

1. Classificação <i>INPE-COM.4/RPE</i> <i>C.D.U.: 521.1/.3</i>	2. Período	4. Distribuição
3. Palavras Chaves (selecionadas pelo autor) <i>ROTINAS DE MECÂNICA CELESTE</i> <i>DINÂMICA ORBITAL</i> <i>ÓRBITAS</i>		interna <input type="checkbox"/>  externa <input checked="" type="checkbox"/>
5. Relatório nº <i>INPE-2180-RPE/392</i>	6. Data <i>Julho, 1981</i>	7. Revisado por <i>Wilson C.C. Silva</i>
8. Título e Sub-Título  <i>ROTINAS AUXILIARES DE MECÂNICA CELESTE</i> <i>E GERAÇÃO DE ÓRBITA</i>		9. Autorizado por  <i>Nelson de Jesus Parada</i> Diretor
10. Setor <i>DSE/DDO</i>	Código <i>280T</i>	11. Nº de cópias <i>10</i>
12. Autoria <i>Hélio Koiti Kuga</i> <i>Valdemir Carrara</i> <i>Válder Matos de Medeiros</i>		14. Nº de páginas <i>38</i>
13. Assinatura Responsável <i>Hélio Kuga</i>	15. Preço	
16. Sumário/Notas  <i>Os cálculos mais frequentes em mecânica celeste e dinâmica orbital foram tratados numericamente e são fornecidos aqui as sub-rotinas já otimizadas em termos de entrada e saída, métodos utilizados e cálculos internos. Neste trabalho também é descrita a função de cada sub-rotina, bem como uma descrição dos parâmetros de entrada e saída e algumas referências utilizadas.</i>		
17. Observações		

## ÍNDICE

ABSTRACT .....	<i>iv</i>
1. <u>INTRODUÇÃO</u> .....	1
2. <u>DEFINIÇÕES</u> .....	1
3. <u>ÍNDICE RESUMIDO DAS ROTINAS</u> .....	4
4. <u>DESCRIÇÃO DAS SUB-ROTINAS</u> .....	7
4.1 - Sub-rotina CONSTA .....	7
4.2 - Função TANGEN .....	10
4.3 - Sub-rotina ORB01 .....	11
4.4 - Sub-rotina ORB02 .....	12
4.5 - Sub-rotina ORB03 .....	13
4.6 - Sub-rotina ORB04 .....	14
4.7 - Sub-rotina ORB05 .....	15
4.8 - Sub-rotina ORB06 .....	16
4.9 - Sub-rotina ORB13 .....	17
4.10 - Sub-rotina ORB14 .....	18
4.11 - Sub-rotina ORB15 .....	19
4.12 - Sub-rotina ORB16 .....	20
4.13 - Sub-rotina ROTREF .....	21
4.14 - Função DJ .....	23
4.15 - Função DJINV .....	24
4.16 - Função TETAG .....	25
4.17 - Sub-rotina KEPLER .....	26
4.18 - Sub-rotina ELKEPL .....	27
4.19 - Sub-rotina DELKEP .....	29
4.20 - Sub-rotina SOL .....	30
4.21 - Sub-rotina ANGSOL .....	31
4.22 - Sub-rotina ANGEST .....	32
4.23 - Função IVISI .....	33
2.24 - Função SOMBRA .....	34
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	35

## ABSTRACT

*The frequently calculated parameters in celestial mechanics and orbital dynamics are numerically treated here in subroutine pattern, and a description is given. Those subroutines are optimized in terms of the input-output parameters, utilized methods and internal computations. In this report, the objective of the subroutines, the input-output parameters description and a listing of some of the references are presented.*

## 1. INTRODUÇÃO

Para a obtenção de efemérides, tanto quanto para a geração simulada de órbitas de satélites artificiais terrestres, é necessário fazer uma série de cálculos preliminares que, de certa forma, estão implícitos no problema. As rotinas aqui apresentadas são aquelas que, por serem em grande parte comuns a estes problemas, eliminarão o trabalho de ter de criá-los num outro programa da área. Além disso, introduzem uma uniformização em termos de passagem de parâmetros entre sub-rotinas e em termos de entrada e saída de cada uma delas.

Neste trabalho, descreve-se apenas a forma de entrada e saída de cada uma das rotinas e dá-se uma descrição abreviada do que fazem. As equações envolvidas para sua obtenção constam nos livros listados na Bibliografia, e as rotinas dão referências específicas relativas ao seu assunto.

É importante salientar que a sub-rotina CØNSTA atua como fornecedora de constantes para as demais sub-rotinas e, portanto, sua chamada é imprescindível (seção 2).

## 2. DEFINIÇÕES

Os sistemas de referência utilizados aqui são os seguintes:

- a) geocêntrico terrestre
- b) geocêntrico inercial
- c) sistema do plano da órbita

As figuras abaixo definem cada um desses sistemas:

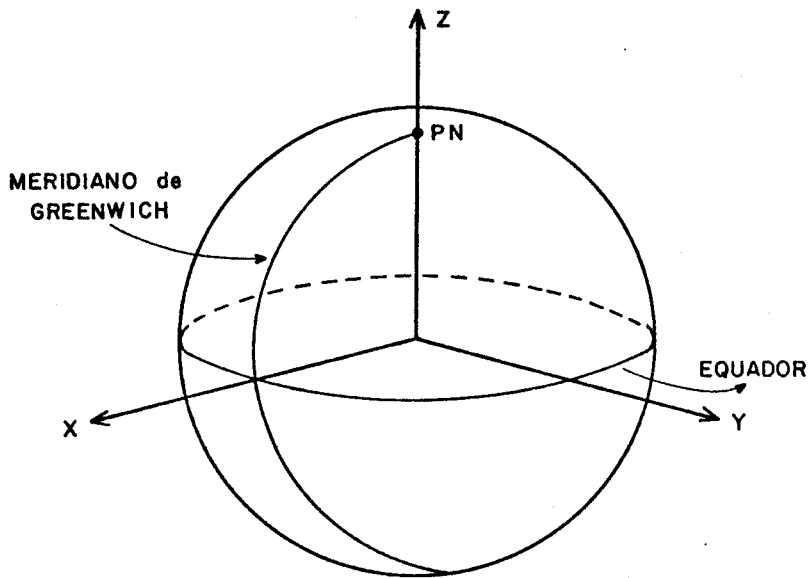


Fig. 1 - Sistema geocêntrico terrestre.

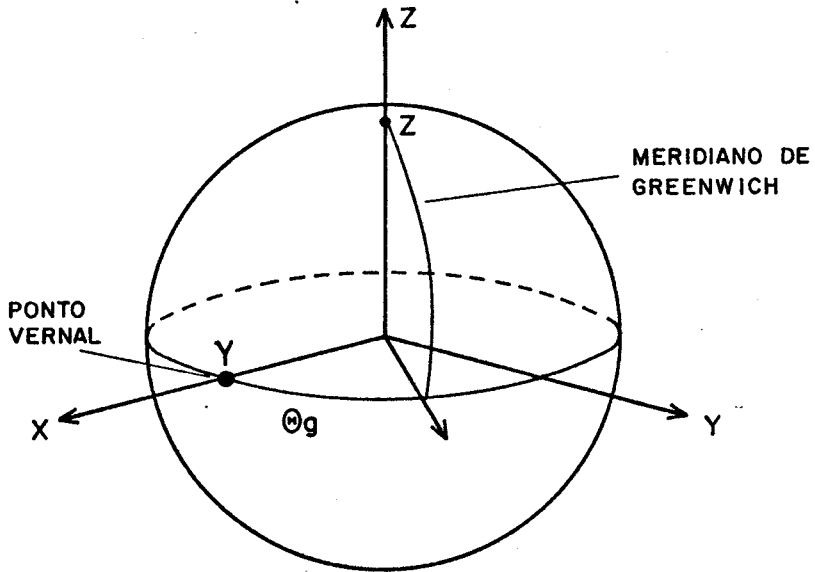


Fig. 2 - Sistema geocêntrico inercial.

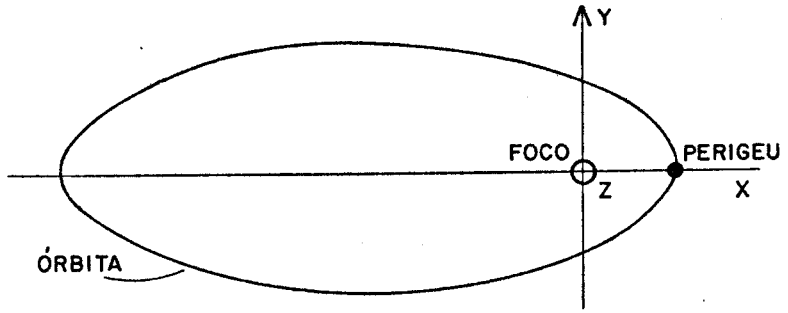
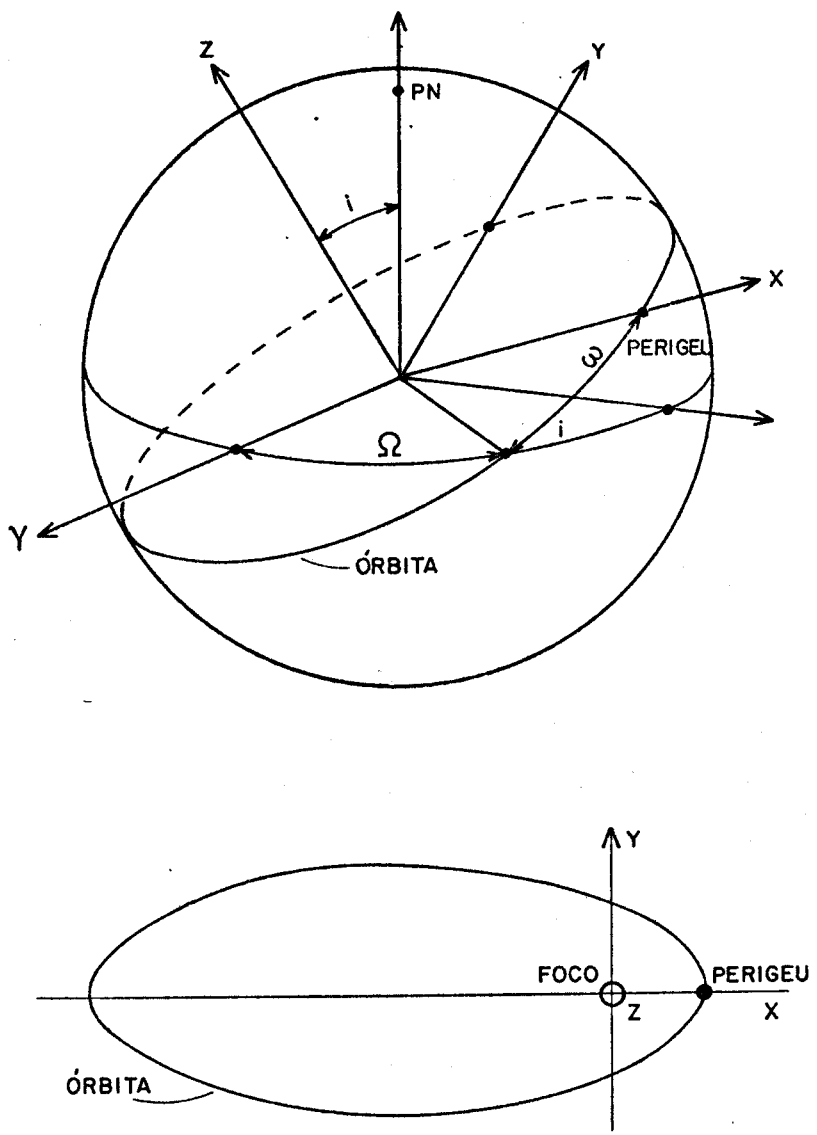


Fig. 3 - Sistema do plano da órbita.

### 3. ÍNDICE RESUMIDO DAS ROTINAS

Esta seção relaciona as rotinas e fornece uma explicação sucinta delas.

1 - SUB-ROTINA CØNSTA

Define todas as constantes utilizadas pelas demais sub-rotinas.

2 - FUNÇÃO TANGEN

Calcula um ângulo entre 0 e  $2\pi$ , dado o seu seno e co-seno.

3 - SUB-ROTINA ØRB01

Transforma coordenadas geográficas (latitude e longitude) em coordenadas geocêntricas terrestres.

4 - SUB-ROTINA ØRB02

Transforma coordenadas geocêntricas terrestres em coordenadas geográficas (latitude e longitude).

5 - SUB-ROTINA ØRB03

Transforma coordenadas geocêntricas inerciais em geocêntricas terrestres.

6 - SUB-ROTINA ØRB04

Transforma coordenadas geocêntricas terrestres em geocêntricas inerciais.

7 - SUB-ROTINA ØRB05

Fornece o vetor posição no sistema do plano da órbita a partir dos elementos keplerianos.

8 - SUB-ROTINA ØRB06

Fornece o vetor posição no sistema geocêntrico inercial a partir dos elementos keplerianos.

9 - SUB-ROTINA ØRB13

Transforma o vetor de estado em coordenadas geocêntricas inerciais para coordenadas geocêntricas terrestres.

- 10 - SUB-ROTINA ØRB14  
Fornece o vetor de estado no sistema geocêntrico inercial, da  
do o vetor de estado no sistema geocêntrico terrestre.
- 11 - SUB-ROTINA ØRB15  
Fornece o vetor de estado no sistema do plano da ôrbita, a  
partir dos elementos keplerianos.
- 12 - SUB-ROTINA ØRB16  
Transforma os elementos keplerianos no vetor de estado em co  
ordenadas geocêntricas inerciais.
- 13 - SUB-ROTINA RØTREF  
A sub-rotina compõe a matriz de rotação que leva o sistema  
inercial ao sistema do plano da ôrbita, a partir dos elemen  
tos keplerianos.
- 14 - FUNÇÃO DJ  
Calcula o dia juliano, dados o dia, mês e ano.
- 15 - FUNÇÃO DJINV  
Calcula o dia, mês e ano, a partir da data juliana.
- 16 - FUNÇÃO TETAG  
Fornece o tempo sideral de Greenwich, dados o dia juliano e  
a fração do dia em segundos.
- 17 - SUB-ROTINA KEPLER  
Calcula a anomalia excêntrica com a excentricidade e a anoma  
lia média.
- 18 - SUB-ROTINA ELKEPL  
Transforma o vetor de estado no sistema inercial em elemen  
tos keplerianos.
- 19 - SUB-ROTINA DELKEP  
Fornece a taxa de variação dos elementos keplerianos devido  
ao coeficiente  $J_2$ .



20 - SUB-ROTINA SØL

Calcula o vetor Terra-Sol no sistema inercial para uma determinada data.

21 - SUB-ROTINA ANGSØL

Calcula o azimute e a elevação do Sol, a partir da latitude, da longitude e da data.

22 - SUB-ROTINA ANGEST

Calcula os ângulos do ponto subsatélite, dado o vetor posição.

23 - FUNÇÃO IVISI

A função testa a visibilidade de um ponto, definido por suas coordenadas de posição, dadas as coordenadas do observador e a elevação mínima.

24 - FUNÇÃO SØMBRA

A sub-rotina verifica se o satélite está na sombra, na penumbra ou totalmente iluminado pelo Sol, dadas as coordenadas do satélite e do Sol.

#### 4. DESCRIÇÃO DAS SUB-ROTINAS

##### 4.1 - SUB-ROTINA CONSTA

###### 4.1.1 - CHAMADA

- CALL CONSTA

###### 4.1.2 - PROPÓSITO

A sub-rotina CONSTA define todas as constantes utilizadas nas demais sub-rotinas e as envia por COMMON.

###### 4.1.3 - OBSERVAÇÕES

1) Esta sub-rotina deverá ser chamada logo no início do programa principal para que as demais sub-rotinas já tenham suas constantes definidas, ao serem chamadas. São definidos na sub-rotina CONSTA:

- PI = 3.14159265359

- PIV2 = 2.\*PI

- PID2 = .5\*PI

- RAD = PI/180.

- DEG = 180./PI

- Velocidade da luz em metros/segundo:

• C = .2997925E+09

- Raio do Sol em metros:

• RSOL = .6953E+09

- Raio da Lua em metros:

• RAIL = .1738E+07

- Raio da Terra em metros:

• RT = 6378155.

- Unidade astronômica em metros:
  - $UNA = 23459.72551 * RT$
- Constante gravitacional terrestre em  $m^3.s^{-2}$ :
  - $RMU = 3.986013E+14$
- Coeficiente do 2º harmônico zonal ( $J_2$ ):
  - $RJ2 = 1.082628E-03$
- Achatamento da Terra:
  - $F = 1./298.257$
- Constante de Boltzmann em Joule/Kelvin:
  - $BOLT = 1.38054E-23$
- Constante de Avogrado em moléculas/mol:
  - $AVOG = 6.02252E+23$
- Ano trópico em dias:
  - $ANOT = 365.2422$
- Ano sideral em dias:
  - $ANOS = ANOT + 1$
- Dia sideral em segundos:
  - $DISI = 86400.*ANOT/ANOS$
- Velocidade de rotação da Terra em radianos/segundo:
  - $ROTE = PIV2/DISI$

2) Caso seja necessário utilizar qualquer uma dessas constantes em outra parte do programa, estas podem ser obtidas através dos seguintes COMMONS:

COMMON/CONST/PI, PIV2, PID2, RAD, DEG

COMMON/TERRA/RT, F, RMU

COMMON/DISOL/RSOL, UNA

COMMON/COLUA/RAIL

COMMON/BOLTZ/BOLT, AVOG

COMMON/PERTU/RJ2

4.1.4 - REFERÊNCIAS

- RESNICK e HALLIDAY (1973);
- BROUWER e CLEMENCE (1961);
- ESCOBAL (1965);
- KAULA (1966);
- ROY (1965).

## 4.2 - FUNÇÃO TANGEN

### 4.2.1 - CHAMADA

- TANGEN(SINO, COSI)

### 4.2.2 - PROPÓSITO

A função TANGEN assume o valor em radianos, do argumento dado pelo seu seno e co-seno, ficando compreendido entre 0 e  $2\pi$ .

### 4.2.3 - PARÂMETROS

- 1) Entradas: SINO e COSI — seno e co-seno, respectivamente, do argumento. Parâmetros reais que podem assumir quaisquer valores de  $-\infty$  a  $+\infty$ .
- 2) Saídas: TANGEN — é o argumento do ângulo dado pelo seu seno e co-seno.

#### 4.3 - SUB-ROTINA ORB01

##### 4.3.1 - CHAMADA

- CALL ØRB01(LØ, LA, H, XT)

##### 4.3.2 - PROPÓSITO

Esta sub-rotina transforma coordenadas geográficas dadas pela longitude, latitude e altura em coordenadas geocêntricas terrestres x, y e z.

##### 4.3.3 - PARÂMETROS

###### 1) Entradas:

LØ - longitude em radianos (real).

LA - latitude em radianos (real).

H - altura sobre o elipsóide terrestre em metros.

###### 2) Saída:

XT - vetor das componentes da posição em metros.

##### 4.3.4 - OBSERVAÇÃO

Se a longitude representar o tempo sideral, em radianos, o vetor XT será dado no sistema geocêntrico inercial.

##### 4.3.5 - REFERÊNCIA

- ESCOBAL (1965).

#### 4.4 - SUB-ROTINA ORB02

##### 4.4.1 - CHAMADA

- CALL ORB02(XT, LØ, LA, H)

##### 4.4.2 - PROPÓSITO

A sub-rotina ORB02 transforma o vetor de coordenadas geocêntricas XT em coordenadas geográficas (longitude, latitude e altura sobre o elipsóide terrestre).

##### 4.4.3 - PARÂMETROS

###### 1) Entrada:

XT - componentes do vetor posição, em metros, no sistema geocêntrico terrestre (eixo X passando pelo meridiano de Greenwich).

###### 2) Saídas:

LØ - longitude em radianos (real).

LA - latitude em radianos (real).

H - altura sobre o elipsóide terrestre em metros.

##### 4.4.4 - OBSERVAÇÃO

Se XT for dado no sistema geocêntrico inercial (eixo X passando pelo ponto vernal) então a longitude representará o tempo sideral em radianos).

##### 4.4.5 - REFERÊNCIA

- FERREIRA et alii (1979).

#### 4.5 - SUB-ROTINA ORB03

##### 4.5.1 - CHAMADA

- CALL ØRB03(TESIG, X, XT).

##### 4.5.2 - PROPÓSITO

A sub-rotina efetua a rotação do vetor em coordenadas geocêntricas inerciais X, para o vetor XT, em coordenadas geocêntricas terrestres (referidas a Greenwich).

##### 4.5.3 - PARÂMETROS

###### 1) Entradas:

TESIG - tempo sideral de Greenwich, em radianos.

X - vetor das coordenadas geocêntricas inerciais.

###### 2) Saída:

XT - vetor das coordenadas geocêntricas terrestres.



#### 4.6 - SUB-ROTINA ORB04

##### 4.6.1 - CHAMADA

- CALL ØRB04(TESIG, XT, X)

##### 4.6.2 - PROPÓSITO

Esta sub-rotina transforma coordenadas geocêntricas terrestres referidas a Greenwich, em coordenadas geocêntricas inerciais.

##### 4.6.3 - PARÂMETROS

###### 1) Entradas:

TESIG - Tempo sideral de Greenwich em radianos.

XT - Vetor das coordenadas no sistema geocêntrico terrestre.

###### 2) Saída:

X - Vetor das coordenadas no sistema geocêntrico inercial (referido ao ponto vernal).

#### 4.7 - SUB-ROTINA ORB05

##### 4.7.1 - CHAMADA

- CALL ØRB05(EL, XØ)

##### 4.7.2 - PROPÓSITO

Dados os elementos keplerianos, esta sub-rotina fornece o vetor posição correspondente no plano da órbita (eixo x passando pelo perigeu e eixo y passando pelo foco da elipse).

##### 4.7.3 - PARÂMETROS

###### 1) Entradas:

EL(1) - semi-eixo maior da órbita.

EL(2) - excentricidade.

EL(6) - anomalia média em radianos.

###### 2) Saída:

X - vetor posição no sistema do plano da órbita.

##### 4.7.4 - OBSERVAÇÕES

1) Os demais elementos keplerianos, 3, 4 e 5 não são utilizados internamente pela sub-rotina.

2) A dimensão do vetor posição X é a mesma do semi-eixo maior.

##### 4.7.5 - SUB-ROTINAS E FUNÇÕES UTILIZADAS

- Sub-rotina: KEPLER.

##### 4.7.6 - REFERÊNCIAS

- DEUTSCH (1963);

- ROY (1965).

#### 4.8 - SUB-ROTINA ORB06

##### 4.8.1 - CHAMADA

- CALL ØRB06(EL, X)

##### 4.8.2 - PROPÓSITO

Esta sub-rotina fornece o vetor posição no sistema geocêntrico inercial, dados os elementos keplerianos.

##### 4.8.3 - PARÂMETROS

###### 1) Entradas:

EL(1) - semi-eixo maior da órbita.

EL(2) - excentricidade.

EL(3) - inclinação em radianos.

EL(4) - ascensão reta do nodo ascendente, em radianos.

EL(5) - argumento do perigeu, em radianos.

EL(6) - anomalia média em radianos.

###### 2) Saída:

X - vetor posição no sistema inercial.

##### 4.8.4 - OBSERVAÇÃO

A dimensão do vetor X é a mesma do semi-eixo maior.

##### 4.8.5 - SUB-ROTINAS E FUNÇÕES UTILIZADAS

- Sub-rotinas: RØTREF, ØRB05.

##### 4.8.6 - REFERÊNCIAS

- BROUWER e CLEMENCE (1961).

#### 4.9 - SUB-ROTINA ORB13

##### 4.9.1 - CHAMADA

- CALL ØRB13(TESIG, X, XT)

##### 4.9.2 - PROPÓSITO

Esta sub-rotina transforma o vetor de estado X, dado no sistema geocêntrico inercial, no vetor de coordenadas geocêntricas terrestres, XT.

##### 4.9.3 - PARÂMETROS

###### 1) Entradas:

TESIG - tempo sideral de Greenwich em radianos.

X - vetor com as 3 coordenadas de posição e 3 coordenadas de velocidade, em comprimento por segundo.

###### 2) Saída:

XT - vetor de estado em coordenadas geocêntricas terrestres.

##### 9.9.4 - OBSERVAÇÃO

A dimensão do vetor de saída é a mesma do vetor de entrada. É imperativo, porém, que a velocidade seja dada em comprimento/se-gundo.

##### 4.9.5 - REFERÊNCIA

- ESCOBAL (1965).

#### 4.10 - SUB-ROTINA ORB14

##### 4.10.1 - CHAMADA

- CALL ØRB14(TESIG, XT, X)

##### 4.10.2 - PROPÓSITO

Fornecido o vetor de estado no sistema geocêntrico terrestre, a sub-rotina o transforma no vetor de estado referido ao sistema geocêntrico inercial.

##### 4.10.3 - PARÂMETROS

###### 1) Entradas:

TESIG - tempo sideral de Greenwich em radianos.

X - vetor que contém as 3 coordenadas de posição e 3 coordenadas de velocidade (em comprimento por segundo) no sistema geocêntrico terrestre.

###### 2) Saída:

XT - vetor de estado no sistema geocêntrico inercial.

##### 4.10.4 - OBSERVAÇÃO

A dimensão do vetor de saída é a mesma do vetor de entrada, porém as velocidades deverão ser fornecidas em comprimento por segundo.

##### 4.10.5 - REFERÊNCIA

- ESCOBAL (1965).

#### 4.11 - SUB-ROTINA ORB15

##### 4.11.1 - CHAMADA

- CALL ØRB15(EL, XØ)

##### 4.11.2 - PROPÓSITO

Dados os elementos keplerianos, a sub-rotina fornece o vetor de estado no sistema do plano da órbita.

##### 4.11.3 - PARÂMETROS

###### 1) Entradas:

EL(1) - semi-eixo maior da órbita em metros.

EL(2) - excentricidade.

EL(3) - inclinação em radianos.

EL(4) - ascensão reta do nodo ascendente em radianos.

EL(5) - argumento do perigeu em radianos.

EL(6) - anomalia média em radianos.

###### 2) Saída:

XØ - vetor de estado: 3 componentes de posição em metros e  
3 componentes de velocidade em metros por segundo.

##### 4.11.4 - OBSERVAÇÃO

No plano da órbita, as componentes 3 e 6 do vetor de estado são nulas.

##### 4.11.5 - SUB-ROTINAS E FUNÇÕES UTILIZADAS

- Sub-rotina: KEPLER

##### 4.11.6 - REFERÊNCIAS

- DEUTSCH (1963);

- BROUWER e CLEMENCE (1961).

#### 4.12 - SUB-ROTINA ORB16

##### 4.12.1 - CHAMADA

- CALL ØRB16(EL, X)

##### 4.12.2 - PROPÓSITO

A sub-rotina transforma os elementos keplerianos no vetor de estado correspondente.

##### 4.12.3 - PARÂMETROS

###### 1) Entradas:

- EL - vetor de dimensão 6, a saber:
- EL(1) - semi-eixo maior da órbita em metros.
- EL(2) - excentricidade da órbita.
- EL(3) - inclinação da órbita em radianos.
- EL(4) - ascensão reta do nodo ascendente em radianos.
- EL(5) - argumento do perigeu em radianos.
- EL(6) - anomalia média em radianos.

###### 2) Saídas:

- X - vetor de dimensão 6 que fornece a posição e velocidade no sistema geocêntrico inercial em metros e metros por segundo.

##### 4.12.4 - SUB-ROTINA UTILIZADA

- Sub-rotina: KEPLER

##### 4.12.5 - REFERÊNCIAS

- KAULA (1966);
- BROUWER e CLEMENCE (1961);
- DEUTSCH (1963);
- ROY (1965).

#### 4.13 - SUB-ROTINA ROTREF

##### 4.13.1 - CHAMADA

- CALL RØTREF(EL, P, Q, R)

##### 4.13.2 - PROPÓSITO

A sub-rotina, a partir dos ângulos de EULER (inclinação, ascensão reta do nodo ascendente e argumento do perigeu) produz vetores que compõem a matriz de rotação necessária para se passar ao sistema inercial.

$$X = R(I, \Omega, \omega) \cdot X_0$$

onde

X é o vetor de estado,

R é a matriz de rotação dependente de I,  $\Omega$  e  $\omega$  (ângulos de EULER), e

$X_0$  é o vetor de estado no plano da órbita.

A matriz R é composta por

$$R = [P^T : Q^T : R^T]$$

onde P, Q, R são vetores de dimensão 3, calculados pela rotina.

##### 4.13.3 - PARÂMETROS

###### 1) Entrada:

EL - vetor de dimensão 6 dos elementos keplerianos, com o se mi-eixo maior EL(1) em metros, a excentricidade EL(2) adi mensional, e os demais em radianos.



2) Saída:

P, Q, R - vetores de dimensão 3.

#### 4.13.4 - REFERÊNCIA

- BROUWER (1961).

#### 4.14 - FUNÇÃO DJ

##### 4.14.1 - CHAMADA

- DJ(DIAS, AMES, ANOS)

##### 4.14.2 - PROPÓSITO

Cálculo do dia juliano a partir do dia, mês e ano (calendário gregoriano).

##### 4.14.3 - PARÂMETROS

###### 1) Entradas:

DIAS, AMES, ANOS - reais, que especificam a data.

###### 2) Saída:

DJ - real, dia juliano correspondente.

##### 4.14.4 - OBSERVAÇÕES

1) O dia juliano obtido refere-se a zero hora do dia.

2) A rotina é válida para datas posteriores a março de 1900.

##### 4.14.5 - REFERÊNCIA

- MEDEIROS e KUGA (1980).

#### 4.15 - FUNÇÃO DJINV

##### 4.15.1 - CHAMADA

- DJINV(DIAJU, DIA, MES, ANO)

##### 4.15.2 - PROPÓSITO

A função, a partir do dia juliano, fornece o dia, mês e ano correspondentes.

##### 4.15.3 - PARÂMETROS

1) Entrada:

DIAJU - real, dia juliano.

2) Saídas:

DIA, MÊS, ANO - reais, correspondentes ao dia juliano DIAJU.

##### 4.15.4 - OBSERVAÇÃO

O dia juliano é real e pode estar com sua fração de dias inclusos; exemplo:

DIAJU = 2445448.5234

A fração 0.5234 corresponde a 12h 33'41.76".

##### 4.15.5 - REFERÊNCIA

- ESCOBAL (1965).

#### 4.16 - FUNÇÃO TETAG

##### 4.16.1 - CHAMADA

- TETAG(DJ, T)

##### 4.16.2 - PROPÓSITO

A função fornece o tempo sideral do meridiano de Greenwich a partir do dia juliano DJ e o tempo T da data.

##### 4.16.3 - PARÂMETROS

###### 1) Entradas:

DJ - dia juliano correspondente a zero hora da data.

T - hora, minuto e segundos do dia, em segundos acumulados.

###### 2) Saída:

TETAG - tempo sideral de Greenwich em radianos.

##### 4.16.4 - REFERÊNCIA

- ESCOBAL (1965).

#### 4.17 - SUB-ROTINA KEPLER

##### 4.17.1 - CHAMADA

- CALL KEPLER(AMED, EXCE, ANEX)

##### 4.17.2 - PROPÓSITO

A sub-rotina resolve a equação de Kepler.

##### 4.17.3 - PARÂMETROS

###### 1) Entradas:

AMED - anomalia média em radianos.

EXCE - excentricidade da órbita.

###### 2) Saída:

ANEX - anomalia excêntrica em radianos.

##### 4.17.4 - OBSERVAÇÃO

O valor inicial para a anomalia excêntrica é encontrado, usando-se a fórmula em série truncada no quarto termo. Posteriormente, a iteração é feita usando-se NEWTON-RAPHSON de 2ª ordem até alcançar a precisão absoluta do computador (11 dígitos).

##### 4.17.5 - REFERÊNCIAS

- DEUTSCH (1963);

- BROUWER e CLEMENCE (1961).

#### 4.18 - SUB-ROTINA ELKEPL

##### 4.18.1 - CHAMADA

- CALL ELKEPL(X, EL)

##### 4.18.2 - PROPÓSITO

A sub-rotina transforma o vetor de estado X (posição e velocidade) nos elementos keplerianos correspondentes.

##### 4.18.3 - PARÂMETROS

###### 1) Entrada:

X - vetor de dimensão 6, contendo as coordenadas de posição e velocidade em metros e metros por segundo, respectivamente.

###### 2) Saída:

EL - vetor de dimensão 6, contendo os elementos keplerianos pela ordem:

- semi-eixo maior em metros,
- excentricidade,
- inclinação em radianos,
- ascensão reta do nodo ascendente em radianos,
- argumento do perigeu em radianos, e
- anomalia média em radianos.

##### 4.18.4 - OBSERVAÇÕES

1) O vetor de estado deve estar em coordenadas inerciais equatoriais.

2) A rotina é válida somente para órbitas circulares e elípticas.

4.18.5 - ROTINA USADA

- Função: TANGEN

4.18.6 - REFERÊNCIAS

- KAULA (1966);
- BROUWER e CLEMENCE (1961).

#### 4.19 - SUB-ROTINA DELKEP

##### 4.19.1 - CHAMADA

- CALL DELKEP(EL, DANA, DAPE, DAME)

##### 4.19.2 - PROPÓSITO

A sub-rotina fornece a taxa de variação DANA, DAPE, DAME da ascensão do nodo ascendente, do argumento e do perigeu e da anomalia média respectivamente, devido somente ao coeficiente do segundo harmônico zonal  $J_2$ .

##### 4.19.3 - PARÂMETROS

###### 1) Entradas:

EL - vetor de três elementos dos elementos keplerianos, a saber:

- EL(1) - semi-eixo maior em metros,
- EL(2) - excentricidade, e
- EL(3) - inclinação em radianos.

###### 2) Saídas:

DANA - taxa de variação da ascensão reta do nodo ascendente em radianos por segundo.

DAPE - taxa de variação do argumento do perigeu em radianos por segundo.

DAME - movimento médio (n), mais a taxa de variação da anomalia média, em radianos por segundo.

##### 4.19.4 - REFERÊNCIA

- ESCOBAL (1965).



#### 4.20 - SUB-ROTINA SOL

##### 4.20.1 - CHAMADA

- CALL SØL(DJ, TS, S)

##### 4.20.2 - PROPÓSITO

A sub-rotina SOL calcula, para uma determinada data, o vetor Terra-Sol no sistema geocêntrico inercial.

##### 4.20.3 - PARÂMETROS

###### 1) Entradas:

DJ - dia juliano.

TS - fração do dia em segundos.

###### 2) Saída:

S - vetor posição Terra-Sol, no sistema inercial, em metros.

VIA COMMON /SOLANG/ ALFA, DELTA, R0

##### 4.20.4 - REFERÊNCIAS (rad) (rad) (m)

- MEDEIROS e KUGA (1980);

- VAN FLANDERN e PULKKINEN (1979).

#### 4.21 - SUB-ROTINA ANGSOL

##### 4.21.1 - CHAMADA

- CALL ANGSØL(DIA, MES, ANØ, T, LØN, LAT, AZI, ALT).

##### 4.21.2 - PROPÓSITO

A sub-rotina calcula o azimute e a elevação do Sol na da ta especificada e na longitude e latitude do local.

##### 4.21.3 - PARÂMETROS

###### 1) Entradas:

DIA, MÊS, ANO - reais, especificando a data.

T - hora, minuto e segundos da data em segundos acumulados.

LON - real, longitude leste do local de 0 a 360 graus.

LAT - real, latitude do local de -90 a +90 graus.

###### 2) Saídas:

AZI - azimute de 0 a 360 graus.

ALT - elevação de -90 a +90 graus.

##### 4.21.4 - SUB-ROTINAS E FUNÇÕES UTILIZADAS

- Funções: DJ, TETAG e TANGEN.

- Sub-rotina: SOL.

##### 4.21.5 - REFERÊNCIA

- MEDEIROS e KUGA (1980).

#### 4.22 - SUB-ROTINA ANGEST

##### 4.22.1 - CHAMADA

- CALL ANGEST(X, Y, Z, TETA, FI)

##### 4.22.2 - PROPÓSITO

Esta sub-rotina, a partir das coordenadas de posição X,Y, Z, obtêm os ângulos do ponto subsatélite correspondente:

##### 4.22.3 - PARÂMETROS

###### 1) Entradas:

X, Y, Z - coordenadas de posição em unidades de raios terres  
tres.

###### 2) Saídas:

TETA - longitude leste, de 0 a  $2\pi$  radianos.  
FI - latitude, entre  $-\pi/2$  e  $\pi/2$  radianos.

##### 4.22.4 - OBSERVAÇÕES

1) Se X,Y,Z são coordenadas terrestres (referentes a Greenwich),  
TETA é a longitude.

Se X,Y,Z são coordenadas inerciais (referentes ao ponto ver  
nal) TETA é o tempo sideral.

2) O elipsóide adotado é definido por:

- raio equatorial terrestre = 6378,160 Km.  
- achatamento terrestre = 1/298,25.

##### 4.22.6 - REFERÊNCIA

- FERREIRA et alii (1979).

#### 4.23 - FUNÇÃO IVISI

##### 4.23.1 - CHAMADA

- IVISI(XE, YE, ZE, X, Y, Z, ELEV)

##### 4.23.2 - PROPÓSITO

A função testa a visibilidade de uma posição  $X, Y, Z$  em relação à posição  $X_E, Y_E, Z_E$  fixa na superfície da Terra, cuja antena tem uma elevação mínima acima do horizonte igual a ELEV.

##### 4.23.3 - PARÂMETROS

###### 1) Entradas:

$X_E, Y_E, Z_E$  - coordenadas de posição do ponto fixo.

$X, Y, Z$  - coordenadas de posição do ponto em relação a qual se quer testar a visibilidade.

ELEV - ângulo de elevação mínima.

###### 2) Saída:

Se IVISI = 1 é visível

Se IVISI  $\neq$  1 não é visível.

##### 4.23.4 - OBSERVAÇÃO

As duas coordenadas de posição devem estar no mesmo sistema de referência (geocêntrico terrestre ou inercial, equatorial ou eclíptico).

## 2.24 - FUNÇÃO SOMBRA

### 2.24.1 - CHAMADA

- SOMBRA(RSAT, RSOL)

### 2.24.2 - PROPÓSITO

Esta função verifica se o ponto dado pelo vetor RSAT está na sombra, na penumbra da Terra ou iluminado pelo corpo que está na posição RSOL (que poderá ser o Sol ou a Lua).

### 2.24.3 - PARÂMETROS

#### 1) Entradas:

RSAT - 3 componentes do vetor Terra-satélite, em metros.

RSOL - vetor de 3 componentes que dá a posição em metros do centro do Sol ou da Lua. Deverá ser dado no mesmo sistema de referência de RSAT.

#### 2) Saídas:

SOMBRA - pode assumir os seguintes valores:

- 0 - o satélite está na sombra;
- 1 - o satélite está totalmente iluminado;
- entre 0 e 1 - é a proporção do Sol ou da Lua, vista pelo satélite (penumbra).

### 2.24.4 - OBSERVAÇÃO

O modelo utilizado para a Terra é esférico e portanto os raios vetores não precisam ser dados em relação a um referencial específico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BROUWER, D.; CLEMENCE, G.M. *Methods of celestial mechanics*. New York, NY, Academic, 1961.
- DEUTSCH, R. *Orbital dynamics of space vehicles*. Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, 1963.
- ESCOBAL, P.R. *Methods of orbit determination*. New York, NY, John Wiley, 1965.
- FERREIRA, L.D.D.; SILVA, W.C.C.; PILCHOWSKI, H.U. *Notas sobre sistemas de coordenadas e tempo*. São José dos Campos, SP, INPE, dez. 1979. (INPE-1634-RPE/093)
- FLANDERN, T.C. Van; PULKKINEN, K.F. Low-precision formulae for planetary positions. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 41(3): 319-411, Nov., 1979.
- GEYLING, F.T.; WESTERMAN, H.R. *Introduction to orbital mechanics*. Reading, MA, Addison-Wesley, 1971.
- KAULA, W.M. *Theory of satellite geodesy*. Waltham, MA, Blaisdell, 1966.
- MEDEIROS, V.M.; KUGA, H.K. *Algoritmo de baixa precisão para determinação dos dez corpos mais importantes do sistema solar*. São José dos Campos, SP, INPE, dez. 1980. (INPE-1954-RPE/268)
- RESNICK, R.; HALLIDAY, D. *Física*. Rio de Janeiro, RJ, Livros Técnicos e Científicos, 1973.
- ROY, A.E. *Foundations of astrodynamics*. New York, NY, McMillan, 1965.