

METODOLOGIA DE COLETA DE DADOS RADIOMÉTRICOS DE
CAMPO EM DIFERENTES TIPOS DE COBERTURA DO SOLO

Sérgio dos Anjos Ferreira Pinto
Evelyn Márcia L. M. Novo
Madalena Niero

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

RESUMO

O objetivo deste trabalho é desenvolver metodologia de coleta de dados radiométricos de campo em diferentes tipos de cobertura do solo, com vista ao estabelecimento de correlação entre cobertura vegetal efetiva do solo e níveis de cinza em imagens LANDSAT. Escolheu-se como área teste a bacia do Ribeirão Anhumas no SW do Estado de São Paulo. Utilizou-se um alvo de referência para minimizar os efeitos da interferência atmosférica, da posição do alvo em relação ao sensor e fonte, e do horário de obtenção dos dados. A porcentagem de cobertura vegetal foi estimada utilizando-se a técnica de lançamento de quadrados amostrais. Através do "Earth Ground Truth" (EGT), coletaram-se medidas de radiância de alvos naturais (diferentes tipos de cobertura) e de alvo de referência (placa com revestimento de óxido de magnésio), e medida de irradiância. Utilizando-se o sistema Image-100, foram obtidos os níveis de cinza e porcentagem de cobertura vegetal do solo. Obteve-se correlação de 0.61 quando níveis de cinza foram relacionados a dados de radiância ponderados pela cobertura vegetal dominante, para cada amostra.

ABSTRACT

The aim of this research has been to develop a methodology to obtain ground radiometric data for a variety of cover types in order to correlate them to gray level on LANDSAT imagery. Ribeirão Anhumas Basin was used as test site and it is situated in the SW of São Paulo State. A white standard was used to minimize atmospheric, target position related to sensor and sun position, and time of data collection effects. The percentage of vegetal cover was estimated by randomly throwing a square sample. By means of the Earth Ground Truth radiometer, radiance data for natural and white standard targets were collected as well as irradiance values. Gray levels for each sample were collected using the Image-100 system. The results showed that MSS/5 presented a better correlation between gray level and percentage of soil covering. The overall correlation was 0.61 when gray level was related to radiance data weighed by dominant vegetal cover for each sample.

1. INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho é desenvolver metodologia de aquisição de dados radiométricos de diferentes tipos de cobertura do solo, visando o estabelecimento de correlação entre cobertura vegetal efetiva do solo e níveis de cinza em imagens LANDSAT.

Existem alguns trabalhos que estabelecem correlação entre as medidas radiométricas e os registros de níveis de cinza em imagens MSS do LANDSAT. Cipra et alii (1980) ao comparar medidas espectrais de solos sem cobertura vegetal, obtidas através de dados LANDSAT e de espectroradiômetro (EXOTECH 20C), encontraram alta correlação em todos os canais. Seubert

et alii (1979), com o objetivo de classificar a cobertura vegetal, procederam a análise automática de dados digitais do MSS/LANDSAT. Através de análise de agrupamento obtiveram 9 classes espectralmente separáveis, que foram associadas a diferentes tipos de cobertura do solo. Para cada classe obtiveram amostras para análise radiométrica em laboratório. Os autores concluíram que classes com baixa reflectância representam solos mal drenados, enquanto que classes de alta reflectância associam-se a solos altamente erodidos.

Kowalik (1981) estabeleceu correlação entre porcentagem de cobertura vegetal medida no campo e densidade de níveis de cinza medidas em dados MSS do sistema LANDSAT. Os resultados

não foram satisfatórios porque o autor não levou em conta a dispersão dos arbustos e a simultaneidade entre a coleta de dados de campo e a passagem do satélite.

2. ÁREA TESTE

Para a realização deste trabalho foi escolhida como área teste a bacia do Ribeirão Anhumas, sudoeste do Estado de São Paulo (Figura 1).

Esta região, como todo o sudoeste do Estado de São Paulo, é de ocupação relativamente recente, com a introdução da cultura do café. Originalmente a região era recoberta por uma vegetação de floresta pluvial tropical, que ocupava predominantemente as áreas de solos tipo LEa, com algumas manchas de cerrado e cerradão. Atualmente esta cobertura vegetal natural somente é encontrada em áreas restritas, em consequência da ocupação pelo homem, face às atividades de pecuária e agricultura extensivas.

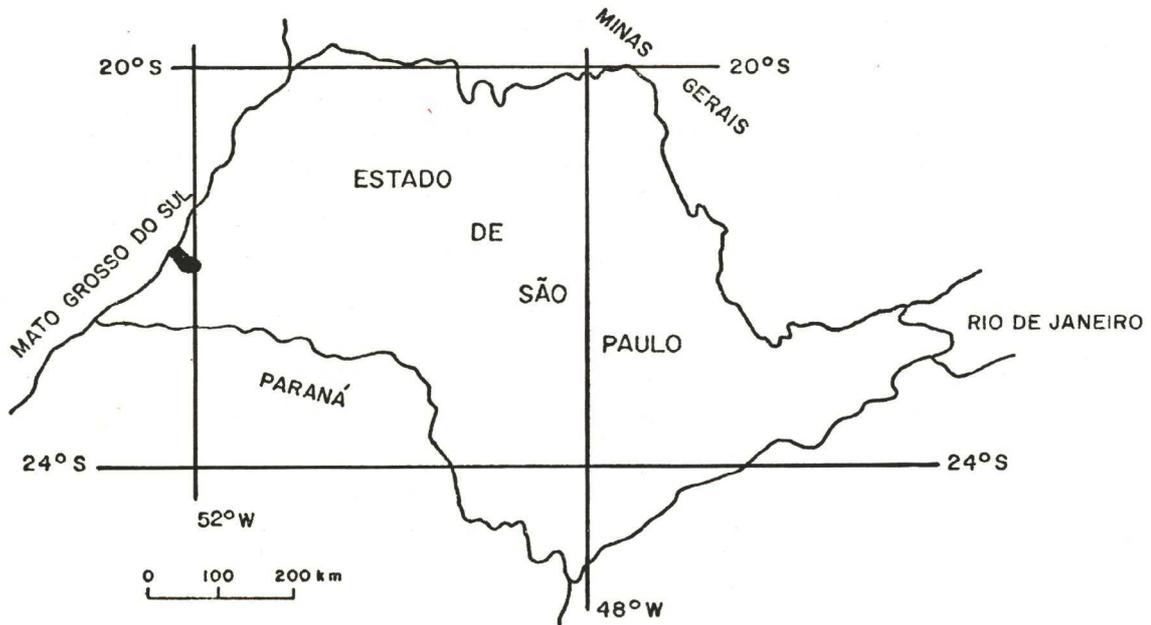


Fig. 1 - Localização da área de estudo.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A aquisição dos dados radiométricos foi realizada através de um fotômetro/radiômetro

digital, Modelo 820 da Gamma Scientific, Incorporated (Earth Ground Truth - EGT), o qual opera nas mesmas faixas do MSS/LANDSAT (Figura 2).



Fig. 2 - Earth Ground Truth (EGT).

As medidas de densidade de cobertura vegetal foram realizadas com o auxílio de um gabarito de 0.50 m x 0.50 m. A localização, no campo, das áreas de amostragem foi realizada com o apoio de cartas topográficas na escala de 1:50.000 e de bússolas.

A aquisição de dados de níveis de cinza nas imagens MSS/LANDSAT (órbita 220 ponto 27 de 22/11/1981) foi realizada através do Analisador de Imagens Multiespectrais (IMAGE 100).

A realização deste trabalho obedeceu as seguintes etapas:

3.1 - SELEÇÃO DE ÁREAS AMOSTRAIS

As amostras foram selecionadas em função do conhecimento prévio da área, por meio de trabalho de campo e levando-se em consideração:

- representatividade dos tipos de cobertura;
- disposição das áreas amostrais face à área de estudo;
- facilidade de acesso.

Para isso, foi construída uma grade de quadrículas de 1 km x 1 km, dispostas conforme o sistema de coordenadas das cartas topográficas na escala de 1:50.000. Cada quadrícula foi subdividida em 100 estações de 100 m x 100 m para garantir dimensões equivalentes a um "pixel" das imagens MSS. Do total das estações, foram selecionadas três por quadrícula para a aquisição de dados radiométricos e de cobertura vegetal.

Devido a limitações de tempo e de condições atmosféricas favoráveis, o número total

de quadrículas amostradas restringiu-se a quatorze.

3.2 - AQUISIÇÃO DE DADOS NO CAMPO

Levando-se em consideração que o objetivo deste trabalho era desenvolver metodologia de aquisição de dados radiométricos de diferentes tipos de cobertura para posterior correlação com valores de níveis de cinza em imagens, uma preocupação fundamental foi o posicionamento correto das quadrículas amostrais no terreno e a aquisição de dados simultâneos à passagem do satélite.

3.2.1 - LOCALIZAÇÃO DE AMOSTRAS NO CAMPO

Para posicionar corretamente as amostras no campo foram realizadas as seguintes atividades:

- identificar feições geográficas notáveis no terreno, com o auxílio de cartas topográficas;
- posicionar a origem da quadrícula, com o auxílio de bússolas e balizas (Figura 3);
- nortear a quadrícula com o auxílio de bússola e definição dos vértices através de contagem de passos, a partir da origem;
- demarcar (ao acaso) numa grade, em ficha de campo, a posição das estações para aquisição de dados radiométricos e de cobertura vegetal (Figura 4);
- transferir, para o terreno, a posição das estações, com o auxílio da bússola e balizas.



Fig. 3 - Foto da demarcação da quadrícula no campo.

QUADRICULA	CARTA	FOTO	DATA
------------	-------	------	------

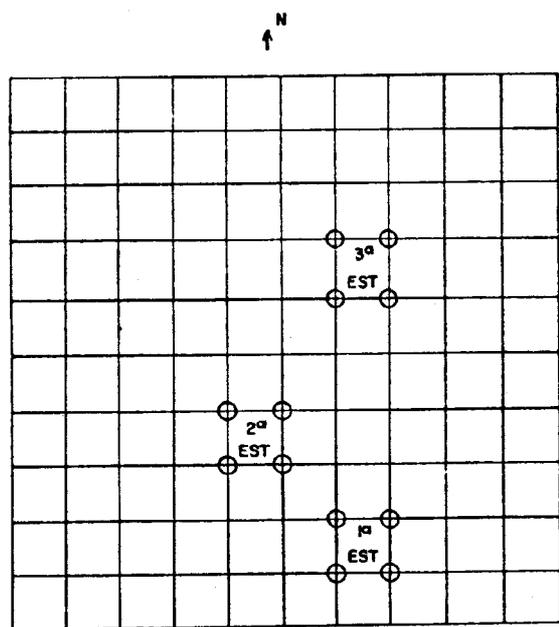


Fig. 4 - Ficha de localização das estações amostrais no campo.

3.2.2 - MEDIDAS RADIOMÉTRICAS

Admitindo-se as dificuldades de obter medidas radiométricas para todas as áreas amostrais, simultaneamente à passagem do satélite, optou-se pela aplicação de um método de coleta que gerasse medidas menos dependentes das variações no horário de tomada das medidas. Para tanto, utilizou-se um alvo de referência constituído de uma placa revestida de óxido de magnésio, adaptada a um suporte.

A aquisição de medidas obedeceu aos seguintes passos:

- obtenção de medidas de irradiância, levando-se em consideração o horário aproximado da passagem do satélite e a anotação em ficha apropriada (Figura 5);
- obtenção de dados de radiância do alvo natural e do alvo de referência, para cada canal do EGT, e anotação em ficha apropriada (Figura 6). Devido às limitações de tempo, obtiveram-se medidas radiométricas referentes a apenas 11 estações amostrais, em 4 quadriculas.

HORÁRIO	IRRADIÂNCIA			
	4	5	6	7
08:30				
08:45				
09:00				
09:15				
09:30				
09:45				

Fig. 5 - Ficha para coleta de dados de irradiância.

3.2.3 - MEDIDAS DE DENSIDADE DE COBERTURA

A densidade de cobertura vegetal foi avaliada apenas para áreas de ocorrência de pastagens e com culturas em estágio inicial de crescimento. Esta medida foi realizada através de três lançamentos de um quadrado amostral de 50 cm x 50 cm (Figura 7), conforme metodologia empregada por Chiarini et alii (1967).

Esses dados foram anotados em fichas de campo adequadas. O índice de densidade de cobertura do solo foi estimado através da média de cobertura verde e palha, para cada estação amostral.

3.3 - MEDIÇÃO DOS NÍVEIS DE CINZA NAS IMAGENS MSS/LANDSAT

Para a aquisição desses dados utilizou-se o sistema Image-100, segundo os procedimentos:

- ampliação da área de estudo na escala de 1:150.000 no vídeo;
- seleção de módulos a serem ampliados para a escala de 1:50.000;
- posicionamento e delimitação das áreas amostrais com o cursor;

- armazenamento da posição das quadrículas em temas (Figura 8);
- aquisição dos níveis de cinza das esta

ções amostradas no campo através do programa "Single-pixel" (General Electric Company, 1975).

MEDIDAS RADIOMÉTRICAS

1a. ESTAÇÃO	1a. REPETIÇÃO				2a. REPETIÇÃO				3a. REPETIÇÃO			
	CANAL				CANAL				CANAL			
	4	5	6	7	4	5	6	7	4	5	6	7
TIPO DE MEDIDA												
No (ALVO NATURAL)												
NR (ALVO DE REFERÊNCIA)												

2a. ESTAÇÃO	1a. REPETIÇÃO				2a. REPETIÇÃO				3a. REPETIÇÃO			
	CANAL				CANAL				CANAL			
	4	5	6	7	4	5	6	7	4	5	6	7
TIPO DE MEDIDA												
No												
NR												

3a. ESTAÇÃO	1a. REPETIÇÃO				2a. REPETIÇÃO				3a. REPETIÇÃO			
	CANAL				CANAL				CANAL			
	4	5	6	7	4	5	6	7	4	5	6	7
TIPO DE MEDIDA												
No												
NR												

Fig. 6 - Ficha para coleta de dados de radiancia.



Fig. 7 - Fotografia de um quadrado amostral.



Fig. 8 - Exemplo de um módulo na escala de 1:50.000, com quadrículas amostrais, no vídeo do I-100.

3.4 - TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS

A análise estatística dos dados consistiu-se na avaliação dos valores de radiância por estação e na posterior correlação com os respectivos níveis de cinza registrados em imagens. Para isso, foram gerados valores de radiância para cada tipo de alvo e para cada canal, os quais foram ponderados por sua representatividade em área. Os procedimentos utilizados estão descritos a seguir.

3.4.1 - OBTENÇÃO DA RADIÂNCIA MÉDIA PARA CADA CANAL DO EGT, CONFORME OS DIFERENTES TIPOS DE COBERTURA VEGETAL

Os valores de radiância média foram obtidos a partir das seguintes etapas:

- cálculo da reflectância de cada tipo de cobertura através da razão:

$$p_a = \frac{N_a}{N_r} \cdot p_r ,$$

onde: p_a = reflectância do alvo;
 p_r = reflectância da referência que se admitiu como sendo igual a 1;
 N_a = radiância do alvo natural;
 N_r = radiância do alvo de referência.

- cálculo de irradiância média a partir de valores de irradiância, obtidos em diferentes dias, mantendo-se os mesmos horários da passagem do satélite;
- cálculo da radiância através de:

$$N_a = \frac{\rho_a E}{\pi}, \text{ onde } E = \text{irradiância média.}$$

3.4.2 - ESTIMATIVAS DA RADIÂNCIA MÉDIA PARA CADA ESTAÇÃO AMOSTRAL

Para se obter a estimativa da radiância média por estação amostral, a radiância média de cada tipo de cobertura foi ponderada pelo valor representativo de sua densidade. A densidade de cobertura de cada estação foi estimada, utilizando-se a cobertura média e a dominante.

Os procedimentos utilizados são exemplificados abaixo:

- média da porcentagem de ocorrência dos diferentes tipos de cobertura na estação amostral;

seja:

- N_{c_n} - radiância do colônio no canal n do EGT;
- P_c - média da % de colônio na estação amostral;
- NP_n - radiância da palha no canal n;
- P_p - média da % da palha na estação amostral;
- N_{SE_n} - radiância do solo exposto no canal n do EGT;
- P_{SE} - média da % de solo exposto na estação amostral;
- NEA - radiância da Estação Amostral.

$$NEA = \frac{P_c \times N_{c_n} + P_p \times NP_n + P_{SE} \times N_{SE_n}}{P_c + P_p + P_{SE}}$$

- cobertura dominante da estação amostral

$$P_c > P_p > P_{SE}$$

$$NEA = P_{c_n}$$

3.4.3 - CÁLCULO DO COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO ENTRE OS NÍVEIS DE CINZA DA IMAGEM E OS NÍVEIS DE RADIÂNCIA

No cálculo da correlação entre dados coletados em imagem e medidas radiométricas, admitiu-se que o nível de cinza da estação amostral seria representado pela média dos quatro "pixels" fornecidos pelo programa "Single-Pixel". A utilização do valor médio de quatro "pixels" deve-se à dificuldade de posicionar precisamente as estações amostrais no vídeo do Sistema-100. Este problema já foi salientado por FORSTEP (1980), que estimou em aproximadamente 30 metros o erro padrão do posicionamento

entre dados de campo e dados digitais do LANDSAT.

O valor da correlação foi calculado através do coeficiente de correlação de Pearson (Stell and Torrie, 1960). Para o seu cálculo, utilizaram-se dados referentes a apenas 11 estações amostrais, para as quais se dispunha de dados radiométricos.

4 - RESULTADOS

Levando-se em conta o método de cálculo da radiância, face às dificuldades de calibração do equipamento utilizado na pesquisa (EGT), os valores obtidos representam a radiância relativa do alvo. Apesar disso, eles apresentam coerência com a resposta dos alvos naturais encontrada na literatura. Isto pode ser ilustrado pela Figura 9.

Através da análise da Figura 9, observa-se que no canal 5 os alvos apresentam maior separabilidade, indicando que na área de estudo este canal é o mais adequado para discriminar áreas com cobertura vegetal (verde / seca) e solo exposto. No canal 5, a cobertura vegetal apresenta maior absorção quando comparada com solo exposto. No canal 7, por outro lado, as coberturas palha e solo exposto apresentam comportamento espectral semelhantes, dificultando a discriminação entre elas.

Com relação à cobertura vegetal verde (capim colônio-Panicum Maximum, spp), verifica-se um comportamento semelhante aos dos padrões de áreas vegetadas, ou seja, baixa radiância no visível e alta no infravermelho.

A análise da radiância para diferentes tipos de cobertura de gramíneas pode ser vista na Tabela 1.

TABELA 1

DISPERSÃO DOS VALORES DE RADIÂNCIA PARA DIFERENTES TIPOS DE GRAMÍNEAS.

Canal E.G.T.	Parâmetros estatísticos	\bar{x}	σ	cv
4		4.34	1.08	25%
5		4.25	1.7	41%
6		12.51	2.33	19%
7		13.18	2.86	22%

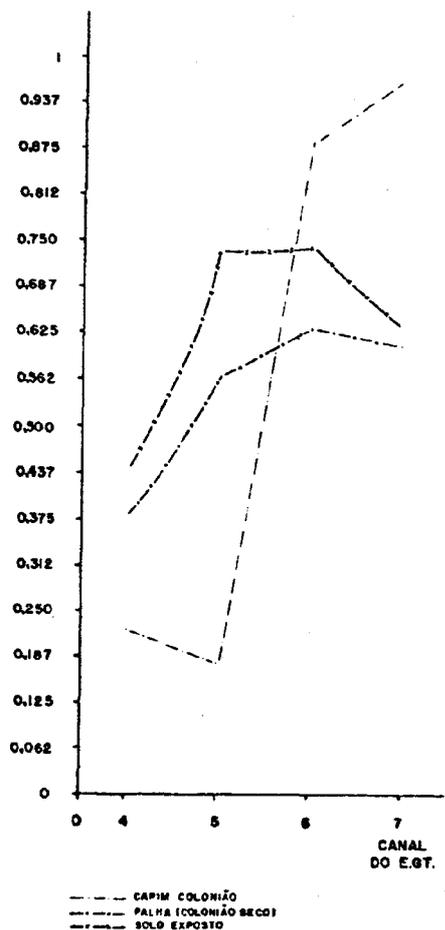


Fig. 9 - Radiância relativa dos alvos naturais.

Por esta tabela verifica-se que o canal 5 é o que apresenta maior coeficiente de variação (41%), e o canal 6, o menor (19%). A par

tir destes dados, verifica-se também que existe variação interna na classe cobertura vegetal em função do vigor e das espécies vegetais.

Comparando-se dados de reflectância e de radiância do solo (Tabela 2), pode-se observar que, enquanto a reflectância do solo aumenta com o comprimento de onda, a radiância sofre uma diminuição no canal 7. No caso da cobertura vegetal verde, os valores de reflectância e de radiância comportam-se de forma semelhante nos diferentes comprimentos de onda.

TABELA 2

RADIÂNCIA E REFLECTÂNCIA DE ALVOS NATURAIS.

Canal	Radiância e reflectância		Solo exposto		Colôniao	
	Na*	ra	Na*	ra	Na*	ra
4	$7,04 \times 10^3$	0,16	$3,65 \times 10^3$	0,08		
5	$11,72 \times 10^3$	0,24	$2,95 \times 10^3$	0,06		
6	$11,82 \times 10^3$	0,28	$14,11 \times 10^3$	0,34		
7	$10,11 \times 10^3$	0,31	$15,54 \times 10^3$	0,48		

* (m w/cm².str.)

A Figura 10 apresenta diferenças de reflectância numa mesma cobertura (palha) em função da variação do teor de umidade. Observa-se nesse caso que o aumento da umidade determinou não somente uma diminuição da reflectância, como também uma alteração no comportamento da curva espectral. Para os cálculos de radiância ponderada, foram considerados os valores referentes à cobertura de palha seca, uma vez que, na época da tomada das medidas, a área de estudo se apresentava sob condições de deficiência de umidade (final da estação seca).

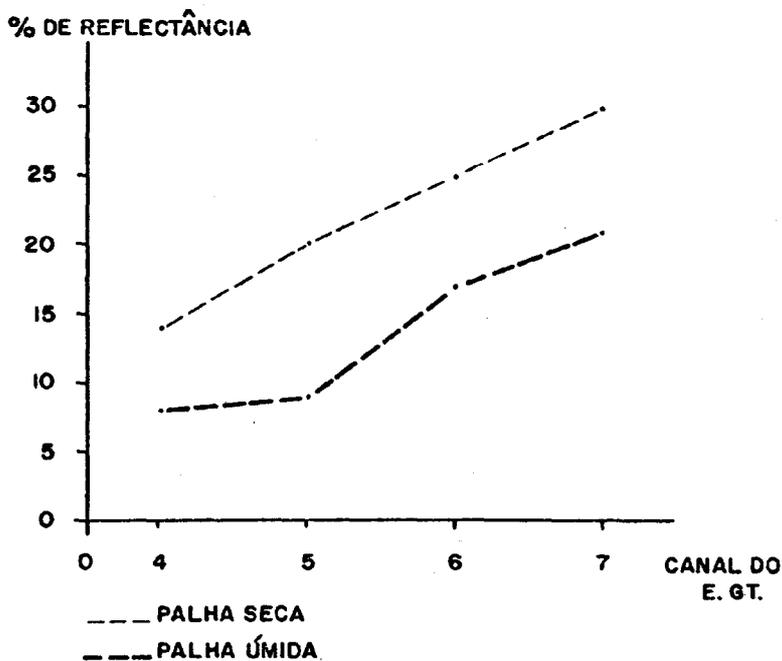


Fig. 10 - Dados de reflectância de alvos naturais.

Apesar de se utilizar o alvo de referên-
cia para tornar as medidas menos dependentes
do horário da passagem do satélite, observou
-se que variações temporais e de geometria na
obtenção dos dados resultaram em modificações
nos valores de reflectância. Isto pode ser ve-
rificado através das Figuras 11 e 12. Na Figu-
ra 11 um mesmo tipo de cobertura vegetal apre-
senta uma redução nos valores de reflectância,

com medidas tomadas em horário mais próximo
ao entardecer (16:00 horas). Isto talvez pos-
sa ser explicado pela variação na qualidade es-
pectral da radiação incidente (sol com traje-
tória mais oblíqua, maior espalhamento em com-
primentos de onda mais curtos). Outra explica-
ção provável pode ser diferença de reflectân-
cia direcional entre os alvos naturais e de
referência.

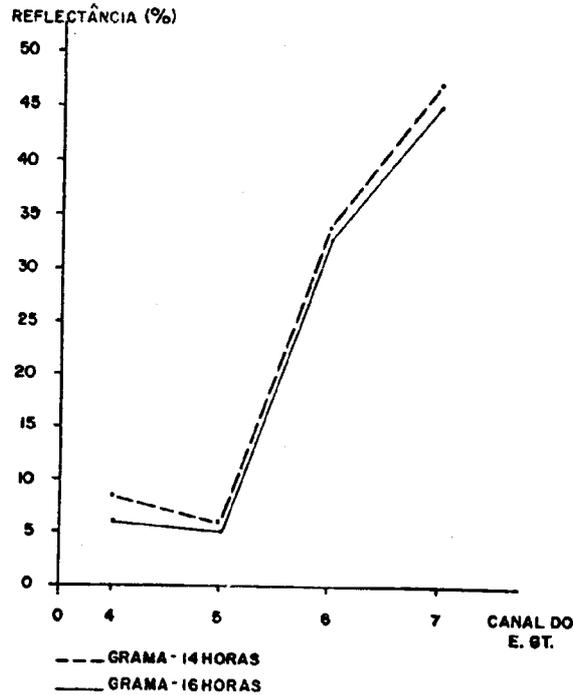


Fig. 11 - Reflectância de alvo natural coletada em diferentes horários.

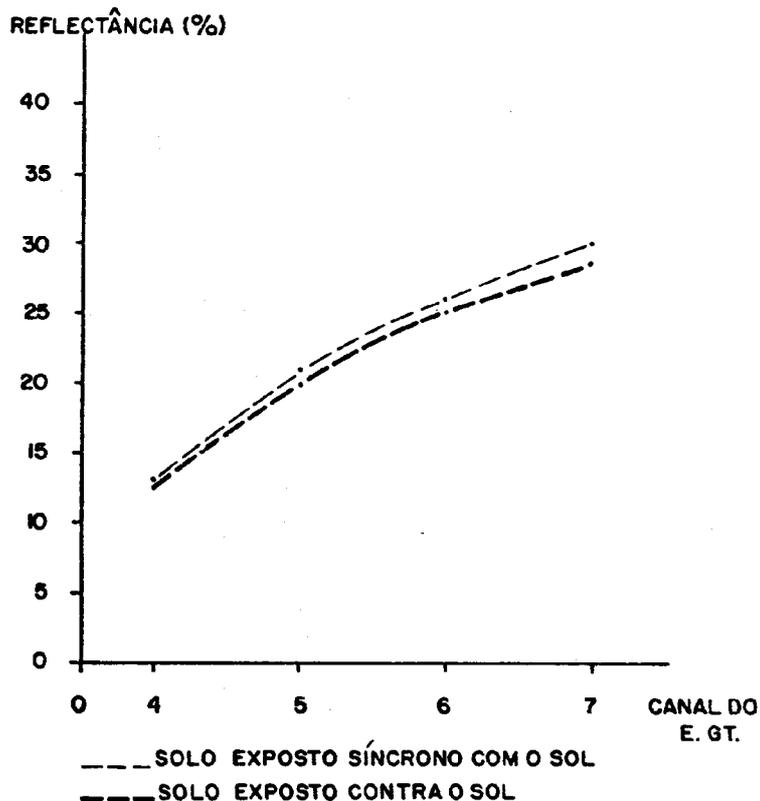


Fig. 12 - Curva de reflectância do solo em diferentes geometrias.

A Figura 12 apresenta o caso em que alterações na geometria da tomada de medidas (posições relativas ao alvo/sol/radiômetro) interferem no valor de reflectância.

Tendo-se em vista que um dos objetivos do trabalho era relacionar a radiância de cada estação amostral com seus respectivos registros de níveis de cinza em imagens LANDSAT, ponderou-se os valores de radiância de cada

tipo de cobertura por sua representatividade em área.

Para avaliar a variabilidade dos valores de radiância, por canal, entre as estações amostrais, calculou-se o coeficiente de variação (Tabela 3) para cada canal e para cada tipo de ponderação utilizado (cobertura média e cobertura dominante).

TABELA 3

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DAS DISTRIBUIÇÕES DE RADIÂNCIA EM CADA CANAL DO EGT.

Radiância ponderada por canal Parâmetro	CANAL 4		CANAL 5		CANAL 6		CANAL 7	
	Cob. média	Cob. dom.						
\bar{x}	2,68	5,42	3,51	7,99	4,72	11,70	4,48	11,25
σ	1,48	1,12	2,13	3,22	1,82	1,39	1,58	2,24
cv	55	21	61	40	39	12	35	20

Pela análise das médias de radiância, verifica-se que seus valores são maiores para a cobertura dominante em todos os canais analisados. Através da inspeção dos dados originais, constatou-se que devido à alta frequência de coberturas do tipo palha e solo exposto, na época analisada (final da estação seca), a ponderação pela cobertura dominante resulta em valores mais elevados. Isto se explica pelo fato destes alvos apresentarem radiância mais elevada. Ainda através da Tabela 3, verifica-se que um maior coeficiente de variação foi apresentado pelo canal 5, tanto para a cobertura média como para a dominante. Isto pode indicar que este é o canal que apresenta maior poder discriminatório entre as classes de cobertura analisadas, uma vez que as estações diferem consideravelmente quanto à porcentagem de cobertura (Tabela 4), apresentando um coeficiente de variação de 60%. Por outro lado, os canais 6 e 7 apresentam os menores coeficientes de variação para a cobertura dominante e para a média, respectivamente (Tabela 3). A Figura 9 ilustra também este fato, mostrando a pequena separabilidade entre solo exposto e cobertura do tipo palha, no canal 7.

Das considerações anteriores pode-se supor que, na área em estudo, o registro de níveis de cinza em imagens LANDSAT, referentes às estações, tenderá a apresentar valores muito semelhantes. De fato, isto pode ser constatado através da análise da Tabela 5.

TABELA 4

PORCENTAGEM DE COBERTURA VEGETAL NAS ESTAÇÕES AMOSTRAIS

ESTAÇÕES	PORCENTAGEM DE COBERTURA VEGETAL
1	48
2	31
3	1
4	11
5	8
6	20
7	20
8	42
9	28
10	30
11	23

TABELA 5

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DA DISTRIBUIÇÃO DE NÍVEIS DE CINZA, OBTIDOS EM IMAGENS MSS.

Canal	4	5	6	7
Parâmetros estatísticos				
\bar{x}	47	68	121	120
σ	5	18	15	16
cv	11	27	13	14

O canal 5 também apresentou o maior coeficiente de variação, sugerindo que esta região do espectro seria mais adequada para discriminar eventuais diferenças de cobertura vegetal entre as estações.

Marsh and Lyon (1980) utilizaram a razão entre os coeficientes de variação da reflectância no terreno e os da reflectância medida através de dados LANDSAT, para indicar quanto dois "pixels" devem diferir no terreno para serem discriminados pelos registros do MSS/LANDSAT. Estes dados foram computados para diversas passagens e diversas áreas testes com condições diferenciadas de cobertura vegetal. Os autores concluíram que em média as diferenças de reflectância entre "pixels" no terreno devem ser de, pelo menos, três vezes para que possam apresentar registros distintos de níveis de cinza. Os autores também concluíram que este valor varia em função da passagem analisada devido ao efeito atmosférico diferenciado.

Levando-se em conta essas considerações anteriores, calculou-se também, para os dados coletados em campo e para os níveis de cinza coletados em imagem, a razão entre seus respectivos coeficientes de variação (Tabela 6).

TABELA 6

RAZÃO ENTRE COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DE DADOS DE SUPERFÍCIE E DE DADOS LANDSAT.

CANAL 4		CANAL 5		CANAL 6		CANAL 7	
Cobertura média	Cobertura dominante						
5	1,91	2,26	1,48	3	0,92	2,5	1,43

Pela análise da Tabela 6 observa-se que, quando os dados de radiância são ponderados pela cobertura média, as diferenças de reflectância entre as estações do terreno têm que ser maiores para que possam ser registradas pelo sistema LANDSAT. Em média para a ponderação pela cobertura dominante, a diferença entre as reflectâncias das estações em todos os canais é de 1,69, ao passo que para a cobertura média tem-se uma diferença de 3,19.

De modo a verificar a correlação entre as medidas de radiância obtidas em campo e os valores de níveis de cinza registrados em imagens MSS, utilizou-se o coeficiente de correlação de Pearson. Para as onze estações analisadas nas quatro faixas do espectro, o maior valor de correlação foi de 0,61 para a cobertura dominante.

Os baixos valores de correlação obtidos podem ser explicados pelos seguintes fatores limitantes:

- suposição de que o alvo de referência apresentava valores de reflectância constantes para todos os comprimentos de onda. De fato, estes valores variam, decrescendo do visível para o infravermelho (Swain and Davis, 1978);

- suposição lambertiana para os alvos em estudo. O radiômetro registrou a radiância normal à superfície do alvo a um dado ângulo de elevação solar, enquanto o satélite registrou a radiância do alvo a um ângulo de elevação solar totalmente diverso. (Swain and Davis, 1978);
- defasagem entre a aquisição dos dados em campo e a passagem do satélite (2 semanas), fato este agravado pela coincidência com o período de transição entre a estação seca e chuvosa;
- dificuldade de posicionamento da estação amostral no vídeo do sistema Image-100, resultante de distorções geométricas da imagem;
- efeito de atenuação atmosférica que degrada o sinal recebido pelo MSS;
- diferenças de calibração entre canais do MSS, resultando em diferentes valores de ganho. Segundo Marsh and Lyon (1980), os valores de correlação aumentam sensivelmente quando são corrigidas as diferenças de ganho entre as bandas;

- equalização dos dados originais do satélite LANDSAT em Cachoeira Paulista, para melhorar a qualidade visual das imagens, degradando os valores radiométricos.

Face a estes problemas, optou-se pela relação direta entre a porcentagem de cobertura vegetal e os valores de níveis de cinza nos canais 5 e 7, mais usualmente utilizados para estudos de diferentes coberturas. Encontrou-se um coeficiente de correlação de Spearman de -0,60 entre porcentagem de cobertura vegetal e nível de cinza no canal 5. A correlação no canal 7 foi de 0,03. Este baixo valor pode ser explicado pela grande porcentagem de palha que, no canal 7, responde de forma semelhante ao solo exposto.

As correlações diretas entre nível de cinza e cobertura confirmam a melhor adequação do canal 5 para avaliar diferenças no índice de cobertura do solo, através de dados orbitais.

5 - CONCLUSÕES

Através da metodologia utilizada e resultados obtidos neste trabalho pode-se concluir que:

- a correlação entre diferentes tipos de cobertura efetiva do solo e níveis de cinza em imagens apresentou valores mais elevados para a radiância ponderada pela cobertura dominante, do que para a cobertura média;
- em geral, os valores de correlação entre dados de radiância medidos no campo e dados de níveis de cinza são baixos, devido à interferência de fatores ambientais e de tomada de dados;
- os resultados sugerem que a faixa do espectro mais eficiente para avaliar diferenças na densidade de cobertura é a referente ao canal 5, tanto para os valores de radiância, quanto para os valores de níveis de cinza;
- a sensibilidade do sistema MSS é insuficiente para registrar, de modo preciso, as variações entre "pixels" similares no terreno, conforme já havia sido concluído por Marsh and Lyon (1980).

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHIARINI, J.V.; VERDADE, F.C.; BORGONOV, M.; AMARAL, A.Z.; AUDI, R.: Pastagens em alguns municípios paulistas e estudo da área basal e sombreamento. In: *Bragantia*, Campinas, Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo, 26(2):19-30, fevereiro, 1967.
- CIPRA, J.E.; FRANZMEIER, D.P.; BAUER, M.E.; BOYD, R.K.: Comparison of multispectral measurements from some nonvegetated soils

using LANDSAT digital data and a spectroradiometer. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44:80-84, Jan-Feb. 1980.

FORSTER, B.: Urban control for LANDSAT data. *Photogr. Eng. and Remote Sensing*, 46(4), April, 1980.

General Electric Company. Image-100: interactive multispectral image analysis system; user manual. Daytona, 1975.

KOWALIK, W.S.: Atmospheric correction to LANDSAT data for limonite discrimination. Ph.D. dissertation, Stanford University, Jan. 1981.

MARSH, S.E.; LYON, R.J.P.: Quantitative relationships of near-surface spectra to LANDSAT radiometric data. *Remote Sensing of Environment*, 10:241-261, 1980.

SEUBERT, C.E.; BAUMGARDNER, M.F.; WEISMILLER, R.A.; KIRSHNER, F.R.: Mapping and estimating areal extent of severely eroded soils of selected sites in Northern Indiana. In: *Machine Processing of Remotely Sensed Data Symposium*. 224-238, 1979.

STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.H.: Principles and procedures of statistics with special reference to the biological sciences. New York, McGraw-Hill, 1960.

SWAIN, P.H.; DAVIS, S.M.: Remote sensing - The quantitative approach. New York, McGraw-Hill International Book Company, 1978.