

INPE
Centro de Informação e Documentação
DOAÇÃO
SELPER/Brasil
Em: 19/10/90



IV SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE PERCEPCION REMOTA

1989 • SAN CARLOS DE BARILOCHE • ARGENTINA



INTI



UNLu

1^a Conferencia sobre AVHRR



T. 9506

INDICE GENERAL

TOMO III

1ª Conferencia sobre AVHRR

"Análisis espacial y temporal de datos satelitarios NOAA/AVHRR utilizando funciones empíricas ortogonales". S. Segal, M. Mejjail, M.M.Schultze, H. Karszenbaum. ARGENTINA	948
"Utilización de técnicas geoestadísticas en la determinación de mapas de isotermas a partir de datos de temperatura de superficie obtenidos con satélite y barcos". H. Karszenbaum, ARGENTINA. F. Gohin, FRANCIA. M. Mejjail, ARGENTINA	958
"Navegação para Imagens NOAA/AVHRR em microcomputador" D.C. Figueiredo, A. Setzer, BRASIL	968
"Índice de vegetação NOAA/AVHRR para a América do Sul". D.C. Figueiredo, A. Setzer. BRASIL	979
"Detecção e localização de queimadas a partir de imagens NOAA/AVHRR". D.C. Figueiredo, A. Setzer. BRASIL	987
"Regional climate and crop monitoring with NOAA-AVHRR In France". Bernard Seguin, Jean-Pierre Lagouarde, Yann Kerr, FRANCE	992

OCEANOGRAFIA Y MEDIO AMBIENTE COSTERO

"Proposta para inventário espectral e monitoramento da região do complexo lagunar de Cananeta - Iguape utilizando dados obtidos da imagem do satélite TM/LANDSAT". Carmen Regina Silveira Espíndola, BRASIL	1002
"Análise e seleção de imagens rasas, para a caracterização morfotopográfica da restinga, a partir de classificação digital supervisionada". Ana Lucia Costa de Oliveira Galvão, Vitor Celso de Carvalho, BRASIL"	1007

PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMAGENES

"Geração de modelos de grade triangular em ambiente de microcomputador". Carlos Alberto Felgueiras, Claudia Akiko Urashima, Marcia Lopes Cancio Pereira Soares, BRASIL	1022
"Aplicação das transformações "TM tasseled cap" na determinação da umidade do solo". Márcia Regina Labuto Frago da Silva, Gélson Vieira de Mendonça, BRASIL	1029
"Spatial filters application in multispectral images preprocessing to classification purposes". Marcelo Alves de Barros, José Eustaquio Rangel de Queiroz, Arnaldo de Albuquerque Araújo, BRASIL	1039
"Use of principal components and canonical analysis in remote sensing for classification of data". Dr. Kunwar K. Rampal, INDIA	1049
"Classificação de amostras de textura por momentos e distâncias da função de autocorrelação". Sílvia Shizue Li, Luciano Vieira Dutra, Nelson D. A. Mascarenhas, BRASIL	1064

NAVEGAÇÃO PARA IMAGENS NOAA/AVHRR EM MICROCOMPUTADOR

D. C. FIGUEIREDO

Min. Agric. / Sec. Informática, S.A.I.O. Área do INEMET, Ed. SECINF,
CEP 70000 Brasília-DF, Brasil

A. SETZER

INPE/CSA - C. postal 515 CEP 12201 São José dos Campos - SP, Brasil

RESUMO

Foram desenvolvidos programas de navegação para microcomputador objetivando a determinação da correspondência entre coordenadas geográficas e pontos de imagens obtidas pelo sistema sensor AVHRR, instalado a bordo dos satélites da série NOAA. São dois os programas: no primeiro, são obtidas as coordenadas geográficas a partir de elementos (linha, pixel), da imagem; no segundo, trata-se do caso inverso. Ambos foram desenvolvidos em linguagem "C" para microcomputador tipo "IBM-PC" e têm como base um conjunto de parâmetros orbitais recebidos diariamente. Como resultados práticos do uso de tais programas cita-se os atuais sistemas de obtenção de índices de vegetação e o de detecção de queimadas para nosso continente em operação no CSA/ INPE.

ABSTRACT

This paper describes a method used to navigate AVHRR images of the NOAA satellites using a microcomputer. Two main programs were developed: calculation of geographical coordinates from the image elements (line and pixel number), and also the inverse calculation. "C" programming language and an "IBM-PC"-type computer were used, and input data are the satellite orbital parameters updated daily. As application examples the monitoring of biomass burnings and of the vegetation index in South-America in use at CSA/ INPE are presented.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem ocorrido importantes desenvolvimentos no sensoriamento remoto terrestre que afetarão positivamente os conhecimentos sobre o assunto. Um destes desenvolvimentos tem sido o uso de dados de satélites de alta frequência temporal e baixa resolução espacial para o sensoriamento remoto.

O principal sensor para o monitoramento da superfície terrestre em baixa resolução espacial tem sido o "Advanced Very High Resolution Radiometer" (AVHRR) a bordo dos satélites meteorológicos norte-americanos das séries "National Oceanic and Atmospheric Administration" (NOAA). As características principais deste sistema são a captação de dados de baixa resolução espacial e de alta resolução radiométrica multiespectral para toda superfície da Terra em base diária a custos relativamente baixos.

A natureza multitemporal dos dados tem possibilitado aos pesquisadores dedicação aos aspectos do monitoramento global e regional do sensoriamento remoto até então impraticáveis devido a insuficiência de imageamentos sem cobertura de nuvens e aos grandes volumes de dados associados com a alta resolução espacial dos sistemas LANDSAT e SPOT. Os dados de baixa resolução espacial constituem importante fonte de informações complementando os atuais dados de alta resolução espacial.

Até recentemente as imagens NOAA/AVHRR foram utilizadas no Brasil com certo grau de dificuldade em decorrência das distorções geométricas e da impossibilidade de posicionamento espacial em tais imagens. Aplicações na meteorologia e principalmente no sensoriamento remoto necessitam obter informações para regiões e/ou localidades de interesse pré-estabelecidas. Deste modo, o valioso potencial de informações contido nesta base de dados tem sido estagnado pela impossibilidade de tratamento geométrico destas imagens, restringindo quase que totalmente suas possibilidades de uso.

O objetivo do presente trabalho foi o desenvolvimento de programas de navegação com vistas a auxiliar na solução dos problemas acima caracterizados.

2. ALGORÍTMOS

Os programas foram desenvolvidos em linguagem C (DOS), para microcomputador tipo "IBM-PC".

No primeiro caso da navegação determina-se as coordenadas geográficas (latitude, longitude), conhecendo-se as coordenadas (linha, pixel) de pontos sobre a imagem AVHRR; no segundo, trata-se do caso inverso.

Os algoritmos de navegação utilizados, detalhados a seguir, foram obtidos a partir do modelo apresentado por Medeiros et alii (1986).

Seja um satélite em órbita circular, (figura 1), de raio (R_0) e inclinação (I) conhecidos, em torno de um elipsóide de revolução que possui um sistema de eixos (x, y, z), fixo neste, e cruzando a linha do Equador, (plano xy), numa longitude conhecida (Lo_0).

O ponto de interseção do plano orbital com a linha do Equador no lado ascendente da órbita muda com o tempo segundo a equação:

$$L_o = L_{o0} + (\pi / 2) * (1 - j) - T_{vl} * t \quad (1)$$

onde: $j = 1$ para órbita ascendente; $j = -1$ para órbita descendente; t é o tempo decorrido antes (< 0) ou após (> 0) o cruzamento pelo Equador e T_{vl} é dado por :

$$T_{vl} = V_{at} - T_p$$

onde: V_{at} é a velocidade angular da Terra e T_p é a taxa de precessão da órbita em questão.

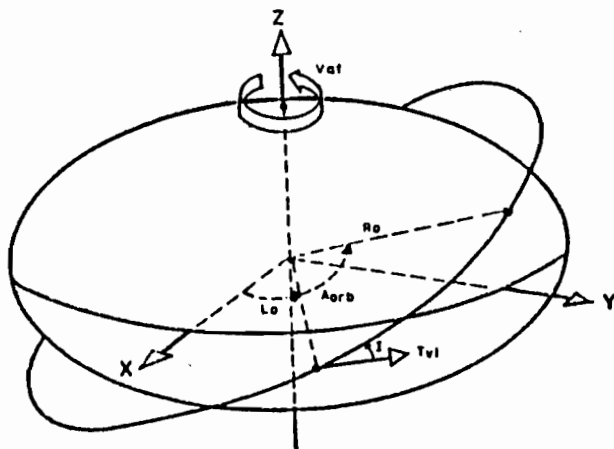


Fig. 1 - GEOMETRIA ORBITAL CONHECIDA.

O movimento do satélite no plano orbital pode ser equacionado por:

$$A_{orb} = (\pi / 2) * (1 - j) + V_{as} * t \quad (2)$$

onde: A_{orb} representa o ângulo total medido a partir do cruzamento ascendente pelo Equador até o satélite, e V_{as} a velocidade angular do mesmo.

O tempo t pode ser obtido por:

$$t = t_1 + t_2 \quad (3)$$

onde: t_1 é o tempo decorrido entre o imageamento da linha em questão e o cruzamento pelo Equador, (positivo acima e negativo abaixo do Equador). Pode ser obtido tendo-se em vista serem conhecidos: 1) tempo inicial de gravação; 2) tempo no cruzamento pelo Equador; 3) frequência de varredura de linhas. t_2 é o tempo de varredura do pixel em questão, tendo-se como origem o plano orbital. Pode ser obtido tendo-se em vista serem conhecidos: 1) frequência de varredura de pixels; 2) número do pixel no plano orbital; 3) sentido de varredura.

O ângulo de varredura para o pixel em questão pode ser obtido por:

apresentando as duas soluções para a coordenada x:

$$x_1 = -b + (\Delta)^{1/2} \quad (23a)$$

$$x_2 = -b - (\Delta)^{1/2} \quad (23b)$$

e, as demais coordenadas, a partir de:

$$y_1 = a_1 + b_1 * x_1 \quad (24a)$$

$$y_2 = a_1 + b_1 * x_2 \quad (24b)$$

$$z_1 = a_2 + b_2 * x_1 \quad (25a)$$

$$z_2 = a_2 + b_2 * x_2 \quad (25b)$$

obtendo-se assim, as coordenadas (x_1, y_1, z_1) e (x_2, y_2, z_2) , dos dois pontos-solução do sistema de equações do segundo grau, onde, deve ser escolhido aquele que se encontra mais próximo da posição do satélite, distante R_m vezes o versor posição. Para tanto, são calculadas as distâncias r_1 , e r_2 do satélite aos dois pontos-solução:

$$r_1 = ((R_m * x - x_1)^2 + (R_m * y - y_1)^2 + (R_m * z - z_1)^2)^{1/2} \quad (26a)$$

$$r_2 = ((R_m * x - x_2)^2 + (R_m * y - y_2)^2 + (R_m * z - z_2)^2)^{1/2} \quad (26b)$$

Se $r_1 < r_2$, então o ponto solução (x_p, y_p, z_p) , é dado por:

$$x_p = x_1 \quad (27a)$$

$$y_p = y_1 \quad (27b)$$

$$z_p = z_1 \quad (27c)$$

Se $r_1 > r_2$, então:

$$x_p = x_2 \quad (28a)$$

$$y_p = y_2 \quad (28b)$$

$$z_p = z_2 \quad (28c)$$

Se $r_1 = r_2$, a varredura é tangente à Terra¹ e os dois pontos coincidem.

Se $\Delta < 0$ a varredura é feita no espaço, não tocando a Terra, e neste caso não há solução determinada.

Com a solução, (x_p, y_p, z_p) , as coordenadas geográficas, latitude (Lat_p) e longitude (Lon_p) do ponto são obtidas pelas equações:

$$Lat_p = \arctan ((E * z_p) / (x_p^2 + y_p^2)^{1/2}) \quad (29)$$

$$Lon_p = \arctan (y_p / x_p) \quad (30)$$

b) Caso inverso

O problema inverso é definido fornecendo-se as coordenadas geográficas, latitude e longitude, e determinando-se o número da linha e o número do elemento (pixel) observado na imagem. Para tanto, o problema é colocado na forma do sistema de equações do segundo grau a três incógnitas:

$$A_3 * x + B_3 * y + C_3 * z = 0 \quad (31)$$

$$A_4 * x + B_4 * y + C_4 * z = 0 \quad (32)$$

$$x^2 + y^2 + z^2 = R_m^2 \quad (33)$$

Onde, as duas últimas equações representam a órbita, aqui equacionada como a interseção da esfera de raio orbital (R_m), e o plano orbital (A_4, B_4, C_4) , e a primeira equação, o plano de varredura (A_3, B_3, C_3) , cuja interseção com a órbita, fornece o ponto posição do satélite, (figura 3).

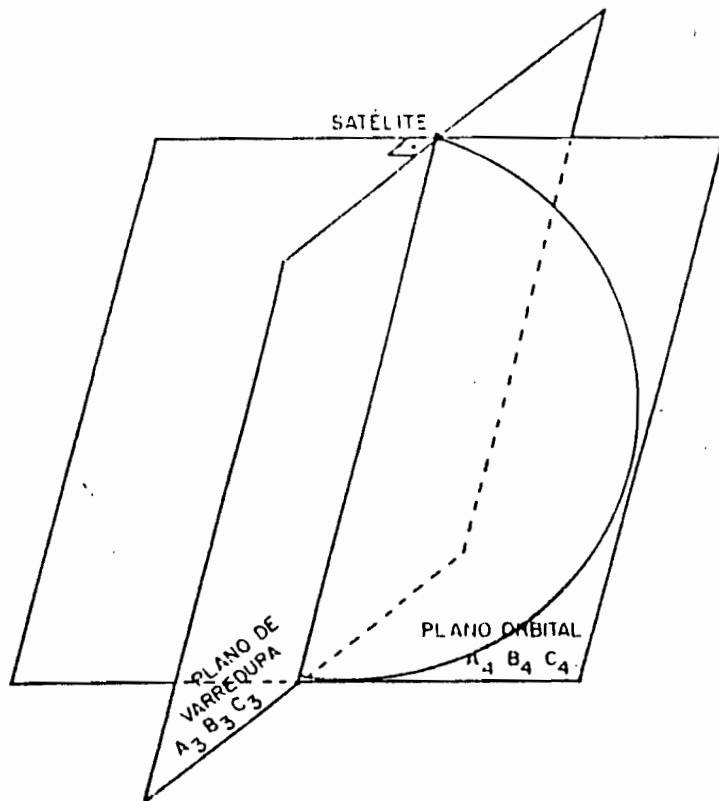


Fig. 3 - GEOMETRIA DOS PLANOS QUE DEFINEM A POSIÇÃO DO SATÉLITE.

Neste caso, o tempo a partir do cruzamento com o Equador (t), não é conhecido, sendo obtido iterativamente a partir da posição calculada do satélite, através da solução do sistema de equações acima. Para obtenção dos coeficientes destas equações, o tempo (t) é inicializado com o tempo do cruzamento pelo Equador, (parâmetro conhecido), e redefinido pela posição calculada do satélite, reentrando na iteração para melhorar os valores dos coeficientes das equações, até que haja uma convergência.

Dados a latitude e a longitude, do ponto observado pelo satélite sobre o elipsóide terrestre, definido pela equação (11), a distância radial, (D_r), deste ponto e da latitude geocêntrica (Lat_g), (figura 4), podem ser obtidas por: .

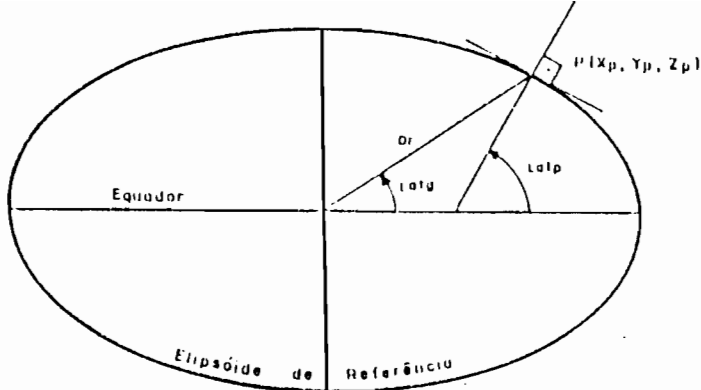


Fig. 4 - LATITUDES GEOCÊNTRICA (LATG) E GEODÉSICA (LATP).

$$\text{Latg} = \arctan ((\tan (\text{Latp})) / E) \quad (34)$$

$$\text{Dr} = (1 - \text{fa}) / (1 - \text{fa} * (2 - \text{fa}) * \cos^2(\text{Latg}))^{1/2} \quad (35)$$

O versor ponto geográfico observado pelo satélite sobre o elipsóide terrestre pode ser obtido por:

$$xg = \text{Dr} * \cos(\text{Latg}) * \cos(\text{Lonp}) \quad (36a)$$

$$yg = \text{Dr} * \cos(\text{Latg}) * \text{sen}(\text{Lonp}) \quad (36b)$$

$$zg = \text{Dr} * \text{sen}(\text{Latg}) \quad (36c)$$

A partir deste ponto inicia-se o processo iterativo propriamente.

Utilizando-se as equações 1, 7a, 7b, e 7c com t inicialmente igual ao tempo do cruzamento pelo Equador, obtém-se o versor normal ao plano orbital (x_n, y_n, z_n). Então os coeficientes da equação que define o plano de varredura (A_3, B_3, C_3), podem ser obtidos a partir do produto vetorial do versor normal ao plano orbital (x_n, y_n, z_n) pelo versor ponto geográfico (x_g, y_g, z_g), resultando em:

$$A_3 = y_n * z_g - z_n * y_g \quad (37a)$$

$$B_3 = z_n * x_g - x_n * z_g \quad (37b)$$

$$C_3 = x_n * y_g - y_n * x_g \quad (37c)$$

As componentes do versor normal coincidem com os coeficientes do plano orbital, ficando assim definidos:

$$A_4 = x_n \quad (38a)$$

$$B_4 = y_n \quad (38b)$$

$$C_4 = z_n \quad (38c)$$

E o sistema de equações pode ser resolvido da seguinte forma:

$$a_1 = (A_3 * C_4 - A_4 * C_3) / (B_4 * C_3 - B_3 * C_4) \quad (39a)$$

$$a_2 = (A_4 * B_3 - A_3 * B_4) / (B_4 * C_3 - B_3 * C_4) \quad (39b)$$

levando a duas soluções:

$$x_1 = R_m / (1 + a_1^2 + a_2^2)^{1/2} \quad (40a)$$

$$y_1 = a_1 * x_1 \quad (40b)$$

$$z_1 = a_2 * x_1 \quad (40c)$$

$$\begin{aligned}
 e \\
 x_2 &= -x_1 & (41a) \\
 y_2 &= -y_1 & (41b) \\
 z_2 &= -z_1 & (41c)
 \end{aligned}$$

A escolha da solução, (x_s, y_s, z_s) , pode ser resolvida a partir das distâncias do ponto geográfico à posição do satélite:

$$r_1 = ((x_g - x_1)^2 + (y_g - y_1)^2 + (z_g - z_1)^2)^{1/2} \quad (42a)$$

$$r_2 = ((x_g - x_2)^2 + (y_g - y_2)^2 + (z_g - z_2)^2)^{1/2} \quad (42b)$$

se $r_1 \leq r_2$ então:

$$x_s = x_1; \quad (43a)$$

$$y_s = y_1; \quad (43b)$$

$$z_s = z_1; \quad (43c)$$

senão:

$$x_s = x_2; \quad (44a)$$

$$y_s = y_2; \quad (44b)$$

$$z_s = z_2; \quad (44c)$$

E finalizando o processo iterativo, o tempo (t) , procurado para reentrada no processo, pode ser obtido por:

$$t = \arcsen(z_s / (R_m * \sen(I))) / (2 * \pi / \text{Persat}) \quad (45)$$

Após a convergência de t , para se obter o número do elemento é necessário calcular o ângulo de varredura conforme a seguir.

Inicialmente o versor varredura pode ser obtido por:

$$x_{var} = x_g - x_s \quad (46a)$$

$$y_{var} = y_g - y_s \quad (46b)$$

$$z_{var} = z_g - z_s \quad (46c)$$

seja:

$$\text{num} = x_{var} * x_n + y_{var} * y_n + z_{var} * z_n \quad (47)$$

$$\text{den} = x_{var}^2 + y_{var}^2 + z_{var}^2 \quad (48)$$

O ângulo de varredura é então obtido por:

$$\text{avar} = \pi / 2 - \arccos(\text{num} / (\text{den})^{1/2}) \quad (49)$$

E finalmente o número do pixel pode ser obtido:

$$\text{Elem} = \text{pixc} - \text{avar} / \text{IFOV} \quad (50)$$

onde pixc é o número do elemento na coluna central da imagem

Para obtenção do número da linha é necessário acrescentar ao tempo t , o tempo de varredura do elemento:

$$t = t + \text{pixel} / \text{Fvarre} \quad (51)$$

onde Fvarre é a frequência de varredura de elementos.

E finalmente o número da linha pode ser obtido:

$$\text{Linha} = (t + t_{cruz} - t_{inic}) * \text{Fvarrl} \quad (52)$$

onde: t_{cruz} é o tempo no cruzamento pelo Equador; t_{inic} é o tempo inicial de gravação; F_{varr} é a frequência de varredura de linhas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os algoritmos possibilitaram a obtenção de alguns resultados práticos, aqui citados a título de exemplo. Os dois casos abaixo descritos foram implementados para o equipamento de processamento digital de imagens da série "SITIM".

Utilizando-se os programas de navegação foi desenvolvido um sistema aplicativo destinado a geração de imagens-mosaico de índices de vegetação para a América do Sul na região compreendida entre as coordenadas 0 a 45 graus sul e 32 a 77 graus oeste, (Figueiredo e Setzer, 1989a). Estas imagens são produzidas a partir de imagens brutas dos satélites polares NOAA/AVHRR, com resolução espacial de 5 km, corrigidas geometricamente para sistema de projeção cartográfica convencional.

A partir destes programas desenvolveu-se também um sistema de detecção de queimadas a partir de imagens brutas do sistema sensor AVHRR instalados nos satélites polares NOAA (Figueiredo e Setzer, 1989b). Neste sistema, além de imagens de focos de queimadas corrigidas geometricamente, são gerados arquivos com as coordenadas geográficas dos focos detectados.

4. CONCLUSÕES

Os testes realizados foram compatíveis aos níveis de precisão esperados com imagens AVHRR, ou seja da ordem de 1,1 km, para as aplicações de índices de vegetação e queimadas. No caso da imagem de índice de vegetação observa-se significativa precisão na sobreposição de feições geográficas, tais como rios nas divisas de estados e a região costeira, com o mapa de divisões políticas. Na detecção de queimadas testes de campo vêm comprovando alto percentual de acerto na localização dos focos detectados.

Pelo que se tem observado das aplicações até o presente, tratamentos digitais das imagens NOAA/AVHRR em equipamento de pequeno porte, são operacionalmente viáveis.

Os programas de navegação têm se apresentado como base para desenvolvimento de novos programas aplicativos nas áreas do sensoriamento remoto e meteorologia.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a todos os colegas do Instituto de Pesquisas Espaciais da Secretaria Especial de Ciência e Tecnologia e da Secretaria de Informática do Ministério da Agricultura que direta ou indiretamente contribuíram para a realização do trabalho.

G. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FIGUEIREDO D. C.; SETZER A. Índice de vegetação NOAA/AVHRR para a América do Sul. In: Simpósio Latino-americano de Sensoriamento Remoto, IV., Bariloche - Argentina, 20-24 nov. 1989. Anais.
- FIGUEIREDO D. C.; SETZER A. Detecção e localização de queimadas a partir de imagens NOAA/AVHRR. In: Simpósio Latino-americano de Sensoriamento Remoto, IV., Bariloche - Argentina, 20-24 nov. 1989. Anais.
- JUSTICE, C.O. Editorial. Int. J. remote Sensing, 7(11):1385-1390, 1986.
- KIDWELL, K.B. NOAA polar orbiter data (TIROS-N, NOAA-6, NOAA-7, NOAA-8 and NOAA-9) users guide. Washington, DC, NOAA/NESDIS, 1986.
- MEDEIROS, V.M.; TANAKA, K.; YAMAZAKI, Y. Sistema de navegação dos dados AVHRR dos satélites da série NOAA. In: Simpósio Latino-americano de Sensoriamento Remoto, 6., Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 4., Gramado, 10-15 ago. 1986. Anais. São José dos Campos, INPE, 1986. p.464-471.