

UM MÉTODO PARA DETERMINAÇÃO DE "PIXELS" DE CONTROLE  
PARA O LANDSAT USANDO UM REFLETOR

Roberto Pereira da Cunha  
Luís Danilo Damasceno Ferreira  
Paulo Cesar Gurgel de Albuquerque

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq  
Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12200 - São José dos Campos - SP - Brasil

RESUMO

Descreve-se um método para a determinação de pontos de controle em imagens de satélites. O método consiste em obter áreas radiometricamente contrastadas em um ponto do terreno. Obtém-se o nível radiométrico no terreno usando um pequeno espelho, o qual corretamente posicionado para a geometria Sol-satélite permite um alto contraste radiométrico. Como resultado, obtém-se um "pixel" conspícuo em imagens de satélites. "Pixels" determinados desta maneira podem ser usados em correções geométricas, estudos radiométricos, registros de imagens, propósitos cartográficos, etc.

ABSTRACT

A method to determine ground control points on satellite imageries is described. The method consists in achieving a radiometrically contrasted area in a chosen point on the ground. Ground's radiometrical level is obtained by using a small, pointable mirror, which correctly positioned in the terrain for the sun-satellite (sensor) geometry, yields an area with a high radiometric contrast. As a result of this a conspicuous pixel is obtained on satellite imagery. Pixels determined in this way can be used for geometric corrections, radiometric studies, imagery coregistration, cartographic purposes, etc.

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho descreve um experimento que está sendo desenvolvido pelo INPE, o qual consiste no estudo de detecção de alvos artificiais através de satélites (i.e. LANDSAT). Especificamente, o experimento consiste na utilização de espelhos colocados na superfície da terra, de modo a produzir um *ponto brilhante* em imagens de satélite da série LANDSAT. Este tipo de experimento foi testado na Califórnia (EUA) para o satélite ERTS-1 e mostrou resultados satisfatórios (Evans, 1974). Slater (1980) apresenta uma descrição sucinta para o mesmo experimento.

O presente trabalho apresenta a conceituação teórica e o desenvolvimento prático para um experimento com um espelho na região de Cachoeira Paulista (SP). Nele são tratados a teoria de transferência de radiação, os aspectos geométricos (alvo-sensor-fonte de iluminação), as características radiométricas dos sensores dos LANDSATs 4 e 5 e os aspectos operacionais do experimento. São tratadas também as possíveis aplicações dos resultados do experimento: correções geométricas e radiométricas de imagens, registro de imagens multitemporais e modelos de transferência de radiação (correção atmosférica para sensoriamento remoto).

## 2. RESOLUÇÃO E PERFORMANCE DE UM SENSOR

Conceitos diversos de resolução de um sensor podem ser encontrados na literatura (e.g. Welch, 1971 e 1981; Colwell, 1983; Forshaw et alii, 1983). Para os propósitos deste trabalho, a resolução de um sensor é a especificada pelo seu fabricante. O fato de a resolução observada de um sensor diferir de sua resolução nominal é uma questão de performance do sensor que, por sua vez, pode depender do alvo observado. Por exemplo, um sensor com uma resolução geométrica nominal de 80 m pode discriminar uma estrada de 10 m de largura, caso haja um contraste radiométrico desta mesma estrada com os terrenos adjacentes. Isto é, a performance do sensor depende em parte do alvo. Portanto, modificando as condições do alvo (e.g. contraste radiométrico, posicionamento, etc.), pode-se propiciar condições de melhor performance para um sensor.

## 3. O ALVO

Como visto anteriormente, este estudo trata de alvos artificiais (i.e. controláveis). O alvo neste experimento é um espelho plano quadrado de dimensões 0,5 x 0,5 m. Este espelho possui uma base ajustável montada em um tripé. A base ajustável do espelho permite três movimentos ao longo de eixos mutuamente perpendiculares (Figura 1). Esta base permite posicionar o espelho para obter uma geometria na qual a normal ao espelho, o sensor (satélite) e os raios solares incidentes e refletidos fiquem situados em um mesmo plano (coplanares). Uma explicação mais detalhada desta geometria é encontrada na Seção 6.

O espelho utilizado neste experimento é do tipo comercial. Os espelhos geralmente incluem uma base resistente (e.g. vidro) e um filme de material com boas características de refletividade, geralmente metálico (e.g. alumínio, prata). Existem outros tipos de construções de espelhos de melhor performance, porém mais caros e menos práticos (e.g. Levi, 1968).

Os espelhos apresentam reflexão especular com valores de refletividade de geralmente acima de 80% (Figura 2), enquanto grande parte dos alvos naturais apresentam reflexão difusa com valores de reflectância da ordem de magnitude de 3 a 4 vezes menores (e.g. vegetação, visível), o que, por exemplo, permite razões de contraste de 4:1 ou maiores.

Adicionalmente, alvos artificiais, móveis, que apresentam reflexão especular (e.g. espelho) permitem que se oriente a direção de máxima reflexão para um ponto escolhido (e.g. satélite).

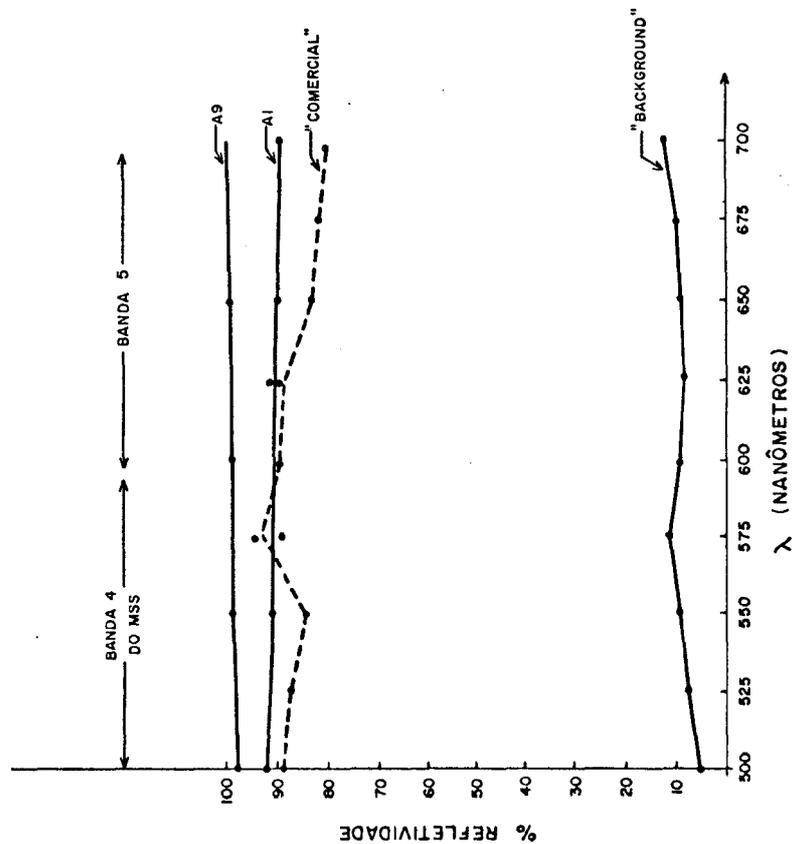


Fig. 2 - Refletividade de espelhos.

Esta figura ilustra curvas de refletividade para diferentes tipos de espelho. As curvas para espelhos de alumínio (Al) e prata (Ag) são baseadas em dados de Levi (1968). A curva assinalada como comercial corresponde ao espelho utilizado neste experimento. A curva marcada como "background" é para efeitos de comparação e representa uma área gramada.

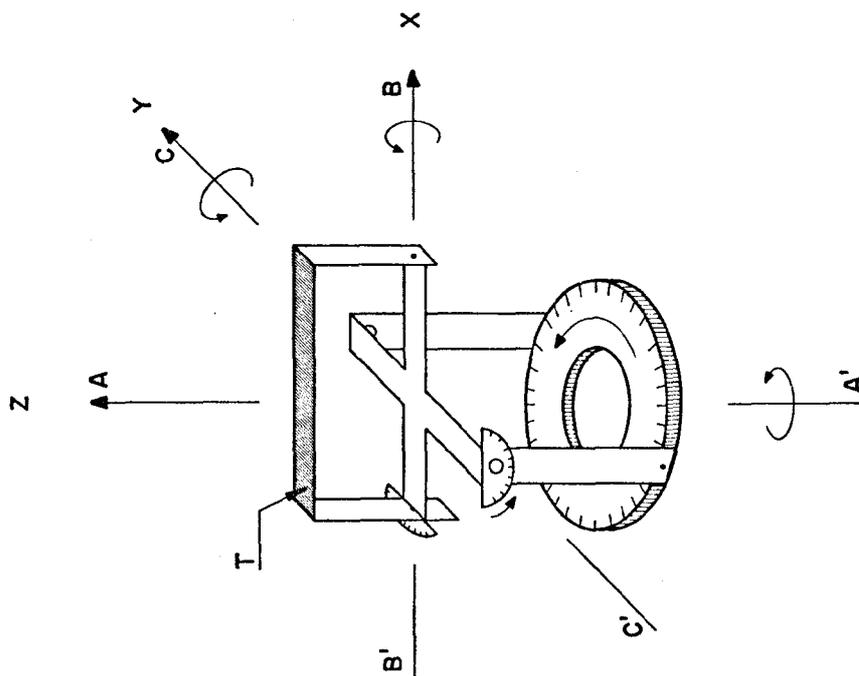
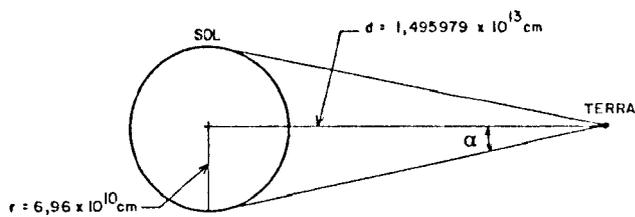


Fig. 1 - Base ou suporte do espelho.

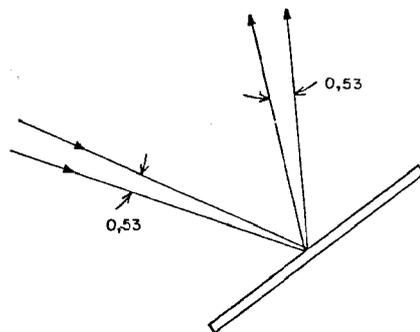
Um espelho é montado sobre a travessa "T" mostrada na figura, e o conjunto espelho mais suporte é montado sobre um tripé de topógrafo. Esta figura mostra também os principais eixos de rotação para movimentos com o espelho.

A Figura 3 ilustra os raios solares incidentes em um espelho plano. Estes raios apresentam uma divergência devida ao disco solar da ordem de meio grau; como resultado, os raios solares refletidos de um espelho plano apresentam, igualmente, uma divergência da ordem de meio grau. Desta forma, a uma altitude orbital de, por exemplo, 705 km os raios solares refletidos de um espelho plano formam um feixe de 6,52 km de largura (Figura 3). Espelhos curvos (convexos) formam, naturalmente, feixes de maior dimensão. O espelho utilizado neste experimento, por exemplo, apresenta uma divergência da ordem de 5 graus, que corresponde a uma área de aproximadamente de 62 km de largura à altura do satélite LANDSAT (i.e. 705,3 km).

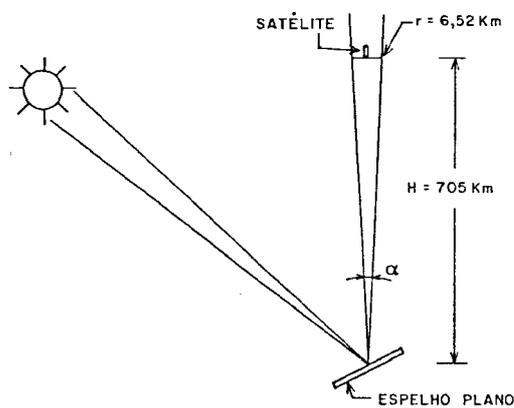


A = Raios solares incidentes na Terra.  
Spiro (1982)

$$\alpha = \text{Arc tan } \frac{r}{d} = 0,267 \quad 2 \alpha = 0,533$$



B = Raios solares refletidos de um espelho plano.



C = Feixes de raios solares refletidos ao nível orbital.

$$r = 2 \times \text{tg } \frac{\alpha}{2} \times H = 6,52 \text{ km}$$

Fig. 3 - Divergência dos raios solares.

#### 4 - O SENSOR

Nesta seção são descritas somente as características dos sensores do LANDSAT de interesse direto para o experimento, maiores detalhes podem ser vistos em Colwell (1983). As características do sensor de maior resolução do LANDSAT, Mapeador Temático (TM), são sumarizadas na Tabela 1.

TABELA 1

#### PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS SENSORES MSS E DO TM DOS LANDSAT 4 E 5

"MULTISPECTRAL SCANNER"(MSS)			"THEMATIC MAPPER"(TM)		
BANDA	$\lambda$ ( $\mu\text{m}$ ) <sup><math>\lambda</math></sup>	NE $\Delta\rho$ (%)	BANDA	$\lambda$ ( $\lambda\text{m}$ )	NE $\Delta\rho$ (%)
4	0.5-0.6	0.57%	1	0.45-0.52	0.8
5	0.6-0.7	0.57%	2	0.52-0.60	0.5
6	0.7-0.8	0.65%	3	0.63-0.69	0.5
7	0.8-1.1	0.70%	4	0.76-0.90	0.5
Resolução geométrica: 82 m			5	1.55-1.75	1.0
			6	10.2-12.5	0.5 <sup>o</sup> K
			7	2.08-2.35	2.4-120 m
			Resolução geométrica:30-120m		

FONTE: Colwell (1983).

#### 4.1 - Sistema ótico

O sistema ótico dos sensores LANDSATs inclui um espelho (plano) oscilante que direciona a luz refletida da superfície da terra para um telescópio do tipo Ritchey-Chretien Cassegrain, em cujo plano focal situam-se 18 tubos fotodetectors (bandas 4, 5, 6) e diodos de silício (canal 7).

O espelho oscila de modo a permitir a construção gradativa da imagem de oeste para leste. Isto é, uma linha de imagem é formada pelo movimento do espelho do sensor ao longo de um ângulo de rotação de 14,9 graus (campo de visada total) em incrementos de 0,006715 graus (campo de visada instantâneo), o que corresponde no terreno, respectivamente, a uma faixa com comprimento de 185.000 m e intervalos de 82,5 m (Alford and Barker, 1983). Em um destes incrementos do movimento do espelho, o sensor MSS irá "ver" (imagear) a radiação refletida de um ponto ao longo de uma linha do terreno como mostra o exemplo na Figura 4 (ver também Figura 5).

#### 4.2 - Características espectrais e radiométricas

As bandas espectrais dos sensores MSS e TM encontram-se na Tabela 1. Neste experimento são utilizadas as bandas 5 do MSS e 3 do Mapeador Temático. A razão da escolha destas bandas é o contraste, já que nestas faixas do espectro a vegetação apresenta tons de cinza escuros em imagens, isto se deve à absorção da radiação pela vegetação (i.e. clorofila).

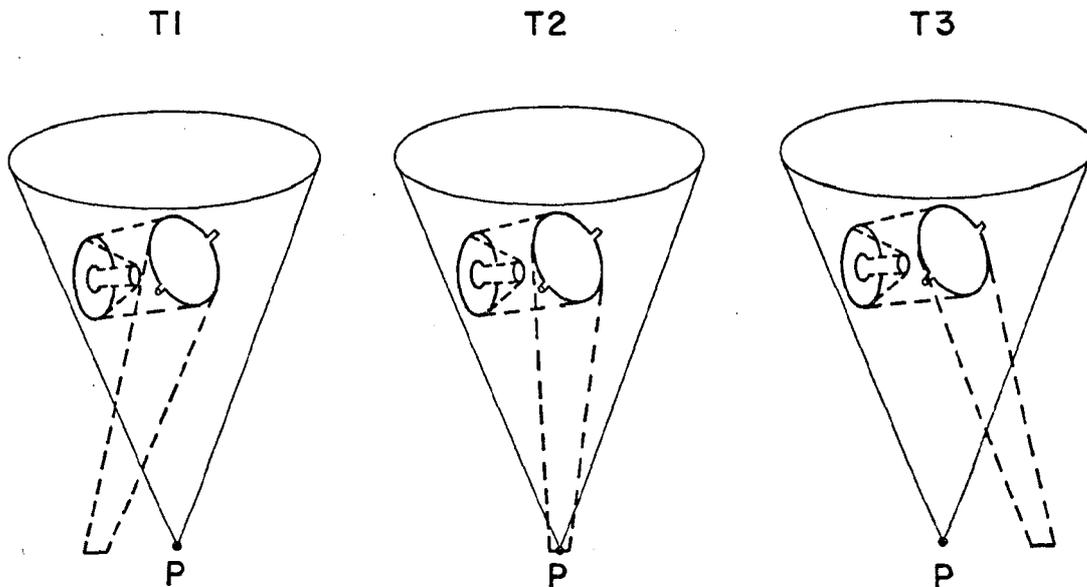


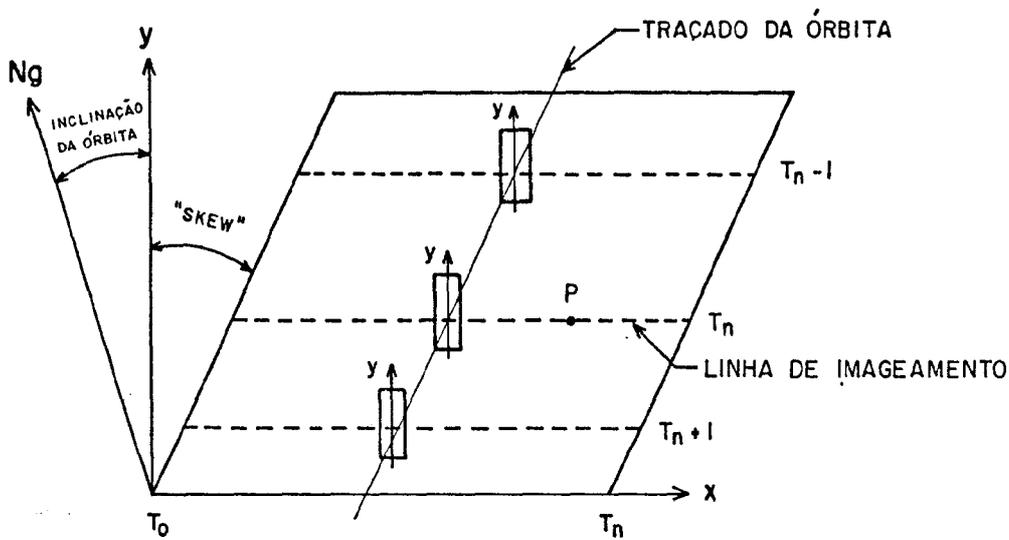
Fig. 4 - Representação esquemática de imageamento do LANDSAT.

Esta figura ilustra esquematicamente a sequência de imageamento do MSS-LANDSAT ao longo de uma linha no terreno. O cone maior (linha cheia) representa um feixe de raios solares refletidos em um espelho no terreno. O cone menor (linha tracejada) mostra porções do terreno imageadas pelo sensor em diferentes intervalos de tempo. O ponto P será efetivamente imageado no intervalo de tempo T2.

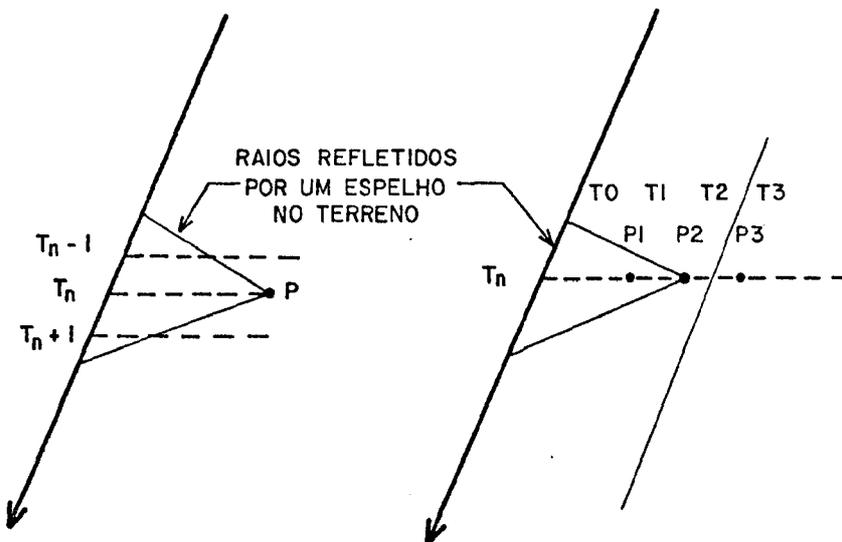
A energia refletida pela superfície da terra-atmosfera é detectada pelos sistemas sensores do LANDSAT em forma de radiância (microwatts/cm<sup>2</sup> e tereorradiano). Estes valores de radiância são convertidos posteriormente em números digitais (DNs) correspondentes a uma escala de cinza. A fórmula de conversão utilizada pelo sistema LANDSAT é ilustrada juntamente com a Figura 6, e os valores utilizados para esta conversão são encontradas na Tabela 2. Esta fórmula de conversão de radiância em números digitais é utilizada para converter dados radiométricos obtidos no campo, os quais são descritos a seguir (ver também Kowalick et alii, 1982).

##### 5 - MODELO DE TRANSFERÊNCIA DE RADIAÇÃO

Diversos são os modelos de transferência de radiação em Sensoriamento Remoto que visam principalmente correções do efeito atmosférico (Ahern et alii, 1977; Slater, 1980; Jackson et alii, 1983; Turner and Spencer, 1972). A finalidade principal do modelo de transferência de radiação neste trabalho é comparar os valores radiométricos obtidos no terreno, através de um radiômetro, com os valores correspondentes obtidos ao nível orbital, através dos sensores do satélite; este modelo é apresentado na Figura 6.



(A) Geometria de uma imagem LANDSAT  
 $T_0, T_1, T_2 \dots T_n$  - movimento do espelho do sensor  
 $T_n, T_{n+1}, T_{n+3} \dots$  - movimento do satélite

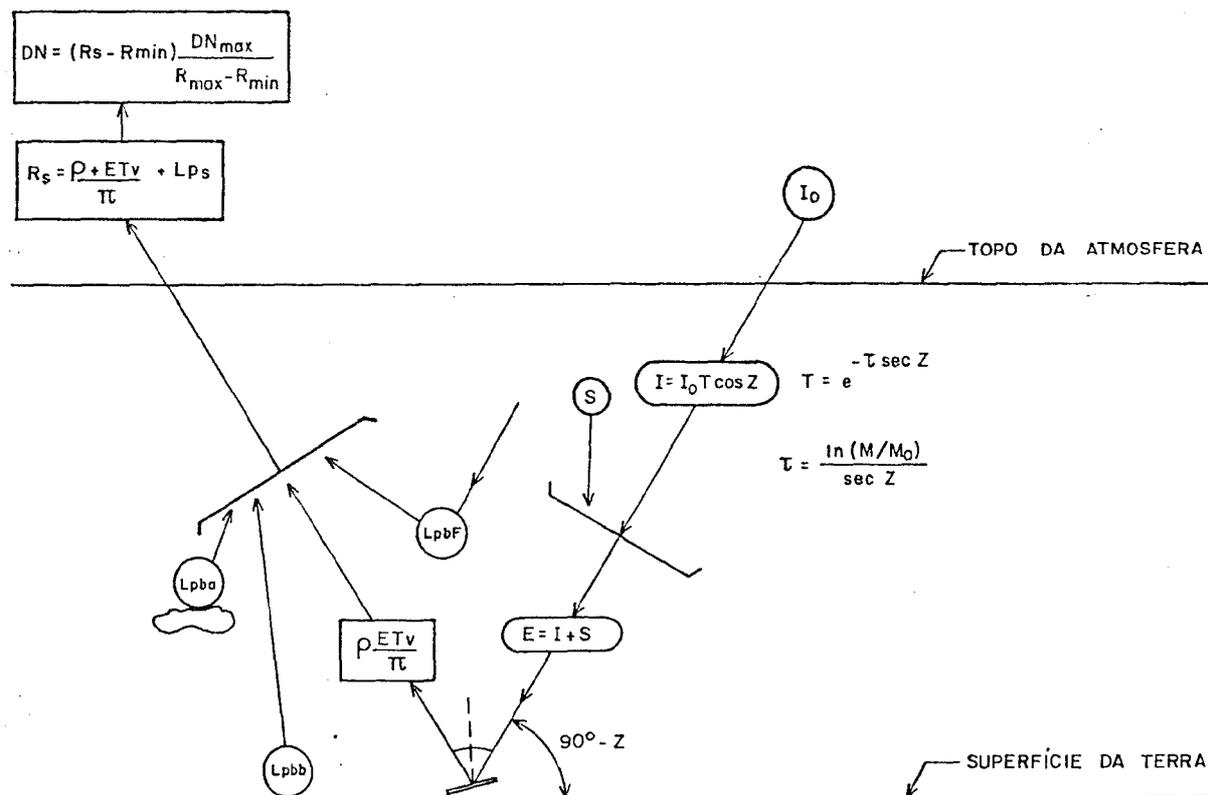


(B) Imageamento ao longo de uma imagem.

(C) Imageamento ao longo de uma linha.

Fig. 5 - Geometria de imageamento do LANDSAT.

Esta figura mostra uma representação esquemática da sequência de imageamento do LANDSAT *vista em planta*. A Figura 5A ilustra a sequência de formação de uma imagem completa. As Figuras 5B e 5C ilustram a sequência de imageamento entre três linhas sucessivas (6B) e entre três pontos sucessivos no terreno (6C).



- $\rho$  = refletividade do alvo  
 $L_p$  = radiância de trajetória (somatório)  
 $L_{pba}$  = componente devida ao retroespalhamento  
 $L_{pbf}$  = componente devida ao espalhamento direto  
 $L_{pbb}$  = componente de fundo ("background")  
 $I_0$  = irradiação solar extraterrestre (constante solar)  
 $I$  = irradiação solar direta  
 $T$  = transmitância atmosférica  
 $\tau$  = profundidade ótica ( $\tau = \tau_{mol} + \tau_p + \tau_a$ )  
 $E$  = irradiação solar total  
 $S$  = irradiação solar difusa ("skylight")  
 $\sec Z$  = "massa atmosférica"  
 $M, M_0$  = medidas de irradiação para diferentes "massas atmosféricas"

Fig. 6 - Esquema do modelo de transferência de radiação (modificado de Hulstrom, 1974; Richardson et alii, 1980).

TABELA 2

VALORES NORMALIZADOS DAS CONSTANTES DE CALIBRAÇÃO  
(Rmax - Rmin) DOS SENSORES DO LANDSAT

BANDA	Rmin	Rmax	DNmax	DNmax/Rmax-Rmin
4	0.04	2.38	128	54.7
5	0.04	1.64	128	78
6	0.05	1.42	128	93.4
7	0.12	3.49	128	38
				MSS
1	-0.15	15.21	256	16.7
2	-0.28	29.68	256	8.5
3	-0.12	20.43	256	12.5
4	-0.15	20.62	256	12.3
5	-0.037	2.719	256	92.9
7	-0.015	1.438	256	176.2
				TM

FONTES: NASA (1984)

Através da fórmula:

$$DN = \frac{DN_{max}}{R_{max}-R_{min}} (R_s - R_{min}), \quad (1)$$

podem-se obter os valores de radiância de um ponto do terreno (RS), medidos pelos sensores do LANDSAT. Inversamente, através de medidas radiométricas no terreno, podem-se calcular os valores de radiância (RS) de um ponto do terreno ao nível do satélite através da equação:

$$RS = \frac{\rho + ET}{\pi} + Lps, \quad (2)$$

onde:

RS = radiância de um ponto do terreno ao nível do satélite,  
 ρ = reflectância do alvo,  
 E = irradiância solar total,  
 T = transmitância atmosférica,  
 Lps = radiâncias de trajetória.

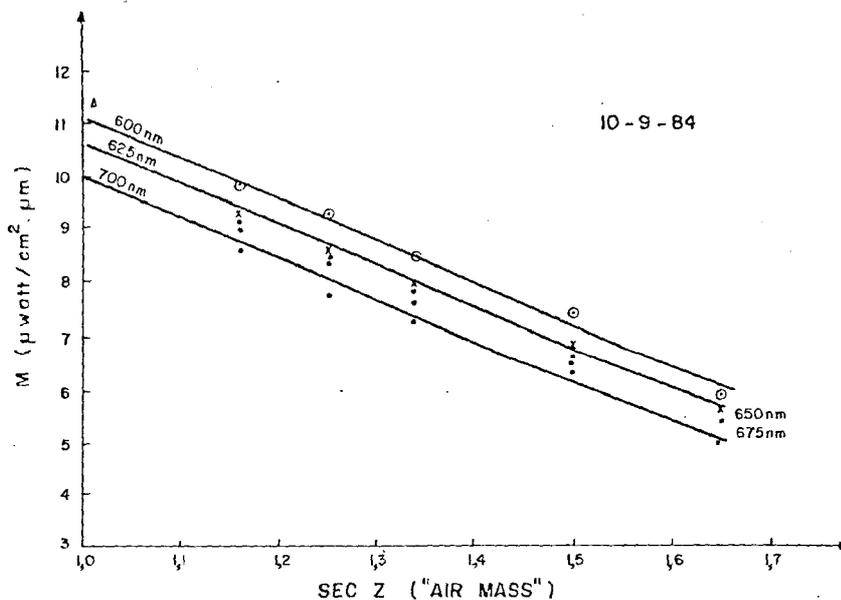
A irradiância solar total e a reflectância do alvo são medidas através de um espectrorradiômetro ("ISCO-Spectroradiometer"). A profundidade óptica (τ), a qual serve para o cálculo da transmitância atmosférica (Figura 6) é obtida fazendo medidas de irradiância em diferentes horas do dia (Figura 7). Para a trajetória compreendida entre o alvo e o sensor, a equação da transmitância atmosférica:

$$T = e^{-\tau \sec \theta} \quad (3)$$

reduz-se a:

$$T_v = e^{-\tau} \cdot \sec \theta \cong 1, \quad (4)$$

uma vez que o desvio do ângulo de visada do nadir para sensores do LANDSAT é de apenas 7,5 graus (Kaneko and Engwall, 1977).



$\lambda$	coef. correlação	$M_0$	$\tau = \frac{\ln(M/M_0)}{\text{sec } Z}$	$T = e^{-\tau}$ (%)
600	0,9949	19,1	0,6126	0,5419
625	0,9829	18,6	0,6582	0,5178
650	0,9975	17,9	0,6268	0,5342
675	0,9988	17,7	0,6466	0,5238
700	0,9912	16,2	0,6057	0,5457

$$R_s = \frac{\rho \times E \times T}{\pi} = 1,5856 \text{ mwatts/ester.cm}^2$$

$$DN = (R_s - R_{min}) \times 78 \approx 120 \text{ (escala 0-127)}$$

Fig. 7 - Profundidade ótica e transmitância atmosférica.

Neste exemplo os valores de profundidade ótica ( $\tau$ ) são obtidos através de medidas de irradiância em diferentes horários (sec $\theta$ ); a partir destes valores calcula-se a transmitância atmosférica para um horário escolhido (e.g. 9:30 hs,  $M = 7,62$ ;  $\lambda = 675$ ,  $M_0 = 17,7$ ). Com o valor de transmitância e o valor de radiância do espelho pode-se calcular o valor digital do "pixel" correspondente a imagens LANDSAT. O valor obtido neste exemplo é de 120, ou seja, próximo a saturação.

A radiância de trajetória (Lps) pode ser negligenciada para um alvo com reflectância especular elevada (e.g. espelho). Para alvos naturais (e.g. vegetação) a radiância de trajetória representa a diferença entre a radiância medida no terreno com o espectrorradiômetro (e calculada ao nível de satélite, Equação 2) e a radiância medida diretamente pelos sensores do LANDSAT. Esta diferença pode ser utilizada para a correção radiométrica devido ao efeito atmosférico. Adicionalmente, uma vez conhecidos os parâmetros acima, é possível fazer a estimativa dos valores de radiância para diferen

tes pontos do terreno utilizando imagens LANDSAT, desde que se tenha um "pixel" de controle, cujo método de determinação é demonstrado neste trabalho.

## 6 - GEOMETRIA SENSOR-ALVO-SOL

Será tratada aqui a geometria sensor-alvo-Sol, ou seja, a solução geométrica que permite que os raios solares após incidirem sobre o alvo refletam e sensibilizem o sensor situado no satélite, em um determinado instante de tempo. De acordo com a Figura 8, o plano formado pelo raio incidente e a normal ao espelho não coincide com o plano formado pelo raio incidente e a posição do sensor (satélite).

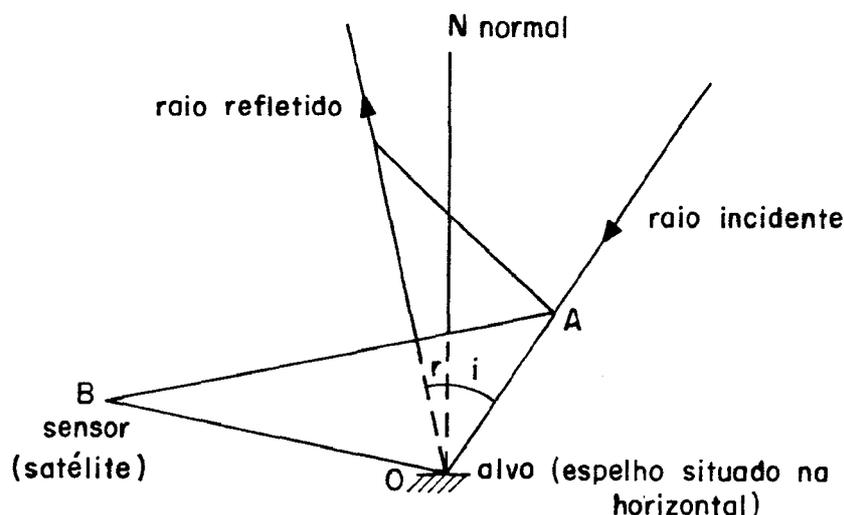


Fig. 8 - Geometria sensor-alvo-Sol.

Para que o raio refletido sensibilize o sensor, é necessário fazer com que a normal (N) coincida com o plano AON e, posteriormente, com a bissetriz (Bi) do ângulo AOB.

Então, conforme a Figura 9, efetua-se uma rotação de um ângulo  $\alpha$ , seguida de uma outra rotação de um ângulo  $\beta$ , verificando a coincidência da normal com a bissetriz.

Verifica-se que a relação que determina o ângulo  $\alpha$  é dada por:

$$\tan \alpha = \frac{CT}{CO}, \quad (5)$$

onde CO é a altura do satélite e CT é obtido através de relações trigonométricas, conforme a Figura 9.

Analogamente, isto é, através de relações trigonométricas, é possível determinar a relação que calcula o valor do ângulo  $\beta$ ; então de acordo com a Figura 9 tem-se que:

$$\beta = \theta - \xi. \quad (6)$$



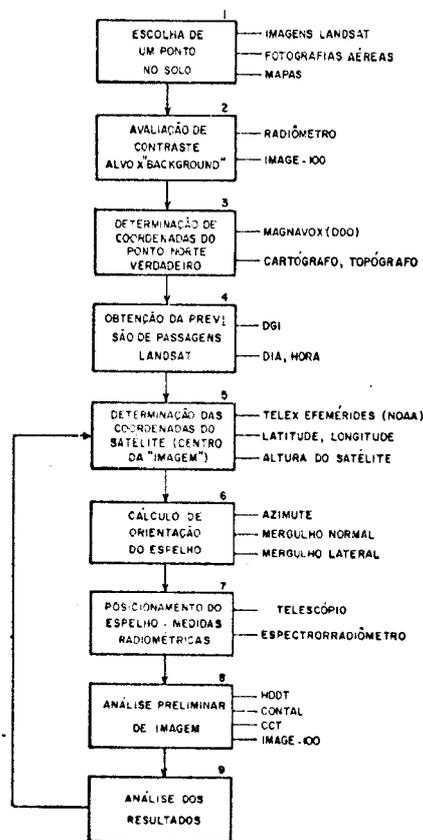


Fig. 10 - Sequência adotada no experimento.

O programa fornece os seguintes dados para orientação do espelho:

AZe = azimute para um eixo, escolhido, de rotação do espelho,  
 MN = inclinação perpendicular ao eixo de rotação escolhido,  
 ML = inclinação lateral ao longo do eixo de rotação escolhido.

Durante o experimento obtêm-se as medidas radiométricas da energia incidente (irradiância) e a energia refletida do espelho e de áreas adjacentes ("background").

Efetua-se a inspeção dos resultados preliminarmente em uma unidade de vídeo e, após o processamento da imagem de interesse em CCT, utiliza-se um analisador de imagens multispectrais (IMAGE-100) para estudos mais de talhados.

## 8 - DISCUSSÃO

Evans (1974) em seus experimentos com um espelho para o ERTS-1 (atualmente LANDSAT) afirma que em seis tentativas quatro produziram resultados positivos. Comparativamente ao experimento de Evans (1974), o método empregado neste trabalho apresenta um aprimoramento em relação a: (1) posicionamento do satélite (e.g. conhecimento da posição do satélite referente ao dia do experimento), (2) posicionamento do espelho (e.g. conhecimento mais adequado do posicionamento do espelho na superfície da terra), (3) controle da radiometria (e.g. conhecimento dos valores de radiância e irradiância) e (4) estimativa dos parâmetros atmosféricos (e.g. transmitância).

Outro aspecto a ser considerado no experimento é a saturação dos detectores dos sensores do LANDSAT, podendo ocorrer dois casos. Primeiro, para o ERTS-1 (Evans, 1974) os experimentos mostraram que um espelho de 0,55 x 0,55 m (1° de curvatura) não satura os detectores dos sensores do satélite (valor máximo de 50 em uma escala de 0 - 127, Figura 11). Portanto, caso não ocorra a saturação dos detectores do sensor, isto possibilitará a comparação entre os valores de radiância medidos no terreno e aqueles medidos através de satélite. Segundo, os cálculos feitos neste trabalho para um espelho de curvatura maior que um grau indicam valores próximos à saturação para a banda 5 dos LANDSAT 4 e 5. Barker (1984a,b) salienta que o imageamento sobre as áreas que incluam alvos com reflexão especular podem causar um ruído na imagem ("bright target effect") devido à saturação do detector, a qual fica "memorizada" pelo detector e propaga-se nos "pixels" vizinhos ("inércia radiométrica", Fusco and Trevese, 1984). Portanto, caso este fenômeno de saturação ocorra, isto facilitará o reconhecimento do ponto no terreno que contém o espelho descrito neste experimento. Neste caso, a comparação dos valores de radiância medidos no terreno com aqueles medidos pelos sensores do satélite deverá ser feita para alvos adjacentes ("não-saturáveis").

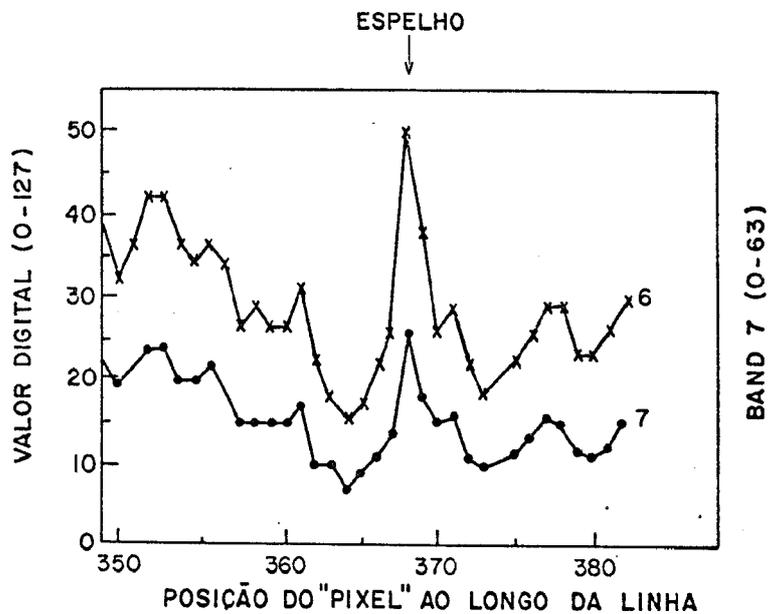


Fig. 11 - Valores digitais ao longo de uma linha de imageamento.

O gráfico mostra um valor digital máximo de 50 (banda 6) correspondente a um *ponto brilhante* devido à energia refletida por um espelho situado no terreno (Evans, 1974).

Além de algumas aplicações já antecipadas neste trabalho, a determinação de "pixels" de controle utilizando o método descrito facilitará os trabalhos de correção de imagens (e.g. "precision") e as aplicações cartográficas. Com a utilização de vários espelhos, os "pixels" de controle poderiam servir, por exemplo, de marcas fiduciais para a sobreposição de imagens (multibanda, multitemporal, etc.). Finalmente, falar em cartografia ou cartas-imagens já engloba um grande número de aplicações.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHERN, F.J.; GOODENOUGH, D.G.; JAIN, S.C.; RAO, V.R.; ROCHON, G. Use of clear lakes as standard reflectors for atmospheric measurements. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 11., Ann Arbor, MI, 1977. Proceedings. Ann Arbor, MI, ERIM, 1977, v. 1, p. 371-755.
- ALFORD, W.; BARKER, J. LANDSAT-4 multispectral scanner (MSS) subsystem radiometric characterization. Washington, DC, NASA, 1983, 70 p. (NASA T M - 85265).
- BARKER, J.L. Relative radiometric calibration of LANDSAT TM reflective bands. Reunião do Grupo de Trabalho de Estações Receptoras do LANDSAT, 8., São José dos Campos, 1984. 33 p.
- COLWELL, R.N. Manual of remote sensing. 2. ed. Falls Church, VA, American Society of Photogrammetry. 1983. v. 1/2.
- DHN. ALMANAQUE NÁUTICO para 1984. Rio de Janeiro, DHN, 1983. 320 p.
- EVANS, Wm. E. Marking ERTS image with a small mirror reflector. Photogrammetric Engineering, 40(6):665-671, 1974.
- FORSYTH, M.R.B.; HASKELL, A.; MILLER, P.F.; STANLEY, P.J.; TOWNSHEND, J.R. Spatial resolution of remotely sensed imagery: a review paper. International Journal of Remote Sensing, 4(3):497-520, 1983.
- FUSCO, L.; TREVESE, D. TM response to highly contrasted areas. Reunião do Grupo de Trabalho de Estações Receptoras do LANDSAT, 8., São José dos Campos, 1984. 8 p.
- HULSTROM, R.L. Spectral measurements and analysis of atmospheric effects on remote sensor data. In: SOCIETY OF PHOTO-OPTICAL INSTRUMENTATION ENGINEERS. Scanners & imagery systems for earth observation. Palos Verdes Estates, CA, 1974. p. 90-100. (SPIE Proceedings, v. 51).
- JACKSON, R.D.; SLATER, P.N.; PINTER JR., P.J. Adjusting the tasselled-cap brightness factor for atmospheric path radiance and absorption on a pixel by pixel basis. International Journal of Remote Sensing, 4(2): 313-323, 1983.
- KANEKO, T.; ENGWALL, J.L. View angle effect in LANDSAT imagery. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING, 11., Ann Arbor, MI, 1977. Proceedings. Ann Arbor, MI, ERIM, 1977, v. 2, p. 945-951.
- KOWALIK, W.S.; MARSH, S.E.; LYON, R. A relation between LANDSAT digital numbers, surface reflectance and the cosine of the solar zenith angle. Remote Sensing of Environment, 12(1):39-55, 1982.
- LEVI, L. Applied optics - A guide to optical system design. New York, Wiley, 1968. 620 p.
- NASA. LANDSAT to ground station interface description. Revision 8. Washington, DC, 1984. 93 p. inédito.
- RICHARDSON, A.J.; ESCOBAR, D.E.; GAUSMAN, H.W.; EVERITT, J.H. Comparison of LANDSAT-2 and field spectrometer reflectance signatures of South Texas Rangeland plant communities. In: SYMPOSIUM ON MACHINE PROCESSING OF REMOTELY SENSED DATA AND SOIL INFORMATION SYSTEMS AND REMOTE SENSING AND SOIL SURVEY, 6., West Lafayette, IN, 1980. Proceedings. New York, IEEE, 1980, p. 88-97.

SLATER, P.N. Remote sensing: Optics and optical systems. London, Addison-Wesley. 575 p., 1980a.

———. MRS "Proof of concept study of atmospheric corrections using an orbital, pointable imaging system". Washington, DC, NASA, 1980b., 80 p. (NASA-CR-170488).

SPIRO, I.J. Astronomy units and nomenclature for engineers and physicists. In: SOCIETY OF PHOTO-OPTICAL INSTRUMENTATION ENGINEERS. Infrared sensor technology. Washington, DC, 1982. p. 60-64. (SPIE Proceedings, v.344).

TURNER, R.; SPENCER, M. Atmosphere model for correction of spacecraft data. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 8., Ann Arbor, MI, 1972. Proceedings. Ann Arbor, MI, ERIM, 1972, p. 845-847.

WELCH, R. Modulation transfer function. Photogrammetric Engineering, 37(3):247-259, 1971.

———. Spatial resolution and geometric potential of planned Earth satellite missions. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 15., Ann Arbor, MI, 1981. Proceedings. Ann Arbor, MI, ERIM, 1981, v. 3, p. 1275-1283.