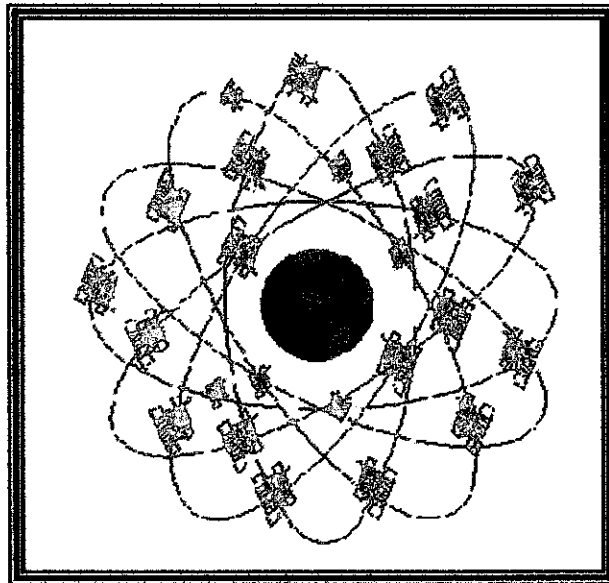


Modelagem de Dados dos Satélites GPS



Relatório de Iniciação Científica

1999.

Bolsista INPE/CNPq: Lidia de Oliveira Guimarães
Orientadores: **Ana Paula Marins Chiaradía e Antônio F. Bertachini de A. Prado**
Divisão de Mecânica e Controle



Cronograma:

PERÍODO	ATIVIDADE
de 17/06/98 a 01/08/98	Elaboração da primeira parte do programa de modelagem de dados dos satélites GPS, estudo da subrotina LFIT para adaptação e utilização da mesma no programa a ser desenvolvido. Seminário de Iniciação Científica do INPE
de 01/08/98 a 01/09/98	Estruturação do programa principal e anexação da subrotina LFIT adaptada do <i>Numerical Recipes</i> .
de 01/09/98 a 01/10/98	Finalização da primeira etapa do programa e início dos testes com os dados de observação em formato Rinex. Elaboração de uma rotina para conferência dos resultados obtidos.
de 01/10/98 a 01/11/98	Testes com dados de observação dos satélites GPS. Conferência dos resultados. Execução de gráficos e obtenção dos primeiros resultados. Início da preparação do texto para o IX Colóquio Brasileiro de Dinâmica Orbital.
de 01/11/98 a 15/11/98	Preparação do painel para o Colóquio.
de 16/11/98 a 20/11/98	IX Colóquio Brasileiro de Dinâmica Orbital. Apresentação do painel.
de 21/11/98 a 20/12/98	Finalização dos testes e início da segunda etapa do programa de Modelagem de Dados.

Introdução:

O objetivo do trabalho foi desenvolver uma rotina capaz de condensar ou resumir um conjunto de observações através de um polinômio, por meio de parâmetros ajustáveis. Neste caso, o conjunto de observações utilizados foram os dados de observação dos satélites GPS.

O programa foi realizado em linguagem Fortran e através do programa Fortran Powerstation 4.0.

A primeira atividade resume-se em uma adaptação no formato no qual os dados foram enviados, o formato Rinex, transformando-o num formato mais simples, além da retirada do cabeçalho característico do formato.

A etapa inicial do programa é a da criação de um corpo principal da rotina para a condensação dos dados. Utilizando os recursos da linguagem, fazemos a leitura dos dados e a criação do polinômio. Para isso, também é necessária a anexação da subrotina LFIT, que foi devidamente ajustada para o programa principal.

Após a adaptação ajustada, temos início à primeira fase dos testes com dados de observação dos satélites GPS. O programa foi rodado com dados de vários dias diferentes e feita a conferência dos resultados. Também foram gerados gráficos para a visualização dos resultados.

Após a conferência dos resultados, início da preparação para o IX Colóquio Brasileiro de Dinâmica Orbital, onde apresentou-se um painel com os fundamentos do trabalho e os gráficos resultantes do estudo realizado.

Depois disto iniciou-se uma nova fase de elaboração do programa que não foi finalizada devido ao cancelamento da bolsa.

Objetivo:

O objetivo principal deste trabalho é condensar ou resumir um conjunto de observações, eliminando os dados de má qualidade. No caso particular deste trabalho, o conjunto de observações será formado pelas medidas de observação enviadas pela mensagem de navegação dos satélite GPS.

Desenvolvimento:

O Sistema GPS

O Sistema GPS (*Global Positioning System*) foi desenvolvido pelos Estados Unidos com finalidade militar. Hoje em dia, existem milhares de usuários civis, usando-o em aviões, veículos espaciais, navios, caminhões, trens e automóveis.

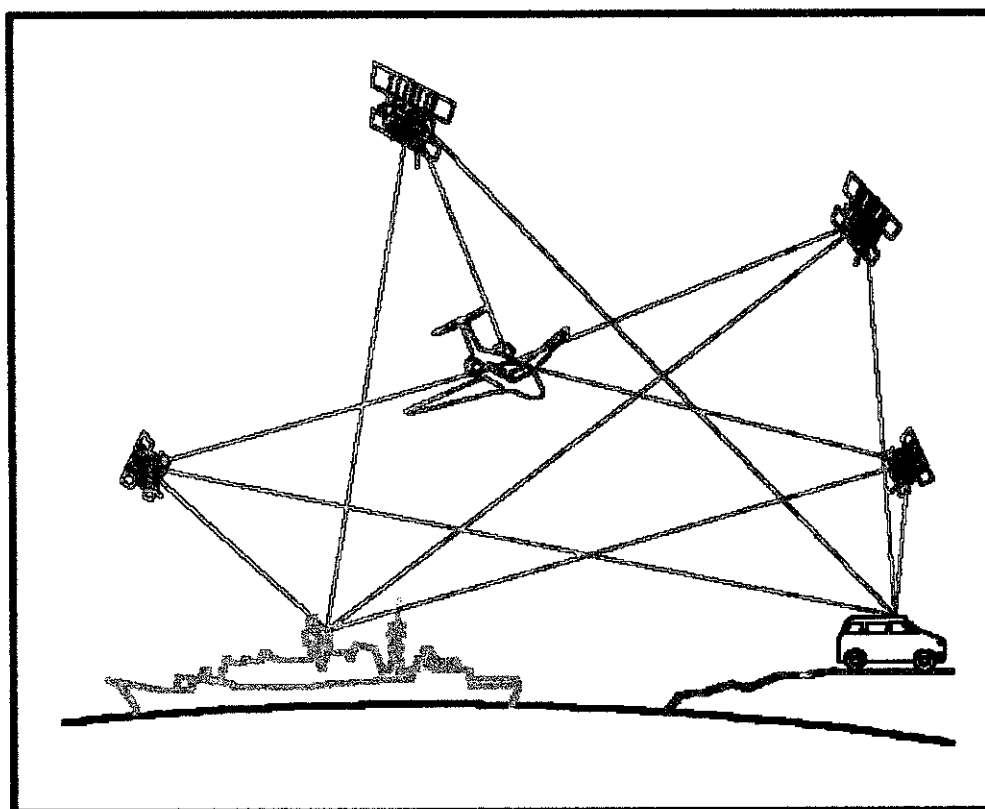


Figura 1: Aplicação do uso dos satélites GPS (Dana, 1998)

O Sistema GPS permite ao usuário obter sua posição e velocidade tridimensionais com alta precisão. Ele é composto de uma constelação de 24 satélites, distribuídos em 6 órbitas. Cada plano da órbita contém quatro satélites igualmente espaçados, distribuídos de tal forma que forneça uma visibilidade simultânea de pelo menos quatro satélites para um usuário, localizado em qualquer parte do mundo e em qualquer instante.

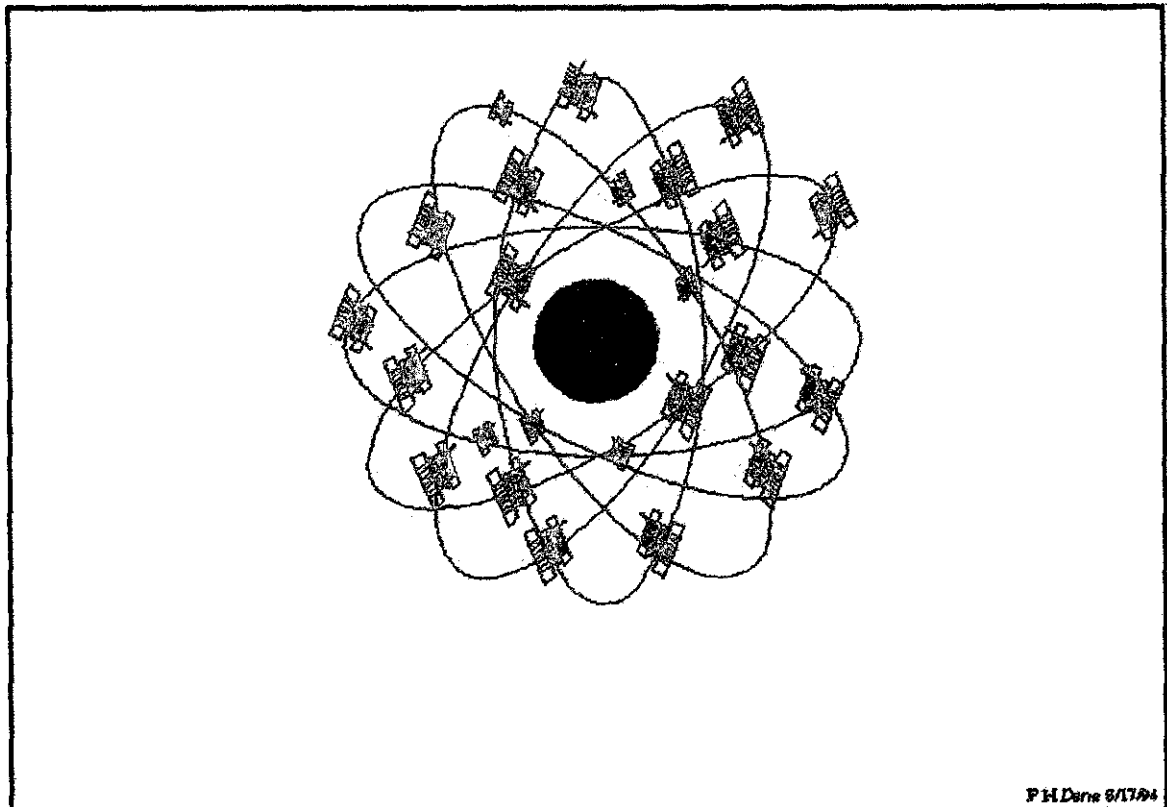


Figura 2: Constelação de Satélites GPS (Dana, 1998)

O Sistema GPS é compreendido de três segmentos: **Espacial**, que consiste dos satélites GPS; **Controle**, que gerencia o movimento dos satélites, produz o tempo GPS e as efemérides dos satélites; **Usuário**, que compreende os receptores militares e civis. Na figura 3 encontra-se o mapa com a localização das estações de controle.

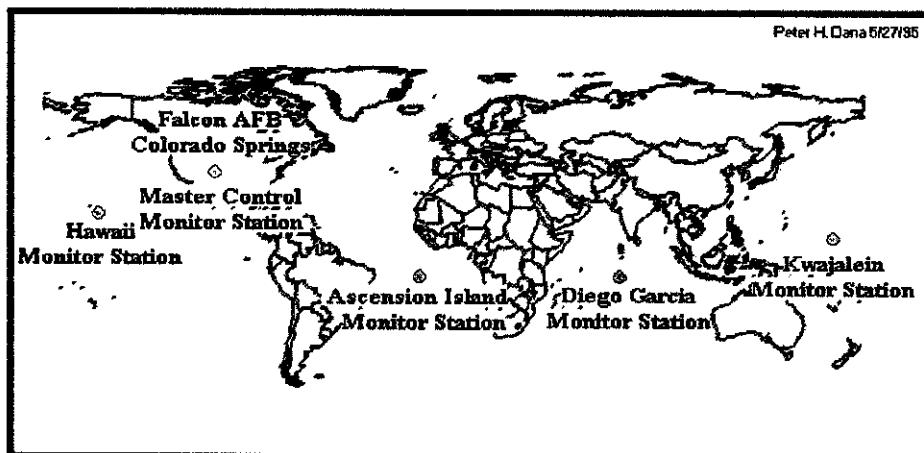


Figura 3- As estações de Controle dos GPS .(Dana,1.998)

O funcionamento do sistema baseia-se no método da triangularização; isto é, o usuário conhecendo a posição de um conjunto de satélites com relação a um sistema de referência e a sua própria posição com relação a estes satélites, poderá calcular a sua posição com relação a este mesmo sistema de referência.

Os satélites GPS transmitem sinais que fornecem dados da sua posição em relação a um sistema de referência, através da Mensagem de Navegação e dados de observação, que são as medidas de distância entre o usuário e os satélites, chamada *pseudorange* e fase portadora. Se os relógios dos satélites e do receptor estiverem sincronizados, serão necessários três satélites para a determinação da posição do usuário. Se os relógios não estiverem sincronizados, serão necessários quatro satélites GPS, sendo este quarto utilizado para determinar o desvio do relógio.

Formato Rinex

Cada tipo de receptor GPS tem o seu próprio formato binário de dados, e as observações são definidas seguindo o conceito individual do fabricante. As etiquetas de tempo podem ser definidas no instante de transmissão, ou no instante de recepção. A medida de fase pode ser expressada em ciclos inteiros, ou em partes fracionárias de ciclos. O código e a fase podem ter etiquetas de tempo diferentes ou idênticas, e satélites podem ser observados simultaneamente ou em épocas diferentes.

Como conseqüência, dados de mais de 60 tipos de receptores de quatro fabricantes diferentes podem não ser facilmente processados simultaneamente com um pacote particular de programas de processamento de dados do GPS.

Para resolver este problema, todos os fabricantes têm que usar o mesmo formato de saída de dados, ou um formato de dados comum tem que ser definido para que possa ser usado como um interface de dados entre todos os tipos de receptores geodésicos, e os diferentes sistemas de programas de processamento. O primeiro não foi realizado até o momento. Entretanto, uma tentativa com sucesso foi feita para definir e aceitar um formato de dado comum para troca de dados internacionais.

Baseado no desenvolvimento feito pelo Instituto Astronômico da Universidade de Berne, Suíça, o “*Receiver Independent Exchange Format*” RINEX foi proposto por Gurtner no Quinto Simpósio Geodésico Internacional em Posicionamento por Satélite em Las Cruces. A proposta foi discutida e modificada durante um seminário neste simpósio, e recomendado para o uso internacional.

Descrição geral do formato

O formato RINEX consiste em quatro tipos de arquivo ASCII:

1. Arquivo de dados de observação – que contém a informação do cabeçalho e os dados de fase e distância.
2. Arquivo de dados meteorológicos.
3. Arquivo da mensagem de navegação.
4. Arquivo de mensagem de navegação do GLONASS.

Cada tipo de arquivo consiste de uma seção de cabeçalho e uma seção de dados. Cada arquivo de dados de observação e meteorológico contém dados de um local e uma seção.

A seção de cabeçalho contém informação global para o arquivo inteiro e é colocado no início do arquivo. A seção de cabeçalho contém rótulos de cabeçalho nas colunas 61-80 para cada linha contida na nesta seção. Estes rótulos são obrigatórios e devem aparecer exatamente como dado nesta descrição.

```

2      0      G      RINEX VERSION / TYPE
TPX2RNX      JET PROPULSION LAB 19-MAR-1993 10:53 PGM / RUN BY /
DATE
TPX2RNX V1.31      SCW      COMMENT
TOPEX / POSEIDON      MARKER NAME
GPSDR      JET PROPULSION LABORATORY      OBSERVER / AGENCY
  97      GPSDR      REC # / TYPE / VERS
  4 L1 L2 P1 P2      # / TYPES OF OBSERV
1992  8 25  0  0 11.000000      TIME OF FIRST OBS
RAW DATA WITHOUT CYCLE SLIP      COMMENT
                                END OF HEADER
93 11 18 0 0 10.0000000 0 6 23 17 01 22 28 21
-68074535.97700 -53045100.09800 -12954153.38400 -12954155.26400
-62985815.69000 -49079862.14900 -11985802.20300 -11985803.65700
-88693163.26300 -69111563.58300 -16877747.83300 -16877749.69800
-80773156.95500 -62940127.39300 -15370620.65600 -15370621.96100
-73064081.74700 -56933061.20200 -13903632.55500 -13903635.07900
-79447334.74000 -61907020.19200 -15118325.10800 -15118326.64800

```

Figura 5- Exemplo de arquivo de dados de observação em formato Rinex.

Modelagem de Dados

Os dados de observação dos satélites são enviados a cada 10 segundos, continuamente, para todos os satélites visíveis ao usuário, tornando o arquivo de dados muito extenso. Para facilitar o manuseio dos dados e fazer um pré-processamento, onde os dados de má qualidade deverão ser rejeitados, foi desenvolvido um programa em linguagem *Fortran*, adaptando a subrotina LFIT do capítulo 14 do *Numerical Recipes* da Editora *Cambridge Univ. Press* (Press et al., 1986).

A subrotina LFIT ajusta os dados através de um polinômio de grau máximo 3, que comprimirá no mínimo 10, no máximo 30 dados.

Os gráficos mostram os dados de observação enviados durante um período de 24 horas de uma única frequência. Os dados expostos representam os dados brutos e os dados após o ajuste. O gráfico 1 representa os dados da fase portadora em L1. O gráfico 2 representa os dados da pseudodistância em L1.

Dados do dia 16 de Novembro de 1.993.

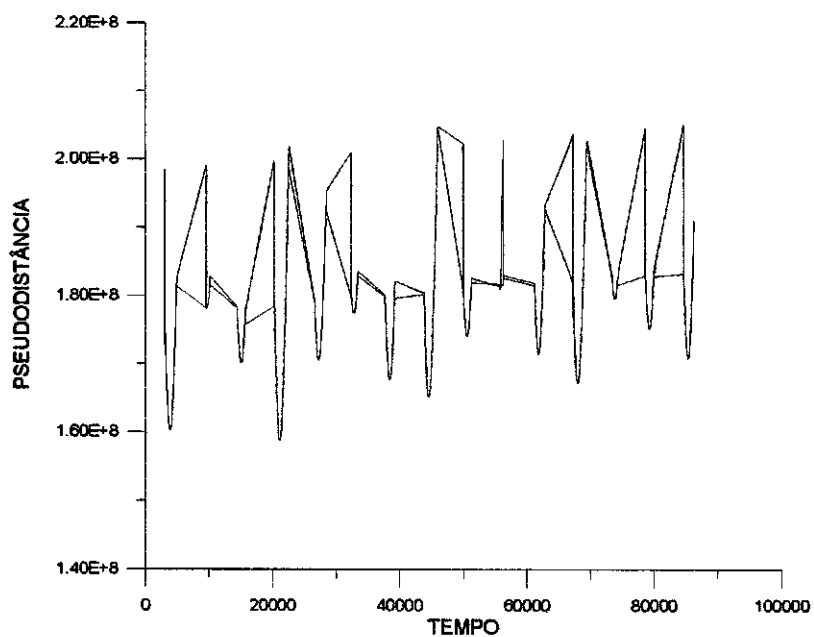


Gráfico 1- Dados da fase da portadora em L1.

Linha Vermelha: Dados do dia 16 de novembro de 1.993 antes do ajuste.

Linha Azul: Dados do dia 16 de novembro de 1.993 após ao ajuste.

Dados do dia 17 de Novembro de 1.993.

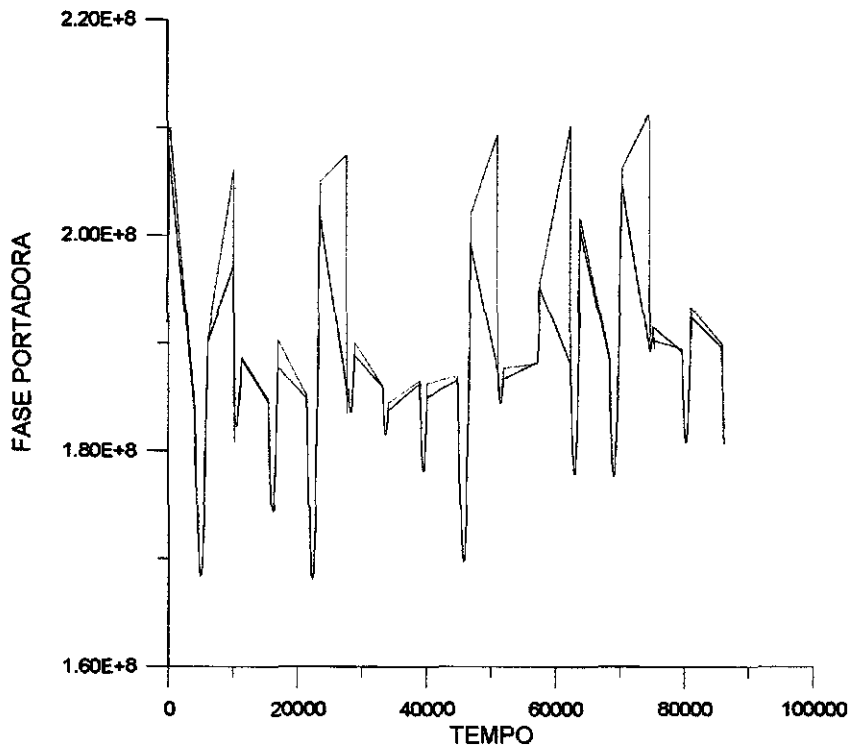


Gráfico 2- Dados da pseudodistância em L1.

Linha Verde: Dados do dia 17 de novembro de 1.993 antes do ajuste.

Linha Violeta: Dados do dia 17 de novembro de 1.993 após ao ajuste.

Conclusão

A seguir são mostrados três gráficos resultantes da execução dos programas de modelagem de dados e verificação de resultados.

Analisando os gráficos e as medidas estatísticas da Qui-quadrada, podemos concluir que o programa de ajuste de curvas através de um polinômio é confiável.

Bibliografia:

- ❖ Press, H. W.; Flannery, B. P.; Teukolsky, S. A.; Vetterling, W. T. **Numerical Recipes.**
- ❖ Cambridge University Press, 3. edição, 1987. 818p.

- ❖ Seeber, G. **Satellite Geodesy: Foundations, Methods and Applications.** Walter de Gruyter, 1993. 531p.

- ❖ Strang, G.; Borre, K. **Linear Algebra, Geodesy and GPS.** Wellesle-Cambridge Press, Wellesle, EUA, 1997. 624p.

Apêndice:

Listagem do Programa

```
PROGRAM MODELO
□
C
□
C*****
C Este programa condensa os arquivos de dados de observação
C do GPS em formato RINEX. Comprime os dados através de
C um polinômio.
C
C ENTRADA DE DADOS:
C
C Arquivo de dados de observação em RINEX sem o cabeçalho
C MA = grau da polinômio
C Z = tipo de observação
C = 1 para fase da portadora em L1 (CICLOS)
C = 2 para fase da portadora em L2
C = 3 para código em L1 (METROS)
C = 4 para código em L2
C NDAT = número de dados que serão comprimidos
C
C SAÍDA DE DADOS:
C
C PRN = Número do satélite
C X(1) = instante inicial
C X(NDAT) = instante final
C A(MA) = coeficientes do polinômio
C
C*****
C
C INTEGER N,MA,NDAT,Z,MAX,J,K,NUM ! max= máximo grau do polinômio
C PARAMETER (MAX=4)
C PARAMETER (N=8640)
C INTEGER IA(MAX),PRN(30)
C REAL*8 OBS(32,N,4),SIG(N),COVAR(MAX,MAX),A(MAX),
C * CHISQ,X(N),Y(N)
C EXTERNAL FUNCS ! chamado por subrotina
C
C OPEN (1,FILE='93nov16.dat')
C OPEN (2,file='161193.dat')
C OPEN (3,file='dados16.dat')
C OPEN (4,file='sc161193.dat')
C OPEN (5,FILE='chisq16.dat')
C
C READ (3,100) MA ! grau do polinômio
C READ (3,100) Z ! tipo de observação
C READ (3,100) NDAT ! quantidade de dados MÁXIMO=30
C
C CALL OBSERV
C REWIND(2)
C NUM=1
C
C DO WHILE (.NOT. EOF(2))
C
C DO K=NUM,NDAT
C READ(2,*) PRN(K) Y(K) (OBS(DM(K) Z T) T-1 A)
```

```

Y(K)=OBS (PRN (K) ,K,Z)
SIG(K)=1.
  IF (K.GE.2) THEN          !Verifica se muda de satélite
    IF (EOF(2)) STOP        !Verifica se é o fim do arquivo
    IF (PRN (K) .NE. PRN (K-1)) THEN !Guarda a última informação lida
      PRN (1)=PRN (K)      !porque pertence ao último
      SIG (1)=SIG (K)      !próximo satélite
      X (1)=X (K)
      Y (1)=Y (K)
      GOTO 500
    ELSE
      IF ((X (K)-X (K-1)).GT.20.D0) GOTO 600
    ENDIF
  ENDIF
ENDDO
C
C 500 IF (K.LT.NDAT) GOTO 700      !Ignora últimos dados < ndat
C
C DO L=1,MA
C IA(L)=L
C ENDDO
C
C CALL LFIT (X,Y,SIG,NDAT,A,IA,MA,COVAR,MA,CHISQ,FUNCS)
C
C WRITE (4,*) PRN (NDAT),X (1),X (NDAT), (A (L),L=1,MA)
C WRITE (5,*) PRN (NDAT),x (1),x (ndat),chisq
C
C NUM=1
C GOTO 600
C
C 700 NUM=2
C 600 ENDDO
C
C 100 FORMAT (I6)
C
C 800 STOP
C END

SUBROUTINE OBSERV
C*****
C
C Este programa lê os arquivos de observação que estão por
C ordem de época e gravá-os por ordem de satélite.
C
C Arquivo entrada: dados de observação por ordem de época
C Arquivo de saída: dados de observação por ordem de satélite
C*****
C
C INTEGER YY,MM,DY,HH (8640),MI (8640),
C * FLAG,NGPS,PRN (6)
C REAL*8 SS (8640),OBS (32,8640,4),X1 (32,8640)
C
C N=0
C
C***** Leitura de dados
C
C DO WHILE (.NOT. EOF (1))
C N=N+1
C WRITE (*,*) N
C READ (1,100) YY,MM,DY,HH (N),MI (N),SS (N),FLAG,

```

```

*          NGPS, (PRN(K), K=1,NGPS)
C
C***** Leitura das observações para cada satélite em cada época
C
      DO K=1,NGPS
        READ(1,200) (OBS(PRN(K),N,J),J=1,4)
        X1(PRN(K),N) = HH(N)*3600 + MI(N)*60 + SS(N)
      ENDDO
    ENDDO
C
***** Gravação dos dados de observações por ordem de satélite
C
      DO M=1,32
        DO I=1,N
          IF (OBS(M,I,1) .EQ. 0.0) GOTO 500
          WRITE(2,300) M,X1(M,I), (OBS(M,I,J), J=1,4)
500      ENDDO
        ENDDO
C
100  FORMAT (5I3,F11.7,I3,I3,6I3)
200  FORMAT (2F17.5,F16.5,F17.5)
300  FORMAT (I3,3X,F11.3,2F17.5,F16.5,F17.5)
C
      CLOSE(1)
      ENDFILE (2)
      RETURN
      END

SUBROUTINE lfit(x,y,sig,ndat,a,ia,ma,covar,npc,chisq,funcs)
C
      INTEGER ma,ia(ma),npc,ndat,MMAX
      REAL*8 chisq,a(ma),covar(npc,npc),sig(ndat),x(ndat),y(ndat)
      EXTERNAL funcs
      PARAMETER (MMAX=50)
C
      INTEGER i,j,k,l,m,mfit
      REAL*8 sig2i,sum,wt,ym,afunc(MMAX),beta(MMAX)
C
      mfit=0
C
      do j=1,ma
        if(ia(j).ne.0) mfit=mfit+1
      enddo
C
      if(mfit.eq.0) pause 'lfit: no parameters to be fitted'
      do j=1,mfit
        do k=1,mfit
          covar(j,k)=0.
        enddo
        beta(j)=0.
      enddo
C
      do i=1,ndat
        call funcs(x(i),afunc,ma)
        ym=y(i)
        if(mfit.lt.ma) then
          do j=1,ma
            if(ia(j).eq.0) ym=ym-a(j)*afunc(j)
          enddo
        endif
        sig2i=1./sig(i)**2
        i=0

```

```

do l=1,ma
  if (ia(l).ne.0) then
    j=j+1
    wt=afunc(l)*sig2i
    k=0
    do m=1,l
      if (ia(m).ne.0) then
        k=k+1
        covar(j,k)=covar(j,k)+wt*afunc(m)
      endif
    enddo
    beta(j)=beta(j)+ym*wt
  endif
enddo
C
do j=2,mfit
  do k=1,j-1
    covar(k,j)=covar(j,k)
  enddo
enddo
C
call gaussj(covar,mfit,npc,beta,1,1)
j=0
C
do l=1,ma
  if(ia(l).ne.0) then
    j=j+1
    a(l)=beta(j)
  endif
enddo
C
chisq=0.
do i=1,ndat
  call funcs(x(i),afunc,ma)
  sum=0.
  do j=1,ma
    sum=sum+a(j)*afunc(j)
  enddo
  chisq=chisq+((y(i)-sum)/sig(i))**2
enddo
call covsrt(covar,npc,ma,ia,mfit)
C
return
END

```

```

SUBROUTINE covsrt(covar,npc,ma,ia,mfit)
C
INTEGER ma,mfit,npc,ia(ma)
REAL*8 covar(npc,npc)
INTEGER i,j,k
REAL*8 swap
C
do i=mfit+1,ma
  do j=1,i
    covar(i,j)=0.
    covar(j,i)=0.
  enddo
enddo
k=mfit
do j = mfit, j - 1

```

```

        if(ia(j).ne.0)then
            do i=1,ma
                swap=covar(i,k)
                covar(i,k)=covar(i,j)
                covar(i,j)=swap
            enddo
            do i=1,ma
                swap=covar(k,i)
                covar(k,i)=covar(j,i)
                covar(j,i)=swap
            enddo
            k=k-1
        endif
    enddo
C
    return
    END

    SUBROUTINE funcs(x,afunc,ma)
C
    INTEGER i,ma
    REAL*8 x,afunc(ma)
C
    afunc(1)=1.
    afunc(2)=x
C
    do i=3,ma
        afunc(i)=x**(i-1)
    enddo
C
    return
    END
    SUBROUTINE gaussj(a,n,np,b,m,mp)
C
    INTEGER m,mp,n,np,NMAX
    REAL*8 a(np,np),b(np,mp)
    PARAMETER (NMAX=50)
    INTEGER i,icol,irow,j,k,l,ll,indx(NMAX),indxr(NMAX),ipiv(NMAX)
    REAL*8 big,dum,pivinv
C
    do j=1,n
        ipiv(j)=0
    enddo
C
    do i=1,n
        big=0.
        do j=1,n
            if(ipiv(j).ne.1)then
                do k=1,n
                    if (ipiv(k).eq.0) then
                        if (abs(a(j,k)).ge.big)then
                            big=abs(a(j,k))
                            irow=j
                            icol=k
                        endif
                    endif
                enddo
                else if (ipiv(k).gt.1) then
                    pause 'singular matrix in gaussj'
                endif
            enddo
        enddo
    enddo
    enddo

```



```

    ipiv(icol)=ipiv(icol)+1
    if (irow.ne.icol) then
      do l=1,n
        dum=a(irow,l)
        a(irow,l)=a(icol,l)
        a(icol,l)=dum
      enddo
      do l=1,m
        dum=b(irow,l)
        b(irow,l)=b(icol,l)
        b(icol,l)=dum
      enddo
    endif
    indxr(i)=irow
    indxc(i)=icol
    if (a(icol,icol).eq.0.) pause 'singular matrix in gaussj'

    pivinv=1./a(icol,icol)
    a(icol,icol)=1.
    do l=1,n
      a(icol,l)=a(icol,l)*pivinv
    enddo
    do l=1,m
      b(icol,l)=b(icol,l)*pivinv
    enddo
    do ll=1,n
      if(ll.ne.icol)then
        dum=a(ll,icol)
        a(ll,icol)=0.
        do l=1,n
          a(ll,l)=a(ll,l)-a(icol,l)*dum
        enddo
        do l=1,m
          b(ll,l)=b(ll,l)-b(icol,l)*dum
        enddo
      endif
    enddo
  enddo
c
do l=n,1,-1
  if(indxr(l).ne.indxc(l))then
    do k=1,n
      dum=a(k,indxr(l))
      a(k,indxr(l))=a(k,indxc(l))
      a(k,indxc(l))=dum
    enddo
  endif
enddo
c
return
END

```