

DADOS TM/LANDSAT NA ESTIMATIVA DE ÁREAS DESTINADAS A CULTURAS DE VERÃO, NO ESTADO DE SÃO PAULO

ANTONIO ROBERTO FORMAGGIO¹

VALDIR MOURA¹

JOSÉ CARLOS NEVES EPIPHANIO¹

HÉLIO RICARDO SILVA²

PETERSON RICARDO FIORIO¹

ROGÉRIO COSTA CAMPOS¹

¹INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515 – 12201-970 – São José dos Campos – SP, Brasil
{formag, epiphani, peterson}@ltid.inpe.br
²UNESP - Faculdade de Engenharia - Ilha Solteira – SP
{hrsilva@agr.feis.unesp.br}

Abstract. The estimate of the area of land to be planted with annual crops and the stratification by municipality are important variables in crop forecasts. Due to the high cloud cover along the main growing season (October to March) it is difficult to acquire suitable orbital images. Thus, the proposal is to use remote sensing data from dates before the crop growing season, when there are less clouds. This work presents the use of multitemporal TM/Landsat-5 data gathered on July and September of 1998 (before the summer growing season) in order to estimate the area of land to be planted with summer crops in an area of São Paulo State, Brazil. Geographic Information Systems (GIS) and digital image processing techniques were applied for treatment of the available data. Supervised and non-supervised classifications were used for data in digital number and reflectance formats and for the multitemporal Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) images. The classification techniques presented excellent results according to the kappa index. Nevertheless, this methodology can be improved in order to provide good crop area estimates using remote sensing data, despite the cloud cover during the growing season.

Keywords: agriculture, crop forecasts, remote sensing.

1. Introdução

A disponibilidade de informações precisas e em tempo hábil, relativas às áreas ocupadas com culturas anuais, é de grande importância para a elaboração de estratégias referentes ao armazenamento, comercialização e suporte às decisões governamentais. As culturas de verão são de grande importância para a economia brasileira, pois são responsáveis por mais de 90% da produção anual de grãos. Para que o País seja munido de um sistema eficiente de previsão de safras, uma das principais variáveis é a estimativa das áreas plantadas com culturas de verão, e o seu conhecimento vem sendo prioridade das autoridades nacionais.

No Brasil, a estimativa desta variável é realizada em nível municipal e utiliza métodos considerados subjetivos baseados em entrevistas com agricultores e/ou entidades ligadas ao setor agrícola. Como estas informações não permitem tratamentos estatísticos dos dados coletados no campo, há a necessidade de incorporar técnicas adequadas para melhorar a precisão das previsões e aumentar a frequência das mesmas no intervalo que vai do preparo do solo até pouco antes da colheita, época tida como fundamental para realizar uma boa estimativa das áreas e de safras de culturas de ciclo curto.

Várias pesquisas vêm sendo implementadas visando melhorar os tradicionais métodos de estimativas de áreas, que atualmente são realizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Uma alternativa que vem despertando interesse por parte das autoridades e pesquisadores em nível mundial para as estimativas de áreas agrícolas, consiste na utilização de dados de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento, dada a potencialidade de

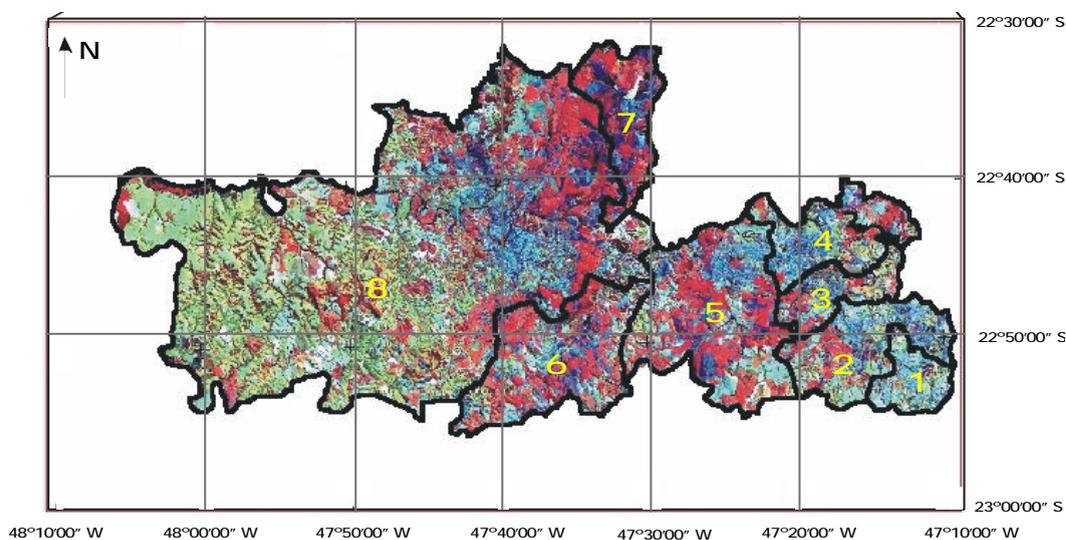
permitir a obtenção de resultados com maior antecedência, maior precisão e menor custo quando comparados com os métodos tradicionais.

Contudo, a tentativa de empregar uma metodologia operacional que utiliza dados de sensoriamento remoto orbital para a estimativa de áreas plantadas com culturas de verão pode apresentar problemas relacionados ao período de aquisição das imagens orbitais. Como os ciclos das principais culturas de importância econômica para o Brasil (p.ex. milho, arroz e soja,) coincidem com o período de novembro a março, época de maior pluviosidade e cobertura de nuvens, isto pode representar impedimento natural à utilização de dados de satélites. Assim, uma das alternativas potenciais pode ser a utilização de imagens oriundas dos sensores ópticos obtidas em época anterior ao plantio, quando há aumento da probabilidade de obtenção de imagens livres de nuvens.

Desta forma, o objetivo principal da presente pesquisa foi avaliar a utilização de imagens de sensoriamento remoto orbital obtidas na fase de pré-plantio, para a estimativa de áreas destinadas ao plantio de culturas de verão, em uma parte do Estado de São Paulo representada por oito municípios.

2. Área de Estudo

A área de estudo está localizada no centro-leste do Estado de São Paulo, entre as coordenadas 22°40'00" S a 23°00'00" S e 47°09'00" W a 47°55'00" W, compreendendo um segmento composto por oito municípios: Sumaré, Hortolândia, Nova Odessa, Americana, Santa Bárbara, Piracicaba, Iracemápolis e Rio das Pedras. A Figura 1 apresenta o esquema de localização da área de estudo, sendo que uma detalhada descrição desta área pode ser encontrada em Moura (2000).



Municípios: 1 – Hortolândia; 2 – Sumaré; 3 – Nova Odessa; 4 – Americana; 5 – Santa Bárbara d'Oeste; 6 – Rio das Pedras; 7 – Iracemápolis e 8 – Piracicaba.

Figura 1 – Localização (coordenadas) dos oito municípios componentes da área de estudo.

3. Materiais e Métodos

3.1 – Materiais

Os materiais utilizados na presente pesquisa foram os seguintes: - imagens correspondentes à órbita 220, ponto 76, quadrante B do sensor TM/Landsat-5 em duas diferentes datas (29/07/1998 e 15/09/1998) e cartas topográficas na escala de 1/50.0000 (IBGE, 1974). O software utilizado foi o SPRING (INPE, 1999).

3.2 – Métodos

Em função da multitemporalidade, torna-se necessário trabalhar com dados de reflectância, que é propriedade física intrínseca dos objetos. Assim, foi feita a conversão dos níveis de cinza para valores de reflectância, conforme proposto por Markham e Barker (1986).

A imagem de 29/07/1998 foi corrigida geometricamente utilizando cartas topográficas na escala de 1:50.000 como referência (Mather, 1987; Richards, 1993). Em seguida, foi feito o registro imagem-imagem para cena TM de 15/09/1998.

Após os pré-processamentos, as imagens encontram-se adequadamente corrigidas para aplicação de transformações multitemporais. O NDVI é um índice de vegetação bastante usado em estudos de caracterização e monitoramento da vegetação, pois apresenta alta correlação com parâmetros associados ao vigor e à produtividade da vegetação (Chapelle et al., 1992; Wiegand et al., 1991). Desta forma, foram geradas imagens NDVI para as duas datas de imagens TM disponíveis para a presente pesquisa.

Trabalhos de coletas de dados em campo foram realizados visando obter uma referência (“*ground truth*”) e também para a construção do calendário de plantio praticado na região de estudo, tendo-se observado que, no inverno, as áreas são ocupadas por tomate, batata, cana-de-açúcar, pastagens e pousio; no verão, as culturas de maior importância são o feijão, o milho, a cana-de-açúcar e as pastagens.

Com as imagens processadas e de posse do calendário agrícola, a próxima atividade realizada foi a segmentação das imagens TM/Landsat, particionando as diversas áreas espectralmente homogêneas pela técnica de *crescimento de regiões* disponível no SPRING (INPE, 1999), tendo-se selecionado os limiares (similaridade e área) 14 e 10 para a imagem de julho e 12 e 10 para a de setembro. No presente trabalho, foram testados dois tipos de classificação: (a) a supervisionada, pixel a pixel, máxima verossimilhança MAXVER (INPE, 1999); e (b) a não-supervisionada, por regiões, ISOSEG (INPE, 1999), ambos disponíveis no SPRING. Seguindo recomendações de Aronoff (1982) e de Congalton (1991), considerou-se um intervalo de confiança de 95%, com uma exatidão mínima desejada de 85% e um erro máximo de 5%, determinando-se o número de 270 unidades amostrais que foram sorteadas sobre toda a área, para avaliações das classificações realizadas. Com esses dados, foi possível montar as matrizes de erro e os cálculos das estimativas do coeficiente kappa.

Tendo-se as classificações das imagens multitemporais TM/Landsat, é em função dos usos verificados nestas cenas que será possível estimar com antecedência as *áreas destinadas à culturas de verão* (ADCV). Para tanto, considerando o calendário agrícola e a dinâmica regional e o conceito de *tradição do agricultor* (Ortiz et al., 1997), foram montados os critérios de decisão mostrados na Tabela 1. Aplicando-se uma amostragem aleatória, considerando os referidos critérios de decisão e fazendo expansão direta, obtiveram-se as ADCVs, cuja metodologia de estimação é objetivo precípuo da presente pesquisa.

Para a avaliação metodológica, foram digitalizados os limites dos oito municípios e dos 2050 talhões agrícolas existentes na área. Para a obtenção das porcentagens de *área plantada por cultura* (APC) e também da *área plantada por cultura por município* (APCM), foi feita uma amostragem considerando os três estratos principais presentes na área de estudo: (a) áreas de domínio de cana-de-açúcar (1151,69 km², com 3,47% amostrados); (b) áreas com domínio de pastagens (991,34 km², com 4,03% amostrados); e (c) áreas com domínio de culturas de ciclo curto (200,28 km², com 2,50% amostrados). Os diferentes tamanhos de segmentos amostrais utilizados seguiram as recomendações apresentados pela FAO (1996) e que são aplicados na metodologia de previsão de safras agrícolas em uso pelo IBGE denominada PREVS. Trabalho de campo realizado em dezembro de 1998 propiciou uma “verdade terrestre”, a qual permitiu verificar quais usos reais foram de fato dados às ADCVs,

bem como possibilitou fazer comparações com os dados oficiais (Levantamento Sistemático da Produção Agrícola - LSPA/IBGE e LUPA – IEA).

Tabela 1 – Critérios de decisão para previsão de implantação de culturas de verão 09/99, usando dados TM/Landsat-5.

SITUAÇÕES POSSÍVEIS	USO E OCUPAÇÃO			ADCV DEZ/JAN 99
	JUL 29/07/98	SET 15/09/98	NDVI (set-jul)	
1	Solo exposto	Solo exposto	Intermediário	Cultura de ciclo curto (milho, feijão ou algodão)
2	Pousio	pousio	Intermediário	Cultura de ciclo curto (milho, feijão)
3	Cultura de ciclo curto (tomate)	Cultura de ciclo curto (tomate)	Intermediário	Cultura de ciclo curto (milho ou feijão) ou tomate
4	Cultura de ciclo curto (batata)	Solo exposto	Baixo	Cultura de ciclo curto (milho)
5	Cultura de ciclo curto (tomate)	Cultura de ciclo curto	Intermediário	Cultura de ciclo curto (milho ou feijão)
6	Cana-de-açúcar (adulta)	Cana-de-açúcar (adulta)	Intermediário	Cana-de-açúcar (soca)
7	Cana-de-açúcar (soca)	Cana-de-açúcar (soca)	Intermediário	Cana-de-açúcar
8	Solo preparado	Cana-de-açúcar (planta)	Alto	Cana-de-açúcar
9*	Solo preparado	Solo preparado	Intermediário	Cana-de-açúcar
10	Pastagem	Pastagem	Intermediário	Pastagem
11	Banana	Banana	Intermediário	Banana
12	Citrus	Citrus	Intermediário	Citrus

* Esta situação surgiu apenas no município de Iracemápolis.

4 - Resultados e Discussão

As estimativas das ADCVs foram obtidas através das classificações multitemporais das imagens NDVI (Figura 2), utilizando o algoritmo MAXVER a 95%.

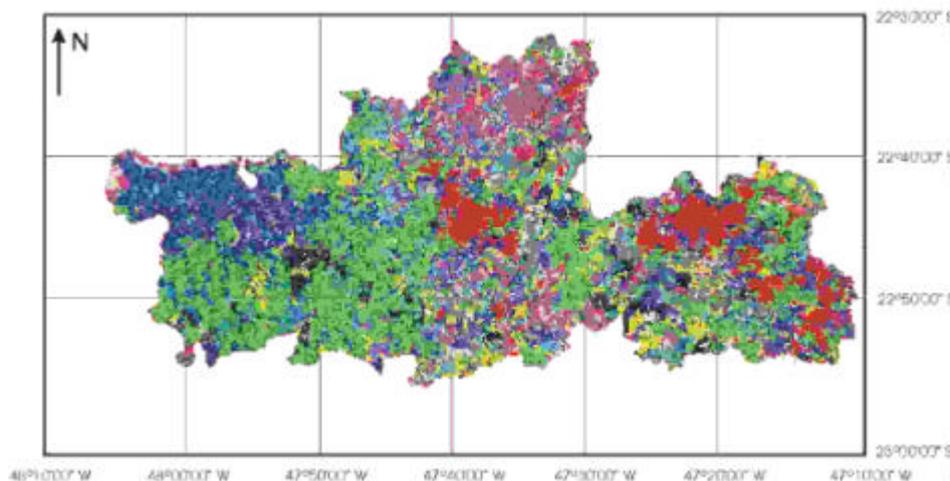


Figura 2 - Classificação multitemporal NDVI dos oito municípios da área de estudo (*amarelo e magenta*: ADCVs; *bege*: reflorestamentos; *vermelho*: áreas urbanas; *verde*: cana-de-açúcar; *azul escuro*: pastagens; *cyan e roxo*: nuvens; *preto*: áreas cobertas com palhadas).

As classificações foram avaliadas através do método da estatística kappa, que apresentou os resultados mostrados nas Tabelas 2 e 3, para as diferentes classes de usos: [ADCVs (milho, feijão, tomate, batata, solo preparado e solo com resíduos), cana-de-açúcar, eucalipto e pastagem].

Tabela 2 – Matriz de erro e indicadores da exatidão derivados da classificação supervisionada multitemporal de imagens NDVI.

Classes de Referência	Classes Espectrais				Σ Linha
	ADCV	Cana	Eucalipto	Pastagem	
ADCVs	75	11	0	0	86
Cana	5	76	0	3	84
Eucalipto	0	0	50	0	50
Pastagem	0	3	0	47	50
Σ Coluna	80	90	50	50	270

$P_0 = 0,92$ (exatidão geral)

$\hat{K} = 89,0\%$ (estimativa do Kappa)

Tabela 3 – Indicadores de exatidão para as classes individuais, derivados da classificação supervisionada (MAXVER) de imagens multitemporais NDVI

CLASSE	ERRO DE OMISSÃO	EXATIDÃO DO PRODUTOR	ERRO DE INCLUSÃO	EXATIDÃO DO CONSUMIDOR
ADCV	0,13	0,87	0,06	0,94
CANA	0,10	0,90	0,16	0,84
EUCALIPTO	0,00	1,00	0,00	1,00
PASTAGEM	0,06	0,94	0,06	0,94

Na classificação multitemporal NDVI, verifica-se que a classe ADCV apresentou um maior erro de omissão (Tabelas 2 e 3). Este fato ocorreu em função de as áreas selecionadas como pertencentes à classe ADCV apresentarem características espectrais similares às da classe cana-de-açúcar. Essas confusões estão relacionadas diretamente à similaridade da resposta espectral da cultura da cana-de-açúcar com as áreas de solo preparado e de solo exposto, em função da baixa cobertura vegetal da cana quando em estágio de soca, havendo então uma grande influência dos solos como fundos de cena. A cultura da cana-de-açúcar apresentou também confusão com a classe pastagem devido à similaridade nas respostas espectrais de ambas as classes nas faixas do vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio, sendo que as amostras de pastagem apresentavam características de áreas degradadas, como discutido por Tardin et al. (1985). Já a classe eucalipto não apresentou similaridade espectral com nenhuma das outras classes avaliadas, devido ao agrupamento das matas ciliares e reflorestamentos.

A *Estimativa de Área Plantada por Cultura* (APPC) é um importante passo para realizar a previsão de safras e foi obtida a partir da amostragem das ADCVs geradas através das classificações digitais das imagens NDVI. No entanto, devido à resolução espacial dos dados de sensoriamento remoto orbital utilizados, foram necessárias informações complementares como os critério de decisões (Tabela 1), a estratificação da área de estudo e

da dinâmica agrícola da região, sendo que todas estas informações proporcionaram a construção de um banco de dados geográficos. As informações armazenadas neste banco de dados proporcionaram a identificação dos diferentes usos na área de estudo.

As APPCs obedeceram um sistema de amostragem dentro de cada estrato de forma aleatória, tomando como base uma malha de quadrículas de 400 ha para os estratos de domínio de cana-de-açúcar e pastagem e de 100 ha para o estrato de domínio das culturas de ciclo curto. Estas quadrículas foram analisadas e quantificadas em função dos usos. Posteriormente a esta etapa, os resultados obtidos foram expandidos de forma direta para toda a área de estudo. A Tabela 4 apresenta os resultados da expansão direta dos diferentes usos na área de estudo, usando como base a estatística da FAO (1996).

Tabela 4 – Áreas expandidas por classes no estrato, usando a estatística da FAO (1996).

Estrato*	Classes de uso e ocupação (ha)						Área Total
	CA	RF	PT	MI	FJ	TO	
A	100.082	12.208	1.152	1.727	-	-	115.169
B	19.827	6.444	72.368	496	-	-	99.135
C	5.007	-	4.006	4.046	4.926	2.043	20.028
Σ_{estrato}	124.916	18.652	77526	6.269	4.926	2043	234.332

*A- domínio de cana-de-açúcar; B- domínio de pastagem e C- domínio de cultura de ciclo curto.
CA- cana-de-açúcar; RF- Reflorestamento; PT- pastagem; MI- Milho; FJ- Feijão e TO- Tomate

Os dados apresentados na Tabela 4 foram originados da expansão direta dos resultados obtidos através do sistema de amostragem aplicado sobre o resultado do trabalho de campo realizado em dezembro de 1998, possibilitando assim a geração dos valores para cada classe de uso. Nesta fase, os dados de sensoriamento remoto orbital foram muito importantes, por proporcionar o acompanhamento dos diferentes usos e estágios vegetativos em que se encontravam as culturas e também por facilitar a localização no campo das unidades sorteadas durante o processo de amostragem das áreas.

Pela Tabela 4 verifica-se que tanto a metodologia usando os valores digitais das imagens TM/Landsat, como os valores da classificação multitemporal NDVI apresentaram um bom desempenho, para estatísticas municipais, comparando com a verdade terrestre; o que comprova a validade das metodologias propostas na presente pesquisa.

5 - Conclusões e recomendações

A utilização dos dados multitemporais TM/Landsat-5 da época de pré-plantio foi considerada como uma alternativa viável para identificação e quantificação das áreas destinadas às culturas de verão e como apoio à estimativa de áreas plantadas por cultura e por município.

As classificações supervisionada e não-supervisionada com seus respectivos algoritmos (MAXVER e ISOSEG) mostraram-se muito eficientes na discriminação dos alvos agrícolas da região. No entanto, houve casos de confusão devido à similaridade das respostas espectrais dos alvos agrícolas (p.ex. cana-soca com solo exposto), o que acarretou em uma superestimativa das áreas destinadas às culturas de verão. Estes problemas foram solucionados através da utilização de informações paralelas como banco de dados geográficos, trabalhos de campo e o conhecimento da dinâmica agrícola da região.

A classificação digital multitemporal NDVI proporcionou uma visualização das alterações ocorridas no período entre as duas datas disponíveis. Desta maneira, foi possível

identificar as áreas ocupadas com cana-de-açúcar, as áreas que haviam sido colhidas e as áreas que permaneceram em pousio ou que estavam com cultura de ciclo curto.

Recomenda-se a realização de trabalhos suplementares com a metodologia proposta a fim de validar os procedimentos em outras áreas com diferentes culturas, calendários agrícolas, dinâmicas regionais e condições gerais de solos e de manejo.

Tabela 5 – Áreas das Classes de ADCVs, cana-de-açúcar e pastagem por município (ha).

Município	Cultura	LSPA 98/99	LUPA 94/95	Landsat/TM (Jul e Set/98) ¹	NDVI (Jul e Set/98) ²	Verdade Terrestre (DEZ/98)
Hortolândia	CANA	1.300	489,60	819	920,00	890
	ADCV	400	470	408	404	297
	PASTAGEM	-	539,50	910	950	-
Sumaré	CANA	4.000	2.124	2.600	2.458	2.732
	ADCV	538	820,5	1.487	1.530	1.776
	PASTAGEM	-	1.475,1	4.300	4.180	-
Nova Odessa	CANA	3.000	2.145,20	1.332	1.854	1.767
	ADCV	248	394,70	385,00	415	353
	PASTAGEM	-	312,9	2.500	2.840	-
Americana	CANA	2.000	980,90	2.116	2.380	2.418
	ADCV	150	111,50	274	212	294
	PASTAGEM	-	246,3	302	330	-
Sta Bárbara d'Oeste	CANA	16.750	17.349,20	16.477	17.200	18.082
	ADCV	940	404,80	1.018	987	1.130
	PASTAGEM	-	317,7	300	350	-
Rio das Pedras	CANA	15.356	14.356,80	15.576	16.300	16.808
	ADCV	226	359,50	276	246	310
	PASTAGEM	-	1.184,3	700	980	-
Iracemápolis	CANA	8.500	8.421,10	6.730**	7.060**	8.949
	ADCV	0,00	157,20	2.000**	1.802**	0,00
	PASTAGEM	-	642,7	670	730	-
Piracicaba	CANA	41.940	55.121,10	43.286	43.780	43.609
	ADCV	2.171	3.056,40	2.458	2.130	2.867
	PASTAGEM	-	38.430,3	45.870	45.930	-

¹ Valores obtidos de imagens com valores de número digitais.

² Valores obtidos através da classificação multitemporal NDVI.

** No município de Iracemápolis, os agricultores cultivam apenas cana-de-açúcar, e os valores de ADCV são na realidade solos preparados para a cultura da cana-de-açúcar.

Referências

- Aronoff, S. Classification accuracy: a user approach. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 8, n. 8, p. 1299-1307, 1982.
- Chapelle, E.M.; Kin, M.S.; McMurtrey, J.E. Ratio analysis of reflectance spectra (RARS): an algorithm for the remote estimation of the concentrations of chlorophyll A, chlorophyll B and carotenoids in soybeans leaves. *Remote Sensing of Environment*, v. 39, n. 3, p. 239-247, 1992.
- Congalton, R.G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, v. 37, n. 1, p.35-46, 1991.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. *Multiple frame agricultural surveys*. Roma: 1996. 119 p. (FAO Statistical Development Series 7).
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cartas Topográficas (Americana, Campinas, Capivari, Cosmópolis, Laras, Limeira, Piracicaba, São Pedro). Rio de Janeiro, 1974. (Mapas na Escala 1:50.000).

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. SPRING. <http://www.dpi.inpe.br/spring> (consulta em agosto/1999).

Markham, B.L.; Barker, J.L. *Landsat MSS and TM postcalibration on dynamic ranges of exoatmospheric reflectances and at-satellite temperatures*. Langham: EOSAT, 1986. 21 p. (Landsat Technical Notes n. 1).

Mather, P.M. *Computer processing of remotely-sensed images: an introduction*. 3ed. Great Britain: John Wiley & Sons, 1987. 352 p.

Moura, V. *Imagens multitemporais TM/Landsat-5 da época de pré-plantio na estimativa de áreas destinadas a culturas de verão*. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). 2000. 109 pp.

Ortiz, M.J.; Formaggio, A.R.; Epiphanyo, J.C.N. Classification of croplands through integration of remote sensing, GIS and historical database. *International Journal of Remote Sensing*, v. 18, n. 1, 95-105. 1997.

Richards, J.A. *Remote sensing digital image analysis: an introduction*. 3.ed. Berlin; Springer-Verlag, 1993. 340 p.

Tardin, A.T.; Batista, G.T.; Palme, U.W.; Lima, A.M. de. *Avaliação preliminar de dados TM para identificação e estimativa de área da cultura de cana-de-açúcar*. São José dos Campos: INPE, 1985. 12 p. (INPE-3473-PRE/716).

Wiegand, G.L.; Richardson, A.J.; Escobar, D.E. Vegetation indices in crop assessment. *Remote Sensing of Environment*, v. 35, n. 2, 105-119.1991.