

AVALIAÇÃO DE DOIS MÉTODOS DE AQUISIÇÃO DE ESTATÍSTICAS DE TREINAMENTO  
PARA CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA

A.M. de Lima, M.A. Moreira e S.C. Chen

Instituto de Pesquisas Espaciais

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

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

RESUMO

Utilizando-se dados digitalizados do LANDSAT, cinco segmentos ( $\approx 40 \text{ km}^2$  cada) da área de estudo foram classificados pelo Sistema I-100, com o objetivo de avaliar os resultados da classificação de trigo obtida ao aplicar dois métodos de aquisição de estatísticas de treinamento (M-1 e M-2) e um só classificador (MAXVER). Obtida a classificação dos cinco segmentos, fez-se, para a cultura de trigo, o cálculo dos fatores: classificação correta (CC), erro de inclusão (EI) e diferença relativa (DR). Os resultados desse estudo mostram que, para obter maior exatidão da estimativa de área, deve-se selecionar um método de aquisição de estatísticas de treinamento que forneça não só uma maior percentagem de CC, mas também pequeno EI e baixa DR. A análise estatística dos dados da CC, do EI e da estimativa de área, demonstrou que ao nível de 5% não houve diferença significativa entre os métodos estudados, mas apesar de terem desempenho semelhante, o M-2 mostrou-se superior ao M-1, porque requer mínima interação homem-máquina na definição das estatísticas de treinamento.

ABSTRACT

Two different approaches (M-1 and M-2) for acquisition of training statistics were tested in five segments ( $\approx 40 \text{ km}^2$  each) to evaluate their effects on classification accuracy using the same classifier-MAXVER implanted in the Image-100 system for wheat classification using LANDSAT data. After classification the percentages of correct classification (CC), error of commission (EI) and relative difference (DR) in area were calculated. The results of this study suggest that an ideal procedure for the acquisition of training statistics should not only provide a high percentage of correct classification but also a low error of commission and a small relative difference in area estimation. Pair-t tests of CC, EI and area estimation showed that no statistical differences at the 5% level were found between the studied approaches, nevertheless procedure M-2 was better than M-1 considering the less man-machine interaction required in the procedure for the acquisition of training statistics.

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como objetivo avaliar os resultados da classificação automática de trigo, obtida pela aplicação de dois métodos de aquisição de estatísticas de treinamento e um só classificador.

Segundo Hixson et alii (1980), a definição das estatísticas de treinamento é mais importante que a escolha do classificador adequado para obter a classificação de uma cultura. Eles demonstraram que, fixando o método de obtenção dessas estatísticas, houve pequena diferença na exatidão da classificação obtida ao utilizar vários classificadores. Concluíram que para obter uma boa classificação, o modo de aquisição das estatísticas de treinamento é muito importante.

Nelson (1981) utilizou duas abordagens diferentes na aquisição dessas estatísticas, para a classificação de áreas ocupadas com florestas: agrupamento dos "pixels" que foram selecionados aleatoriamente e agrupamento de "pixels" de vários blocos heterogêneos. Os resultados deste estudo mostraram que as duas abordagens tiveram o mesmo desempenho. As diferenças na exatidão da classificação foram mínimas e não significantes estatisticamente.

Vários classificadores disponíveis no Sistema Interativo de Análise de Imagem Multi-espectral (I-100) são utilizados para a interpretação automática dos dados LANDSAT. Chen et alii (1981) fizeram um estudo comparativo do desempenho da classificação de trigo, obtida ao utilizar alguns desses classificadores. Pa

ra a análise, foram selecionados o "Single-cell", o "Multi-cell", o Média K e o MAXVER com dois métodos de treinamento diferentes. O desempenho alcançado pelo MAXVER, quando as áreas de treinamento de trigo foram divididas subjetivamente em quatro subclasses, mostrou-se melhor, devido à alta percentagem de classificação correta (87,3%) e ao erro de inclusão relativamente baixo (12,9%).

Neste trabalho, procura-se analisar mais detalhadamente esse método, bem como desenvolver um outro método de aquisição de estatísticas de treinamento que seja menos subjetivo e que, tendo boa capacidade de identificação da cultura de interesse, forneça maior exatidão da estimativa da área.

## 2. ÁREA DE ESTUDO E AQUISIÇÃO DOS DADOS

Sendo o município de Cruz Alta um dos maiores produtores de trigo do Estado do Rio Grande

do Sul, selecionou-se, neste município, uma área de aproximadamente 800 km<sup>2</sup>, representativa do total cultivado com trigo (Figura 1). Para uma análise quantitativa mais detalhada, foram escolhidos dentro dessa área, cinco segmentos de aproximadamente 40 km<sup>2</sup> cada um. O principal critério adotado para a seleção desses segmentos foi a variação na concentração da cultura do trigo, verificando-se assim a influência da densidade cultural sobre o desempenho da classificação.

Fotografias aéreas infravermelho falsa cor, com escala aproximada de 1:20.000, foram obtidas com a câmara RC-10, no dia 2 de setembro de 1979. Estas fotos foram interpretadas visualmente e serviram como verdade terrestre para a interpretação automática dos dados digitalizados do LANDSAT, gravados em fita CCT (computer compatible tape), correspondentes à órbita 220, ponto 32, do dia 4 de setembro de 1979.

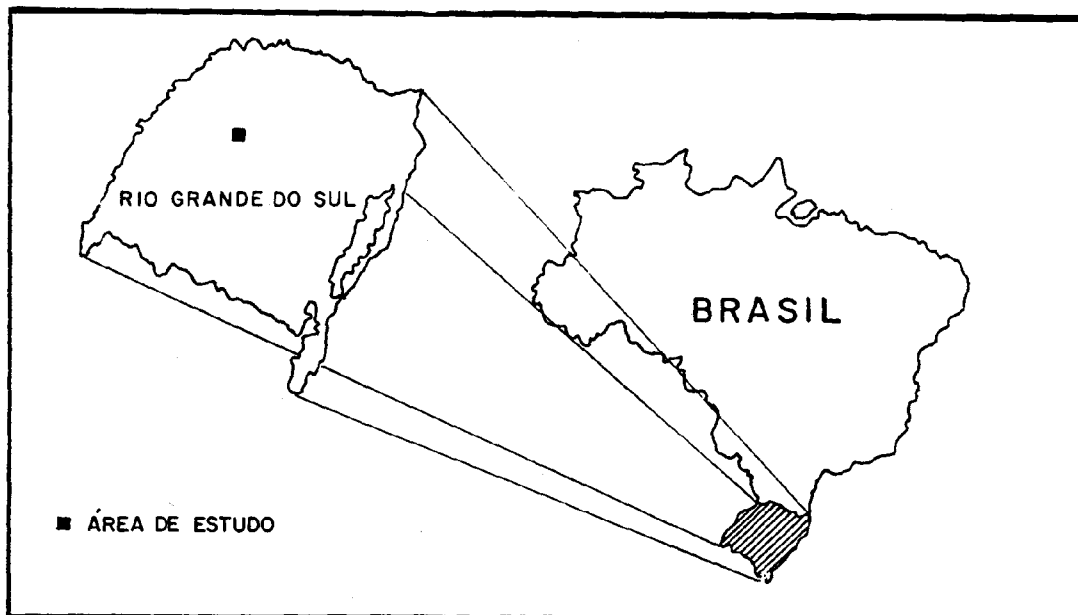


Fig. 1 - Área de estudo localizada no município de Cruz Alta, no Estado do Rio Grande do Sul.

## 3. METODOLOGIA

### 3.1 - ANÁLISE VISUAL DE DADOS OBTIDOS COM FOTOGRAFIAS AÉREAS

Após a interpretação visual das fotografias aéreas, confeccionou-se um mosaico para cada segmento. Vários talhões de trigo que apresentaram diferentes tonalidades nas fotografias, foram marcados, a fim de serem posteriormente utilizados na aquisição das áreas de treinamento para a classificação automática. Conseguiu-se, visualmente, identificar quatro tonalidades diferentes, que corresponderam às quatro subclasses de trigo discriminadas pelo I-100.

### 3.2 - ANÁLISE AUTOMÁTICA DE DADOS

Utilizaram-se dois métodos para a aquisição de estatísticas de treinamento:

#### a) Método M-1

Para este método, as estatísticas de treinamento foram adquiridas em talhões conhecidos, representativos dos alvos de interesse. Todos os "pixels" das áreas de treinamento foram utilizados na obtenção do vetor média e da matriz de covariância, estatísticas estas que caracterizam a distribuição de probabilidade das classes conhecidas e são usadas na regra de decisão do classificador de máxima

verossimilhança (MAXVER). Maiores detalhes sobre este classificador podem ser encontrados no Manual do Usuário (Velasco et alii, 1978).

Utilizando-se o cursor, foram adquiridas dentro da área de estudo, dezenove áreas de treinamento: duas de solo preparado, três de pastagem e quatorze de trigo. Devido às diferenças de tonalidade apresentadas pelo trigo, conseguiu-se dividir suas áreas de treinamento, formando quatro subclasses. Para cada subclasse foram adquiridas as estatísticas.

#### b) Método M-2

Consistiu em utilizar inicialmente o classificador não supervisionado - Média K ("clustering") para o agrupamento dos "pixels" de respostas espectrais homogêneas. A amostragem para a utilização do Média K foi feita sistematicamente, usando-se uma grade cujas linhas e colunas foram traçadas a cada 10 "pixels" da imagem e tomando-se todos os "pixels" da área de estudo que se situavam nos pontos de interseção. Após o agrupamento, fez-se a identificação dos tipos de cobertura correspondentes às várias classes espectrais obtidas, que passaram a ser chamadas classes informativas. Com base nos resultados do agrupamento, as áreas de treinamento foram adquiridas, obtendo-se as estatísticas de treinamento utilizadas pelo MAXVER.

O que difere um método do outro é o modo de aquisição das estatísticas de treinamento, que no método M-1 são adquiridas subjetivamente. Uma vez definidas estas estatísticas, foram usados nos dois métodos o mesmo classificador (MAXVER). Este classificador requer para sua utilização, que os dados de cada classe ou subclasse apresentem distribuição gaussiana. No entanto, as respostas espectrais das culturas geralmente não possuem distribuição normal, devido a vários fatores, como: diferentes variedades culturais, diversos tipos de solos cultivados, vários estágios fisiológicos das plantas, etc. Então, foi utilizado o método M-2 que, ao agrupar matematicamente os "pixels" com respostas espectrais homogêneas, as classes e subclasse obtidas ficaram com funções de probabilidade unimodais e aproximadamente normais.

Analisaram-se também as distâncias J-M (Jeffreys-Matusita Distances), obtidas através dos métodos M-1 e M-2, para verificar a separabilidade entre classes e subclasses. Os valores das distâncias J-M estão compreendidos entre zero (0) e dois (2). Segundo Swain and King (1973), para J-M = 1,82, tem-se CC (percentagem de classificação correta) = 82%; para J-M = 2,00, tem-se CC = 100%. Quanto maior o valor da distância J-M, maior a separabilidade entre as classes ou subclasses e, conseqüentemente, maior a probabilidade de classificação correta.

Após a classificação, foram obtidos mapas alfanuméricos ("printouts") na escala de 1:20.000, contendo a distribuição espacial do trigo e do solo preparado, classificados. O I-100 também forneceu o número total de pontos classificados como trigo, em cada segmento.

### 3.3 - COMPARAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS COM FOTOGRAFIAS AÉREAS E COM I-100

Os "printouts" correspondentes a cada segmento foram sobrepostos aos mosaicos para verificar ponto a ponto os resultados da classificação. Para tal, usaram-se talhões de solo preparado como pontos de controle, devido à uniformidade de sua resposta espectral. Posteriormente, procedeu-se à contagem manual do número de pontos de trigo que não haviam sido classificados, do número de pontos de outros tipos de cobertura que foram classificados como trigo, e do número de pontos de trigo classificados corretamente.

Os desempenhos dos métodos estudados foram avaliados após o cálculo de alguns fatores, tais como: CC (Classificação Correta), EI (Erro de Inclusão), DC (Densidade de Cultura) e DR (Diferença Relativa). Esses fatores foram calculados para todos os segmentos, usando-se as seguintes fórmulas:

$$CC = \frac{a}{b} \quad EI = \frac{c}{d} \quad DC = \frac{b}{e}$$

$$DR = \frac{(d - b)}{b},$$

onde:

- a → área de trigo classificada corretamente pelo I-100.
- b → área real de trigo, obtida pelas fotos aéreas.
- c → área de outros tipos de cobertura, classificada como trigo.
- d → área classificada como trigo pelo I-100.
- e → área total do segmento.

O teste t foi utilizado para comparar os desempenhos dos métodos M-1 e M-2. Este teste foi aplicado sobre os dados da Classificação Correta (CC), do Erro de Inclusão (EI) e da Estimativa de Área. Antes de se proceder ao teste t, os dados originais da CC e do EI sofreram a transformação arco seno, a fim de que ficassem normalmente distribuídos.

### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Feitas as contagens do número de pontos de trigo classificados corretamente, do número de pontos de trigo não classificados e do número de pontos de outros tipos de cobertura que foram classificados como trigo, pôde-se

calcular as áreas estimadas por fotos aéreas e as áreas estimadas pelo I-100. Foram também calculadas as diferenças relativas e as den

sidades de cultura do trigo (DC) nos cinco segmentos. Os resultados são apresentados na Tabela 1.

TABELA 1

COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS OBTIDOS POR FOTOS AÉREAS E PELO I-100

SEGMENTO	ÁREAS ESTIMADAS POR FOTOS AÉREAS (ha)	DC (%)	ÁREAS ESTIMADAS PELO I-100 (ha)		DR ENTRE AS ÁREAS ESTIMADAS PELO I-100 E AS ESTIMADAS POR FOTOS AÉREAS (%)	
			M-1	M-2	M-1	M-2
1	2346,40	54,80	2181,27	2333,85	- 7,04	- 0,53
2	1773,08	43,10	1820,26	1805,33	2,66	1,82
3	1564,06	38,02	1562,87	1646,48	- 0,08	5,27
4	1305,48	30,46	1620,20	1554,81	24,11	19,10
5	869,82	19,93	1190,81	1199,77	36,90	37,93

Pode-se notar que, dos cinco segmentos classificados através dos métodos M-1 e M-2, três deles (segmentos 1,2 e 4) tiveram suas áreas de trigo estimadas com maior exatidão pelo método M-2, sendo que para o segmento 5, a diferença de estimativa pelos dois métodos foi muito pequena.

Calcularam-se também as percentagens de CC e do EI, utilizadas na avaliação do desempenho dos classificadores (Tabela 2).

Quase todos os segmentos estudados tiveram CC > 85%, mas o desempenho da classificação deve ser avaliado considerando-se também o EI e a DR. Utilizando-se o método M-2 para o segmento 5, a classificação correta foi de 95%, mas devido ao alto erro de inclusão ( $\cong$  30%), a diferença relativa obtida também foi muito alta (+ 38%).

Os erros de inclusão observados foram altos porque, na época da passagem do satélite, o trigo estava na fase final do embotamento, havendo confusão de sua resposta espectral com as respostas espectrais de alguns talhões de pastagem que ainda permaneciam verdes.

TABELA 2

VALORES DA CC E DO EI, OBTIDOS PARA OS 5 SEGMENTOS, ATRAVÉS DOS DOIS MÉTODOS ESTUDADOS

SEGMENTO	CC (%)		EI (%)	
	M-1	M-2	M-1	M-2
1	87,26	86,51	12,90	13,02
2	84,80	87,60	14,60	13,96
3	83,25	82,62	21,02	21,50
4	87,49	90,21	22,67	24,26
5	94,74	95,19	31,27	30,98

Algumas áreas de pastagem que não haviam sofrido falta de umidade também foram classificadas como sendo trigo, devido à semelhança entre as respostas espectrais. Assim, nos segmentos 3, 4 e 5, onde havia grande quantidade de pastagem ainda verde e baixa DC de trigo, os erros de inclusão foram bem maiores do que aqueles observados nos segmentos 1 e 2.

Analisando-se as distâncias J-M, obtidas ao utilizar os quatro canais do LANDSAT, verificou-se que o método M-2 forneceu maior separabilidade entre as classes (trigo, pastagem, mata, solo nu) e mesmo entre as subclasses de trigo (trigo I, trigo II, trigo III e trigo IV). As Tabelas 3 e 4 mostram os valores J-M obtidos através dos dois métodos estudados.

TABELA 3

VALORES J-M OBTIDOS AO UTILIZAR O MÉTODO M-1

	TRIGO I	TRIGO II	TRIGO III	TRIGO IV	PASTAGEM
TRIGO II	0.82				
TRIGO III	1.06	1.84			
TRIGO IV	1.89	1.99	1.23		
PASTAGEM	1.89	1.98	1.77	1.82	
SOLO NU	1.98	1.99	1.94	1.92	1.76

TABELA 4

VALORES J-M OBTIDOS AO UTILIZAR O MÉTODO M-2

	TRIGO I	TRIGO II	TRIGO III	PASTAGEM I	PASTAGEM II	MATA	SOLO NU
TRIGO II	1.99						
TRIGO III	1.83	1.80					
PASTAGEM I	2.00	1.99	2.00				
PASTAGEM II	2.00	2.00	2.00	1.99			
MATA	1.99	1.94	1.99	1.99	2.00		
SOLO NU	1.99	1.89	1.96	1.93	1.96	1.24	
TRIGO IV	2.00	1.98	2.00	1.64	2.00	1.96	1.83

A menor separabilidade entre as subclasses de trigo, verificada quando se utilizou o método M-1, deve-se ao fato de que, para este método, as áreas de treinamento de trigo foram selecionadas de acordo com as tonalidades apresentadas por esta cultura nas fo-

tos aéreas, o que pode levar à ocorrência de sobreposição das respostas espectrais das subclasses. Entretanto, no método M-2, os "pixels" com respostas espectrais homogêneas são agrupados, concorrendo para a melhor discriminação entre as subclasses.

Após a aplicação do teste t sobre os valores da classificação correta, do erro de inclusão e da estimativa de área, verificou-se que ao nível de 5% não houve diferença significativa entre os dois métodos estudados.

## 5. CONCLUSÕES

Apesar dos métodos M-1 e M-2 terem alcançado desempenho semelhante, o M-2 mostrou-se superior ao M-1, pois ele requer mínima interação homem-máquina na definição das estatísticas de treinamento para a classificação.

A fim de obter uma maior exatidão da estimativa de área, deve-se selecionar um método de aquisição de estatísticas de treinamento que forneça, não só uma maior percentagem de classificação correta, mas também, pequeno erro de inclusão e baixa diferença relativa.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHEN, S.C.; MOREIRA, M.A.; LIMA, A.M. de  
*Comparison of wheat classification accuracy using different classifiers of the Image-100 system.* São José dos Campos, INPE, Jun. 1981. (INPE-2125-RPE/349).
- HIXSON, M.; SHOLZ, D.; FUHS, N.; AKIYAMA, T.  
Evaluation of several schemes for classification of remotely sensed data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 46(12):1547-1553, Dec. 1980.
- NELSON, R.F. A comparison of two methods for classifying forestland. *International Journal of Remote Sensing*, 2(1):49-60, Jan./Mar. 1981.
- SWAIN, P.H.; KING, R.C. *Two effective feature selection criteria for Multispectral Remote Sensing.* Indiana, Purdue University, Laboratory for Applications of Remote Sensing, 1973. (LARS Information Note, 042673).
- VELASCO, F.R.D.; PRADO, L.O.C.; SOUZA, R.C.M.  
*Sistema MAXVER; Manual do usuário.* São José dos Campos, INPE, Jul. 1978. (INPE-1315-NTI/110).