 93 | 8  | 5  | 00 | 00 | 00 | 0.0034   | 69.9502  | 42158.46 | 0.0327    | 69.9604   | 42167.20  | -0.0293   | -0.0103   | -8.737    | 24.331    | 0.0338    |
| 93 | 8  | 5  | 02 | 00 | 00 | -0.0083  | 69.9414  | 42158.30 | 0.0121    | 69.9658   | 42169.31  | -0.0204   | -0.0244   | -11.014   | 25.689    | 0.0341    |
| 93 | 8  | 5  | 04 | 00 | 00 | -0.0178  | 69.9331  | 42159.57 | -0.0118   | 69.9731   | 42169.94  | -0.0060   | -0.0400   | -10.373   | 31.256    | 0.0442    |

| Yr | Mo | Dy | Hr | Mn | Se | Lat (dg) | Lon (dg) | Rad (km) | LatC (dg) | LonC (dg) | RadC (km) | DLat (dg) | DLon (dg) | DRad (km) | DPos (km) | DL0S (dg) |
|----|----|----|----|----|----|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 93 | 8  | 5  | 06 | 00 | 00 | -0.0226  | 69.9277  | 42162.54 | -0.0327   | 69.9800   | 42169.54  | 0.0100    | -0.0522   | -7.000    | 39.757    | 0.0598    |
| 93 | 8  | 5  | 08 | 00 | 00 | -0.0215  | 69.9272  | 42166.77 | -0.0448   | 69.9858   | 42168.56  | 0.0233    | -0.0586   | -1.799    | 46.435    | 0.0715    |
| 93 | 8  | 5  | 10 | 00 | 00 | -0.0146  | 69.9331  | 42170.84 | -0.0431   | 69.9902   | 42167.01  | 0.0304    | -0.0571   | 3.829     | 47.687    | 0.0736    |
| 93 | 8  | 5  | 12 | 00 | 00 | -0.0039  | 69.9443  | 42173.00 | -0.0350   | 69.9922   | 42164.64  | 0.0292    | -0.0479   | 8.357     | 42.200    | 0.0642    |
| 93 | 8  | 5  | 14 | 00 | 00 | -0.0080  | 69.9565  | 42172.36 | -0.0122   | 69.9907   | 42161.77  | 0.0202    | -0.0342   | 10.591    | 31.019    | 0.0455    |
| 93 | 8  | 5  | 16 | 00 | 00 | 0.0177   | 69.9658  | 42169.34 | 0.0120    | 69.9844   | 42159.43  | 0.0057    | -0.0186   | 9.910     | 17.671    | 0.0234    |
| 93 | 8  | 5  | 18 | 00 | 00 | 0.0228   | 69.9692  | 42165.30 | 0.0331    | 69.9761   | 42158.80  | -0.0103   | -0.0068   | 6.497     | 11.223    | 0.0150    |
| 93 | 8  | 5  | 20 | 00 | 00 | 0.0218   | 69.9673  | 42161.61 | 0.0453    | 69.9683   | 42160.32  | -0.0235   | -0.0010   | 1.285     | 17.375    | 0.0269    |
| 93 | 8  | 5  | 22 | 00 | 00 | 0.0150   | 69.9604  | 42159.06 | 0.0454    | 69.9639   | 42163.40  | -0.0304   | -0.0034   | -4.336    | 22.924    | 0.0342    |
| 93 | 8  | 6  | 00 | 00 | 00 | 0.0041   | 69.9521  | 42157.89 | 0.0332    | 69.9653   | 42166.74  | -0.0291   | -0.0132   | -8.850    | 25.042    | 0.0348    |
| 93 | 8  | 6  | 02 | 00 | 00 | -0.0079  | 69.9429  | 42158.09 | 0.0121    | 69.9707   | 42169.12  | -0.0200   | -0.0278   | -11.032   | 27.243    | 0.0367    |
| 93 | 8  | 6  | 04 | 00 | 00 | -0.0178  | 69.9346  | 42159.71 | -0.0124   | 69.9775   | 42170.02  | -0.0055   | -0.0430   | -10.297   | 33.403    | 0.0477    |
| 93 | 8  | 6  | 06 | 00 | 00 | -0.0230  | 69.9297  | 42162.85 | -0.0336   | 69.9844   | 42169.70  | 0.0105    | -0.0547   | -6.844    | 41.976    | 0.0633    |
| 93 | 8  | 6  | 08 | 00 | 00 | -0.0221  | 69.9297  | 42167.09 | -0.0458   | 69.9907   | 42168.70  | 0.0237    | -0.0610   | -1.611    | 48.442    | 0.0746    |
| 93 | 8  | 6  | 10 | 00 | 00 | -0.0152  | 69.9355  | 42171.20 | -0.0457   | 69.9956   | 42167.20  | 0.0305    | -0.0601   | 4.000     | 49.386    | 0.0762    |
| 93 | 8  | 6  | 12 | 00 | 00 | -0.0042  | 69.9473  | 42173.51 | -0.0333   | 69.9976   | 42165.04  | 0.0290    | -0.0503   | 8.473     | 43.605    | 0.0664    |
| 93 | 8  | 6  | 14 | 00 | 00 | 0.0079   | 69.9600  | 42172.97 | -0.0118   | 69.9966   | 42162.36  | 0.0198    | -0.0366   | 10.609    | 32.235    | 0.0475    |
| 93 | 8  | 6  | 16 | 00 | 00 | 0.0180   | 69.9702  | 42169.86 | 0.0128    | 69.9917   | 42160.03  | 0.0052    | -0.0215   | 9.831     | 18.905    | 0.0257    |
| 93 | 8  | 6  | 18 | 00 | 00 | 0.0233   | 69.9746  | 42165.47 | 0.0341    | 69.9839   | 42159.12  | -0.0108   | -0.0039   | 6.349     | 12.305    | 0.0172    |
| 93 | 8  | 6  | 20 | 00 | 00 | 0.0223   | 69.9722  | 42161.32 | 0.0462    | 69.9761   | 42160.22  | -0.0239   | -0.0039   | 1.100     | 17.823    | 0.0275    |
| 93 | 8  | 6  | 22 | 00 | 00 | 0.0154   | 69.9648  | 42158.46 | 0.0459    | 69.9712   | 42162.97  | -0.0305   | -0.0063   | -4.510    | 23.353    | 0.0347    |
| 93 | 8  | 7  | 00 | 00 | 00 | 0.0042   | 69.9556  | 42157.30 | 0.0332    | 69.9712   | 42166.25  | -0.0289   | -0.0156   | -8.955    | 25.932    | 0.0362    |
| 93 | 8  | 7  | 02 | 00 | 00 | -0.0081  | 69.9453  | 42157.79 | 0.0114    | 69.9761   | 42168.84  | -0.0196   | -0.0308   | -11.050   | 28.905    | 0.0395    |
| 93 | 8  | 7  | 04 | 00 | 00 | -0.0183  | 69.9365  | 42159.80 | -0.0134   | 69.9829   | 42170.02  | -0.0049   | -0.0464   | -10.225   | 35.573    | 0.0513    |
| 93 | 8  | 7  | 06 | 00 | 00 | -0.0237  | 69.9316  | 42163.17 | -0.0347   | 69.9902   | 42169.87  | 0.0110    | -0.0586   | -6.696    | 44.187    | 0.0668    |
| 93 | 8  | 7  | 08 | 00 | 00 | -0.0226  | 69.9321  | 42167.44 | -0.0467   | 69.9966   | 42168.86  | 0.0240    | -0.0645   | -1.422    | 50.442    | 0.0778    |
| 93 | 8  | 7  | 10 | 00 | 00 | -0.0154  | 69.9395  | 42171.52 | -0.0460   | 70.0015   | 42167.35  | 0.0306    | -0.0620   | 4.173     | 51.084    | 0.0788    |
| 93 | 8  | 7  | 12 | 00 | 00 | -0.0040  | 69.9512  | 42173.91 | -0.0329   | 70.0034   | 42165.32  | 0.0288    | -0.0522   | 8.589     | 45.018    | 0.0687    |
| 93 | 8  | 7  | 14 | 00 | 00 | 0.0085   | 69.9644  | 42173.48 | -0.0108   | 70.0029   | 42162.85  | 0.0194    | -0.0386   | 10.634    | 33.479    | 0.0496    |
| 93 | 8  | 7  | 16 | 00 | 00 | 0.0188   | 69.9751  | 42170.36 | 0.0142    | 69.9985   | 42160.60  | 0.0047    | -0.0234   | 9.762     | 20.202    | 0.0282    |
| 93 | 8  | 7  | 18 | 00 | 00 | 0.0241   | 69.9780  | 42165.72 | 0.0354    | 69.9922   | 42159.51  | -0.0113   | -0.0117   | 6.207     | 13.547    | 0.0195    |
| 93 | 8  | 7  | 20 | 00 | 00 | 0.0155   | 69.9702  | 42157.96 | 0.0471    | 69.9849   | 42160.25  | -0.0242   | -0.0068   | 0.908     | 18.470    | 0.0285    |
| 93 | 8  | 7  | 22 | 00 | 00 | 0.0039   | 69.9600  | 42156.71 | 0.0461    | 69.9795   | 42162.63  | -0.0306   | -0.0093   | -4.676    | 23.964    | 0.0356    |
| 93 | 8  | 8  | 00 | 00 | 00 | -0.0089  | 69.9487  | 42157.43 | 0.0326    | 69.9790   | 42165.78  | -0.0287   | -0.0190   | -9.067    | 26.986    | 0.0378    |
| 93 | 8  | 8  | 02 | 00 | 00 | -0.0194  | 69.9404  | 42159.84 | 0.0102    | 69.9824   | 42168.50  | -0.0191   | -0.0337   | -11.068   | 30.656    | 0.0424    |
| 93 | 8  | 8  | 04 | 00 | 00 | -0.0247  | 69.9360  | 42163.49 | -0.0150   | 69.9897   | 42169.98  | -0.0044   | -0.0493   | -10.142   | 37.760    | 0.0549    |
| 93 | 8  | 8  | 06 | 00 | 00 | -0.0233  | 69.9365  | 42167.81 | -0.0477   | 70.0034   | 42169.05  | 0.0115    | -0.0610   | -6.548    | 46.394    | 0.0703    |
| 93 | 8  | 8  | 08 | 00 | 00 | -0.0156  | 69.9443  | 42171.81 | -0.0462   | 70.0083   | 42167.47  | 0.0244    | -0.0669   | -1.238    | 52.436    | 0.0808    |
| 93 | 8  | 8  | 10 | 00 | 00 | -0.0035  | 69.9561  | 42174.19 | -0.0321   | 70.0112   | 42165.48  | 0.0286    | -0.0640   | 4.343     | 52.777    | 0.0815    |
| 93 | 8  | 8  | 12 | 00 | 00 | -0.0096  | 69.9697  | 42173.87 | -0.0093   | 70.0107   | 42163.21  | 0.0189    | -0.0552   | 8.701     | 46.437    | 0.0709    |
| 93 | 8  | 8  | 14 | 00 | 00 | 0.0203   | 69.9814  | 42170.78 | 0.0161    | 70.0073   | 42161.10  | 0.0041    | -0.0410   | 10.652    | 34.747    | 0.0517    |
| 93 | 8  | 8  | 16 | 00 | 00 | 0.0255   | 69.9863  | 42166.00 | 0.0373    | 70.0010   | 42159.95  | -0.0118   | -0.0259   | 9.679     | 21.552    | 0.0306    |
| 93 | 8  | 8  | 18 | 00 | 00 | 0.0238   | 69.9844  | 42161.11 | 0.0483    | 69.9941   | 42160.39  | -0.0146   | -0.0098   | 6.048     | 14.900    | 0.0219    |
| 93 | 8  | 8  | 20 | 00 | 00 | 0.0157   | 69.9766  | 42157.57 | 0.0463    | 69.9941   | 42160.39  | -0.0245   | -0.0122   | 0.724     | 19.296    | 0.0298    |
| 93 | 8  | 8  | 22 | 00 | 00 | 0.0032   | 69.9653  | 42156.18 | 0.0317    | 69.9878   | 42162.42  | -0.0307   | -0.0122   | -4.850    | 24.742    | 0.0367    |
| 93 | 8  | 9  | 00 | 00 | 00 | -0.0103  | 69.9536  | 42157.07 | 0.0085    | 69.9907   | 42168.15  | -0.0187   | -0.0225   | -9.175    | 28.181    | 0.0396    |
| 93 | 8  | 9  | 02 | 00 | 00 | -0.0211  | 69.9443  | 42159.84 | -0.0172   | 69.9966   | 42169.91  | -0.0039   | -0.0371   | -11.083   | 32.483    | 0.0454    |
| 93 | 8  | 9  | 04 | 00 | 00 | -0.0263  | 69.9404  | 42163.82 | -0.0383   | 70.0044   | 42170.21  | 0.0120    | -0.0640   | -6.388    | 39.960    | 0.0738    |
| 93 | 8  | 9  | 06 | 00 | 00 | -0.0244  | 69.9419  | 42168.22 | -0.0490   | 70.0117   | 42169.27  | 0.0247    | -0.0698   | -1.050    | 54.423    | 0.0839    |
| 93 | 8  | 9  | 08 | 00 | 00 | -0.0158  | 69.9497  | 42172.11 | -0.0465   | 70.0166   | 42167.59  | 0.0307    | -0.0669   | 4.514     | 54.472    | 0.0841    |
| 93 | 8  | 9  | 10 | 00 | 00 | -0.0028  | 69.9624  | 42174.38 | -0.0312   | 70.0195   | 42165.57  | 0.0284    | -0.0571   | 8.810     | 47.867    | 0.0731    |
| 93 | 8  | 9  | 12 | 00 | 00 | 0.0112   | 69.9761  | 42174.10 | -0.0073   | 70.0195   | 42163.43  | 0.0185    | -0.0435   | 10.670    | 36.043    | 0.0538    |

| Yr | Mo | Dy | Hr | Mn | Se | Lat (dg) | Lon (dg) | Rad (km) | LatC (dg) | LonC (dg) | RadC (km) | DLat (dg) | DLon (dg) | DRad (km) | DPos (km) | DLOS (dg) |
|----|----|----|----|----|----|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 93 | 8  | 9  | 16 | 00 | 00 | 0.0222   | 69.9878  | 42171.11 | 0.0186    | 70.0161   | 42161.50  | 0.0036    | -0.0283   | 9.599     | 22.943    | 0.0331    |
| 93 | 8  | 9  | 18 | 00 | 00 | 0.0273   | 69.9937  | 42166.28 | 0.0396    | 70.0107   | 42160.39  | -0.0123   | -0.0171   | 5.893     | 16.343    | 0.0243    |
| 93 | 8  | 9  | 20 | 00 | 00 | 0.0251   | 69.9922  | 42161.16 | 0.0499    | 70.0044   | 42160.63  | -0.0248   | -0.0122   | 5.893     | 20.279    | 0.0313    |
| 93 | 8  | 9  | 22 | 00 | 00 | 0.0160   | 69.9844  | 42157.30 | 0.0467    | 69.9990   | 42162.32  | -0.0307   | -0.0146   | -5.024    | 25.672    | 0.0380    |
| 93 | 8  | 10 | 00 | 00 | 00 | 0.0024   | 69.9722  | 42155.72 | 0.0307    | 69.9971   | 42165.00  | -0.0283   | -0.0249   | -9.277    | 29.502    | 0.0417    |
| 93 | 8  | 10 | 02 | 00 | 00 | -0.0119  | 69.9595  | 42156.70 | 0.0063    | 69.9995   | 42167.80  | -0.0183   | -0.0400   | -11.101   | 34.372    | 0.0485    |
| 93 | 8  | 10 | 04 | 00 | 00 | -0.0232  | 69.9502  | 42159.81 | -0.0199   | 70.0059   | 42169.79  | -0.0033   | -0.0557   | -9.983    | 42.172    | 0.0620    |
| 93 | 8  | 10 | 06 | 00 | 00 | -0.0284  | 69.9463  | 42164.15 | -0.0409   | 70.0137   | 42170.38  | 0.0125    | -0.0674   | -6.233    | 50.794    | 0.0772    |
| 93 | 8  | 10 | 08 | 00 | 00 | -0.0258  | 69.9482  | 42168.68 | -0.0509   | 70.0210   | 42169.54  | 0.0250    | -0.0728   | -0.865    | 56.407    | 0.0870    |
| 93 | 8  | 10 | 10 | 00 | 00 | -0.0162  | 69.9565  | 42172.44 | -0.0470   | 70.0264   | 42167.75  | 0.0308    | -0.0698   | 4.684     | 56.171    | 0.0867    |
| 93 | 8  | 10 | 12 | 00 | 00 | -0.0020  | 69.9692  | 42174.52 | -0.0303   | 70.0288   | 42165.60  | 0.0282    | -0.0596   | 8.918     | 49.310    | 0.0754    |
| 93 | 8  | 10 | 14 | 00 | 00 | 0.0130   | 69.9834  | 42174.20 | -0.0051   | 70.0283   | 42163.51  | 0.0181    | -0.0449   | 10.685    | 37.363    | 0.0560    |
| 93 | 8  | 10 | 16 | 00 | 00 | 0.0246   | 69.9951  | 42171.30 | 0.0216    | 70.0254   | 42161.78  | 0.0031    | -0.0303   | 9.523     | 24.376    | 0.0355    |
| 93 | 8  | 10 | 18 | 00 | 00 | 0.0298   | 70.0015  | 42166.52 | 0.0425    | 70.0205   | 42160.78  | -0.0128   | -0.0190   | 5.741     | 17.860    | 0.0269    |
| 93 | 8  | 10 | 20 | 00 | 00 | 0.0269   | 70.0000  | 42161.28 | 0.0521    | 70.0146   | 42160.93  | -0.0252   | -0.0146   | 0.355     | 21.397    | 0.0330    |
| 93 | 8  | 10 | 22 | 00 | 00 | 0.0167   | 69.9917  | 42157.16 | 0.0474    | 70.0098   | 42162.34  | -0.0308   | -0.0181   | -5.183    | 26.738    | 0.0396    |
| 93 | 8  | 11 | 00 | 00 | 00 | -0.0018  | 69.9790  | 42155.37 | 0.0299    | 70.0073   | 42164.75  | -0.0281   | -0.0283   | -9.378    | 30.932    | 0.0439    |
| 93 | 8  | 11 | 02 | 00 | 00 | -0.0138  | 69.9658  | 42156.36 | 0.0041    | 70.0098   | 42167.47  | -0.0179   | -0.0439   | -11.108   | 36.315    | 0.0517    |
| 93 | 8  | 11 | 04 | 00 | 00 | -0.0258  | 69.9565  | 42159.75 | -0.0230   | 70.0151   | 42169.65  | -0.0028   | -0.0586   | -9.903    | 44.392    | 0.0656    |
| 93 | 8  | 11 | 06 | 00 | 00 | -0.0310  | 69.9526  | 42164.46 | -0.0440   | 70.0234   | 42170.54  | 0.0130    | -0.0708   | -6.084    | 52.989    | 0.0807    |
| 93 | 8  | 11 | 08 | 00 | 00 | -0.0279  | 69.9561  | 42169.19 | -0.0532   | 70.0313   | 42169.87  | 0.0253    | -0.0752   | -0.680    | 58.388    | 0.0901    |
| 93 | 8  | 11 | 10 | 00 | 00 | -0.0171  | 69.9653  | 42172.83 | -0.0480   | 70.0366   | 42167.99  | 0.0308    | -0.0713   | 4.847     | 57.872    | 0.0893    |
| 93 | 8  | 11 | 12 | 00 | 00 | -0.0015  | 69.9775  | 42174.66 | -0.0295   | 70.0391   | 42165.64  | 0.0280    | -0.0615   | 9.016     | 50.763    | 0.0777    |
| 93 | 8  | 11 | 14 | 00 | 00 | 0.0148   | 69.9917  | 42174.19 | -0.0029   | 70.0391   | 42163.49  | 0.0176    | -0.0474   | 10.696    | 38.709    | 0.0581    |
| 93 | 8  | 11 | 16 | 00 | 00 | 0.0274   | 70.0029  | 42171.35 | 0.0248    | 70.0356   | 42161.91  | 0.0025    | -0.0327   | 9.447     | 25.845    | 0.0381    |
| 93 | 8  | 11 | 18 | 00 | 00 | 0.0327   | 70.0098  | 42166.70 | 0.0460    | 70.0313   | 42161.11  | -0.0133   | -0.0215   | 5.589     | 19.431    | 0.0294    |
| 93 | 8  | 11 | 20 | 00 | 00 | 0.0293   | 70.0083  | 42161.44 | 0.0547    | 70.0259   | 42161.27  | -0.0255   | -0.0176   | 0.166     | 22.633    | 0.0348    |
| 93 | 8  | 11 | 22 | 00 | 00 | 0.0179   | 70.0005  | 42157.13 | 0.0487    | 70.0215   | 42162.48  | -0.0308   | -0.0210   | -5.353    | 27.929    | 0.0414    |
| 93 | 8  | 12 | 02 | 00 | 00 | -0.0156  | 69.9746  | 42156.06 | 0.0293    | 70.0190   | 42164.61  | -0.0279   | -0.0317   | -9.487    | 32.460    | 0.0463    |
| 93 | 8  | 12 | 04 | 00 | 00 | -0.0286  | 69.9639  | 42159.65 | -0.0263   | 70.0205   | 42167.18  | -0.0174   | -0.0459   | -11.123   | 38.303    | 0.0549    |
| 93 | 8  | 12 | 06 | 00 | 00 | -0.0341  | 69.9604  | 42164.73 | -0.0476   | 70.0249   | 42169.47  | -0.0023   | -0.0610   | -9.820    | 46.622    | 0.0691    |
| 93 | 8  | 12 | 08 | 00 | 00 | -0.0305  | 69.9639  | 42169.73 | -0.0562   | 70.0415   | 42170.23  | 0.0256    | -0.0732   | -5.932    | 55.180    | 0.0841    |
| 93 | 8  | 12 | 10 | 00 | 00 | -0.0186  | 69.9736  | 42173.33 | -0.0495   | 70.0488   | 42168.32  | 0.0309    | -0.0776   | -0.499    | 60.367    | 0.0931    |
| 93 | 8  | 12 | 12 | 00 | 00 | -0.0015  | 69.9868  | 42174.85 | -0.0293   | 70.0503   | 42165.73  | 0.0278    | -0.0635   | 5.006     | 59.575    | 0.0920    |
| 93 | 8  | 12 | 14 | 00 | 00 | 0.0164   | 70.0005  | 42174.12 | -0.0008   | 70.0503   | 42163.41  | 0.0172    | -0.0498   | 9.110     | 52.229    | 0.0799    |
| 93 | 8  | 12 | 16 | 00 | 00 | 0.0302   | 70.0122  | 42171.28 | 0.0282    | 70.0469   | 42166.94  | 0.0020    | -0.0347   | 10.706    | 40.083    | 0.0604    |
| 93 | 8  | 12 | 18 | 00 | 00 | 0.0360   | 70.0190  | 42166.77 | 0.0497    | 70.0425   | 42161.34  | -0.0137   | -0.0234   | 9.360     | 27.347    | 0.0406    |
| 93 | 8  | 12 | 20 | 00 | 00 | 0.0322   | 70.0176  | 42161.62 | 0.0580    | 70.0376   | 42161.64  | -0.0258   | -0.0200   | 5.433     | 21.050    | 0.0321    |
| 93 | 8  | 12 | 22 | 00 | 00 | 0.0197   | 70.0103  | 42157.22 | 0.0505    | 70.0342   | 42162.74  | -0.0309   | -0.0239   | -0.014    | 23.972    | 0.0369    |
| 93 | 8  | 13 | 00 | 00 | 00 | 0.0017   | 69.9971  | 42155.00 | 0.0293    | 70.0322   | 42164.59  | -0.0309   | -0.0239   | -5.516    | 29.229    | 0.0433    |
| 93 | 8  | 13 | 02 | 00 | 00 | -0.0170  | 69.9834  | 42155.81 | 0.0000    | 70.0332   | 42166.94  | -0.0170   | -0.0498   | -9.584    | 34.075    | 0.0489    |
| 93 | 8  | 13 | 04 | 00 | 00 | -0.0314  | 69.9717  | 42159.52 | -0.0296   | 70.0376   | 42169.25  | -0.0017   | -0.0498   | -11.130   | 40.331    | 0.0582    |
| 93 | 8  | 13 | 06 | 00 | 00 | -0.0375  | 69.9692  | 42164.94 | -0.0515   | 70.0454   | 42170.71  | 0.0140    | -0.0659   | -9.736    | 48.859    | 0.0727    |
| 93 | 8  | 13 | 08 | 00 | 00 | -0.0337  | 69.9727  | 42170.27 | -0.0596   | 70.0532   | 42170.58  | 0.0259    | -0.0806   | -5.773    | 57.368    | 0.0875    |
| 93 | 8  | 13 | 10 | 00 | 00 | -0.0207  | 69.9844  | 42173.91 | -0.0516   | 70.0610   | 42168.74  | 0.0309    | -0.0767   | -0.319    | 62.345    | 0.0962    |
| 93 | 8  | 13 | 12 | 00 | 00 | -0.0020  | 69.9971  | 42175.15 | -0.0295   | 70.0635   | 42165.94  | 0.0275    | -0.0664   | 5.165     | 61.286    | 0.0946    |
| 93 | 8  | 13 | 14 | 00 | 00 | -0.0176  | 70.0122  | 42174.07 | 0.0008    | 70.0635   | 42163.36  | 0.0168    | -0.0513   | 9.208     | 53.712    | 0.0823    |
| 93 | 8  | 13 | 16 | 00 | 00 | 0.0328   | 70.0225  | 42171.10 | 0.0313    | 70.0596   | 42161.83  | 0.0015    | -0.0371   | 9.273     | 28.888    | 0.0432    |
| 93 | 8  | 13 | 18 | 00 | 00 | 0.0394   | 70.0288  | 42166.75 | 0.0537    | 70.0557   | 42161.47  | -0.0142   | -0.0269   | 5.281     | 22.714    | 0.0348    |
| 93 | 8  | 13 | 20 | 00 | 00 | 0.0356   | 70.0293  | 42161.80 | 0.0617    | 70.0518   | 42161.99  | -0.0261   | -0.0225   | -0.195    | 25.401    | 0.0390    |
| 93 | 8  | 13 | 22 | 00 | 00 | 0.0221   | 70.0205  | 42157.43 | 0.0530    | 70.0479   | 42163.11  | -0.0309   | -0.0273   | -5.675    | 30.628    | 0.0454    |
| 93 | 8  | 14 | 00 | 00 | 00 | 0.0026   | 70.0088  | 42155.04 | 0.0300    | 70.0469   | 42164.72  | -0.0274   | -0.0381   | -9.682    | 35.767    | 0.0515    |



00:00 06:00 12:00 18:00 00:00 06:00 12:00 18:00 00:00  
23-JUL-93 27-JUL-93 01-AUG-93 05-AUG-93 10-AUG-93

TIME (GMT)

**ANEXO 2**

Orbital Elements Input: Flight(deg,km,mps)  
Attitude Elements Input: None

Epoch Yr Mo Dy Hr Mn Se Satellite Wt Solar Radiation force  
94 9 17 00 00 00 590.4788 kg 0.0000534 nt

Osculating Drift(+W) 0.0345 deg/orbit  
Osculating Period 1436.2059 min GHA Aries 355.700 deg

| Classical Elements |               | Flight Elements |               | Cartesian Elements |                   |     | Non-singular Elements  |     |                        |
|--------------------|---------------|-----------------|---------------|--------------------|-------------------|-----|------------------------|-----|------------------------|
| SMA                | 42166.89 km   | Geoc Lat        | 0.02000 deg   | X                  | 11410.577 km      | K1  | 0.00000320             | Lon | (+W) 69.9966 deg       |
| Ecc                | 0.0000118     | Lon (+W)        | 70.0000 deg   | Y                  | -40593.148 km     | H1  | -0.00001138            | Dr1 | (+W) 0.0343519 deg/orb |
| I                  | 0.02000 deg   | Radius          | 42166.398 km  | Z                  | 14.719 km         | K2  | -0.00033604            |     |                        |
| M                  | 0.0000 deg    | Velocity        | 3074.600 mps  | XDot               | 2959.885 mps      | H2  | -0.00009446            |     |                        |
| Omega              | 90.0000 deg   | Gamma           | 0.00000 deg   | YDot               | 832.012 mps       | Lon | (+W) 69.9966 deg       |     |                        |
| Node               | 195.7005 deg  | Az from E       | 0.00000 deg   | ZDot               | 0.000 mps         | Dr1 | (+W) 0.0343519 deg/orb |     |                        |
|                    |               |                 |               |                    |                   |     |                        |     |                        |
| SMA                | 6.611137 eru  | Geoc Lat        | 0.02000 deg   | X                  | 0.3743627E+08 ft  | K1  | 0.00000320             | Lon | (+W) 69.9966 deg       |
| Ecc                | 0.0000118     | Lon (+W)        | 70.0000 deg   | Y                  | -0.1331796E+09 ft | H1  | -0.00001138            | Dr1 | (+W) 0.0343519 deg/orb |
| I                  | 0.0003491 rad | Radius          | 22753.484 nmi | Z                  | 0.4829019E+05 ft  | K2  | -0.00033604            |     |                        |
| M                  | 0.000000 rad  | Velocity        | 10087.271 fps | XDot               | 9710.910 fps      | H2  | -0.00009446            |     |                        |
| Omega              | 1.570796 rad  | Gamma           | 0.00000 deg   | YDot               | 2729.699 fps      | Lon | (+W) 69.9966 deg       |     |                        |
| Node               | 3.415617 rad  | Az from E       | 0.00000 deg   | ZDot               | 0.000 fps         | Dr1 | (+W) 0.0343519 deg/orb |     |                        |

Estimated Time      Yr Mo Dy Hr Mn Se      On-Station      Mean      Lon and      Satellite      Solar Radiation      Lon  
 Maneuver 1      94 9 17 00 00 00      Lon(+W)      Acceleration(+W)      Drift      Weight      Force      Ctrl Box  
 Maneuver 3      94 9 20 00 00 00      70.020 dg      0.001261 dg/dy\*\*2      Compute      590.48 kg      0.0000534 nt      0.100 dg

E Control Mode      Longitude Guardband  
 1 Maneuver Sun-Synchronous      0.015 deg

| Mnvr | Yr | Mo | Dy | Hr | Mn | Se | Longitude(+W) | Tangential DV | Pre-Mnvr         | Mnvr Delta      | Post-Mnvr | Drift(+W)   | E Mag       | E Rt Asc   | K1         | H1 |
|------|----|----|----|----|----|----|---------------|---------------|------------------|-----------------|-----------|-------------|-------------|------------|------------|----|
| 1    | 94 | 9  | 17 | 01 | 51 | 06 | 69.9988 deg   | -0.0007 mps   | 0.01567 deg/day  | 0.00026 deg/day | 0.0000388 | 0.0000005   | 222.167 deg | -0.0000288 | -0.0000261 |    |
| 2    | 94 | 9  | 19 | 13 | 41 | 10 | 70.0411 deg   | 0.0242 mps    | 0.01541 deg/day  | 0.0000388       | 0.0000005 | 221.461 deg | -0.0000291  | 0.0000003  |            |    |
| 3    | 94 | 9  | 20 | 01 | 39 | 15 | 70.0547 deg   | -0.1164 mps   | 0.01855 deg/day  | 0.0000461       | 0.0000461 | 229.699 deg | -0.0000298  | -0.0000352 |            |    |
|      |    |    |    |    |    |    |               |               | 0.00849 deg/day  | 0.0000157       | 0.0000157 | 133.485 deg | -0.000108   | 0.0000114  |            |    |
|      |    |    |    |    |    |    |               |               | 0.02704 deg/day  | 0.0000471       | 0.0000471 | 210.316 deg | -0.0000406  | -0.0000238 |            |    |
|      |    |    |    |    |    |    |               |               | 0.02766 deg/day  | 0.0000482       | 0.0000482 | 212.198 deg | -0.0000408  | -0.0000257 |            |    |
|      |    |    |    |    |    |    |               |               | -0.04090 deg/day | 0.0000757       | 0.0000757 | 133.485 deg | -0.0000521  | 0.0000550  |            |    |
|      |    |    |    |    |    |    |               |               | -0.01324 deg/day | 0.0000974       | 0.0000974 | 162.494 deg | -0.0000929  | 0.0000293  |            |    |

| Maneuver | Yr | Mo | Dy | Hr | Mn | Se | Radial Jet DV | PsiFC       | Earth to Sun Angle | Tangential DV | Normal DV  | Spacecraft RA | Sun RA      |
|----------|----|----|----|----|----|----|---------------|-------------|--------------------|---------------|------------|---------------|-------------|
| 1        | 94 | 9  | 17 | 01 | 51 | 06 | 0.0007 mps    | 130.902 deg | 319.098 deg        | -0.0007 mps   | 0.0000 mps | 313.553 deg   | 174.454 deg |
| 2        | 94 | 9  | 19 | 13 | 41 | 10 | 0.0242 mps    | 133.204 deg | 136.796 deg        | 0.0242 mps    | 0.0013 mps | 133.485 deg   | 176.689 deg |
| 3        | 94 | 9  | 20 | 01 | 39 | 15 | 0.1166 mps    | 133.651 deg | 316.349 deg        | -0.1164 mps   | 0.0062 mps | 313.485 deg   | 177.136 deg |

RCS Calibration

| Jet    | RCS Pulses | PsiPLE(ms) | PCen(ms) | DesDV(mps) | ActDV(mps) | ActIm(n-s) | EtoSun(dg) | Pi1(kp) | Pi2(kp) | Ti1(dgC) | Ti2(dgC) | Pf1(kp) | Pf2(kp) | WPSci(kg) | WPSCF(kg) | VU1(lit) | VU2(lit) | VUf1(lit) | VUf2(lit) | WPI1(kg) | WPI2(kg) | WPF1(kg) | WPF2(kg) | SCWTi(kg) | IRI(k-m2) | ZCGi(m) | RPMi   | SCWTF(kg) | IRf(k-m2) | ZCGf(m) | RPMf   | Hi(k-m2/s) | Hf(k-m2/s) | DelW(kg) | WDPP(k/p) | Hi(k-m2/s) | Hf(k-m2/s) | Thrust(nt) | Isp(se)  | WDot(k/s) | DHDI  | IspCal | WDotCal | PhsCal(dg) |
|--------|------------|------------|----------|------------|------------|------------|------------|---------|---------|----------|----------|---------|---------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|---------|--------|-----------|-----------|---------|--------|------------|------------|----------|-----------|------------|------------|------------|----------|-----------|-------|--------|---------|------------|
| Radial | 1          | 299.941    | 0.001    | 0.001      | 361.86     | 361.86     | 361.86     | 33.412  | 33.412  | 33.412   | 33.412   | 361.86  | 359.65  | 20.3      | 20.3      | 361.86   | 359.65   | 31.791    | 31.791    | 31.791   | 31.791   | 31.791   | 31.791   | 590.478   | 279.559   | 0.8433  | 54.848 | 590.478   | 279.559   | 0.8433  | 54.848 | 0.000421   | 1605.61    | 1605.70  | 0.000421  | 1605.61    | 3.853      | 109.150    | 0.003599 | 0.000     | 1.000 | 1.000  | 0.000   |            |
|        | 117.0      | 37.278     | 0.45     | 319.098    | 20.3       | 20.3       | 319.098    | 20.3    | 20.3    | 20.3     | 20.3     | 65.203  | 65.203  | 84.8703   | 84.8703   | 84.8703  | 84.8703  | 84.8703   | 84.8703   | 84.8703  | 84.8703  | 84.8703  | 84.8703  | 279.559   | 279.559   | 0.8433  | 54.848 | 279.559   | 279.559   | 0.8433  | 54.848 | 0.000421   | 1605.61    | 1605.70  | 0.000421  | 1605.61    | 3.853      | 109.150    | 0.003599 | 0.000     | 1.000 | 1.000  | 0.000   |            |
|        | 130.902    | 113.279    | 319.098  | 319.098    | 20.3       | 20.3       | 319.098    | 20.3    | 20.3    | 20.3     | 20.3     | 65.203  | 65.203  | 84.8703   | 84.8703   | 84.8703  | 84.8703  | 84.8703   | 84.8703   | 84.8703  | 84.8703  | 84.8703  | 84.8703  | 279.559   | 279.559   | 0.8433  | 54.848 | 279.559   | 279.559   | 0.8433  | 54.848 | 0.000421   | 1605.61    | 1605.70  | 0.000421  | 1605.61    | 3.853      | 109.150    | 0.003599 | 0.000     | 1.000 | 1.000  | 0.000   |            |

Precession Roll Yaw  
0.0002 deg 0.0000 deg -0.0002 deg

Maneuver 2  
Precession Roll Yaw  
0.0011 deg 0.0011 deg 0.0058 deg

| Jet    | RCS Pulses | PsiPLE(ms) | PCen(ms) | DesDV(mps) | ActDV(mps) | ActIm(n-s) | EtoSun(dg) | Pi1(kp) | Pi2(kp) | Ti1(dgC) | Ti2(dgC) | Pf1(kp) | Pf2(kp) | WPSci(kg) | WPSCF(kg) | VU1(lit) | VU2(lit) | VUf1(lit) | VUf2(lit) | WPI1(kg) | WPI2(kg) | WPF1(kg) | WPF2(kg) | SCWTi(kg) | IRI(k-m2) | ZCGi(m) | RPMi   | SCWTF(kg) | IRf(k-m2) | ZCGf(m) | RPMf   | Hi(k-m2/s) | Hf(k-m2/s) | DelW(kg) | WDPP(k/p) | Hi(k-m2/s) | Hf(k-m2/s) | Thrust(nt) | Isp(se)  | WDot(k/s) | DHDI  | IspCal | WDotCal | PhsCal(dg) |
|--------|------------|------------|----------|------------|------------|------------|------------|---------|---------|----------|----------|---------|---------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|---------|--------|-----------|-----------|---------|--------|------------|------------|----------|-----------|------------|------------|------------|----------|-----------|-------|--------|---------|------------|
| Radial | 1          | 303.208    | 0.024    | 0.024      | 361.86     | 361.86     | 361.86     | 33.412  | 33.412  | 33.412   | 33.412   | 361.84  | 359.65  | 20.3      | 20.3      | 361.84   | 359.65   | 31.791    | 31.791    | 31.791   | 31.791   | 31.791   | 31.791   | 590.468   | 279.552   | 0.8433  | 54.848 | 590.468   | 279.552   | 0.8433  | 54.848 | 0.000421   | 1605.70    | 1609.21  | 0.000421  | 1605.70    | 5.028      | 142.461    | 0.003599 | 0.000     | 1.000 | 1.000  | 0.000   |            |
|        | 24         | 920.337    | 0.024    | 14.12      | 20.3       | 20.3       | 14.12      | 20.3    | 20.3    | 20.3     | 20.3     | 65.203  | 65.203  | 84.8803   | 84.8803   | 84.8803  | 84.8803  | 84.8803   | 84.8803   | 84.8803  | 84.8803  | 84.8803  | 84.8803  | 279.559   | 279.559   | 0.8433  | 54.848 | 279.559   | 279.559   | 0.8433  | 54.848 | 0.000421   | 1605.70    | 1609.21  | 0.000421  | 1605.70    | 5.028      | 142.461    | 0.003599 | 0.000     | 1.000 | 1.000  | 0.000   |            |
|        | 117.0      | 36.313     | 14.12    | 136.796    | 20.3       | 20.3       | 136.796    | 20.3    | 20.3    | 20.3     | 20.3     | 65.192  | 65.192  | 86.3577   | 86.3577   | 86.3577  | 86.3577  | 86.3577   | 86.3577   | 86.3577  | 86.3577  | 86.3577  | 86.3577  | 279.559   | 279.559   | 0.8433  | 54.848 | 279.559   | 279.559   | 0.8433  | 54.848 | 0.000421   | 1605.70    | 1609.21  | 0.000421  | 1605.70    | 5.028      | 142.461    | 0.003599 | 0.000     | 1.000 | 1.000  | 0.000   |            |
|        | 133.204    | 110.222    | 136.796  | 136.796    | 20.3       | 20.3       | 136.796    | 20.3    | 20.3    | 20.3     | 20.3     | 65.192  | 65.192  | 86.3577   | 86.3577   | 86.3577  | 86.3577  | 86.3577   | 86.3577   | 86.3577  | 86.3577  | 86.3577  | 86.3577  | 279.559   | 279.559   | 0.8433  | 54.848 | 279.559   | 279.559   | 0.8433  | 54.848 | 0.000421   | 1605.70    | 1609.21  | 0.000421  | 1605.70    | 5.028      | 142.461    | 0.003599 | 0.000     | 1.000 | 1.000  | 0.000   |            |

Precession Roll Yaw  
0.0059 deg 0.0011 deg 0.0058 deg

Maneuver 3  
Precession Roll Yaw  
0.0237 deg -0.0054 deg -0.0230 deg

| Jet    | RCS Pulses | PsiPLE(ms) | PCen(ms) | DesDV(mps) | ActDV(mps) | ActIm(n-s) | EtoSun(dg) | Pi1(kp) | Pi2(kp) | Ti1(dgC) | Ti2(dgC) | Pf1(kp) | Pf2(kp) | WPSci(kg) | WPSCF(kg) | VU1(lit) | VU2(lit) | VUf1(lit) | VUf2(lit) | WPI1(kg) | WPI2(kg) | WPF1(kg) | WPF2(kg) | SCWTi(kg) | IRI(k-m2) | ZCGi(m) | RPMi   | SCWTF(kg) | IRf(k-m2) | ZCGf(m) | RPMf   | Hi(k-m2/s) | Hf(k-m2/s) | DelW(kg) | WDPP(k/p) | Hi(k-m2/s) | Hf(k-m2/s) | Thrust(nt) | Isp(se)  | WDot(k/s) | DHDI  | IspCal | WDotCal | PhsCal(dg) |
|--------|------------|------------|----------|------------|------------|------------|------------|---------|---------|----------|----------|---------|---------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|---------|--------|-----------|-----------|---------|--------|------------|------------|----------|-----------|------------|------------|------------|----------|-----------|-------|--------|---------|------------|
| Radial | 1          | 302.297    | 0.117    | 0.117      | 361.84     | 361.84     | 361.84     | 33.401  | 33.401  | 33.401   | 33.401   | 361.78  | 359.65  | 20.3      | 20.3      | 361.84   | 359.65   | 31.791    | 31.791    | 31.791   | 31.791   | 31.791   | 31.791   | 590.426   | 279.525   | 0.8433  | 54.848 | 590.426   | 279.525   | 0.8433  | 54.848 | 0.000421   | 1609.21    | 1623.59  | 0.000421  | 1609.21    | 5.880      | 166.636    | 0.003598 | 0.000     | 1.000 | 1.000  | 0.000   |            |
|        | 100        | 912.440    | 0.117    | 68.80      | 20.3       | 20.3       | 68.80      | 20.3    | 20.3    | 20.3     | 20.3     | 65.192  | 65.192  | 84.9220   | 84.9220   | 84.9220  | 84.9220  | 84.9220   | 84.9220   | 84.9220  | 84.9220  | 84.9220  | 84.9220  | 279.552   | 279.552   | 0.8433  | 54.848 | 279.552   | 279.552   | 0.8433  | 54.848 | 0.000421   | 1609.21    | 1623.59  | 0.000421  | 1609.21    | 5.880      | 166.636    | 0.003598 | 0.000     | 1.000 | 1.000  | 0.000   |            |
|        | 117.0      | 37.671     | 68.80    | 316.349    | 20.3       | 20.3       | 316.349    | 20.3    | 20.3    | 20.3     | 20.3     | 65.150  | 65.150  | 86.3577   | 86.3577   | 86.3577  | 86.3577  | 86.3577   | 86.3577   | 86.3577  | 86.3577  | 86.3577  | 86.3577  | 279.552   | 279.552   | 0.8433  | 54.848 | 279.552   | 279.552   | 0.8433  | 54.848 | 0.000421   | 1609.21    | 1623.59  | 0.000421  | 1609.21    | 5.880      | 166.636    | 0.003598 | 0.000     | 1.000 | 1.000  | 0.000   |            |
|        | 133.651    | 113.703    | 316.349  | 316.349    | 20.3       | 20.3       | 316.349    | 20.3    | 20.3    | 20.3     | 20.3     | 65.150  | 65.150  | 86.3577   | 86.3577   | 86.3577  | 86.3577  | 86.3577   | 86.3577   | 86.3577  | 86.3577  | 86.3577  | 86.3577  | 279.552   | 279.552   | 0.8433  | 54.848 | 279.552   | 279.552   | 0.8433  | 54.848 | 0.000421   | 1609.21    | 1623.59  | 0.000421  | 1609.21    | 5.880      | 166.636    | 0.003598 | 0.000     | 1.000 | 1.000  | 0.000   |            |



Orbital Elements Input: Flight (deg, km, mps)  
Attitude Elements Input: None

Epoch Yr Mo Dy Hr Mn Se Satellite Wt Solar Radiation force  
94 9 17 00 00 00 1050.3535 kg 0.0001059 nt

Osculating Drift(+W) 0.0345 deg/orbit  
Osculating Period 1436.2059 min GHA Aries 355.700 deg

| Classical Elements |               | Flight Elements |               | Cartesian Elements |                   |          | Non-singular Elements |  |  |
|--------------------|---------------|-----------------|---------------|--------------------|-------------------|----------|-----------------------|--|--|
| SMA                | 42166.89 km   | Geoc Lat        | 0.00000 deg   | X                  | 11410.577 km      | K1       | 0.00000320            |  |  |
| Ecc                | 0.0000118     | Lon (+W)        | 70.0000 deg   | Y                  | -40593.148 km     | H1       | -0.00001138           |  |  |
| I                  | 0.00000 deg   | Radius          | 42166.398 km  | Z                  | 0.000 km          | K2       | 0.00000000            |  |  |
| M                  | 0.0000 deg    | Velocity        | 3074.600 mps  | XDot               | 2959.885 mps      | H2       | 0.00000000            |  |  |
| Omega              | 180.0000 deg  | Gamma           | 0.00000 deg   | YDot               | 832.012 mps       | Lon (+W) | 69.9966 deg           |  |  |
| Node               | 105.7005 deg  | Az from E       | 0.00000 deg   | ZDot               | 0.000 mps         | Dri (+W) | 0.0343519 deg/orb     |  |  |
|                    |               |                 |               |                    |                   |          |                       |  |  |
| SMA                | 6.611137 eru  | Geoc Lat        | 0.00000 deg   | X                  | 0.3743628E+08 ft  | K1       | 0.00000320            |  |  |
| Ecc                | 0.0000118     | Lon (+W)        | 70.0000 deg   | Y                  | -0.1331796E+09 ft | H1       | -0.00001138           |  |  |
| I                  | 0.0000000 rad | Radius          | 22753.484 rmi | Z                  | 0.0000000E+00 ft  | K2       | 0.00000000            |  |  |
| M                  | 0.0000000 rad | Velocity        | 10087.271 fps | XDot               | 9710.910 fps      | H2       | 0.00000000            |  |  |
| Omega              | 3.141593 rad  | Gamma           | 0.00000 deg   | YDot               | 2729.699 fps      | Lon (+W) | 69.9966 deg           |  |  |
| Node               | 1.844821 rad  | Az from E       | 0.00000 deg   | ZDot               | 0.000 fps         | Dri (+W) | 0.0343519 deg/orb     |  |  |

Estimated Time Yr Mo Dy Hr Mn Se On-Station Mean Lon and Satellite Solar Radiation Lon  
 Maneuver 1 94 9 17 00 00 00 Lon(+W) Acceleration(+W) Drift Weight Force Ctrl Box  
 Maneuver 3 94 9 20 00 00 00 Cycle Time 21 days 69.980 dg 0.001261 dg/dy\*\*2 Compute 1050.35 kg 0.0001059 nt 0.100 dg

E Control Mode Longitude Guardband  
 1 Maneuver Sun-Synchronous 0.015 deg

| Mnvr | Yr | Mo | Dy | Hr | Mn | Se | Longitude(+W) | Tangential DV | Pre-Mnvr   | Mnvr Delta       | Post-Mnvr | Drift(+W)       | E Mag       | E Rt Asc   | K1         | H1 |
|------|----|----|----|----|----|----|---------------|---------------|------------|------------------|-----------|-----------------|-------------|------------|------------|----|
| 1    | 94 | 9  | 17 | 02 | 27 | 27 | 69.9992 deg   | -0.0421 mps   | Mnvr Delta | 0.01568 deg/day  | 0.0000388 | 0.01477 deg/day | 222.202 deg | -0.0000288 | -0.0000261 |    |
| 2    | 94 | 9  | 19 | 14 | 17 | 10 | 70.0054 deg   | 0.0413 mps    | Pre-Mnvr   | 0.00090 deg/day  | 0.0000274 | 0.0000514       | 142.663 deg | -0.0000218 | 0.0000166  |    |
| 3    | 94 | 9  | 20 | 02 | 15 | 15 | 70.0148 deg   | -0.0923 mps   | Post-Mnvr  | 0.00405 deg/day  | 0.0000551 | 0.0000513       | 190.642 deg | -0.0000505 | -0.0000095 |    |
|      |    |    |    |    |    |    |               |               | Mnvr Delta | 0.01450 deg/day  | 0.0000268 | 0.0000213       | 201.331 deg | -0.0000513 | -0.0000200 |    |
|      |    |    |    |    |    |    |               |               | Pre-Mnvr   | 0.01854 deg/day  | 0.0000727 | 0.0000726       | 142.548 deg | -0.0000213 | 0.0000163  |    |
|      |    |    |    |    |    |    |               |               | Post-Mnvr  | 0.01917 deg/day  | 0.0000730 | 0.0000728       | 182.931 deg | -0.0000726 | -0.0000037 |    |
|      |    |    |    |    |    |    |               |               | Mnvr Delta | -0.03242 deg/day | 0.0000600 | 0.0000477       | 184.584 deg | -0.0000728 | -0.0000058 |    |
|      |    |    |    |    |    |    |               |               | Post-Mnvr  | -0.01324 deg/day | 0.0001243 | 165.710 deg     | 142.548 deg | -0.0000477 | 0.0000365  |    |
|      |    |    |    |    |    |    |               |               |            |                  |           |                 |             | -0.0001204 | 0.0000307  |    |

| Maneuver | Yr | Mo | Dy | Hr | Mn | Se | Radial Jet DV | PsiFC       | Earth to Sun Angle | Tangential DV | Normal DV   | Spacecraft RA | Sun RA      |
|----------|----|----|----|----|----|----|---------------|-------------|--------------------|---------------|-------------|---------------|-------------|
| 1        | 94 | 9  | 17 | 02 | 27 | 27 | 0.0425 mps    | 121.814 deg | 328.186 deg        | -0.0421 mps   | -0.0058 mps | 322.663 deg   | 174.477 deg |
| 2        | 94 | 9  | 19 | 14 | 17 | 10 | 0.0417 mps    | 124.163 deg | 145.837 deg        | 0.0413 mps    | -0.0057 mps | 142.548 deg   | 176.711 deg |
| 3        | 94 | 9  | 20 | 02 | 15 | 15 | 0.0932 mps    | 124.610 deg | 325.390 deg        | -0.0923 mps   | -0.0128 mps | 322.548 deg   | 177.158 deg |

b1

BCS Calibration

| Jets      | Ox_PreMode | Fu_PreMode | Regulated | Regulated | WdtO(k/s) | WdtF(k/s) | EffIsp(se) | FPOi | WdtOCal | FFFi | WtF1(kg) | PrFi(kp) | TF1i(dC) | IRi(kg-m2) | SCWTi(kg) | IRf(kg-m2) | SCWTf(kg) | DelW(kg)   |
|-----------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------|---------|------|----------|----------|----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|
| Step(se)  | PsiPLE(dg) | DesDV(mps) | 276.446   | 0.042     |           |           |            |      |         |      |          |          |          |            |           |            |           |            |
| Pulses(#) | PsiPLE(ms) | ActDV(mps) | 1531.710  | 0.041     |           |           |            |      |         |      |          |          |          |            |           |            |           | WDPP(k/p)  |
| PulW(ms)  | PCen(dg)   | ActIm(n-s) | 63.169    | 43.324    |           |           |            |      |         |      |          |          |          |            |           |            |           | Hi(k-m2/s) |
| PsiFC(dg) | PCen(ms)   | EtoSun(dg) | 350.000   | 328.186   |           |           |            |      |         |      |          |          |          |            |           |            |           | Hf(k-m2/s) |
| radial 1  | Regulated  | Regulated  |           |           |           |           |            |      |         |      |          |          |          |            |           |            |           | DHDI       |
| 20.010    | 276.446    | 0.042      |           |           |           |           |            |      |         |      |          |          |          |            |           |            |           |            |
| 3         | 1531.710   | 0.041      |           |           |           |           |            |      |         |      |          |          |          |            |           |            |           |            |
| 600.000   | 63.169     | 43.324     |           |           |           |           |            |      |         |      |          |          |          |            |           |            |           |            |
| 121.814   | 350.000    | 328.186    |           |           | 0.005414  | 0.003276  |            |      |         |      |          |          |          |            |           |            |           |            |

Maneuver 1

| TO1i(dC) | TO2i(dC) | PrFi(kp) | PrFi(kp) | WtF1(kg) | FFFi  | WdtOCal | FFFi  | WtF1(kg) | PrFi(kp) | TF1i(dC) | IRi(kg-m2) | SCWTi(kg) | IRf(kg-m2) | SCWTf(kg) | DelW(kg) |
|----------|----------|----------|----------|----------|-------|---------|-------|----------|----------|----------|------------|-----------|------------|-----------|----------|
| 20.0     | 20.0     | 1723.690 | 1723.565 | 492.058  | 0.801 | 282.518 | 0.801 | 492.048  | 356.343  | 1723.690 | 1928.244   | 1050.354  | 1928.219   | 1050.338  | -0.016   |
| 492.058  | 492.048  | 0.801    | 0.801    | 24.069   | 1.000 | 1.000   | 0.959 | 0.959    | 356.337  | 1723.156 | 1.0701     | 1.0701    | 1.0701     | 1.0701    | 0.005    |
| 282.518  | 24.069   | 1.000    | 1.000    |          |       |         | 0.959 | 0.959    | 1.000    | 20.0     | 30.000     | 30.000    | 30.161     | 30.161    | 6057.76  |
|          |          |          |          |          |       |         | 1.000 | 1.000    | 1.000    | 20.0     | 1.000      | 1.000     | 0.000      | 0.000     | 6090.10  |

Precession 0.0359 deg Roll -0.0277 deg Yaw 0.0229 deg

b1

BCS Calibration

| Jets        |             | Ox_PreMode  |             | Fu_PreMode  |            | Maneuver 2  |           | TF1i (dc) |           | TF2i (dc) |           | SCWTi (kg)  |             | SCWTF (kg)  |             | DelW (kg)   |             |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Step (se)   | PsipLE (dg) | DesDV (mps) | PsipLE (dg) | DesDV (mps) | ProI (kp)  | ProF (kp)   | TO1i (dc) | PrFi (kp) | PrFi (kp) | PrFi (kp) | PrFi (kp) | IRi (kg-m2) | IRf (kg-m2) | IRf (kg-m2) | IRf (kg-m2) | WDPP (k/p)  | WDPP (k/p)  |
| PuIseS (#)  | PsipLE (ms) | ActDV (mps) | PsipLE (ms) | ActDV (mps) | WtOI (kg)  | WtOI (kg)   | TO2i (dc) | WtFi (kg) | WtFi (kg) | WtFi (kg) | WtFi (kg) | ZCGi (m)    | ZCGf (m)    | ZCGf (m)    | ZCGf (m)    | Hi (k-m2/s) | Hi (k-m2/s) |
| PuIw (ms)   | PCen (dg)   | ActIm (n-s) | PCen (dg)   | ActIm (n-s) | FFOI       | FPOF        | FFOI      | FFFi      | FFFi      | FFFi      | FFFi      | RPMi        | RPMf        | RPMf        | RPMf        | Hf (k-m2/s) | Hf (k-m2/s) |
| PsipFC (dg) | PCen (ms)   | EtoSun (dg) | PCen (ms)   | EtoSun (dg) | WDtF (k/s) | EffThr (nt) | WDtOCa1   | WDtOCa1   | WDtOCa1   | WDtOCa1   | WDtOCa1   | IspCa1      | IspCa1      | IspCa1      | IspCa1      | DHDI        | DHDI        |
| radial 1    | Regulated   | Regulated   | 20.0        | 20.0        | 20.0       | 20.0        | 20.0      | 20.0      | 20.0      | 20.0      | 20.0      | 1050.338    | 1050.323    | 1050.323    | 1050.323    | -0.016      | -0.016      |
| 20.010      | 278.458     | 0.042       | 1723.565    | 1723.440    | 1723.156   | 1723.156    | 1723.156  | 1723.156  | 1723.156  | 1723.156  | 1723.156  | 1928.219    | 1928.194    | 1928.194    | 1928.194    | 0.005       | 0.005       |
| 3           | 1534.668    | 0.041       | 492.048     | 492.038     | 356.337    | 356.337     | 356.337   | 356.337   | 356.337   | 356.337   | 356.337   | 1.0701      | 1.0701      | 1.0701      | 1.0701      | 6090.10     | 6090.10     |
| 600.000     | 63.506      | 43.321      | 0.801       | 0.801       | 0.959      | 0.959       | 0.801     | 0.959     | 0.959     | 0.959     | 0.959     | 30.161      | 30.321      | 30.321      | 30.321      | 6122.43     | 6122.43     |
| 124.163     | 350.000     | 145.837     | 282.520     | 24.067      | 1.000      | 1.000       | 24.067    | 1.000     | 1.000     | 1.000     | 1.000     | 1.000       | 0.000       | 0.000       | 0.000       | 0.000       | 0.000       |

Precession      Roll      Yaw  
 0.0364 deg      0.0275 deg      -0.0239 deg

BCS Calibration

| Jets      |           | OX_PreMode |          | Fu_PreMode |          | WDLO(k/s)  |            | WDLF(k/s)  |            | EffIsp(se) |           | EffThr(nt) |          | Maneuver 3 |          | TF1i(dC) |          | TF2i(dC) |          | SCWTi(kg) |          | SCWTF(kg)  |            | DelW(kg)   |            |            |
|-----------|-----------|------------|----------|------------|----------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|------------|----------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Step(se)  | Pulses(#) | PsiPLE(ms) | PCen(ms) | PsiPLE(ms) | PCen(ms) | DesDV(mps) | ActDV(mps) | ActIm(n-s) | EtoSun(dg) | Regulated  | Regulated | TO1i(dC)   | TO2i(dC) | PrOI(kp)   | PrOF(kp) | PrFI(kp) | PrFF(kp) | WtOI(kg) | WtOF(kg) | WtFI(kg)  | WtFF(kg) | IRi(kg-m2) | IRF(kg-m2) | IRI(kg-m2) | IRF(kg-m2) | WDPP(k/p)  |
| PsiFC(dg) |           |            |          |            |          |            |            |            |            |            |           | FFOI       | FFOF     | FFPi       | FFFi     | FFFi     | FFFi     |          |          |           |          | RPMi       | RPMi       | RPMi       | RPMi       | HI(k-m2/s) |
|           |           |            |          |            |          |            |            |            |            |            |           |            |          |            |          |          |          |          |          |           |          | IspCal     | PhsCor(dg) |            |            | DHDI       |
| radial 1  |           |            |          |            |          |            |            |            |            |            |           |            |          |            |          |          |          |          |          |           |          |            |            |            |            |            |
| 20.010    |           |            |          |            |          |            |            |            |            |            | 20.0      | 20.0       | 20.0     | 1723.440   | 1723.191 | 1722.623 | 1721.559 | 492.038  | 492.019  | 356.331   | 356.319  | 1050.323   | 1050.291   | 1928.144   | 1928.144   | -0.031     |
| 6         |           |            |          |            |          |            |            |            |            |            | 0.093     | 0.083      | 0.801    | 0.801      | 0.801    | 0.959    | 0.959    | 0.801    | 0.801    | 0.959     | 0.959    | 1.0701     | 1.0701     | 1.0701     | 1.0701     | 0.005      |
| 600.000   |           |            |          |            |          |            |            |            |            |            | 282.631   | 24.074     | 282.631  | 282.631    | 282.631  | 24.074   | 0.959    | 0.959    | 0.959    | 0.959     | 30.321   | 30.321     | 30.321     | 30.642     | 6122.43    |            |
| 124.610   |           |            |          |            |          |            |            |            |            |            | 0.005414  | 0.003268   | 0.003268 | 0.003268   | 0.003268 | 0.003268 | 0.003268 | 0.003268 | 0.003268 | 0.003268  | 1.000    | 1.000      | 1.000      | 1.000      | 6187.13    |            |
|           |           |            |          |            |          |            |            |            |            |            |           |            |          |            |          |          |          |          |          |           |          |            |            |            |            | 0.00       |

Precession 0.0354 deg  
Roll -0.0273 deg  
Yaw 0.0226 deg

b1

Orbit Epoch Yr Mo Dy Hr Mn Se Classical Elements SMA Ecc I M Omega Node  
 94 9 17 00 00 00 Elements 42166.89 km 0.0000118 0.000000 deg 0.0000 deg 180.0000 deg 105.7004 deg  
 Satellite Wt 1050.3535 kg Solar Radiation Force 0.0001059 nt

Maneuver Yr Mo Dy Tangential DV(mps) Ecc I (deg) M(deg) Omega(deg) Node(deg)  
 Time Hr Mn Se Normal DV(mps) Lon(deg) R(km) V(mps) Gamma(deg) AzFl(deg)  
 Delta Wt(kg) Radial DV(mps) Y(km) Z(km) XDot(mps) YDot(mps) ZDot(mps)

94 9 17 -0.04206 0.0000453 0.00035 20.0557 177.6884 124.9157  
 02 27 27 -0.00582 70.0023 42166.508 3074.644 0.0009 0.0003  
 -0.0156 0.00000 33525.180 -25574.924 -0.078 1864.878 2444.517 -0.018

Pre-Maneuver 1 Post-Maneuver 1  
 0.00045 45.5350 148.0284 129.0963  
 42166.508 3074.601 0.0009 0.0004  
 -0.078 1864.852 2444.484 -0.024

Pre-Maneuver 2 Post-Maneuver 2  
 0.00228 316.2645 32.3867 153.8893  
 42162.203 3074.895 -0.0057 -0.0022  
 -0.331 -1870.389 -2440.618 0.120

Pre-Maneuver 3 Post-Maneuver 3  
 0.00218 322.7567 25.3432 154.4407  
 42162.203 3074.936 -0.0057 -0.0021  
 -0.331 -1870.415 -2440.651 0.114

Pre-Maneuver 3 Post-Maneuver 3  
 0.00210 147.5119 21.2174 153.8150  
 42168.973 3074.440 0.0011 0.0021  
 0.302 1869.661 2440.605 -0.111

Pre-Maneuver 3 Post-Maneuver 3  
 0.000929 167.7968 2.0722 152.6754  
 42168.973 3074.349 0.0011 0.0023  
 0.302 1869.605 2440.532 -0.123

Orbit Epoch      Yr Mo Dy Hr Mn Se    Classical Elements    SMA    Ecc    I    M    Omega    Node  
 94 9 20 01 39 15    42164.65 km    0.0000803    0.021578 deg    166.5146 deg    314.8594 deg    192.1062 deg  
                  Stepsize    Satellite Weight    Solar Radiation Force  
                  900.0 sec    590.43 kg    0.0000534 nt

Collocated Satellite

Orbit Epoch      Yr Mo Dy Hr Mn Se    Classical Elements    SMA    Ecc    I    M    Omega    Node  
 94 9 20 02 15 15    42165.14 km    0.0000929    0.002337 deg    167.7967 deg    2.0722 deg    152.6754 deg  
                  Stepsize    Satellite Weight    Solar Radiation Force  
                  900.0 sec    1050.29 kg    0.0001059 nt

Station Name  
GUARATIBA

Latitude  
-22.99809 deg

Longitude(+w)  
43.60635 deg

Altitude  
-5.4 m

| Yr | Mo | Dy | Hr | Mn | Se | Lat (dg) | Lon (dg) | Rad (km) | LatC (dg) | LonC (dg) | RadC (km) | DLat (dg) | DLon (dg) | DRad (km) | DPos (km) | DLOS (dg) |
|----|----|----|----|----|----|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 94 | 9  | 21 | 00 | 00 | 00 | 0.0208   | 70.0378  | 42166.86 | 0.0010    | 69.9955   | 42167.29  | 0.0198    | 0.0422    | -0.427    | 34.316    | 0.0529    |
| 94 | 9  | 21 | 02 | 00 | 00 | 0.0167   | 70.0426  | 42168.01 | 0.0001    | 70.0014   | 42168.91  | 0.0166    | 0.0413    | -0.905    | 32.725    | 0.0505    |
| 94 | 9  | 21 | 04 | 00 | 00 | 0.0081   | 70.0477  | 42167.93 | -0.0008   | 70.0080   | 42169.08  | 0.0089    | 0.0397    | -1.151    | 29.998    | 0.0463    |
| 94 | 9  | 21 | 06 | 00 | 00 | -0.0026  | 70.0519  | 42167.30 | -0.0014   | 70.0138   | 42168.39  | -0.0012   | 0.0381    | -1.089    | 28.089    | 0.0434    |
| 94 | 9  | 21 | 08 | 00 | 00 | -0.0125  | 70.0552  | 42166.36 | -0.0015   | 70.0184   | 42167.09  | -0.0109   | 0.0368    | -0.731    | 28.259    | 0.0437    |
| 94 | 9  | 21 | 10 | 00 | 00 | -0.0189  | 70.0572  | 42164.77 | -0.0012   | 70.0211   | 42164.96  | -0.0178   | 0.0361    | -0.188    | 29.624    | 0.0458    |
| 94 | 9  | 21 | 12 | 00 | 00 | -0.0202  | 70.0567  | 42162.33 | -0.0004   | 70.0204   | 42161.92  | -0.0165   | 0.0373    | 0.409     | 30.420    | 0.0470    |
| 94 | 9  | 21 | 14 | 00 | 00 | -0.0161  | 70.0521  | 42159.65 | 0.0004    | 70.0148   | 42158.75  | -0.0165   | 0.0363    | 0.894     | 29.985    | 0.0462    |
| 94 | 9  | 21 | 16 | 00 | 00 | -0.0077  | 70.0438  | 42157.95 | 0.0011    | 70.0051   | 42156.81  | -0.0087   | 0.0387    | 1.133     | 29.240    | 0.0450    |
| 94 | 9  | 21 | 18 | 00 | 00 | 0.0027   | 70.0343  | 42158.23 | 0.0014    | 69.9939   | 42157.15  | 0.0014    | 0.0404    | 1.071     | 29.727    | 0.0457    |
| 94 | 9  | 21 | 20 | 00 | 00 | 0.0123   | 70.0267  | 42160.50 | 0.0012    | 69.9850   | 42159.78  | 0.0111    | 0.0417    | 0.717     | 31.726    | 0.0487    |
| 94 | 9  | 21 | 22 | 00 | 00 | 0.0185   | 70.0235  | 42163.73 | 0.0007    | 69.9812   | 42163.56  | 0.0178    | 0.0423    | 0.166     | 33.783    | 0.0520    |
| 94 | 9  | 22 | 00 | 00 | 00 | 0.0196   | 70.0252  | 42166.53 | -0.0001   | 69.9831   | 42166.96  | 0.0198    | 0.0421    | -0.427    | 34.240    | 0.0527    |
| 94 | 9  | 22 | 02 | 00 | 00 | 0.0155   | 70.0298  | 42167.97 | -0.0009   | 69.9886   | 42168.88  | 0.0164    | 0.0411    | -0.908    | 32.601    | 0.0503    |
| 94 | 9  | 22 | 04 | 00 | 00 | 0.0072   | 70.0351  | 42168.06 | -0.0014   | 69.9954   | 42169.21  | 0.0086    | 0.0397    | -1.151    | 29.872    | 0.0461    |
| 94 | 9  | 22 | 06 | 00 | 00 | -0.0029  | 70.0395  | 42167.41 | -0.0014   | 70.0015   | 42168.50  | -0.0015   | 0.0380    | -1.089    | 28.020    | 0.0433    |
| 94 | 9  | 22 | 08 | 00 | 00 | -0.0120  | 70.0428  | 42166.44 | -0.0008   | 70.0062   | 42167.17  | -0.0112   | 0.0366    | -0.731    | 28.246    | 0.0436    |
| 94 | 9  | 22 | 10 | 00 | 00 | -0.0178  | 70.0449  | 42164.98 | 0.0001    | 70.0089   | 42165.16  | -0.0179   | 0.0360    | -0.188    | 29.604    | 0.0457    |
| 94 | 9  | 22 | 12 | 00 | 00 | -0.0187  | 70.0447  | 42162.77 | 0.0010    | 70.0085   | 42162.36  | -0.0198   | 0.0362    | 0.413     | 30.343    | 0.0468    |
| 94 | 9  | 22 | 14 | 00 | 00 | -0.0146  | 70.0409  | 42160.23 | 0.0017    | 70.0037   | 42159.34  | -0.0163   | 0.0372    | 0.898     | 29.860    | 0.0460    |
| 94 | 9  | 22 | 16 | 00 | 00 | -0.0065  | 70.0336  | 42158.41 | 0.0019    | 69.9949   | 42157.27  | -0.0084   | 0.0386    | 1.137     | 29.115    | 0.0448    |
| 94 | 9  | 22 | 18 | 00 | 00 | 0.0031   | 70.0243  | 42158.34 | 0.0014    | 69.9841   | 42157.27  | 0.0017    | 0.0402    | 1.071     | 29.659    | 0.0456    |
| 94 | 9  | 22 | 20 | 00 | 00 | 0.0119   | 70.0166  | 42160.22 | 0.0005    | 69.9751   | 42159.51  | 0.0114    | 0.0415    | 0.713     | 31.709    | 0.0487    |
| 94 | 9  | 22 | 22 | 00 | 00 | 0.0173   | 70.0128  | 42163.27 | -0.0007   | 69.9707   | 42163.11  | 0.0180    | 0.0421    | -0.159    | 33.754    | 0.0519    |
| 94 | 9  | 23 | 00 | 00 | 00 | 0.0180   | 70.0138  | 42166.17 | -0.0018   | 69.9718   | 42166.59  | 0.0197    | 0.0420    | -0.427    | 34.159    | 0.0526    |
| 94 | 9  | 23 | 02 | 00 | 00 | 0.0138   | 70.0181  | 42167.89 | -0.0024   | 69.9771   | 42168.79  | 0.0162    | 0.0410    | -0.908    | 32.473    | 0.0501    |
| 94 | 9  | 23 | 04 | 00 | 00 | 0.0059   | 70.0233  | 42168.20 | -0.0024   | 69.9838   | 42169.34  | 0.0083    | 0.0396    | -1.151    | 29.745    | 0.0459    |
| 94 | 9  | 23 | 06 | 00 | 00 | -0.0034  | 70.0281  | 42167.56 | -0.0016   | 69.9901   | 42168.65  | -0.0019   | 0.0380    | -1.086    | 27.953    | 0.0432    |
| 94 | 9  | 23 | 08 | 00 | 00 | -0.0117  | 70.0316  | 42166.52 | -0.0001   | 69.9950   | 42167.25  | -0.0115   | 0.0366    | -0.731    | 28.234    | 0.0436    |
| 94 | 9  | 23 | 10 | 00 | 00 | -0.0165  | 70.0337  | 42165.08 | 0.0015    | 69.9977   | 42165.27  | -0.0181   | 0.0360    | -0.185    | 29.583    | 0.0457    |
| 94 | 9  | 23 | 12 | 00 | 00 | -0.0169  | 70.0336  | 42163.07 | 0.0029    | 69.9974   | 42162.66  | -0.0197   | 0.0361    | 0.413     | 30.264    | 0.0467    |
| 94 | 9  | 23 | 14 | 00 | 00 | -0.0126  | 70.0303  | 42160.72 | 0.0035    | 69.9932   | 42159.82  | -0.0161   | 0.0371    | 0.898     | 29.729    | 0.0458    |
| 94 | 9  | 23 | 16 | 00 | 00 | -0.0050  | 70.0237  | 42158.89 | 0.0031    | 69.9851   | 42157.75  | -0.0081   | 0.0386    | 1.137     | 28.991    | 0.0446    |
| 94 | 9  | 23 | 18 | 00 | 00 | 0.0039   | 70.0151  | 42158.56 | 0.0018    | 69.9749   | 42157.50  | 0.0021    | 0.0403    | 1.068     | 29.593    | 0.0455    |
| 94 | 9  | 23 | 20 | 00 | 00 | 0.0116   | 70.0074  | 42160.09 | -0.0001   | 69.9661   | 42159.37  | 0.0117    | 0.0414    | 0.713     | 31.689    | 0.0487    |
| 94 | 9  | 23 | 22 | 00 | 00 | 0.0160   | 70.0031  | 42162.89 | -0.0021   | 69.9609   | 42162.72  | 0.0181    | 0.0421    | 0.166     | 33.724    | 0.0519    |
| 94 | 9  | 24 | 00 | 00 | 00 | 0.0160   | 70.0033  | 42165.80 | -0.0037   | 69.9613   | 42166.23  | 0.0197    | 0.0420    | -0.431    | 34.077    | 0.0525    |
| 94 | 9  | 24 | 02 | 00 | 00 | 0.0116   | 70.0071  | 42167.76 | -0.0044   | 69.9661   | 42168.67  | 0.0160    | 0.0410    | -0.912    | 32.344    | 0.0499    |
| 94 | 9  | 24 | 04 | 00 | 00 | 0.0041   | 70.0125  | 42168.33 | -0.0038   | 69.9731   | 42169.48  | 0.0079    | 0.0393    | -1.155    | 29.619    | 0.0457    |
| 94 | 9  | 24 | 06 | 00 | 00 | -0.0044  | 70.0177  | 42167.77 | -0.0021   | 69.9799   | 42168.86  | -0.0022   | 0.0378    | -1.086    | 27.885    | 0.0431    |
| 94 | 9  | 24 | 08 | 00 | 00 | -0.0115  | 70.0214  | 42166.62 | 0.0003    | 69.9849   | 42167.36  | -0.0118   | 0.0365    | -0.731    | 28.222    | 0.0436    |
| 94 | 9  | 24 | 10 | 00 | 00 | -0.0153  | 70.0233  | 42165.13 | 0.0029    | 69.9875   | 42165.32  | -0.0182   | 0.0358    | -0.185    | 29.559    | 0.0457    |
| 94 | 9  | 24 | 12 | 00 | 00 | -0.0148  | 70.0232  | 42163.25 | 0.0049    | 69.9872   | 42162.84  | -0.0197   | 0.0360    | 0.409     | 30.181    | 0.0466    |
| 94 | 9  | 24 | 14 | 00 | 00 | -0.0102  | 70.0203  | 42161.09 | 0.0056    | 69.9834   | 42160.20  | -0.0159   | 0.0369    | 0.894     | 29.596    | 0.0456    |
| 94 | 9  | 24 | 16 | 00 | 00 | -0.0029  | 70.0144  | 42159.35 | 0.0048    | 69.9760   | 42158.21  | -0.0078   | 0.0385    | 1.133     | 28.867    | 0.0444    |
| 94 | 9  | 24 | 18 | 00 | 00 | 0.0051   | 70.0065  | 42158.86 | 0.0027    | 69.9664   | 42157.79  | 0.0024    | 0.0400    | 1.068     | 29.530    | 0.0454    |
| 94 | 9  | 24 | 20 | 00 | 00 | 0.0115   | 69.9988  | 42160.07 | -0.0004   | 69.9575   | 42159.36  | 0.0119    | 0.0413    | 0.713     | 31.671    | 0.0487    |
| 94 | 9  | 24 | 22 | 00 | 00 | 0.0148   | 69.9943  | 42162.59 | -0.0035   | 69.9523   | 42162.43  | 0.0183    | 0.0420    | 0.166     | 33.691    | 0.0518    |
| 94 | 9  | 25 | 00 | 00 | 00 | 0.0139   | 69.9938  | 42165.45 | -0.0058   | 69.9520   | 42165.88  | 0.0197    | 0.0417    | -0.427    | 33.992    | 0.0524    |
| 94 | 9  | 25 | 02 | 00 | 00 | 0.0091   | 69.9971  | 42167.60 | -0.0066   | 69.9562   | 42168.51  | 0.0158    | 0.0409    | -0.912    | 32.213    | 0.0497    |
| 94 | 9  | 25 | 04 | 00 | 00 | 0.0019   | 70.0028  | 42168.44 | -0.0057   | 69.9634   | 42169.60  | 0.0076    | 0.0394    | -1.155    | 29.494    | 0.0455    |
| 94 | 9  | 25 | 06 | 00 | 00 | -0.0057  | 70.0079  | 42168.02 | -0.0032   | 69.9705   | 42169.11  | -0.0026   | 0.0375    | -1.085    | 27.820    | 0.0430    |
| 94 | 9  | 25 | 08 | 00 | 00 | -0.0117  | 70.0121  | 42166.79 | 0.0004    | 69.9756   | 42167.52  | -0.0121   | 0.0365    | -0.731    | 28.209    | 0.0436    |

| Yr | Mo | Dy | Hr | Mn | Se | Lat (dg) | Lon (dg) | Rad (km) | LatC (dg) | LonC (dg) | RadC (km) | DLat (dg) | DLon (dg) | DRad (km) | DPos (km) | DLOS (dg) |
|----|----|----|----|----|----|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 94 | 9  | 25 | 10 | 00 | 00 | -0.0142  | 70.0142  | 42165.18 | 0.0041    | 69.9785   | 42165.37  | -0.0183   | 0.0356    | -0.185    | 29.533    | 0.0456    |
| 94 | 9  | 25 | 12 | 00 | 00 | -0.0127  | 70.0139  | 42163.33 | 0.0069    | 69.9780   | 42162.92  | -0.0196   | 0.0359    | 0.413     | 30.097    | 0.0465    |
| 94 | 9  | 25 | 14 | 00 | 00 | -0.0077  | 70.0112  | 42161.36 | 0.0080    | 69.9744   | 42160.47  | -0.0157   | 0.0369    | 0.894     | 29.462    | 0.0454    |
| 94 | 9  | 25 | 16 | 00 | 00 | -0.0005  | 70.0059  | 42159.76 | 0.0069    | 69.9673   | 42158.63  | -0.0075   | 0.0386    | 1.129     | 28.744    | 0.0442    |
| 94 | 9  | 25 | 18 | 00 | 00 | 0.0067   | 69.9985  | 42159.22 | 0.0039    | 69.9587   | 42158.15  | -0.0028   | 0.0398    | 1.068     | 29.466    | 0.0453    |
| 94 | 9  | 25 | 20 | 00 | 00 | 0.0119   | 69.9915  | 42160.16 | -0.0003   | 69.9502   | 42159.45  | 0.0122    | 0.0413    | 0.706     | 31.552    | 0.0486    |
| 94 | 9  | 25 | 22 | 00 | 00 | 0.0138   | 69.9868  | 42162.39 | -0.0046   | 69.9448   | 42162.23  | 0.0184    | 0.0420    | 0.163     | 33.656    | 0.0518    |
| 94 | 9  | 26 | 00 | 00 | 00 | 0.0118   | 69.9856  | 42165.13 | -0.0078   | 69.9438   | 42165.56  | 0.0196    | 0.0417    | -0.434    | 33.902    | 0.0522    |
| 94 | 9  | 26 | 02 | 00 | 00 | 0.0065   | 69.9885  | 42167.40 | -0.0091   | 69.9478   | 42168.32  | 0.0156    | 0.0408    | -0.916    | 32.080    | 0.0495    |
| 94 | 9  | 26 | 04 | 00 | 00 | -0.0006  | 69.9937  | 42168.53 | -0.0079   | 69.9546   | 42169.68  | 0.0073    | 0.0391    | -1.151    | 29.368    | 0.0453    |
| 94 | 9  | 26 | 06 | 00 | 00 | -0.0075  | 69.9995  | 42168.29 | -0.0046   | 69.9619   | 42169.38  | -0.0029   | 0.0376    | -1.082    | 27.757    | 0.0429    |
| 94 | 9  | 26 | 08 | 00 | 00 | -0.0122  | 70.0039  | 42167.03 | 0.0001    | 69.9678   | 42167.76  | -0.0124   | 0.0361    | -0.731    | 28.196    | 0.0436    |
| 94 | 9  | 26 | 10 | 00 | 00 | -0.0134  | 70.0061  | 42165.26 | 0.0050    | 69.9705   | 42165.45  | -0.0185   | 0.0356    | -0.185    | 29.506    | 0.0456    |
| 94 | 9  | 26 | 12 | 00 | 00 | -0.0108  | 70.0059  | 42163.36 | 0.0088    | 69.9700   | 42162.95  | -0.0196   | 0.0359    | 0.413     | 30.009    | 0.0463    |
| 94 | 9  | 26 | 14 | 00 | 00 | -0.0050  | 70.0032  | 42161.53 | 0.0104    | 69.9663   | 42160.64  | -0.0154   | 0.0369    | 0.894     | 29.327    | 0.0452    |
| 94 | 9  | 26 | 16 | 00 | 00 | 0.0022   | 69.9983  | 42160.12 | 0.0093    | 69.9600   | 42158.98  | -0.0071   | 0.0383    | 1.137     | 28.621    | 0.0440    |
| 94 | 9  | 26 | 18 | 00 | 00 | 0.0087   | 69.9917  | 42159.60 | 0.0056    | 69.9517   | 42158.54  | 0.0031    | 0.0400    | 1.064     | 29.407    | 0.0452    |
| 94 | 9  | 26 | 20 | 00 | 00 | 0.0128   | 69.9849  | 42160.36 | -0.0003   | 69.9438   | 42159.64  | 0.0125    | 0.0410    | 0.713     | 31.632    | 0.0486    |
| 94 | 9  | 26 | 22 | 00 | 00 | 0.0132   | 69.9800  | 42162.29 | -0.0053   | 69.9382   | 42162.13  | 0.0185    | 0.0417    | 0.163     | 33.619    | 0.0517    |
| 94 | 9  | 27 | 00 | 00 | 00 | 0.0100   | 69.9788  | 42164.84 | -0.0096   | 69.9373   | 42165.27  | 0.0196    | 0.0415    | -0.434    | 33.811    | 0.0521    |
| 94 | 9  | 27 | 02 | 00 | 00 | 0.0039   | 69.9810  | 42167.17 | -0.0115   | 69.9404   | 42168.08  | 0.0153    | 0.0405    | -0.912    | 31.944    | 0.0493    |
| 94 | 9  | 27 | 04 | 00 | 00 | -0.0034  | 69.9858  | 42168.55 | -0.0103   | 69.9470   | 42169.70  | 0.0070    | 0.0388    | -1.147    | 29.242    | 0.0451    |
| 94 | 9  | 27 | 06 | 00 | 00 | -0.0097  | 69.9922  | 42168.56 | -0.0064   | 69.9546   | 42169.65  | -0.0033   | 0.0376    | -1.086    | 27.696    | 0.0428    |
| 94 | 9  | 27 | 08 | 00 | 00 | -0.0133  | 69.9971  | 42167.34 | -0.0006   | 69.9609   | 42168.07  | -0.0126   | 0.0361    | -0.728    | 28.184    | 0.0435    |
| 94 | 9  | 27 | 10 | 00 | 00 | -0.0131  | 69.9998  | 42165.41 | 0.0055    | 69.9641   | 42165.59  | -0.0186   | 0.0356    | -0.177    | 29.475    | 0.0455    |
| 94 | 9  | 27 | 12 | 00 | 00 | -0.0091  | 69.9995  | 42163.38 | 0.0104    | 69.9639   | 42162.96  | -0.0195   | 0.0356    | 0.413     | 29.920    | 0.0462    |
| 94 | 9  | 27 | 14 | 00 | 00 | -0.0025  | 69.9966  | 42161.63 | 0.0128    | 69.9602   | 42160.73  | -0.0152   | 0.0364    | 0.894     | 29.191    | 0.0450    |
| 94 | 9  | 27 | 16 | 00 | 00 | 0.0050   | 69.9919  | 42160.41 | 0.0118    | 69.9536   | 42159.28  | -0.0068   | 0.0383    | 1.133     | 28.499    | 0.0438    |
| 94 | 9  | 27 | 18 | 00 | 00 | 0.0110   | 69.9856  | 42160.01 | 0.0076    | 69.9458   | 42158.94  | 0.0034    | 0.0398    | 1.068     | 29.346    | 0.0451    |
| 94 | 9  | 27 | 20 | 00 | 00 | 0.0140   | 69.9795  | 42160.65 | 0.0013    | 69.9387   | 42159.94  | 0.0128    | 0.0408    | 0.713     | 31.611    | 0.0486    |
| 94 | 9  | 27 | 22 | 00 | 00 | 0.0131   | 69.9749  | 42162.30 | -0.0055   | 69.9333   | 42162.14  | 0.0187    | 0.0415    | 0.163     | 33.580    | 0.0517    |
| 94 | 9  | 28 | 00 | 00 | 00 | 0.0085   | 69.9734  | 42164.59 | -0.0110   | 69.9319   | 42165.03  | 0.0195    | 0.0415    | -0.434    | 33.717    | 0.0519    |
| 94 | 9  | 28 | 02 | 00 | 00 | 0.0014   | 69.9751  | 42166.90 | -0.0137   | 69.9348   | 42167.81  | 0.0151    | 0.0403    | -0.912    | 31.807    | 0.0491    |
| 94 | 9  | 28 | 04 | 00 | 00 | -0.0062  | 69.9797  | 42168.48 | -0.0128   | 69.9409   | 42169.64  | 0.0066    | 0.0388    | -1.155    | 29.118    | 0.0450    |
| 94 | 9  | 28 | 06 | 00 | 00 | -0.0121  | 69.9858  | 42168.79 | -0.0085   | 69.9487   | 42169.87  | -0.0036   | 0.0371    | -1.082    | 27.635    | 0.0427    |
| 94 | 9  | 28 | 08 | 00 | 00 | -0.0147  | 69.9915  | 42167.69 | -0.0018   | 69.9556   | 42168.41  | -0.0129   | 0.0359    | -0.728    | 28.170    | 0.0435    |
| 94 | 9  | 28 | 10 | 00 | 00 | -0.0132  | 69.9949  | 42165.64 | 0.0055    | 69.9595   | 42165.82  | -0.0187   | 0.0354    | -0.174    | 29.442    | 0.0455    |
| 94 | 9  | 28 | 12 | 00 | 00 | -0.0078  | 69.9946  | 42163.42 | 0.0116    | 69.9590   | 42163.01  | -0.0195   | 0.0356    | 0.413     | 29.826    | 0.0460    |
| 94 | 9  | 28 | 14 | 00 | 00 | -0.0002  | 69.9915  | 42161.68 | 0.0148    | 69.9551   | 42160.78  | -0.0150   | 0.0364    | 0.898     | 29.052    | 0.0448    |
| 94 | 9  | 28 | 16 | 00 | 00 | 0.0077   | 69.9868  | 42160.65 | 0.0142    | 69.9487   | 42159.52  | -0.0065   | 0.0381    | 1.133     | 28.379    | 0.0436    |
| 94 | 9  | 28 | 18 | 00 | 00 | 0.0135   | 69.9810  | 42160.44 | 0.0097    | 69.9414   | 42159.36  | -0.0038   | 0.0396    | 1.075     | 29.290    | 0.0450    |
| 94 | 9  | 28 | 20 | 00 | 00 | 0.0156   | 69.9758  | 42161.04 | 0.0026    | 69.9348   | 42160.33  | 0.0130    | 0.0410    | 0.709     | 31.593    | 0.0485    |
| 94 | 9  | 28 | 22 | 00 | 00 | 0.0134   | 69.9717  | 42162.44 | -0.0053   | 69.9299   | 42162.28  | 0.0188    | 0.0417    | -0.159    | 33.540    | 0.0516    |
| 94 | 9  | 29 | 00 | 00 | 00 | -0.0007  | 69.9712  | 42166.59 | -0.0120   | 69.9285   | 42164.86  | 0.0194    | 0.0413    | -0.434    | 33.620    | 0.0518    |
| 94 | 9  | 29 | 02 | 00 | 00 | -0.0088  | 69.9753  | 42168.31 | -0.0151   | 69.9363   | 42169.47  | 0.0063    | 0.0405    | -0.912    | 31.670    | 0.0489    |
| 94 | 9  | 29 | 04 | 00 | 00 | -0.0146  | 69.9817  | 42168.91 | -0.0106   | 69.9443   | 42170.00  | -0.0040   | 0.0374    | -1.158    | 28.994    | 0.0448    |
| 94 | 9  | 29 | 06 | 00 | 00 | -0.0164  | 69.9875  | 42168.03 | -0.0032   | 69.9517   | 42168.76  | -0.0132   | 0.0359    | -0.728    | 28.156    | 0.0435    |
| 94 | 9  | 29 | 08 | 00 | 00 | -0.0137  | 69.9912  | 42165.94 | 0.0051    | 69.9558   | 42166.12  | -0.0188   | 0.0354    | -0.174    | 29.408    | 0.0454    |
| 94 | 9  | 29 | 10 | 00 | 00 | -0.0071  | 69.9912  | 42163.53 | 0.0124    | 69.9558   | 42166.12  | -0.0188   | 0.0354    | 0.416     | 29.370    | 0.0459    |
| 94 | 9  | 29 | 12 | 00 | 00 | 0.0017   | 69.9883  | 42161.70 | 0.0165    | 69.9517   | 42160.80  | -0.0194   | 0.0366    | 0.898     | 28.914    | 0.0446    |
| 94 | 9  | 29 | 14 | 00 | 00 | 0.0102   | 69.9832  | 42160.83 | 0.0163    | 69.9453   | 42159.70  | -0.0061   | 0.0378    | 1.133     | 28.260    | 0.0435    |
| 94 | 9  | 29 | 16 | 00 | 00 | 0.0160   | 69.9778  | 42160.86 | 0.0118    | 69.9385   | 42159.79  | 0.0041    | 0.0393    | 1.068     | 29.236    | 0.0449    |

| Yr | Mo | Dy | Hr | Mn | Se | Lat (dg) | Lon (dg) | Rad (km) | LatC (dg) | LonC (dg) | RadC (km) | DLat (dg) | DLon (dg) | DRad (km) | DPos (km) | DLOS (dg) |
|----|----|----|----|----|----|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 94 | 9  | 29 | 20 | 00 | 00 | 0.0175   | 69.9734  | 42161.54 | 0.0042    | 69.9329   | 42160.83  | 0.0133    | 0.0405    | 0.709     | 31.575    | 0.0485    |
| 94 | 9  | 29 | 22 | 00 | 00 | 0.0141   | 69.9700  | 42162.74 | -0.0048   | 69.9285   | 42162.57  | 0.0189    | 0.0415    | 0.163     | 33.498    | 0.0515    |
| 94 | 9  | 30 | 00 | 00 | 00 | 0.0069   | 69.9683  | 42164.38 | -0.0125   | 69.9270   | 42164.81  | 0.0194    | 0.0413    | -0.438    | 33.523    | 0.0516    |
| 94 | 9  | 30 | 02 | 00 | 00 | -0.0024  | 69.9690  | 42166.29 | -0.0171   | 69.9290   | 42167.20  | 0.0146    | 0.0400    | -0.912    | 31.531    | 0.0486    |
| 94 | 9  | 30 | 04 | 00 | 00 | -0.0111  | 69.9729  | 42168.02 | -0.0171   | 69.9341   | 42169.18  | 0.0060    | 0.0388    | -1.158    | 28.872    | 0.0446    |
| 94 | 9  | 30 | 06 | 00 | 00 | -0.0170  | 69.9788  | 42168.89 | -0.0127   | 69.9414   | 42169.98  | -0.0043   | 0.0374    | -1.086    | 27.517    | 0.0425    |
| 94 | 9  | 30 | 08 | 00 | 00 | -0.0182  | 69.9849  | 42168.30 | -0.0048   | 69.9490   | 42169.03  | -0.0134   | 0.0359    | -0.724    | 28.140    | 0.0435    |
| 94 | 9  | 30 | 10 | 00 | 00 | -0.0145  | 69.9893  | 42166.29 | 0.0045    | 69.9539   | 42166.46  | -0.0189   | 0.0354    | -0.174    | 29.371    | 0.0454    |
| 94 | 9  | 30 | 12 | 00 | 00 | -0.0067  | 69.9895  | 42163.71 | 0.0126    | 69.9541   | 42163.29  | -0.0193   | 0.0354    | 0.420     | 29.631    | 0.0457    |
| 94 | 9  | 30 | 14 | 00 | 00 | 0.0031   | 69.9871  | 42161.73 | 0.0176    | 69.9507   | 42160.83  | -0.0145   | 0.0364    | 0.898     | 28.774    | 0.0444    |
| 94 | 9  | 30 | 16 | 00 | 00 | 0.0122   | 69.9817  | 42160.96 | 0.0180    | 69.9441   | 42159.82  | -0.0058   | 0.0376    | 1.137     | 28.142    | 0.0433    |
| 94 | 9  | 30 | 18 | 00 | 00 | 0.0182   | 69.9766  | 42161.26 | 0.0137    | 69.9373   | 42160.20  | 0.0045    | 0.0393    | 1.068     | 29.183    | 0.0448    |
| 94 | 9  | 30 | 20 | 00 | 00 | 0.0192   | 69.9731  | 42162.12 | 0.0057    | 69.9324   | 42161.41  | 0.0136    | 0.0408    | 0.706     | 31.556    | 0.0485    |
| 94 | 9  | 30 | 22 | 00 | 00 | 0.0150   | 69.9705  | 42163.21 | -0.0040   | 69.9290   | 42163.05  | 0.0190    | 0.0415    | 0.159     | 33.424    | 0.0515    |
| 94 | 10 | 1  | 00 | 00 | 00 | 0.0067   | 69.9692  | 42164.48 | -0.0126   | 69.9282   | 42164.92  | 0.0193    | 0.0410    | -0.438    | 33.454    | 0.0515    |
| 94 | 10 | 1  | 02 | 00 | 00 | -0.0036  | 69.9700  | 42166.02 | -0.0180   | 69.9299   | 42166.94  | 0.0144    | 0.0400    | -0.916    | 31.394    | 0.0484    |
| 94 | 10 | 1  | 04 | 00 | 00 | -0.0130  | 69.9727  | 42167.63 | -0.0186   | 69.9343   | 42168.79  | 0.0056    | 0.0383    | -1.155    | 28.752    | 0.0444    |
| 94 | 10 | 1  | 06 | 00 | 00 | -0.0189  | 69.9780  | 42168.69 | -0.0143   | 69.9412   | 42169.77  | -0.0046   | 0.0369    | -1.086    | 27.463    | 0.0424    |
| 94 | 10 | 1  | 08 | 00 | 00 | -0.0198  | 69.9841  | 42168.44 | -0.0062   | 69.9487   | 42169.16  | -0.0137   | 0.0354    | -0.728    | 28.128    | 0.0435    |
| 94 | 10 | 1  | 10 | 00 | 00 | -0.0154  | 69.9888  | 42166.63 | 0.0037    | 69.9539   | 42166.80  | -0.0190   | 0.0349    | -0.174    | 29.332    | 0.0453    |
| 94 | 10 | 1  | 12 | 00 | 00 | -0.0067  | 69.9897  | 42163.96 | 0.0126    | 69.9548   | 42163.55  | -0.0193   | 0.0349    | 0.420     | 29.530    | 0.0456    |
| 94 | 10 | 1  | 14 | 00 | 00 | 0.0040   | 69.9871  | 42161.79 | 0.0183    | 69.9509   | 42160.89  | -0.0143   | 0.0361    | 0.901     | 28.632    | 0.0441    |
| 94 | 10 | 1  | 16 | 00 | 00 | 0.0137   | 69.9819  | 42161.03 | 0.0150    | 69.9438   | 42159.89  | -0.0055   | 0.0381    | 1.137     | 28.026    | 0.0431    |
| 94 | 10 | 1  | 18 | 00 | 00 | 0.0198   | 69.9771  | 42161.60 | 0.0150    | 69.9380   | 42160.54  | 0.0048    | 0.0391    | 1.064     | 29.131    | 0.0447    |
| 94 | 10 | 1  | 20 | 00 | 00 | 0.0206   | 69.9736  | 42162.75 | 0.0068    | 69.9331   | 42162.04  | 0.0138    | 0.0405    | 0.709     | 31.538    | 0.0484    |
| 94 | 10 | 1  | 22 | 00 | 00 | 0.0158   | 69.9722  | 42163.86 | -0.0032   | 69.9312   | 42163.70  | 0.0191    | 0.0410    | 0.159     | 33.411    | 0.0514    |
| 94 | 10 | 2  | 00 | 00 | 00 | 0.0067   | 69.9722  | 42164.82 | -0.0125   | 69.9307   | 42165.25  | 0.0192    | 0.0415    | -0.438    | 33.323    | 0.0513    |
| 94 | 10 | 2  | 02 | 00 | 00 | -0.0043  | 69.9727  | 42165.89 | -0.0185   | 69.9326   | 42166.81  | 0.0142    | 0.0400    | -0.919    | 31.256    | 0.0482    |
| 94 | 10 | 2  | 04 | 00 | 00 | -0.0142  | 69.9751  | 42167.19 | -0.0195   | 69.9365   | 42168.34  | 0.0053    | 0.0386    | -1.155    | 28.634    | 0.0442    |
| 94 | 10 | 2  | 06 | 00 | 00 | -0.0203  | 69.9795  | 42168.29 | -0.0154   | 69.9429   | 42169.37  | -0.0050   | 0.0366    | -1.082    | 27.411    | 0.0423    |
| 94 | 10 | 2  | 08 | 00 | 00 | -0.0210  | 69.9854  | 42168.35 | -0.0071   | 69.9502   | 42169.08  | -0.0139   | 0.0347    | -0.728    | 28.114    | 0.0434    |
| 94 | 10 | 2  | 10 | 00 | 00 | -0.0161  | 69.9902  | 42166.86 | 0.0031    | 69.9556   | 42167.04  | -0.0191   | 0.0352    | 0.416     | 29.291    | 0.0452    |
| 94 | 10 | 2  | 12 | 00 | 00 | -0.0067  | 69.9922  | 42164.25 | 0.0125    | 69.9570   | 42163.84  | -0.0192   | 0.0352    | 0.416     | 29.425    | 0.0454    |
| 94 | 10 | 2  | 14 | 00 | 00 | 0.0045   | 69.9893  | 42161.91 | 0.0186    | 69.9536   | 42161.00  | -0.0141   | 0.0356    | 0.901     | 28.491    | 0.0439    |
| 94 | 10 | 2  | 16 | 00 | 00 | 0.0146   | 69.9844  | 42161.05 | 0.0198    | 69.9468   | 42159.92  | -0.0052   | 0.0376    | 1.133     | 27.910    | 0.0429    |
| 94 | 10 | 2  | 18 | 00 | 00 | 0.0208   | 69.9795  | 42161.84 | 0.0157    | 69.9399   | 42160.77  | 0.0051    | 0.0396    | 1.068     | 29.081    | 0.0446    |
| 94 | 10 | 2  | 20 | 00 | 00 | 0.0214   | 69.9771  | 42163.35 | 0.0074    | 69.9360   | 42162.64  | 0.0141    | 0.0410    | 0.709     | 31.520    | 0.0484    |
| 94 | 10 | 2  | 22 | 00 | 00 | 0.0163   | 69.9766  | 42164.63 | -0.0029   | 69.9355   | 42164.47  | 0.0192    | 0.0415    | 0.159     | 33.365    | 0.0513    |
| 94 | 10 | 3  | 00 | 00 | 00 | 0.0067   | 69.9775  | 42165.39 | -0.0124   | 69.9360   | 42165.82  | 0.0191    | 0.0415    | -0.438    | 33.222    | 0.0512    |
| 94 | 10 | 3  | 02 | 00 | 00 | -0.0047  | 69.9780  | 42165.97 | -0.0186   | 69.9385   | 42166.89  | 0.0139    | 0.0396    | -0.916    | 31.119    | 0.0480    |
| 94 | 10 | 3  | 04 | 00 | 00 | -0.0149  | 69.9805  | 42166.80 | -0.0198   | 69.9419   | 42167.95  | 0.0050    | 0.0386    | -1.151    | 28.520    | 0.0440    |
| 94 | 10 | 3  | 06 | 00 | 00 | -0.0215  | 69.9839  | 42167.73 | -0.0157   | 69.9473   | 42168.82  | -0.0053   | 0.0366    | -1.086    | 27.361    | 0.0423    |
| 94 | 10 | 3  | 08 | 00 | 00 | -0.0215  | 69.9888  | 42168.02 | -0.0073   | 69.9531   | 42168.74  | -0.0142   | 0.0356    | -0.724    | 28.102    | 0.0434    |
| 94 | 10 | 3  | 10 | 00 | 00 | -0.0162  | 69.9937  | 42166.91 | 0.0030    | 69.9585   | 42167.10  | -0.0192   | 0.0352    | -0.185    | 29.250    | 0.0452    |
| 94 | 10 | 3  | 12 | 00 | 00 | -0.0065  | 69.9951  | 42164.54 | 0.0126    | 69.9604   | 42164.12  | -0.0191   | 0.0347    | 0.416     | 29.330    | 0.0453    |
| 94 | 10 | 3  | 14 | 00 | 00 | 0.0049   | 69.9932  | 42162.09 | 0.0187    | 69.9570   | 42161.19  | -0.0138   | 0.0361    | 0.901     | 28.363    | 0.0437    |
| 94 | 10 | 3  | 16 | 00 | 00 | 0.0150   | 69.9878  | 42161.07 | 0.0198    | 69.9507   | 42159.93  | -0.0048   | 0.0371    | 1.140     | 27.799    | 0.0427    |
| 94 | 10 | 3  | 18 | 00 | 00 | 0.0211   | 69.9829  | 42161.93 | 0.0156    | 69.9438   | 42160.86  | 0.0055    | 0.0391    | 1.068     | 29.031    | 0.0446    |
| 94 | 10 | 3  | 20 | 00 | 00 | 0.0214   | 69.9805  | 42163.81 | 0.0071    | 69.9404   | 42163.11  | 0.0143    | 0.0400    | 0.702     | 31.502    | 0.0484    |
| 94 | 10 | 3  | 22 | 00 | 00 | 0.0159   | 69.9810  | 42165.42 | -0.0033   | 69.9399   | 42165.27  | 0.0193    | 0.0410    | 0.148     | 33.318    | 0.0512    |
| 94 | 10 | 4  | 00 | 00 | 00 | 0.0062   | 69.9829  | 42166.16 | -0.0128   | 69.9424   | 42166.60  | 0.0190    | 0.0405    | -0.445    | 33.127    | 0.0510    |
| 94 | 10 | 4  | 02 | 00 | 00 | -0.0052  | 69.9858  | 42166.32 | -0.0189   | 69.9458   | 42167.25  | 0.0137    | 0.0400    | -0.923    | 30.995    | 0.0478    |
| 94 | 10 | 4  | 04 | 00 | 00 | -0.0151  | 69.9878  | 42166.57 | -0.0198   | 69.9497   | 42167.73  | 0.0046    | 0.0381    | -1.158    | 28.406    | 0.0439    |

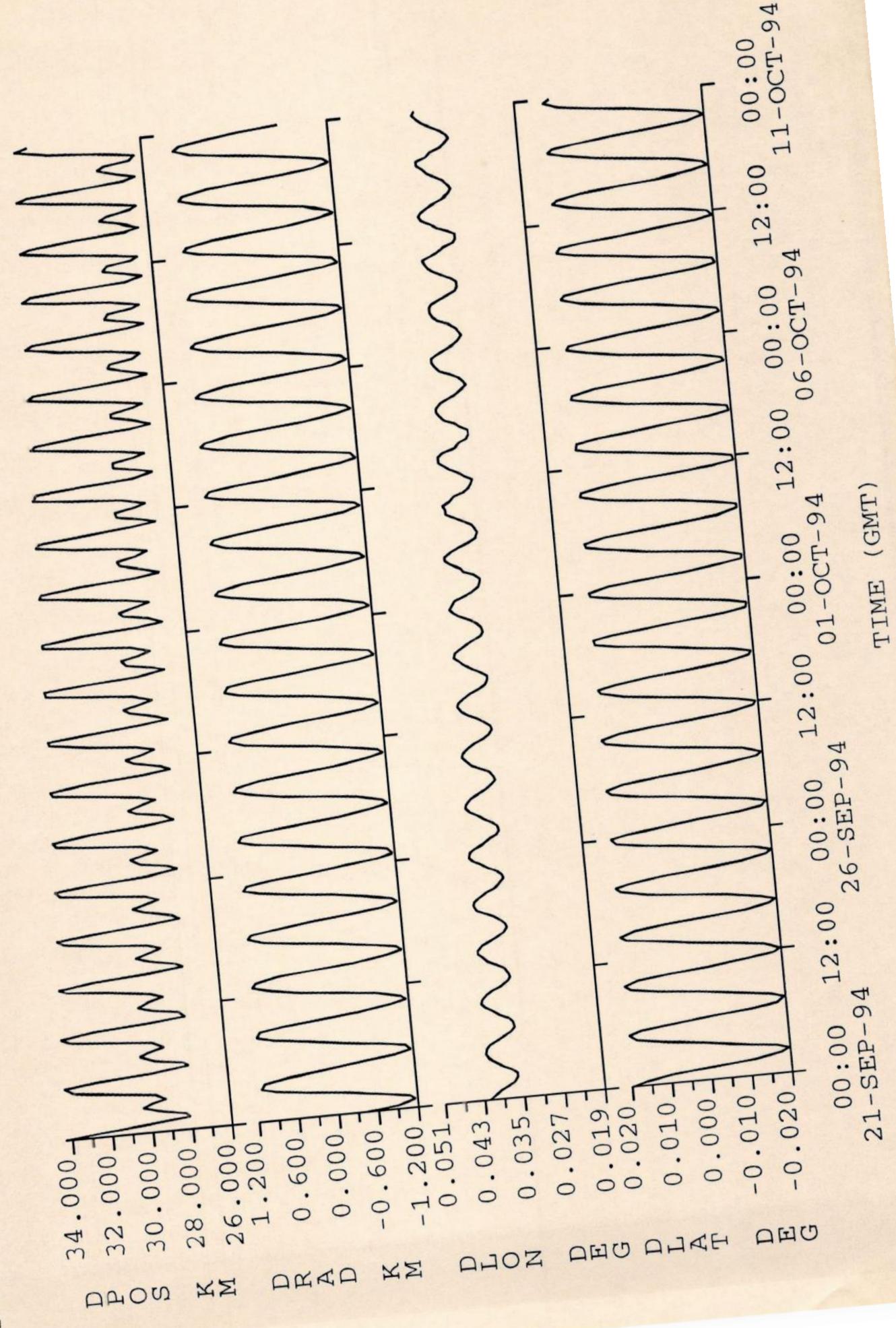
| Yr | Mo | Dy | Hr | Mn | Se | Lat (dg) | Lon (dg) | Rad (km) | LatC (dg) | LonC (dg) | RadC (km) | DLat (dg) | DLon (dg) | DRad (km) | DPos (km) | DLOS (dg) |
|----|----|----|----|----|----|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 94 | 10 | 4  | 06 | 00 | 00 | -0.0209  | 69.9907  | 42167.14 | -0.0153   | 69.9536   | 42168.23  | -0.0056   | 0.0371    | -1.089    | 27.313    | 0.0422    |
| 94 | 10 | 4  | 08 | 00 | 00 | -0.0211  | 69.9946  | 42167.47 | -0.0067   | 69.9390   | 42168.20  | -0.0144   | 0.0356    | -0.724    | 28.087    | 0.0434    |
| 94 | 10 | 4  | 10 | 00 | 00 | -0.0155  | 69.9985  | 42166.74 | 0.0038    | 69.9639   | 42166.92  | -0.0193   | 0.0347    | -0.181    | 29.202    | 0.0451    |
| 94 | 10 | 4  | 12 | 00 | 00 | -0.0057  | 70.0005  | 42164.73 | 0.0133    | 69.9658   | 42164.31  | -0.0190   | 0.0347    | 0.413     | 29.216    | 0.0451    |
| 94 | 10 | 4  | 14 | 00 | 00 | 0.0055   | 69.9990  | 42162.34 | 0.0191    | 69.9629   | 42161.44  | -0.0136   | 0.0361    | 0.894     | 28.215    | 0.0435    |
| 94 | 10 | 4  | 16 | 00 | 00 | 0.0152   | 69.9937  | 42161.11 | 0.0197    | 69.9565   | 42159.97  | -0.0045   | 0.0371    | 1.140     | 27.683    | 0.0426    |
| 94 | 10 | 4  | 18 | 00 | 00 | 0.0207   | 69.9883  | 42161.89 | 0.0149    | 69.9497   | 42160.82  | 0.0058    | 0.0386    | 1.064     | 28.984    | 0.0445    |
| 94 | 10 | 4  | 20 | 00 | 00 | 0.0205   | 69.9858  | 42164.03 | 0.0059    | 69.9458   | 42163.32  | 0.0145    | 0.0400    | 0.702     | 31.477    | 0.0483    |
| 94 | 10 | 4  | 22 | 00 | 00 | 0.0147   | 69.9873  | 42166.06 | -0.0047   | 69.9463   | 42165.91  | 0.0193    | 0.0410    | 0.156     | 33.262    | 0.0512    |
| 94 | 10 | 5  | 00 | 00 | 00 | 0.0049   | 69.9902  | 42166.99 | -0.0140   | 69.9497   | 42167.44  | 0.0189    | 0.0405    | -0.449    | 33.012    | 0.0509    |
| 94 | 10 | 5  | 02 | 00 | 00 | -0.0061  | 69.9937  | 42166.93 | -0.0195   | 69.9541   | 42167.85  | 0.0134    | 0.0396    | -0.923    | 30.849    | 0.0476    |
| 94 | 10 | 5  | 04 | 00 | 00 | -0.0154  | 69.9966  | 42166.63 | -0.0197   | 69.9585   | 42167.79  | 0.0043    | 0.0381    | -1.155    | 28.291    | 0.0437    |
| 94 | 10 | 5  | 06 | 00 | 00 | -0.0204  | 69.9985  | 42166.66 | -0.0144   | 69.9619   | 42167.75  | -0.0060   | 0.0366    | -1.089    | 27.263    | 0.0421    |
| 94 | 10 | 5  | 08 | 00 | 00 | -0.0198  | 70.0010  | 42166.81 | -0.0052   | 69.9663   | 42167.54  | -0.0147   | 0.0347    | -0.731    | 28.071    | 0.0434    |
| 94 | 10 | 5  | 10 | 00 | 00 | -0.0138  | 70.0049  | 42166.34 | 0.0056    | 69.9702   | 42166.52  | -0.0194   | 0.0347    | -0.177    | 29.149    | 0.0450    |
| 94 | 10 | 5  | 12 | 00 | 00 | -0.0041  | 70.0063  | 42164.76 | 0.0148    | 69.9717   | 42164.35  | -0.0189   | 0.0347    | 0.413     | 29.096    | 0.0449    |
| 94 | 10 | 5  | 14 | 00 | 00 | 0.0067   | 70.0049  | 42162.61 | 0.0201    | 69.9697   | 42161.71  | -0.0133   | 0.0352    | 0.901     | 28.059    | 0.0432    |
| 94 | 10 | 5  | 16 | 00 | 00 | 0.0156   | 70.0010  | 42161.24 | 0.0197    | 69.9634   | 42160.11  | -0.0041   | 0.0376    | 1.140     | 27.565    | 0.0444    |
| 94 | 10 | 5  | 18 | 00 | 00 | 0.0200   | 69.9956  | 42161.79 | 0.0139    | 69.9565   | 42160.73  | 0.0061    | 0.0391    | 1.064     | 28.931    | 0.0444    |
| 94 | 10 | 5  | 20 | 00 | 00 | 0.0188   | 69.9927  | 42164.00 | 0.0041    | 69.9526   | 42163.29  | 0.0148    | 0.0400    | 0.706     | 31.452    | 0.0483    |
| 94 | 10 | 5  | 22 | 00 | 00 | 0.0125   | 69.9937  | 42166.42 | -0.0070   | 69.9531   | 42166.27  | 0.0194    | 0.0405    | 0.152     | 33.201    | 0.0511    |
| 94 | 10 | 6  | 00 | 00 | 00 | 0.0027   | 69.9980  | 42167.73 | -0.0162   | 69.9575   | 42168.17  | 0.0188    | 0.0405    | -0.442    | 32.891    | 0.0507    |
| 94 | 10 | 6  | 02 | 00 | 00 | -0.0078  | 70.0024  | 42167.68 | -0.0210   | 69.9629   | 42168.61  | 0.0132    | 0.0396    | -0.930    | 30.695    | 0.0474    |
| 94 | 10 | 6  | 04 | 00 | 00 | -0.0160  | 70.0063  | 42166.98 | -0.0200   | 69.9683   | 42168.14  | -0.0040   | 0.0381    | -1.155    | 28.171    | 0.0435    |
| 94 | 10 | 6  | 06 | 00 | 00 | -0.0197  | 70.0083  | 42166.44 | -0.0134   | 69.9722   | 42167.52  | -0.0063   | 0.0361    | -1.086    | 27.212    | 0.0420    |
| 94 | 10 | 6  | 08 | 00 | 00 | -0.0180  | 70.0103  | 42166.21 | -0.0031   | 69.9751   | 42166.94  | -0.0149   | 0.0352    | -0.728    | 28.051    | 0.0433    |
| 94 | 10 | 6  | 10 | 00 | 00 | -0.0113  | 70.0122  | 42165.79 | 0.0082    | 69.9780   | 42165.97  | -0.0195   | 0.0342    | -0.174    | 29.092    | 0.0449    |
| 94 | 10 | 6  | 12 | 00 | 00 | -0.0014  | 70.0147  | 42164.61 | 0.0174    | 69.9790   | 42164.20  | -0.0188   | 0.0347    | 0.413     | 29.992    | 0.0447    |
| 94 | 10 | 6  | 14 | 00 | 00 | 0.0088   | 70.0127  | 42162.84 | 0.0219    | 69.9771   | 42161.94  | -0.0131   | 0.0356    | 0.894     | 27.899    | 0.0430    |
| 94 | 10 | 6  | 16 | 00 | 00 | 0.0165   | 70.0088  | 42161.49 | 0.0203    | 69.9717   | 42160.35  | -0.0038   | 0.0371    | 1.140     | 27.443    | 0.0422    |
| 94 | 10 | 6  | 18 | 00 | 00 | 0.0195   | 70.0034  | 42161.75 | 0.0130    | 69.9648   | 42160.69  | 0.0065    | 0.0386    | 1.064     | 28.876    | 0.0443    |
| 94 | 10 | 6  | 20 | 00 | 00 | 0.0169   | 70.0000  | 42163.79 | 0.0019    | 69.9600   | 42163.08  | 0.0150    | 0.0400    | 0.706     | 31.421    | 0.0483    |
| 94 | 10 | 6  | 22 | 00 | 00 | -0.0096  | 70.0005  | 42166.44 | -0.0099   | 69.9604   | 42166.29  | 0.0195    | 0.0400    | 0.152     | 33.135    | 0.0510    |
| 94 | 10 | 7  | 00 | 00 | 00 | -0.0005  | 70.0049  | 42168.19 | -0.0192   | 69.9648   | 42168.64  | 0.0187    | 0.0400    | -0.445    | 32.763    | 0.0505    |
| 94 | 10 | 7  | 02 | 00 | 00 | -0.0104  | 70.0107  | 42168.41 | -0.0233   | 69.9712   | 42169.34  | 0.0129    | 0.0396    | -0.930    | 30.538    | 0.0471    |
| 94 | 10 | 7  | 04 | 00 | 00 | -0.0173  | 70.0156  | 42167.55 | -0.0210   | 69.9775   | 42168.71  | 0.0036    | 0.0381    | -1.155    | 28.047    | 0.0433    |
| 94 | 10 | 7  | 06 | 00 | 00 | -0.0195  | 70.0181  | 42166.52 | -0.0218   | 69.9819   | 42167.61  | -0.0066   | 0.0361    | -1.089    | 27.156    | 0.0420    |
| 94 | 10 | 7  | 08 | 00 | 00 | -0.0161  | 70.0200  | 42165.81 | -0.0010   | 69.9849   | 42166.54  | -0.0151   | 0.0352    | -0.174    | 29.028    | 0.0448    |
| 94 | 10 | 7  | 10 | 00 | 00 | -0.0082  | 70.0205  | 42165.24 | 0.0113    | 69.9863   | 42165.41  | -0.0195   | 0.0347    | 0.416     | 28.842    | 0.0445    |
| 94 | 10 | 7  | 12 | 00 | 00 | 0.0020   | 70.0220  | 42164.32 | 0.0207    | 69.9873   | 42163.91  | -0.0187   | 0.0347    | 0.898     | 27.735    | 0.0445    |
| 94 | 10 | 7  | 14 | 00 | 00 | 0.0117   | 70.0205  | 42162.97 | 0.0245    | 69.9854   | 42162.07  | -0.0128   | 0.0352    | -0.174    | 27.317    | 0.0420    |
| 94 | 10 | 7  | 16 | 00 | 00 | 0.0182   | 70.0171  | 42161.80 | 0.0217    | 69.9805   | 42160.67  | -0.0035   | 0.0366    | 1.137     | 28.317    | 0.0442    |
| 94 | 10 | 7  | 18 | 00 | 00 | 0.0195   | 70.0127  | 42161.86 | 0.0127    | 69.9741   | 42160.79  | 0.0068    | 0.0386    | 1.064     | 28.817    | 0.0442    |
| 94 | 10 | 7  | 20 | 00 | 00 | 0.0152   | 70.0088  | 42163.57 | 0.0000    | 69.9692   | 42162.86  | 0.0152    | 0.0396    | 0.713     | 31.386    | 0.0482    |
| 94 | 10 | 7  | 22 | 00 | 00 | 0.0065   | 70.0088  | 42166.21 | -0.0130   | 69.9688   | 42166.06  | 0.0195    | 0.0400    | 0.156     | 33.064    | 0.0509    |
| 94 | 10 | 8  | 00 | 00 | 00 | -0.0041  | 70.0127  | 42168.33 | -0.0227   | 69.9727   | 42168.78  | 0.0186    | 0.0400    | -0.445    | 32.634    | 0.0503    |
| 94 | 10 | 8  | 02 | 00 | 00 | -0.0137  | 70.0195  | 42168.96 | -0.0264   | 69.9800   | 42169.89  | 0.0127    | 0.0396    | -0.927    | 30.374    | 0.0469    |
| 94 | 10 | 8  | 04 | 00 | 00 | -0.0195  | 70.0249  | 42168.21 | -0.0228   | 69.9873   | 42169.37  | 0.0033    | 0.0376    | -1.158    | 27.918    | 0.0431    |
| 94 | 10 | 8  | 06 | 00 | 00 | -0.0199  | 70.0288  | 42166.88 | -0.0129   | 69.9922   | 42167.96  | -0.0069   | 0.0366    | -1.086    | 27.095    | 0.0419    |
| 94 | 10 | 8  | 08 | 00 | 00 | -0.0146  | 70.0303  | 42165.68 | 0.0007    | 69.9956   | 42166.41  | -0.0153   | 0.0347    | -0.731    | 27.992    | 0.0432    |
| 94 | 10 | 8  | 10 | 00 | 00 | -0.0052  | 70.0308  | 42164.79 | 0.0144    | 69.9966   | 42164.96  | -0.0196   | 0.0342    | -0.174    | 28.958    | 0.0447    |
| 94 | 10 | 8  | 12 | 00 | 00 | 0.0058   | 70.0303  | 42163.94 | 0.0244    | 69.9961   | 42163.52  | -0.0186   | 0.0342    | 0.416     | 28.709    | 0.0443    |
| 94 | 10 | 8  | 14 | 00 | 00 | 0.0153   | 70.0293  | 42162.96 | 0.0279    | 69.9937   | 42162.06  | -0.0125   | 0.0356    | 0.894     | 27.568    | 0.0425    |

| Yr | Mo | Dy | Hr | Mn | Se | Lat (dg) | Lon (dg) | Rad (km) | LatC (dg) | LonC (dg) | RadC (km) | DLat (dg) | DLon (dg) | DRad (km) | DPos (km) | DLOS (dg) |
|----|----|----|----|----|----|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 94 | 10 | 8  | 16 | 00 | 00 | 0.0207   | 70.0264  | 42162.12 | 0.0238    | 69.9888   | 42160.98  | -0.0031   | 0.0376    | 1.133     | 27.189    | 0.0418    |
| 94 | 10 | 8  | 18 | 00 | 00 | 0.0203   | 70.0220  | 42162.12 | 0.0132    | 69.9834   | 42161.05  | 0.0071    | 0.0386    | 1.064     | 28.756    | 0.0441    |
| 94 | 10 | 8  | 20 | 00 | 00 | 0.0141   | 70.0181  | 42163.49 | -0.0013   | 69.9785   | 42162.78  | 0.0154    | 0.0396    | 0.706     | 31.345    | 0.0481    |
| 94 | 10 | 8  | 22 | 00 | 00 | 0.0037   | 70.0181  | 42165.91 | -0.0159   | 69.9775   | 42165.75  | 0.0196    | 0.0405    | 0.152     | 32.988    | 0.0507    |
| 94 | 10 | 9  | 00 | 00 | 00 | -0.0079  | 70.0215  | 42168.21 | -0.0264   | 69.9814   | 42168.65  | 0.0185    | 0.0400    | -0.438    | 32.499    | 0.0501    |
| 94 | 10 | 9  | 02 | 00 | 00 | -0.0175  | 70.0273  | 42169.28 | -0.0299   | 69.9888   | 42170.20  | 0.0124    | 0.0386    | -0.919    | 30.207    | 0.0466    |
| 94 | 10 | 9  | 04 | 00 | 00 | -0.0224  | 70.0342  | 42168.83 | -0.0254   | 69.9966   | 42169.98  | 0.0030    | 0.0376    | -1.155    | 27.786    | 0.0429    |
| 94 | 10 | 9  | 06 | 00 | 00 | -0.0211  | 70.0391  | 42167.42 | -0.0138   | 70.0034   | 42168.50  | -0.0073   | 0.0356    | -1.082    | 27.031    | 0.0418    |
| 94 | 10 | 9  | 08 | 00 | 00 | -0.0139  | 70.0415  | 42165.83 | 0.0017    | 70.0068   | 42166.56  | -0.0155   | 0.0347    | -0.728    | 27.956    | 0.0432    |
| 94 | 10 | 9  | 10 | 00 | 00 | -0.0027  | 70.0420  | 42164.53 | 0.0170    | 70.0078   | 42164.70  | -0.0196   | 0.0342    | -0.174    | 28.883    | 0.0446    |
| 94 | 10 | 9  | 12 | 00 | 00 | 0.0095   | 70.0405  | 42163.56 | 0.0279    | 70.0063   | 42163.14  | -0.0184   | 0.0342    | 0.420     | 28.571    | 0.0441    |
| 94 | 10 | 9  | 14 | 00 | 00 | 0.0192   | 70.0391  | 42162.80 | 0.0315    | 70.0034   | 42161.91  | -0.0123   | 0.0356    | 0.898     | 27.402    | 0.0422    |
| 94 | 10 | 9  | 16 | 00 | 00 | 0.0238   | 70.0361  | 42162.33 | 0.0266    | 69.9990   | 42161.20  | -0.0028   | 0.0371    | 1.133     | 27.060    | 0.0416    |
| 94 | 10 | 9  | 18 | 00 | 00 | 0.0218   | 70.0317  | 42162.46 | 0.0144    | 69.9941   | 42161.39  | 0.0074    | 0.0376    | 1.068     | 28.692    | 0.0440    |
| 94 | 10 | 9  | 20 | 00 | 00 | 0.0137   | 70.0293  | 42163.59 | -0.0019   | 69.9897   | 42162.88  | 0.0157    | 0.0396    | 0.706     | 31.302    | 0.0481    |
| 94 | 10 | 9  | 22 | 00 | 00 | 0.0016   | 70.0283  | 42165.68 | -0.0181   | 69.9883   | 42165.52  | 0.0197    | 0.0400    | 0.156     | 32.907    | 0.0506    |
| 94 | 10 | 10 | 00 | 00 | 00 | -0.0113  | 70.0317  | 42167.96 | -0.0297   | 69.9912   | 42168.40  | 0.0184    | 0.0405    | -0.442    | 32.362    | 0.0499    |
| 94 | 10 | 10 | 02 | 00 | 00 | -0.0213  | 70.0371  | 42169.37 | -0.0335   | 69.9985   | 42170.29  | 0.0121    | 0.0386    | -0.923    | 30.042    | 0.0463    |
| 94 | 10 | 10 | 04 | 00 | 00 | -0.0256  | 70.0444  | 42169.33 | -0.0283   | 70.0068   | 42170.48  | 0.0026    | 0.0376    | -1.158    | 27.652    | 0.0427    |
| 94 | 10 | 10 | 06 | 00 | 00 | -0.0229  | 70.0498  | 42168.04 | -0.0153   | 70.0142   | 42169.13  | -0.0076   | 0.0356    | -1.089    | 26.966    | 0.0417    |
| 94 | 10 | 10 | 08 | 00 | 00 | -0.0139  | 70.0527  | 42166.21 | 0.0019    | 70.0186   | 42166.94  | -0.0158   | 0.0342    | -0.728    | 27.916    | 0.0431    |
| 94 | 10 | 10 | 10 | 00 | 00 | -0.0008  | 70.0527  | 42164.48 | 0.0189    | 70.0195   | 42164.66  | -0.0197   | 0.0332    | -0.174    | 28.803    | 0.0445    |
| 94 | 10 | 10 | 12 | 00 | 00 | 0.0127   | 70.0522  | 42163.24 | 0.0310    | 70.0181   | 42162.80  | -0.0183   | 0.0342    | 0.434     | 28.428    | 0.0439    |
| 94 | 10 | 10 | 14 | 00 | 00 | 0.0229   | 70.0488  | 42162.54 | 0.0349    | 70.0142   | 42161.54  | -0.0120   | 0.0347    | 0.901     | 27.231    | 0.0419    |
| 94 | 10 | 10 | 16 | 00 | 00 | 0.0270   | 70.0459  | 42162.38 | 0.0295    | 70.0093   | 42161.24  | -0.0024   | 0.0366    | 1.140     | 26.931    | 0.0414    |
| 94 | 10 | 10 | 18 | 00 | 00 | 0.0238   | 70.0425  | 42162.77 | 0.0161    | 70.0039   | 42161.70  | 0.0078    | 0.0386    | 1.064     | 28.626    | 0.0439    |
| 94 | 10 | 10 | 20 | 00 | 00 | 0.0140   | 70.0410  | 42163.82 | -0.0019   | 70.0015   | 42163.12  | 0.0159    | 0.0396    | 0.706     | 31.256    | 0.0480    |
| 94 | 10 | 10 | 22 | 00 | 00 | 0.0001   | 70.0400  | 42165.60 | -0.0196   | 69.9995   | 42165.45  | 0.0197    | 0.0405    | 0.152     | 32.824    | 0.0505    |
| 94 | 10 | 11 | 00 | 00 | 00 | -0.0141  | 70.0425  | 42167.72 | -0.0323   | 70.0024   | 42168.16  | 0.0182    | 0.0400    | -0.442    | 32.223    | 0.0496    |

7-JUN-1994

Brasilsat B-1  
colocation

STA V10.4



34.000  
 32.000  
 30.000  
 28.000  
 26.000  
 1.200  
 0.600  
 0.000  
 -0.600  
 -1.200  
 0.051  
 0.043  
 0.035  
 0.027  
 0.019  
 0.020  
 0.010  
 0.000  
 -0.010  
 -0.020

D POS  
 K M  
 D R A D  
 K M  
 D L O N  
 D E G  
 D L A T  
 D E G

00:00 12:00 00:00 12:00 00:00 12:00 00:00 12:00 00:00  
 21-SEP-94 26-SEP-94 01-OCT-94 06-OCT-94 11-OCT-94  
 TIME (GMT')

## GLOSSÁRIO

Atitude - posicionamento do eixo de rotação do satélite em relação à Terra.

$J_{nm}$  - harmônico tesseral de ordem  $n$ .

Target - objetivo.

TART - uma triangulação entre duas estações terrestres e o satélite determina a posição do satélite.

T & C - uma antena com precisão de 0.01 grau em azimute e elevação, e de 4 metros em distância determina a posição do satélite.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.] Curso de Extensão Universitária do IAG-USP; Departamento de Astronomia; Vol.1.
- 2.] Mello, S.F.; Trajetografia de Satélites Artificiais; 1976.
- 3.] Smart, W.M.; Celestial Mechanics; 1953.
- 4.] Anzel, B.M., et al; Orbital Dynamics for Synchronous Missions; Hughes Aircraft Company; 1982.
- 5.] Andrade, E.P., Bottino, M.M., Schulz, W.; Análise Comparativa de Técnicas de Determinação Orbital para Diferentes Períodos de Coleta de Dados; XX Sociedade Astronômica Brasileira; 1994.
- 6.] Eckstein, M.C., Rajasingh, C.K., Blumer, P.; Co-location Strategy and Collision Avoidance for the Geostationary Satellites at 19 Degrees West; CNES International Symposium on Space Dynamics; Toulouse, France; 1989.
- 7.] Andrade, E.P., Schulz, W.; Posicionamento dos BRASILSATs A2 e B1 para a Transição; Memorando Técnico DTS-33-004/94 - EMBRATEL; 1994.
- 8.] Andrade, E.P., Silva, R.P.; Excentricidade de Controle de Satélites Geoestacionários; Memorando Técnico SAT.32-005/87 - EMBRATEL; 1987.
- 9.] Anzel, B.M., et al; Synchronous Satellite Dynamics Analysis and Operations Software; Hughes Aircraft Company; 1990.
- 10.] Elliot, C.A.; Co-location; Hughes Satellite Owners/Operators Conference; 28-31 de julho de 1992.