

AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE ESTIMATIVA DE ÁREA IRRIGADA EM REGIÃO TROPICAL ATRAVÉS DE IMAGENS TM-LANDSAT

Sherry C. Chen
Evelyn M. Leão M. Novo
Sérgio dos Anjos F. Pinto
Mário Valério Filho
Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE
Ministério da Ciência e Tecnologia
Caixa Postal 515, 12201 - São José dos Campos, SP, Brasil
Roberto Rosa
Universidade Federal de Uberlândia

RESUMO

O Instituto de Pesquisas Espaciais em convênio com o Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo realizou pesquisa para avaliar o potencial de composições TM/LANDSAT falsa cor na estimativa de área irrigada da bacia do Rio Piracicaba (SP). Diversos estudos demonstram com sucesso o uso de dados orbitais para a identificação e mapeamento de áreas irrigadas em regiões semi-áridas, o que é relativamente fácil devido à presença de biomassa verde nas parcelas sob irrigação em contraste com as áreas circunvizinhas as quais se apresentam com vegetação sob estresse hídrico. Ao contrário das regiões semi-áridas, em condições de clima tropical, a identificação e mapeamento de áreas irrigadas é um desafio, principalmente na área em estudo onde predominam pequenas parcelas, culturas diversificadas no período de deficiência hídrica e relevo montanhoso. Neste estudo compararam-se dois métodos de estimativa de área irrigada: um modelo de expansão direta usando apenas informações de campo coletada em segmentos amostrais; outro modelo a partir de um estimador de regressão combinando informação de campo e dados de sensoriamento remoto em segmentos amostrais. Obteve-se uma redução de 94,02% na variância da estimativa de área irrigada quando se utilizou o modelo de estimativa de regressão em relação à estimativa por expansão direta para o tamanho amostral de 20 segmentos. As vantagens e limitações do uso de sensoriamento remoto orbital para estimar área irrigada em climas tropicais são também apresentados.

ABSTRACT

A joint project of DAEE (São Paulo State Department of Water and Energy) and INPE (Space Science Institute) was carried out to evaluate the possibility of using LANDSAT TM imagery for irrigated area estimation in the water basin of Piracicaba. Successful studies have been reported in the semi-arid region where the identification of irrigated area using remotely sensed data obtained during dry season is relatively trivial due to the presence of green biomass. However, in tropical environment, there is no well defined dry period and the cropping and irrigation systems are diversified, these factors make the task of estimating irrigated area difficult. In this study two methods were proposed to estimate irrigated area; (1) direct expansion of field information collected in sampled segments when LANDSAT data are not available and (2) regression estimation using ground-gathered data of sampled segments and multitemporal LANDSAT false color images. Study results show that when LANDSAT data were used and incorporated to ground information of the randomly selected segments, a reduction of 94,02% in variance of the estimated acreage was achieved comparing to that obtained using the approach of direct expansion. The advantages and limitations of using LANDSAT data to estimate irrigated area in tropical climate are also presented.

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento da demanda de água durante a estação seca é um fator importante para o planejamento das tomadas de decisão sobre distribuição de recursos hídricos a nível estadual. A demanda de água pode ser calculada a partir de dados de área irrigada. A área irrigada pode ser estimada através de técnicas de amostragem no campo, porém esse método é dispendioso e demorado. Embora as medidas de campo para cada unidade amostral sejam exatas, a precisão final da

estimativa depende da homogeneidade das unidades amostrais e o tamanho da amostragem que normalmente é restrita a uma pequena parte da área de estudo.

Desde o lançamento, em 1972, do 1º satélite da série Landsat um grande esforço tem sido realizado para levantamentos agrícolas tais como estimativa de área plantada ou área irrigada, mapeamento de uso do solo, etc. através de dados

de sensoriamento remoto. As vantagens de utilização desses dados são: a) maior frequência de aquisição de dados (18 dias para Landsat 1,2 e 3; 16 dias para Landsat 4 e 5); b) possibilidade de examinar toda a população ao invés de apenas amostras.

Apesar dessas vantagens, algumas classes podem ser classificadas erroneamente devido à similaridade das respostas espectrais de diferentes culturas. Outras classes não são mapeáveis devido às limitações oferecidas pela resolução espacial dos sensores. Conseqüentemente, o resultado final para um inventário agrícola baseado apenas em dados de sensoriamento remoto pode ser tendencioso.

Considerando as vantagens e desvantagens acima mencionadas em relação aos dois métodos, desenvolveu-se uma metodologia combinando os dois procedimentos.

Neste método, na primeira fase se faz uma estimativa grosseira (rápida e menos dispendiosa) para toda a área de estudo usando dados de sensoriamento remoto. Na segunda fase, outra estimativa mais exata é realizada com base em dados coletados para segmentos amostrais. O relacionamento observado entre os dados de sensoriamento remoto e os dados de campo para os segmentos amostrais é utilizado na correção da estimativa obtida através de informações de sensoriamento remoto para toda a área de estudo.

Este método combinado foi amplamente testado nos Estados Unidos da América (Ray et alii, 1976; Sigman et alii 1977, Wigton et alii 1978; Tomas et al 1984) e no Brasil (Moreira et alii, 1983), na Argélia e Nepal (Roller, 1984), na França (Meyer - Roux et alii 1984) e na Argentina (Redondo et alii 1984), para a estimativa de área plantada com culturas.

Este método foi também usado com sucesso para estimar área irrigada na região árida e semi-árida devido à forma regular dos talhões irrigados que aparecem com coloração vermelha nas composições coloridas falsa cor (CFC) em contraste com as regiões circunvizinhas caracterizada por vegetação sob estresse hídrico. Heller et al (1979) usou transparências coloridas (MSS-LANDSAT) na escala 1:1000.000 e fotografias aéreas infra-vermelhas (1:120.000) em forma de transparências positivas na estimativa de área irrigada na região Sudeste de Idaho empregando um procedimento de amostragem multi-estágio, com probabilidade variável. Wall et alii (1984) demonstrou a eficiência de um sistema de inventário utilizando estimativa de regressão estratificada baseada em dados multitemporais do Landsat e em dados relativos a uma única observação de campo para estimar a proporção de área irrigada a nível de município (county), bacia hidrográfica e Estado.

Incentivada pelos resultados da literatura, e consciente das peculiaridades de identificar área irrigada em região árida e semi-árida, o Instituto de Pesquisas Espaciais realizou um esforço conjunto com o Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo, visando investigar a viabilidade de utilizar dados Landsat para estimar área irrigada na bacia do

Rio Piracicaba (SP).

Com esse objetivo escolheu-se uma área piloto de 14km x 14km nos municípios de Itatiba e Bragança Paulista que representa o padrão de policultura em pequenas parcelas, típico da maior parte da bacia do Rio Piracicaba.

A identificação e mapeamento de área irrigada em condições de clima tropical não é uma tarefa tão trivial quanto em regiões semi-áridas. Dentre as dificuldades destacam-se a presença de culturas que necessitam irrigação (tomate, batata, vagem; morango, rosa, etc) ocorrendo no mesmo período, ao lado de culturas não-irrigadas (feijão, cevada, cana-de-açúcar). Todas essas culturas possuem biomassa verde durante o período seco (maio a setembro) o que torna a discriminação entre áreas irrigadas e não irrigadas muito mais difícil.

Deste modo, os objetivos desse trabalho são: a) avaliar o método combinado para estimar a área irrigada; b) estimar até que ponto os erros de classificação derivados do uso de dados de sensoriamento remoto podem ser corrigidos usando informação de campo para os segmentos amostrados.

2. MÉTODO

A área piloto de 14km x 14km foi localizada sobre uma carta topográfica na escala 1:50.000 e dividida em 196 segmentos de 1km x 1km. Para garantir que fossem coletadas suficientes informações de campo; englobando diversos tipos de cultura e práticas de irrigação, optou-se por uma amostra relativamente grande (n=40). Os segmentos foram sorteados aleatoriamente.

As viagens de campo foram realizadas mensalmente e para cada segmento selecionado as áreas irrigadas foram delimitadas sobre fotografias aéreas de arquivo (1:25.000). A extensão espacial das parcelas irrigadas foi calculada para cada segmento com o auxílio de uma grade milimetrada. Para minimizar distorções geométricas inerentes às fotografias aéreas, procurou-se utilizar sempre as porções centrais das fotos.

Paralelamente composições falsa-cor convencionais (canais 2,3 e 4) e composições falsa-cor com os canais 5, 3 e 4 foram processadas em todas as datas disponíveis durante o período de maio a outubro. A imagem de outubro foi incluída para discriminar culturas irrigadas tardias que são plantadas em fim de agosto ou início de setembro.

Os limites da área de estudo, bem como os segmentos amostrados foram transferidos de mapa base para as imagens Landsat usando uma transparência.

Como elementos de referência para a perfeita localização dos segmentos sobre as imagens utilizaram-se confluências de rios e estradas.

Para a interpretação das imagens foram designados dois fotointerpretes para CFC 2, 3,4 e 3 intérpretes para a CFC 5,3,4. A interpretação foi realizada separadamente para cada passagem e posteriormente combinou-se estas in

formações data a data para formar um único mapa de área irrigada para cada combinação de canais (produto).

A estimativa de área irrigada obtida usando os canais 2,3,4 ou 5,3,4 foi comparada com a formação de campo. Posteriormente realizou-se um teste estatístico para selecionar a CFC de melhor desempenho na discriminação de área irrigada.

O objetivo de se incluir 5 fotointerpretes foi se obter uma avaliação da homogeneidade/heterogeneidade da capacidade de identificação de áreas irrigadas sobre as CFCs.

Após a escolha da CFC realizou-se uma análise de regressão usando informações de campo e de imagem Landsat nos segmentos amostrados. Posteriormente testou-se se a regressão linear que era significativa ($\alpha = 0,01$). Após confirmações a estimativa de área irrigada baseada apenas em dados de sensoriamento remoto para toda a área de estudo foi corrigida utilizando-se o modelo de regressão.

O ganho de eficiência utilizando dados de sensoriamento remoto e informação de campo foi calculado dividindo-se a variância obtida pela expansão direta (dados de campo para segmentos amostrados) pela variância obtida no método combinado (modelo de regressão).

A Figura 1 mostra o esquema do método combinado que pode ser também utilizado para outros tipos de inventários agrícolas. As fórmulas para estimar área irrigada e sua variância em cada método são apresentados a seguir:

A expansão direta (ED)

$$\bar{Y}_{ED} = N \frac{\sum Y_i}{n}$$

$$V_{\bar{Y}_{ED}} = \frac{N-n}{N} \frac{\sum (Y_i - \bar{Y})^2}{n(n-1)}$$

Estimador de Regressão (para pequenas amostras).

$$\bar{Y}_R = N [\bar{Y} + \hat{b} (\bar{X}_T - \bar{X}_S)]$$

$$\hat{b} = \frac{\sum (X_i - \bar{X}_S) (Y_i - \bar{Y})}{\sum (X_i - \bar{X}_S)^2}$$

$$V_{\bar{Y}_R} = \frac{N^2}{n} \frac{N-n}{N} \sum (Y_i - \bar{Y})^2 \frac{1 - r^2}{n-2} \left[1 + \frac{1}{n} + \frac{(\bar{X}_T - \bar{X}_S)^2}{S(X_i - \bar{X}_S)^2} \right]$$

$$\text{Eficiência relativa} = \frac{V_{\bar{Y}_{ED}}}{V_{\bar{Y}_R}}$$

onde: N = número total de segmentos na população
n = número de segmentos amostrados (tamanho da amostra)
 \bar{Y} = área total irrigada estimada.

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y_i}{n} = \text{m\u00e9dia da \u00e1rea irrigada obtida com informa\u00e7\u00e3o de campo para n segmentos amostrados.}$$

$$\bar{X}_S = \frac{\sum X_i}{n} = \text{m\u00e9dia da estimativa de \u00e1rea irrigada para n segmentos usando dados do Landsat.}$$

$$\bar{X}_T = \frac{\sum X_i}{n} = \text{m\u00e9dia da estimativa de \u00e1rea irrigada para todos os segmentos da popula\u00e7\u00e3o utilizando dados Landsat.}$$

3. RESULTADOS E DISCUSS\u00c3O

Durante o trabalho de campo as \u00e1reas irrigadas na maioria dos segmentos foram demarcadas corretamente sobre fotografias a\u00e9reas de 1973, com exce\u00e7\u00e3o de 2 segmentos para os quais n\u00e3o foi poss\u00edvel a delimita\u00e7\u00e3o das parcelas irrigadas. Estes segmentos n\u00e3o foram inclu\u00eddos nas an\u00e1lises posteriores. A tabela 1 mostra a \u00e1rea irrigada a partir de dados de campo e sua estimativa a partir de dados Landsat para os segmentos amostrados. Deve-se salientar que os 25 segmentos que n\u00e3o possuíam \u00e1rea irrigada e que foram classificados corretamente, n\u00e3o foram inclu\u00eddos na compara\u00e7\u00e3o de interpretabilidade ou na sele\u00e7\u00e3o da melhor combina\u00e7\u00e3o de canais para os CFCs. A raz\u00e3o da n\u00e3o inclus\u00e3o daqueles segmentos se deve ao fato de que a identifica\u00e7\u00e3o de \u00e1reas n\u00e3o-irrigadas \u00e9 t\u00e3o simples que sua inclus\u00e3o daria uma avalia\u00e7\u00e3o n\u00e3o-realista sobre a capacidade de discrimina\u00e7\u00e3o de \u00e1rea irrigada.

A identifica\u00e7\u00e3o de \u00e1rea irrigada, entretanto, requer profundos conhecimentos de fotointerpreta\u00e7\u00e3o, por isso a an\u00e1lise dos segmentos com \u00e1rea irrigada \u00e9 mais reveladora da capacidade de dos cinco fotointerpretes e da melhor combina\u00e7\u00e3o de canais.

Observa-se na tabela 1 que o coeficiente de correla\u00e7\u00e3o entre os 5 int\u00e9rpretes \u00e9 igual ($n = 0,96$) indicando que qualquer que seja o fotointerprete escolhido para executar esse projeto usando o m\u00e9todo combinado, o melhoramento em precis\u00e3o de estimativa ser\u00e1 igual.

A avalia\u00e7\u00e3o do melhor produto para identifica\u00e7\u00e3o de \u00e1rea irrigada foi realizada atrav\u00e9s da an\u00e1lise de regress\u00e3o usando dados de \u00e1rea irrigada por segmento, coletada no campo e a estimativa de \u00e1rea irrigada por segmento obtida por um fotointerprete selecionado aleatoriamente por produto. O teste de homogeneidade dessas duas regress\u00f5es lineares demonstrou que n\u00e3o havia diferen\u00e7a estatisticamente significantes ($\alpha = 0,01$) tanto para a declividade quanto para a interse\u00e7\u00e3o (Tabela 2). Al\u00e9m disso, a compara\u00e7\u00e3o visual dos dois overlays mostra a semelhan\u00e7a em exatid\u00e3o do mapeamento. Estes resultados levaram a conclus\u00e3o de que a CFC usando combina\u00e7\u00e3o de canal 2,3,4 \u00e9 t\u00e3o boa quanto a combina\u00e7\u00e3o 5.3.4 para identificar \u00e1rea irrigada.

Considerando, entretanto, que a combina\u00e7\u00e3o dos canais 2,3 e 4 \u00e9 melhor conhecida pelos fotointerpretes por sua correla\u00e7\u00e3o entre cores e alvos que a combina\u00e7\u00e3o 5.3.4. escolheu-se a C.F. C. 2, 3,4 como produto para esse estudo.

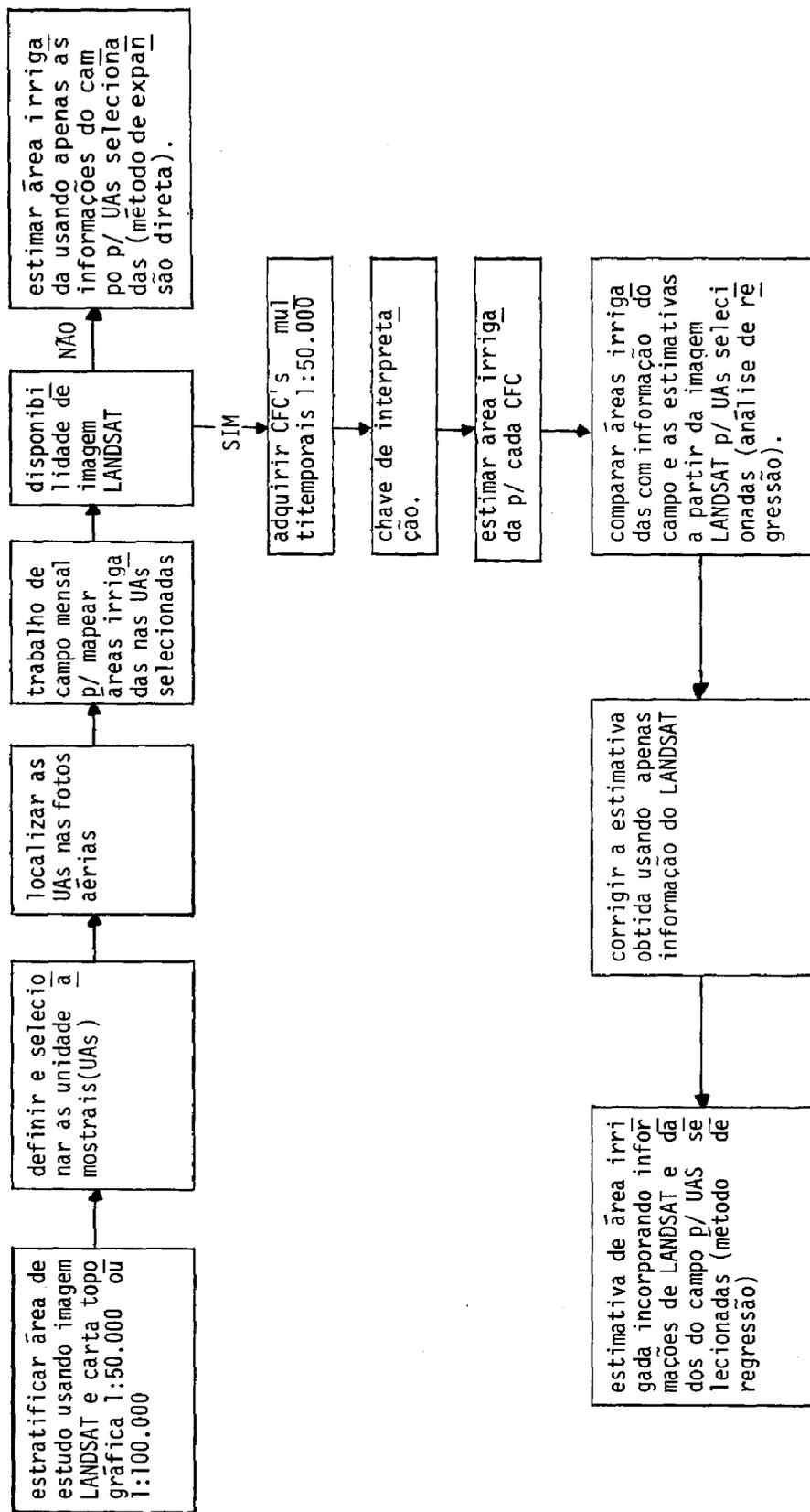


Fig. 1 - Fluxograma da metodologia para estimar área irrigada

TABELA 1

**COMPARAÇÃO DE ESTIMATIVAS DE ÁREAS IRRIGADAS
OBTIDAS POR 5 INTÉRPRETES ATRAVÉS DE DADOS LANDSAT**

Nº Segmento	Informação Campo	ÁREA IRRIGADA (ha)				
		TM - LANDSAT				
		2, 3, 4		5, 3, 4		
		Interp. A	Interp. B	Interp. C	Interp. D	Interp. E
6	11,48	14,00	13,75	12,75	13,75	12,75
9	0	2,12	2,75	2,00	2,87	2,75
10	2,62	1,88	0,75	0,65	0,75	1,87
11	15,80	6,12	7,25	7,25	7,00	5,40
12	5,18	0	0,75	0,13	0,50	0,80
13	39,44	34,88	34,00	34,50	32,25	32,50
14	46,79	43,25	51,75	43,25	51,70	39,37
17	4,44	6,50	4,50	4,00	4,75	6,12
18	5,22	0	0	0	0	0
19	20,12	27,00	24,25	28,25	21,25	23,75
25	31,75	33,00	38,50	33,25	34,25	33,37
32	4,87	4,38	3,25	3,87	3,25	4,87
34	0	0,19	0,25	0,50	0,25	0,25
36	2,96	4,00	4,50	4,25	4,75	3,62
37	1,62	5,00	6,00	5,50	5,75	4,37
COEF. CORR.		0,96	0,96	0,96	0,96	0,96

Entre os três fotointerpretes que usaram a CFC 2,3 e 4 o intérprete B foi escolhido aleatoriamente para avaliar o desempenho do método combinado.

O tamanho da amostra (n=20) foi escolhido arbitrariamente porque a utilização de uma amostra menor (5% da população ou 10 segmentos) neste estudo determinaria um alto coeficiente de correlação devido a 7 pares de dados de zeros, o que poderia conduzir a conclusões errôneas. O tamanho de amostra de 20 segmentos foi escolhido porque os primeiros 20 segmentos incluíram todos os tipos de erro (erro de omissão nos segmentos 12 e 18; erro de omissão do segmento 9) e as variações de intensidade de área irrigada (0 a 46.79 ha).

Para a interpretação visual estavam disponíveis 5 passagens ao longo do período seco: 15/05/85; 31/05/85; 16/06/85; 03/08/85 e 06/10/85. A falta de imagem em julho e setembro causou dificuldades na identificação de área irrigada, cujo plantio se deu em maio, fim de junho e início de julho, principalmente porque as plantações de batata somente atingiu 100% de área foliar após 60 dias de crescimento. O segmento 12 é um exemplo de erro de omissão devido a falta de passagens LANDSAT no período crítico para a identificação da cultura. Alguns atos da superfície, tais como, pastagens, reflorestamento e café que foram confundidos com área irrigada podem ser eliminados usando dados multitemporais. A área irrigada obtida pela informação de campo e a estimativa a partir de dados LANDSAT, dos primeiros 20 segmentos é apresentada na tabela 3. O coeficiente de correlação para este conjunto de dados é de 0,97 e análise de regressão confirmou a significância desta equação Linear.

Através da interpretação visual das imagens LANDSAT obteve-se uma área irrigada de 1040,12 ha cuja precisão não pode ser estimada (Tabela 4). Quando esta estimativa de área irrigada foi corrigida utilizando informação de campo para os segmentos mostrados obteve-se uma área de 1171,08 ha com um coeficiente de variação de 11,72%.

Quando apenas as informações de campo dos 20 segmentos amostrados foram utilizados para estimar área irrigada obteve-se uma estimativa de 1480,68 ha com um coeficiente de variação de 37,91%.

Comparando o método combinado com o método de expansão direta, o último é cerca de 16 vezes menos eficiente do que o primeiro. Isto significa que o método de expansão direta necessita de 16 vezes mais segmentos amostrados do que o método de regressão para atingir a mesma precisão. A resolução de 94,02% na variância resultou uma estimativa de área mais precisa e exata.

Para testar a consistência do sistema de amostragem utilizaram-se cinco repetições independentes com tamanho n=20. Posteriormente estas 5 repetições foram submetidas à análise de correlação, resultando em coeficientes > 0,97 (Tabela 5).

4. CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo piloto permitiram alcançar as seguintes conclusões:

TABELA 2

TESTE DE HOMOGENEIDADE DE REGRESSÃO LINEAR
OBTIDO USANDO COMPOSIÇÕES TM/LANDSAT 5-3-4 e 2-3-4

	COMPOSIÇÃO TM/LANDSAT	
	2 - 3 - 4	5 - 3 - 4
\bar{X}	12,20	12,08
$\sum x^2$	3422,27	3130,66
$\sum y^2$	3189,86	3189,86
$\sum xy$	3096,84	3045,79
a (intercepção)	1,10	1,06
b (declividade)	0,96	0,97
Ho: $\beta_1 = \beta_2$	t = 0,0983 n.s	
Ho: $\alpha_1 = \alpha_2$	t = 0,0333 n.s	

TABELA 3

ÁREA IRRIGADA NOS 20 SEGMENTOS AMOSTRADOS

ÁREA IRRIGADA (ha)		
Nº SEGMENTO	INFORMAÇÃO DE CAMPO (Y)	TM/LANDSAT (X)
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	11,48	13,75
7	0	0
8	0	0
9	0	2,75
10	2,62	0,75
11	15,80	7,25
12	5,18	0,75
13	39,44	34,00
14	46,79	51,75
15	0	0
16	0	0
17	4,44	4,50
18	5,22	0
19	20,12	24,25
20	0	0
Soma	151,09	139,75
SQ	4611,72	4692,69
Y = 0,99 + 0,94x		r = 0,97
Ho: $\beta = 0$		F = 315,04**

TABELA 4

COMPARAÇÃO DE ÁREAS IRRIGADAS OBTIDAS ATRAVÉS DE INFORMAÇÃO DE CAMPO (EXPANSÃO DIRETA), DO TM/LANDSAT, E ASSOCIAÇÃO DE INFORMAÇÕES DE CAMPO COM TM/LANDSAT (MÉTODO DE REGRESSÃO)

ESTIMATIVA DE ÁREA IRRIGADA (ha)			
	EXP. DIR.	TM/LANDSAT	MÉTODO DE REGRESSÃO
\bar{Y}	1480,68	1040,12	1171,08
$V_{\bar{Y}}$	315029,75	—	18846,46
$S_{\bar{Y}}$	561,28	—	137,28
VC%	37,91		11,72
EFICIÊNCIA RELATIVA		—	16,72

TABELA 5

COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE ÁREAS IRRIGADAS OBTIDAS NO CAMPO E DADOS DO TM/LANDSAT USANDO 5 REPETIÇÕES INDEPENDENTES (n=20)

REPETIÇÃO	r
1ª	0,9744
2ª	0,9922
3ª	0,9813
4ª	0,9729
5ª	0,9807

o Um sistema de inventário baseado em um método de amostragem estatística foi testado para estimar área irrigada. Este sistema é flexível no sentido de que pode ser aplicado independentemente da disponibilidade de dados de satélite. Porém a incorporação de dados de satélite neste sistema melhora sensivelmente a precisão e a exatidão da estimativa.

o Devido a policultura, ao tamanho pequeno das parcelas irrigadas, e as condições de relevo e clima da área piloto, a identificação de área irrigada não é tão simples como em região semi-árida ou árida. Os erros de identificação presentes neste estudo são sobretudo causados pela falta de imagens em períodos críticos, pela existência de campos fragmentados (erro de omissão) e pela impossibilidade de discriminar feijão e cevada de culturas irrigadas (erro de inclusão). Apesar disto, os erros de interpretação não influenciaram significativamente a correlação entre informação de campo e informação do Landsat, permitindo a utilização de estimador de regressão para corrigir a estimativa de área fornecida apenas pela imagem.

o Para estimar a área irrigada na Bacia do Rio Piracicaba (12.489 km²) pelo método combinado sugere-se a utilização de uma amostragem sistemática de área da bacia usando 800 segmentos amostrais de 1km x 1km. Esta porcentagem é razoável se for levado em conta que as regiões semi-áridas 5% da área é amostrada.

A estratificação pode ser aplicada na região oeste da bacia para melhorar a precisão.

Esta metodologia já é transferível, estando o programador um processo de capacitação de técnicos do DAEE para utilizá-la no Cadastro de Áreas Irrigadas no Estado de São Paulo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- HELLEN R.C.; K.A. JOHNSON. 1979. "Estimating irrigated land acreage from LANDSAT imagery" Photogram. Eng. & Remote Sensing 45(10): 1379-1386.
- MEYER-ROUX J.; Ph. FOURNIER, A.; PODAIRE, G. SAINT. 1984 "Agricultural statistics and remote sensing French research and studies with LANDSAT-MSS and SPOT simulations "Proc. 18th, Symp. on Remote Sensing of Environment.
- MOREIRA, M.A.; S.C. CHEN; G.T. BATISTA. 1986 "Wheat area estimation using digital LANDSAT MSS data and aerial photographs (in press) International J. of Remote Sensing.
- RAY, R.M. III; H.F. HUDDLESTON. 1976. "Illinois crop-acreage estimation experiment" Proc. Symp. on Machine Processing of Remotely Sensed Data, Purdue Univ., West Lafayette, IN.

- REDONDO F.V.; C.Z. PRUGENT; C. GARGANTINI; M. ANTES. 1984. "Crop identification and area estimation: An approach to evaluate Argentine main crop areas using LANDSAT data" Proc. 18th Symp. on Remote Sensing of Environment.
- ROLLER, N.E.G. 1984. Effective estimation of agricultural crop hectarage in developing countries Proc. 18th. Int. Symp. on Remote Sensing of Environment.
- SIGMAN, R.; C.P. GLEASON; G.A. Hanuschak, R.R. Starbuk . 1977. "Stratified acreage estimates in the Illinois crop-acreage experiment" Symp. on Machine Processing of Remotely Sensed Data. Purdue Univ. West Lafayette, IN.
- THOMAS, R.W.; L.H. BECK; C.E. BROWN, S.L. WALT. 1984. "Development of a satellite-aided crop acreage estimation and mapping system for the State of California "Proc. 18th Symp. on Remote Sensing of Environment.
- WALL, S.L.; R.W. THOMAS; C.E. BROWN. 1984. "LANDSAT-based inventory system for agriculture in California. Remote Sensing of Environment 14:267-278.
- WIGTON W.H.; P. BORMANN. 1978. A guide to area sampling frame construction utilizing satellite imagery. U. N. Outer Space Affairs Division.