

ESTUDOS DE VIABILIDADE DE UMA CÂMERA CCD PARA OS SATÉLITES BRASILEIROS DE SENSORIAMENTO REMOTO

A. Lopes Filho e M.L. Selingardi

Instituto de Pesquisas Espaciais

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

Caixa Postal, 515 - 12200 - São José dos Campos, SP, Brasil

RESUMO

Considera-se a utilização de uma câmera CCD como instrumento de sensoriamento remoto a ser instalado a bordo dos 3º e 4º satélites previstos na Missão Espacial Completa Brasileira. Tal escolha deve-se principalmente às limitações de peso e volume impostas pelo veículo lançador e, por outro lado, à alta confiabilidade e performance oferecidas pelos CCD no estágio atual. Neste tipo de câmera, cada linha de imagem, varrida pelo movimento do veículo, é focalizada sobre uma barrinha de detectores. A varredura na linha é feita eletronicamente, pela leitura sequencial dos detectores. Portanto, dispensam-se as partes móveis da varredura óptica-mecânica, que implicariam em peso e volume maiores. Pretende-se, também, que a câmera seja multiespectral; neste caso, serão necessárias mais de uma barrinha, nas quais a banda de radiação incidente será selecionada por meio de prismas e filtros dicróicos. As características principais, até agora especificadas, são: barrinhas CCD com 1728 elementos; resolução espacial de 50 m na terra, para órbita de aproximadamente 640 km de altitude; largura de traço de 86,4 km; e 4 bandas espectrais (0,45 a 0,51  $\mu\text{m}$ ; 0,53 a 0,59  $\mu\text{m}$ ; 0,61 a 0,69  $\mu\text{m}$  e 0,79 a 0,90  $\mu\text{m}$ ).

ABSTRACT

The use of a CCD camera as the remote sensing instrument to be used on board of the 3<sup>th</sup> and 4<sup>th</sup> satellites of the Brazilian Complete Space Mission has been considered. This choice is related mainly to the limitations in weight and volume imposed by the launcher and, on the other hand, to the high degree of performance and reliability achieved by the CCD. In this kind of camera lines of the image, scanned by the spacecraft motion are projected on a detector array. The scan across the line is electronic, by sequential reading. Thus, the moving components of the optical-mechanical scanner are eliminated resulting in lower weight and volume. Consideration has been given also to a multispectral camera; in this case more than one array will be necessary, and the spectral band reaching each array will be selected by prisms and dichroic filters. The main characteristics until now specified are CCD bars with 1728 detectors; spatial resolution of 50 m on ground with an orbit of approximately 640 km high; swath width of 86,4 km; 4 spectral bands (0,45 to 0,51  $\mu\text{m}$ , 0,53 to 0,59  $\mu\text{m}$ ; 0,61 to 0,69  $\mu\text{m}$  and 0,79 to 0,90  $\mu\text{m}$ ).

1. INTRODUÇÃO

Como está previsto na Missão Espacial Completa Brasileira, o 3º e o 4º satélites serão de sensoriamento remoto. O que se pretende com estes lançamentos é dar continuidade ao levantamento de dados sobre recursos minerais, florestais, agrícolas, etc., assim como monitorar alterações provocadas no meio ambiente, dentro do território brasileiro. Atualmente o Brasil já possui toda infraestrutura para recepção e tratamento dos dados, porém recebidos de satélites de outros países, daí a expressão "dar continuidade".

Portanto, há necessidade de um instrumento de sensoriamento remoto, no caso uma câmera, que permita a obtenção contínua de ima

gens, de preferência em várias bandas do espectro eletromagnético e de boa qualidade com relação à resolução espacial e à sensibilidade. As aplicações pretendidas para o satélite brasileiro foram levadas em conta na escolha das bandas de detecção e da resolução espacial. Isto porque somente através da correlação entre certas bandas do espectro é possível a realização de certas missões como, por exemplo, a diferenciação entre tipos de culturas agrícolas. Por outro lado, uma resolução espacial deficiente leva a grandes erros em estimativas das medidas de superfície.

O presente trabalho é um estudo sobre o tipo de câmera que preenche os requisitos necessários para as Missões de Sensoriamento Remo

to, assim como uma apresentação do sistema escolhido e suas características principais.

## 2. LIMITAÇÕES IMPOSTAS AO PROJETO

Antes de entrar em considerações a respeito dos possíveis sistemas a serem utilizados, é necessário frisar certas limitações impostas ao projeto.

O veículo lançador a ser utilizado poderá atingir a órbita pretendida de 640 km de altitude, se o peso do satélite não for muito maior do que 250 kg. Ao mesmo tempo, existem limitações quanto ao volume disponível para a carga útil e à potência elétrica obtível do subsistema de suprimento de energia. Os estudos de viabilidade foram executados, mantendo-se as seguintes restrições:

Massa  $\leq$  30 kg

Volume  $\leq$  30 litros

Consumo elétrico:

$\leq$  30 watts durante a atividade

$\leq$  5 watts em vigília.

Outra limitação é a taxa máxima de dados digitalizados, manipulável por telemetria que, no caso, deverá ser menor do que 7 Mbits/seg.

## 3. TIPOS DE INSTRUMENTOS DE IMAGEAMENTO

Paralelamente à fotografia, quando é possível a recuperação do filme, o "scanner" óptico-mecânico é o instrumento mais utilizado para imageamento da superfície terrestre em aeronaves.

A operação de um "scanner" baseia-se (Lowe, 1975a), na reflexão de campo de visada de um detector, através de um espelho girante, de tal maneira que as linhas de imagem perpendiculares ao movimento da aeronave sejam varridas. A velocidade de varredura é ajustada de tal modo que as linhas sucessivas sejam adjacentes, ou tenham pequeno recobrimento. Assim, o espelho girante provê a varredura transversal, enquanto o movimento da aeronave provê a varredura longitudinal (Figura 1).

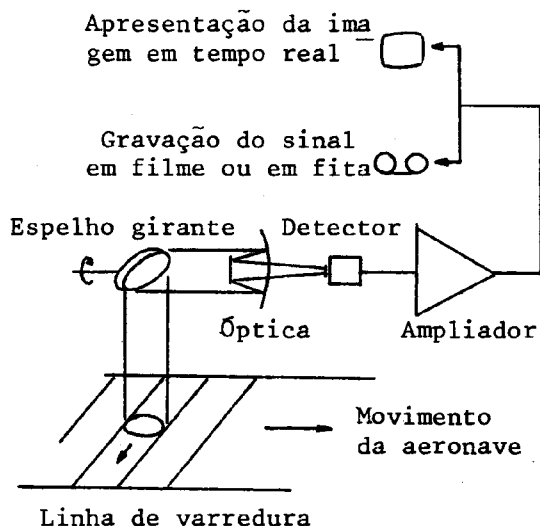


Fig. 1 - Esquema de um "scanner" óptico-mecânico.

Em comparação com câmeras fotográficas de mesma resolução, "scanners" óptico-mecânicos são instrumentos complexos, mas apresentam muitas vantagens (Lowe, 1975a): o imageamento pode ser feito em frequências fora da sensibilidade fotográfica (limitada em  $1,2 \mu\text{m}$ ); o sinal, sendo elétrico, pode ser prontamente transmitido, gravado ou processado confor-

me convenha; a gama dinâmica dos detectores geralmente é maior do que as dos filmes, e o processo de detecção pode ser revertido, isto é, através de uma calibração, o dado obtido pode ser transformado em medidas radiométricas quantitativas.

Com o avanço dos dispositivos acoplados pela carga ("Charge Coupled Devices - CCD") nos últimos anos, uma nova geração de câmeras está sendo desenvolvida. O processo consiste em ler eletronicamente uma barrinha de cerca de um polegada, a qual contém milhares de detectores, colocada no plano focal do sistema de sensoriamento. Assim, com a projeção da linha a ser imageada sobre a barrinha de detec

tores, a varredura passa a ser eletrônica (Figura 2) e, conseqüentemente, dispensa-se o espelho girante, o que implica em diminuição de peso, volume e energia consumida. Além disso devido às pequenas dimensões dos detectores utilizados (da ordem de microns), pode-se trabalhar com pequena distância focal da óptica, manter uma boa resolução espacial e garantir assim a restrição de volume (Lowe, 1975b)

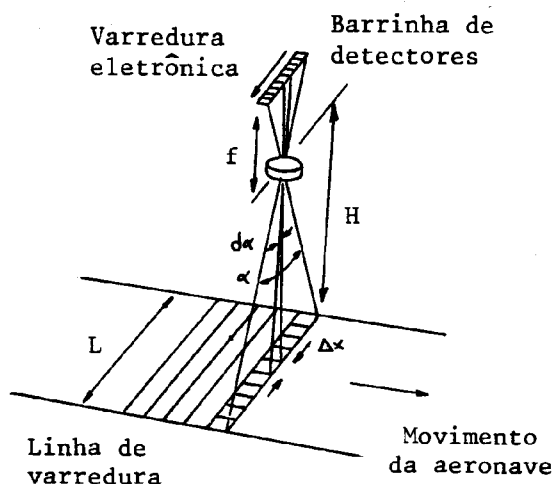


Fig. 2 - Imageador com detectores do tipo CCD com os parâmetros mais importantes.

Apesar de oferecer muitas vantagens sobre o "scanner", a câmara CCD (conhecida como "push broom camera") apresenta certas desvantagens inerentes ao processo de varredura: o campo necessário à óptica é muito grande, pois toda a linha deve ser focalizada simultaneamente; existem variações não-negligenciáveis quanto às características dos detectores elementares, sendo portanto necessárias diversas calibrações no solo, antes do lançamento, e operações particulares de correção radiométrica das imagens recebidas, para uniformizar as características de todos os detectores. Finalmente, restritas apenas pelo estágio tecnológico atual, as barrinhas comercializadas possuem detectores de silício, cuja detectividade espectral não passa de  $1,0 \mu\text{m}$ .

#### 4. ESCOLHA DOS DETECTORES

Como o desenvolvimento de detectores próprios é demorado e custoso, e a possibilidade de um "scanner" está descartada pelas próprias restrições impostas, optou-se pela uti

lização das barrinhas CCD com detectores de silício, encontradas no mercado atual.

A priori a escolha recaiu sobre as barrinhas com 1728 detectores, distanciados de  $13 \mu\text{m}$ . A utilização de barrinhas com 2048 elementos poderá ser considerada, porém elas não são tão qualificadas, no momento, para testes espaciais.

Os detectores escolhidos permitem atingir uma resolução espacial da ordem de 50 m no solo, para uma órbita de ~ 640 km de altitude. Desta forma são possíveis medidas interessantes, mesmo em pequenos campos (em torno de 1 ou 2 hectares). Qualquer tentativa para aumentar tal resolução implicará (Lowe, 1973) um aumento de peso e taxa de transmissão, assim como no próprio custo do projeto.

A resposta espectral dos detectores de silício permite a cobertura de faixas espectrais úteis para o imageamento do solo brasileiro ( $0,4$  e  $1,0 \mu\text{m}$ ) mas com impossibilidade de detecção no infravermelho termal (8 a  $14 \mu\text{m}$ ).

A caracterização das barrinhas deverá ser realizada em laboratório, de forma a levantar os parâmetros gerais dos detectores, assim como suas variações ao longo delas. Serão medidas: resposta espectral, corrente de escuro, variação da sensibilidade com a temperatura, variação do ruído com o sinal de entrada, linearidade, etc.

## 5. ESPECIFICAÇÕES PRINCIPAIS DO INSTRUMENTO

Os estudos até agora realizados levaram à definição das características pretendidas para a câmera, apresentadas a seguir:

### 5.1 - BANDAS ESPECTRAIS DE OBSERVAÇÃO

A Figura 3 apresenta as bandas espectrais de observação que são:

- 1) 0,45 a 0,51  $\mu\text{m}$  - discriminação entre solo e vegetação.
  - na água: hidrologia continental.
  - estudos de sedimentação e correntes em zonas costeiras.
- 2) 0,53 - 0,59  $\mu\text{m}$  - pico verde da vegetação.
- 3) 0,61 - 0,69  $\mu\text{m}$  - absorção da clorofila
- 4) 0,79 - 0,90  $\mu\text{m}$  - região de alta reflectância da vegetação (permite conhecer sua densidade-biomassa - e seu estado de saúde.

As quatro bandas serão separadas através de prismas e filtros dicróicos, e cada uma incidirá sobre uma barrinha de detectores.

### 5.2 - ESPELHO DE MUDANÇA DE TRAÇO

Prevê-se a possibilidade de alterar o ângulo de observação com relação à vertical. Desta forma, obter-se-ão imagens estereoscópicas de uma região, quando a câmera for direcionada para ela em ângulos diferentes (Figura 4). Tal alteração será conseguida por meio de um espelho móvel.

O ângulo de inclinação máximo será de  $30^\circ$  para ambos os lados, o que permitirá um deslocamento de 440 km do traço na superfície.

### 5.3 - ÓPTICA

Definiram-se até o momento as seguintes características da óptica (Figura 2):

- Distância focal:  $f = 167 \text{ mm}$
  - Campo angular:  $\alpha = 7^\circ,704$
  - Largura de traço correspondente no solo =  $L = 86,4 \text{ km}$
  - Resolução angular:  $d\alpha = 7,8 \times 10^{-5} \text{ rd}$
- Estes dados foram obtidos considerando-se:
- . Dimensão de detector:  $dx = 13 \mu\text{m}$
  - . Elemento de resolução no solo:  $\Delta x = 50\text{m}$
  - . Altitude da órbita:  $H = 641,6 \text{ km}$
- Diâmetro da pupila de entrada:  $d = 44,5\text{mm}$ ,

Considerando-se:

- . Transmissão da óptica:  $\tau = 0,4$
- . Sensibilidade:  $N_e E = 0,8 \text{ nJ/cm}^2$

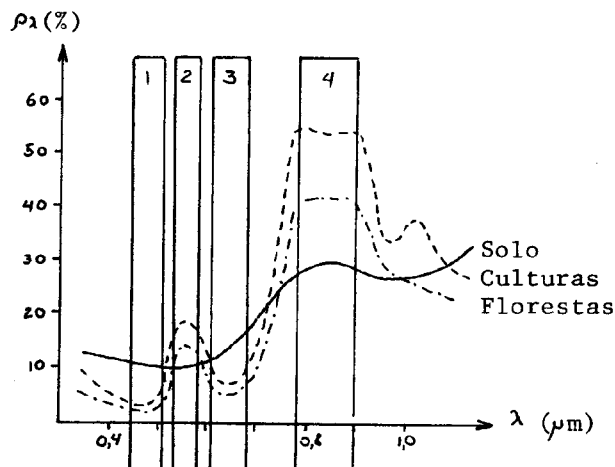


Fig. 3 - Reflectância dos alvos em função do comprimento de onda, e bandas escolhidas.

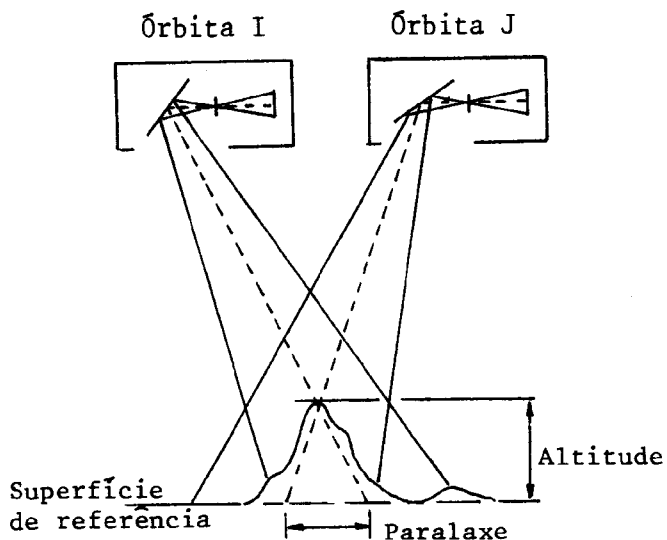


Fig. 4 - Princípio da estereoscopia para duas órbitas diferentes.

Na escolha da combinação óptica, as dificuldades residem nos seguintes pontos:

- Grande abertura de campo: próximo de  $8^\circ$ .
- Extensão da janela espectral.
- Necessidade de superfície focal plana, devida à utilização das barrinhas CCD.

Uma solução puramente dióptrica com 7 lentes, extrapolada de estudos anteriores, deverá ser utilizada.

#### 5.4 - ELETRÔNICA

Por razão de confiabilidade, cada banda espectral terá sua própria eletrônica de amplificação e tratamento do sinal. Este sinal deverá ser codificado em 8 bits e comprimido para 6 bits por "Differential Pulse Code Modulation-DPCM". Com a multiplexação das quatro bandas, obter-se-á uma cadência de telemetria de 5,7 Mbits/seg., que está dentro do limite préfixado.

#### 6. CONCLUSÃO

Dentro do planejamento do programa que visa a realização da câmera, foram iniciados os trabalhos para a escolha e a caracterização da barrinha CCD a ser utilizada. Dentro deste programa prevê-se a realização de um protótipo no final de 1984. Este experimento a ser instalado a bordo de um avião permitirá realizar exaustivos testes, possibilitando assim uma melhor confiabilidade no projeto final da câmera.

#### 7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

- LOWE, D.S.; PREDMOR, R. Electromechanical scanner. In: NASA. GSFC. *Advanced Scanners and imaging systems for earth observations*. Washington, D.C., 1973, p. 71-182.
- LOWE, D.S. Imaging and monimaging sensors. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. *Manual of remote sensing*. Falls Church, 1975a. v.1, p. 367-391.
- LOWE, D.S. Nonphotographic optical sensor. In: LINTZ JUNIOR, J.; SIMONETT, D.S. *Remote Sensing of environment*. 2. ed. Reding. 1975b. p.155-193.

