General Disclaimer

One or more of the Following Statements may affect this Document

- This document has been reproduced from the best copy furnished by the organizational source. It is being released in the interest of making available as much information as possible.

- This document may contain data, which exceeds the sheet parameters. It was furnished in this condition by the organizational source and is the best copy available.

- This document may contain tone-on-tone or color graphs, charts and/or pictures, which have been reproduced in black and white.

- This document is paginated as submitted by the original source.

- Portions of this document are not fully legible due to the historical nature of some of the material. However, it is the best reproduction available from the original submission.

Produced by the NASA Center for Aerospace Information (CASI)

(E79-10085) UTILIZATION OF ORBITAL DATA FROM LANDSAT 1 IN THE CLASSIFICATION OF URBAN LAND USAGE OF THE SAO JOSE GRASSLAND (Instituto de Pesquisas Espaciais, Sao Jose) 81 p HC A05/MF A01 CSCL 08B G3/43

N79-15363

Unclas 00085

RECEIVED BY
NASA STI FACILITY
DATE: 8-16-78
DCAF NO. 102949
PROCESSED BY
☑ NASA STI FACILITY
☐ ESA - SDS ☐ AIAA

CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO
INPE
INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS

Utilization of orbital data from Lnadsat 1 in the classification of urban land usage of the Sao Jose Grassland

7.9-10085

NASA-CR-157977

"Made available under NASA sponsorship in the interest of early and wide dissemination of Earth Resources Survey Program information and without liability for any use made thereof."

1. Classificação *INPE-COM.1/TPT* *C.D.U. 621.38SR: 711:14*	2. Período	4. Critério de Distribuição: interna [ ] externa [X]
3. Palavras Chaves (selecionadas pelo autor) *USO DO SOLO URBANO* *LANDSAT-1* *SENSORIAMENTO REMOTO*		
5. Relatório nº *INPE-1295-TPT/093*	6. Data *Julho, 1978*	7. Revisado por Ravindra Kumar *Ravindra Kumar*
8. Título e Sub-Título *UTILIZAÇÃO DE DADOS ORBITAIS DO LANDSAT-1 NA CLASSIFICAÇÃO DE USO DO SOLO URBANO DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS*		9. Autorizado por *Nelson de Jesus Parada* *Diretor*
10. Setor *DSR*	Código	11. Nº de cópias *24*
12. Autoria *Madalena Niero*		14. Nº de páginas *83*
13. Assinatura Responsável Madalena Niero		15. Preço

Original photography may be purchased from EROS Data Center Sioux Falls, SD 57198

ORIGINAL CONTAINS COLOR ILLUSTRATIONS

16. Sumário/Notas *O objetivo deste estudo foi comparar a precisão de classificação de usos do solo urbano através de diferentes opções de aquisição de assinatura, disponíveis no IMAGE-100, e do classificador de amostra baseado na distância Bhattacharyya ("distância B"). Procurou-se também verificar a separabilidade estatística existente entre as classes de uso do solo levantadas para todas as combinações de um até quatro canais espectrais do LANDSAT-1. A cidade de São José dos Campos localizada na região fisiográfica do médio Vale do Paraíba (Estado de São Paulo), foi utilizada como área teste. Foram analisadas as seguintes classes de uso do solo urbano: residencial uni-familiar, residencial multi-familiar, comercial, industrial, institucional, agrícola e desocupada. A média dos erros de omissão obtidos para as sete classes nas opções de classificação unicélula, multi-célula, aquisição interativa de assinaturas e classificador de amostras "distância B" foram 23%, 71%, 32% e 32% respectivamente. A média dos erros de inclusão para cada opção de classificação uni-célula, multi-célula, aquisição interativa de assinaturas e classificador de amostras "distância B" foram 28%, 8%, 27% e 6% respectivamente.*

17. Observações *Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto, aprovada em 30 de dezembro de 1977*

ORIGINAL PAGE IS OF POOR QUALITY

Aprovado pela Banca Examinadora
em cumprimento dos requisitos exigidos
para a obtenção do Título de Mestre em
Sensoriamento Remoto.

Dr.Nelson Delfino D'Avila Mascarenhas — Presidente

Dr.Ravindra Kumar — Orientador

Dr.Jorge Xavier da Silva — Co-Orientador

Eco.Renê Antonio Novaes, MSc. — Membro da Banca

Dr.Ralf Gielow — Membro da Banca

Madalena Niero — Candidata

São José dos Campos, 30 de dezembro de 1977

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

ÍNDICE

ABSTRACT v

LISTA DE FIGURAS vi

LISTA DE TABELAS vii

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO 01

CAPÍTULO II

REVISÃO DA LITERATURA 03

2.1 - Uso do Solo Urbano 03

2.2 - Sensoriamento Remoto no Estudo de Áreas Urbanas 03

2.3 - Interpretação Automática na Caracterização de Áreas Urbanas 06

CAPÍTULO III

MATERIAL E MÉTODOS 13

3.1 - Descrição Geral da Área de Estudo 13

3.2 - Materiais 15

3.2.1 - O Sistema LANDSAT 15

3.2.2 - Mosaico Aerofotográfico 17

3.2.3 - Carta Planimétrica 17

3.2.4 - Estereoscópio 17

3.2.5 - Analisador Interativo de Imagens Multiespectrais (Image-100) 17

3.3 - Métodos 23

3.3.1 - Elaboração do Mapa de Uso do Solo Urbano 24

3.3.2 - Separabilidade das classes de Uso do Solo Urbano Utilizando-se o Sistema Image-100 24

3.3.3 - Classificação Automática dos Usos de Solo Urbano 29

PRECEDING PAGE BLANK NOT FILMED.

3

CAPÍTULO IV

RESULTADOS E DISCUSSÃO 35
4.1 - Mapa de Uso do Solo Urbano 35
4.2 - Separabilidade das Classes de Uso do Solo Urbano Utilizando-se o Sistema Image-100 38
4.2.1 - Subconjuntos de um Canal 38
4.2.2 - Subconjuntos de Dois Canais 39
4.2.3 - Subconjuntos de Três Canais 47
4.2.4 - Conjunto de Quatro Canais 47
4.3 - Classificação Automática dos Usos de Solo Urbano..... 51
4.3.1 - Aquisição de Assinatura Uni-Célula 51
4.3.2 - Aquisição de Assinatura Multi-Célula..... 56
4.3.3 - Aquisição Interativa de Assinaturas 58
4.3.4 - Classificador de Amostras - Distância B 60
4.4 - Classificações Automáticas: Análise Comparativa 64

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES 69
5.1 - Separabilidade Espectral das Classes 69
5.2 - Classificação Automática 70
5.3 - Classificações Automáticas: Análise Comparativa..... 70
5.4 - Conclusões Gerais 71

AGRADECIMENTOS 73

BIBLIOGRAFIA 75

ABSTRACT

The purpose of this study was to compare the classification accuracy of various options of signature acquisition of IMAGE-100 and sample classifier based on Bhattacharyya distance (B distance) for land use classes using multispectral scanner data of LANDSAT-1 satellite. Another objective of the study was to determine the statistical separability of seven land use classes in all the possible combinations of one to four spectral channels, out of four available channels of LANDSAT-1. São José dos Campos was used as test site and is situated in the physiographic Central Valley of the Paraíba River region in the state of São Paulo. With the help of ground observations and aerial photography, a map of São José dos Campos showing the following seven classes was obtained: single family residential areas, multi-family residential areas, commercial areas, industrial areas, institutional areas, agricultural areas and unoccupied areas. Each of these classes was divided into two independent sets: training areas and test areas. Errors of omission and commission were calculated for each classification option. The average of errors of omission and commission over the seven land use classes for the options single cell, multicell, interactive signature acquisiton and sample classifier were found to be: single-cell (23%/28%), multi-cell (71%/8%), interactive signature acquisition (32%/27%) and sample classifier (32%/6%). In the subsets of one to three spectral channels, channel 4, channels 4 & 7, channels 4, 5 & 7 were found to be the best ones for getting good overall statistical separability of land use classes.

LISTAS DE FIGURAS

Figura III.1 - Localização da área de estudo 14

Figura III.2 - Analisador Interativo de Imagens Multiespectrais (Image-100) 18

Figura III.3 - Histogramas mostrados pelo vídeo do Sistema Image-100 20

Figura III.4 - Localização da área de estudo no vídeo do Sistema Image-100 26

Figura III.5 - Área de estudo ampliada no vídeo do Sistema Image-100 27

Figura III.6 - Localização das amostras no vídeo do Sistema Image-100 28

Figura III.7 - Relação entre probabilidade de classificação correta e "distância B"..... 30

Figura IV.1 - Tipos de Ocupação Urbana de São José dos Campos 36

Figura IV.2 - Histogramas da classe residencial uni-familiar 40

Figura IV.3 - Histogramas da classe residencial multi-familiar 41

Figura IV.4 - Histogramas da classe comercial 42

Figura IV.5 - Histogramas da classe industrial 43

Figura IV.6 - Histogramas da classe institucional 44

Figura IV.7 - Histogramas da classe agrícola 45

Figura IV.8 - Histogramas da classe desocupada 46

Figura IV.9 - Área industrial obtida através da classificação uni-célula 52

Figura IV.10 - Área industrial obtida através da classificação multi-célula 57

Figura IV.11 - Área industrial obtida através da classificação aquisição interativa de assinaturas 59

Figura IV.12 - Área industrial obtida através da classificação usando "distância B"..... 61

LISTA DE TABELAS

Tabela III.1 - Distribuição das amostras 29

Tabela IV.1 - Separabilidade das classes de uso do solo urbano utilizando-se um canal 38

Tabela IV.2 - Separabilidade das classes de uso do solo urbano utilizando-se combinações de dois canais 39

Tabela IV.3 - Separabilidade das classes de uso do solo utilizando-se combinações de três canais..... 47

Tabela IV.4 - Separabilidade das classes de uso do solo urbano utilizando-se combinações de quatro canais 48

Tabela IV.5 - Separabilidade dos pares de classes de uso do solo urbano 50

Tabela IV.6 - Distribuição dos "pixels" na classificação Uni-célula..... 53

Tabela IV.7 - Erros de Omissão e Inclusão na Aquisição de Assinatura Uni-célula 54

Tabela IV.8 - Erros de Omissão e Inclusão na Aquisição de Assinatura Multi-célula 56

Tabela IV.9 - Erros de Omissão e Inclusão na Aquisição Interativa de Assinaturas..... 60

Tabela IV.10 - Distribuição dos "pixels" na classificação de Amostras - Distância B..... 62

Tabela IV.11 - Erros de Omissão e Inclusão na classificação de amostras - Distância B..... 63

Tabela IV.12 - Média dos erros de Omissão e Inclusão 65

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

O índice de crescimento urbano é grande e tudo leva a crer que assim continuará nas próximas décadas, desafiando qualquer tentativa de controle.

Para que esse crescimento não seja desordenado, é necessário uma administração baseada em informações precisas e atualizadas, além de um plano a longo prazo para orientar o processo de tomada de decisões.

À medida que as cidades se desenvolvem, vai surgindo uma série de novos problemas internos relacionados com falhas no planejamento causadas pela dificuldade cada vez maior na obtenção de informações.

Dentre os sistemas que fornecem informações úteis para o planejamento urbano, o sensoriamento remoto pode desempenhar um papel importante no estudo das cidades e nas pesquisas que visem a solução de seus problemas. Através dessa técnica é possível obter uma visão sinótica da área de estudo e uma cobertura repetitiva capaz de revelar as diferentes tendências dos fenômenos urbanos.

Visando uma avaliação do uso de dispositivos sensores nos estudos de áreas urbanas, foi escolhida como área teste a cidade de São José dos Campos pelos seguintes motivos:

a) porque dispunha de dados de sensoriamento remoto coletados através de aeronave e satélites que seriam utilizados na pesquisa;

PRECEDING PAGE BLANK NOT FILMED

b) por sua proximidade em relação ao Instituto de Pesquisas Espaciais, facilitando a obtenção dos dados de verdade terrestres necessários à confecção do mapa de uso do solo urbano;

c) porque representa uma área urbanizada em grande expansão e com grande surto de industrialização, já apresentando problema semelhantes aos dos grandes centros urbanos.

O objetivo geral deste trabalho é classificar o uso do solo urbano de São José dos Campos através da utilização de dados obtidos em fitas compatíveis com computador (CCT) proporcionadas pelo sistema LANDSAT-1.

O trabalho tem como objetivos específicos:

1) Determinar a separabilidade estatística das classes de uso do solo urbano através da utilização de combinações de um até quatro canais espectrais;

2) Comparar as diferentes opções de classificação disponíveis no Analisador Interativo de Imagens Multiespectrais (IMAGE-100): uni-célula, multi-célula, aquisição interativa de assinaturas e classificador de amostras "distância B".

CAPÍTULO II

REVISÃO DA LITERATURA

2.1 - USO DO SOLO URBANO

Estruturalmente, as cidades são bastante heterogêneas, com diferentes áreas funcionais desempenhando determinados papéis no espaço urbano. A localização desses diferentes tipos de uso do solo dentro da cidade é feita de acordo com determinados padrões que podem refletir a história do crescimento urbano, a influência de decisões governamentais, etc..

Segundo Garner (1975) os padrões de uso da terra resultam de uma série de decisões de localização tomadas por indivíduos. Essas decisões são geralmente reguladas por processos econômicos atuantes na sociedade da época.

Para Bartholomew (1959) o conhecimento da composição da área urbana é pré-requisito para um planejamento racional. Esse planejamento requer o conhecimento das características dos padrões urbanos e a análise quantitativa do espaço ocupado pelos diferentes tipos de uso do solo atual.

Conforme Lindgren (1974) o documento mais fundamental para fins de planejamento urbano é o mapa de uso do solo, pois proporciona uma ilustração compreensiva de como o solo está sendo utilizado.

2.2 - SENSORIAMENTO REMOTO NO ESTUDO DE ÁREAS URBANAS

Atualmente os trabalhos de mapeamento e planejamento de uso do solo urbano não têm dispensado o auxílio de técnicas de sensoriamento remoto, sob a forma de dados multiespectrais obtidos por avião ou satélite.

PRECEDING PAGE BLANK NOT FILMED

Alexander et al. (1968) afirmam que o sensoriamento remoto, embora não seja a única fonte de dados para análise de áreas urbanas, pode substituir, com vantagens, técnicas tradicionais de coleta de dados quanto a tempo, custo e repetividade.

A importância do sensoriamento remoto sob a forma de fotografias aéreas convencionais, colorido normal ou falsa-cor (infravermelho) no estudo de áreas urbanas foi observada por diversos autores como Dueker e Horton (1971), Ostherhoudt (1972), Lindgren (1974), Manso e Barros (1975) e outros.

Para Dueker e Horton (1971) fotografias aéreas infravermelho são extremamente úteis em estudos de áreas urbanas. A resolução e o realce da vegetação obtidos nessas fotografias facilitam o processo de identificação e interpretação dos diferentes tipos de uso do solo.

Osterhoudt (1972) comenta que mapas de uso de solo, feitos com auxílio de fotografias áreas ou imagens de satélite, constituem um valioso instrumento para planejamento urbano. A avaliação dos padrões de desenvolvimento urbano, por exemplo, pode ser feita através da superposição de mapas que representam o crescimento real de uma dada área, com mapas onde o crescimento foi projetado racionalmente.

Segundo Manso e Barros (1975) a interpretação de fotografias aéreas, se em escala adequada, fornece subsídios imediatos e de bom nível de detalhe para análise de uma área urbana.

Para Alexander et al. (1968) as fotografias aéreas continuam tendo utilidade para projetos urbanos detalhados, mas atualmente tem sido dada maior ênfase à sua utilização conjunta com outros sensores. O aproveitamento integrado das técnicas de sensoriamento remoto tem sido feito não só através de um maior número de sensores atuando em diferentes faixas do espectro eletromagnético, mas também com a utilização de satélites, como o sistema LANDSAT, para obtenção da cobertura de uma mesma área a intervalos regulares.

Diversos autores têm reconhecido a importância do sistema LANDSAT no fornecimento de dados para planejamento urbano. Para Raje e Economy (1973) a visão sinótica, a periodicidade e as características multiespectrais da cobertura LANDSAT propiciam novo dimensionamento aos dados e oferecem novas possibilidades no preparo de informações úteis em planejamento urbano.

Vários modelos foram estabelecidos para extrair informações de uso da terra, a partir de dados de sensoriamento remoto coletados por plataforma espaciais. Hardy e Anderson (1973) desenvolveram um sistema de classificação de uso da terra em função da quantidade de informações oferecidas pelos diferentes níveis de sensoriamento remoto. O nível I do sistema de classificação seria obtido através do uso de imagens de satélite e compreenderia 11 categorias de uso do solo:

1) Área construída e urbana;
2) Transportes, comunicações;
3) Agricultura;
4) Pastagem;
5) Floresta;
6) Atividade Extrativa;
7) Corpos d'água;
8) Pântano;
9) Tundra;
10) Terras inférteis;
11) Campos de neve permanente.

O nível II do sistema é obtido através da combinação de imagens orbitais com fotografias aéreas, permitindo a subdivisão da área urbana nas seguintes classes:

1) Residencial;

2) Comercial;

3) Industrial;

4) Serviços;

5) Recreativa;

6) Transportes;

7) Outras.

Segundo Simpson e Lindgren (1973) muitas informações úteis de uso da terra importantes para planejamento urbano, podem ser obtidas a partir de interpretação visual de imagens LANDSAT. Em seu trabalho conseguiram identificar através da interpretação visual as classes: residencial uni-familiar, residencial multi-familiar, comercial, industrial, áreas agrícolas cultivadas, vias de transporte, florestas e corpos d'água.

2.3 - INTERPRETAÇÃO AUTOMÁTICA NA CARACTERIZAÇÃO DE ÁREAS URBANAS

Para Lindgren (1974) talvez a característica do sistema LANDSAT de maior potencial para planejamento urbano seja a disponibilidade de fitas compatíveis com computador (CCT). Essas fitas permitem que grande quantidade de dados fornecidos pelo sistema seja analisada de modo mais eficiente através da interpretação automática.

Segundo Rawling (1971), o desenvolvimento da interpretação automática reduz a variabilidade subjetiva da interpretação visual, diminui o intervalo de tempo de coleta de dados e aumenta o nível de integração com dados obtidos por meio de outras fontes.

Muitos investigadores têm analisado os dados multiespectrais do sistema LANDSAT para fins de classificação automática de uso do solo. Todd e Baumgardner (1973) analisaram dados orbitais relativos à área de Indianápolis, através de técnicas implementadas em computador. Conseguiram identificar classes de uso do solo relativamente homogêneas (corpos d'água, árvores) e classes formadas por diferentes proporções de cobertura do solo (comercial, industrial, residencial) com 90% de classificação correta. As classes comercial/industrial são caracterizadas pela ocorrência de telhados., ruas, parques de estacionamento. Todas as áreas dessa classe são tipificadas por falta de vegetação. A classe residencial uni-familiar tem as ruas e os gramados como principais tipos de cobertura do solo responsáveis pela sua separação espectral.

Todd et al (1973), em seus estudos na área de Milwaukee, observaram que grande quantidade de informações pode ser obtida analisando-se a escala de cinza de um único canal espectral. Entretanto, a utilização de vários canais aumenta significantemente a precisão da classificação automática. A região do visível permite distinção entre as áreas altamente urbanizadas, subúrbios, estradas e áreas de agricultura; a região do infra-vermelho diferencia o centro, as partes mais velhas da área metropolitana e as áreas suburbanas e agrícolas. Identificaram sete categorias de uso do solo com 90% de classificação correta. Mais especificamente, para Todd et al (1973), as classes de uso do solo comercial e industrial têm os seguintes componentes:

1) área comercial: é uma mistura de telhados, concretos, materiais com alta reflectância no visível;

2) área industrial: é caracterizada por alta porcentagem de telhados (altamente reflexivos) e outros materiais menos reflexivos no visível. Tem como componentes principais os telhados, e estradas, como componentes secundários.

Odenyo e Pretty (1977) analisaram fitas CCT da área de Virgínia usando técnicas de reconhecimento de padrões aplicadas a mapeamento de uso da terra. Concluíram que a classe urbana é muito complexa. A área residencial uni-familiar se apresenta como uma combinação de diferentes tipos de cobertura do solo em uma única classe. É composta de fenômenos espectralmente diversos: ruas de asfalto, estacionamento de concreto, telhados de várias tonalidades, piscinas, veículos de várias cores e tamanhos, igrejas, escolas, etc.. Mesmo quando a classe residencial uni-familiar é subdividida, por exemplo, em termos de densidade, a interação desses componentes não é minimizada.

Ellefsen et al. (1973) analisaram automaticamente imagens LANDSAT e concluíram que as características de rapidez de interpretação dos dados, o baixo custo, o frequente monitoramento da área, são de grande valor na solução de muitos problemas de uso da terra. Identificaram as classes comercial/industrial, residencial, estacionamentos, áreas desocupadas áridas e desocupadas irrigadas, com 82,7%; 84,6%; 77,8%; 94,2% e 97,1% de probabilidade de classificação correta, respectivamente.

Smith et al. (1974) analisaram a separabilidade espectral das classes urbana, agrícola, pastagem e florestas. No conjunto as classes apresentaram uma exatidão de classificação de 80 a 100%.

Economy et al. (1974) examinaram a exatidão de classificação do Image-100 usando a opção de classificação uni-célula e obtiveram para áreas urbanas uma precisão de 70 $\pm$ 12%. Apontaram como fatores limitantes dessa precisão a baixa resolução do satélite, o sistema de classificação utilizado e a inexatidão dos dados de verdade terrestre.

De acordo com Ellefsen et al. (1974) a dificuldade na determinação do número máximo de classes de uso do solo urbano, obtidas a partir da interpretação automática, é devida às seguintes razões:

a) a interpretação automática se baseia apenas em informações espectrais para identificação dos alvos;

b) a interpretação espectral não está suficientemente desenvolvida;

c) ainda não foi determinado um esquema de classificação apropriado para interpretação automática.

Ainda para Ellefsen et al. (1974) a separação rural/urbana é simples quando se faz interpretação visual dos dados LANDSAT. Entretanto surgem problemas de separação quando utilizamos apenas informação espectral em valores digitais. Os problemas analisados revelaram que muitas cenas urbanas têm similaridades espectrais com certas feições rurais. Por exemplo, as áreas residenciais com diferentes combinações de fenômenos espectrais são semelhantes a algumas áreas de cultura que têm combinações de solo nu e vegetação. Para distinguir essas áreas, levantou-se a possibilidade do uso de dados multi-temporais em conjunção com dados multiespectrais. Isto porque as características da área agrícola mudam de uma estação para outra, enquanto que as áreas urbanas permanecem mais constantes.

Swain e King (1973), analisando técnicas de reconhecimento de padrões para medir a separabilidade estatística de classes, desenvolveram um experimento no qual compararam 3 índices: divergência, divergência transformada e "distância B". Para cada índice determinaram a probabilidade de classificação correta.

Concluíram que divergência transformada e "distância-B" são as melhores medidas de separabilidade de duas classes, com vantagens para a "distância-B".

A "distância B" entre duas densidades de probabilidade, $p_1(x)$ e $p_2(x)$, é dada por:

$$B = \int \left[\sqrt{p_1(x)} - \sqrt{p_2(x)} \right]^2 dx$$

Se $p_1(x)$ e $p_2(x)$ são distribuições gaussianas multivariadas, tem-se:

$$B = 2\,(1 - e^{-\alpha}),$$

Onde

$$\alpha = \frac{1}{8}\,(U_1 - U_2)^T \sum^{-1} (U_1 - U_2) + \frac{1}{2} \log_e \left[\frac{\det \sum}{\sqrt{\det \sum_1 \det \sum_2}} \right]$$

e,

U_1 - vetor média da classe 1;

U_2 - vetor média da classe 2;

$\sum_1$ - matriz de covariância da classe 1;

$\sum_2$ - matriz de covariância da classe 2;

$\sum = \frac{1}{2} \left[\sum_1 + \sum_2 \right]$

$(\ )^T$ - matriz transposta;

$(\ )^{-1}$ - matriz inversa.

Para o caso multi-classes entretanto, tem-se em Swain e King (1973) a medida "distância B média".

$$B\ \text{Média} = \frac{\sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=i+1}^{m} B_{ij}}{\frac{m!}{2!(m-2)!}} = \frac{2}{m(m-1)} \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=i+1}^{m} B_{ij}$$

onde

B_{ij} = distância B entre as classes i e j;

m = nº total de classes.

Pela opinião dos diversos autores consultados, pôde-se concluir que a análise automática, dos dados obtidos pelo sistema LANDSAT, é um método adequado para o suprimento de informações úteis durante um planejamento urbano. Isto justifica plenamente a pesquisa de novos métodos de levantamento do uso do solo urbano através de imagens orbitais, bem como a verificação do grau de precisão das informações obtidas.

CAPÍTULO III

MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

A cidade de São José dos Campos está localizada a 23°10' de latitude sul e 45°50' de longitude Oeste de Greenwich (Figura III.1). Situa-se na região fisiográfica do médio vale do Paraíba, ocupando uma área de aproximadamente 46 km^2 de relevo plano, com altitude média de 570 metros.

Quanto às características climáticas, a área apresenta uma temperatura média anual de 19°C, com a média de 22°C para o mês mais quente e 15,5° para o mês mais frio. O total anual de precipitação varia de 1250 a 2500 mm (Secretaria de Economia e Planejamento, 1974).

Em se tratando de aspectos humanos e econômicos, a cidade apresenta uma grande expansão urbana e industrialização. A expansão urbana pode ser notada ao analisar-se os dados populacionais do município relativos aos anos de 1970 e 1976. Em 1970 a população urbana era de 132.482 habitantes, enquanto que para 1977 tem-se, segundo Manso e Barros (1978), uma população estimada de 234.334 habitantes.

A importância do setor industrial pode ser inferida a partir dos dados obtidos pelo Departamento de Planejamento (1977): do total das pessoas que trabalham (48,3% da população total) 42% estão empregadas nas indústrias, 23,8% em estabelecimento de prestação de serviços, 14,2% no comércio, 8,7% em poder público e 7,2% em construção civil e outras.

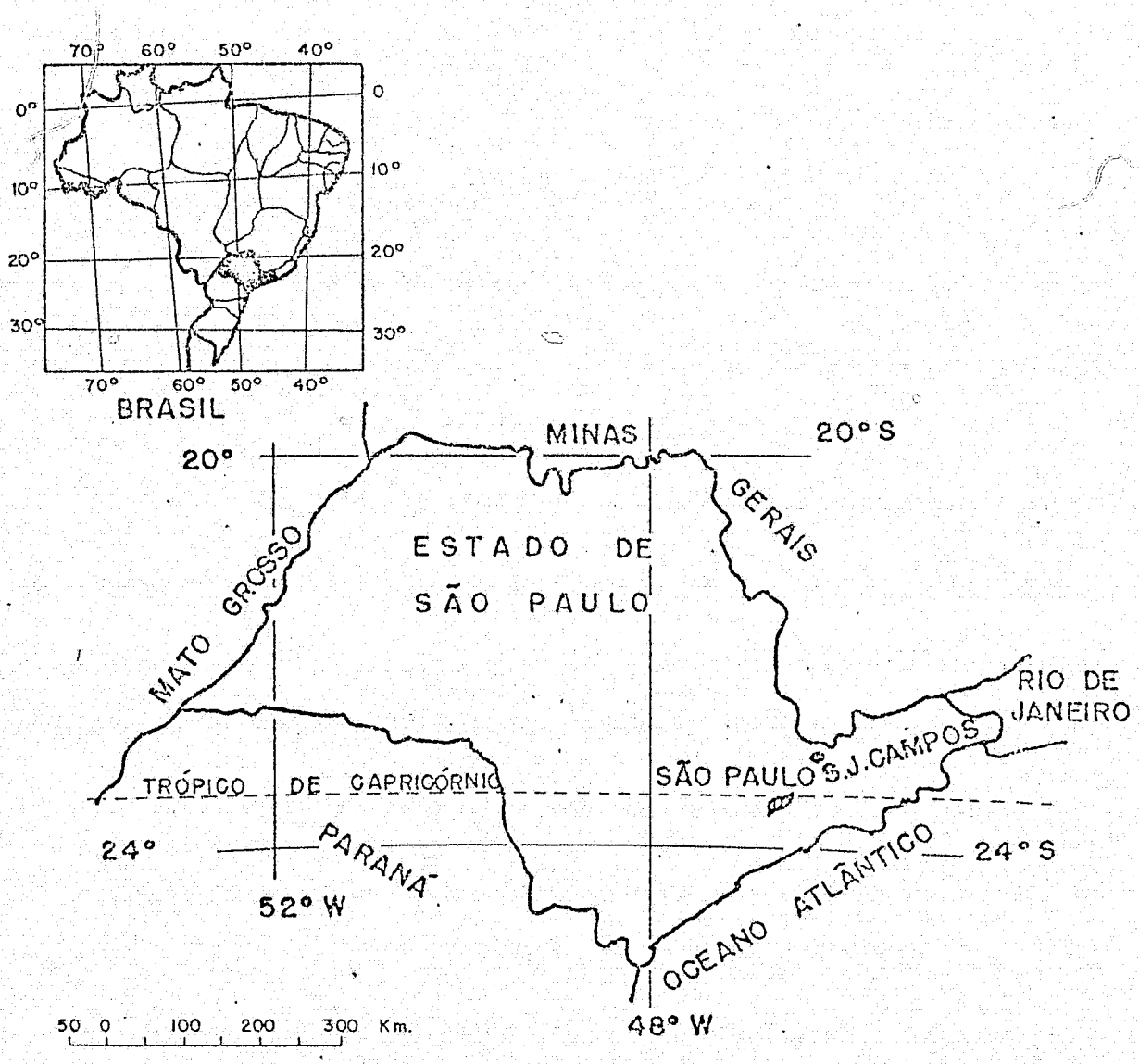


Fig. III.1 - Localização da área de estudo

(Fonte: Atlas Geográfico Escolar, IBGE, 1967)

Pottier, segundo Moreira da Rocha (1974), assinala que o "desenvolvimento econômico tende a se propagar ao longo das estradas principais que ligam os principais centros da Nação".

Moreira da Rocha (1974), baseado em Pottier, conclui que a proximidade dos centros urbanos a eixos principais acarreta maior acessibilidade aos grandes centros urbanos, atraindo população e atividades econômicas que, criando a possibilidade de maior desenvolvimento dos mercados de produtos e fatores produtivos, aumentam a atração de novas atividades econômicas, principalmente industriais.

Por possuir uma boa localização geográfica no eixo Rio-São Paulo, São José dos Campos está sofrendo grande processo de desenvolvimento econômico, constituindo-se atualmente num dos mais importantes centros industriais do Estado de São Paulo.

3.2 - MATERIAIS

3.2.1 - O SISTEMA LANDSAT

Na realização da pesquisa foram utilizados dados obtidos pelo sistema LANDSAT, cujos princípios e operações podem ser encontrados em detalhes nos trabalhos da National Aeronautics and Space Administration (1976) e de Pinheiro et al. (1975).

O satélite LANDSAT possui dois tipos de sensores principais: o imageador multiespectral MSS (Multispectral Scanner) e um conjunto de três câmaras de televisão RBV (Return Beam Vidicon) que foi desligado logo após o lançamento do satélite.

Como os materiais e fenômenos naturais absorvem, transmitem, refletem e emitem seletivamente radiação eletromagnética. podem ser diferenciados em função da região do espectro eletromagnético analisada.

O imageador multiespectral MSS do LANDSAT obtém a imagem da superfície da terra simultaneamente em 4 bandas espectrais. Essas bandas abrangem a faixa espectral de 0,5 μm a 1,1 μm:

1) canal 4: 0,5 a 0,6 μm (verde-laranja);
2) canal 5: 0,6 a 0,7 μm (laranja-vermelho);
3) canal 6: 0,7 a 0,8 μm (vermelho-infra-vermelho próximo)
4) canal 7: 0,8 a 1,1 μm (infra-vermelho próximo);

As informações coletados pelo sensor MSS do LANDSAT são processadas de modo a se obter os diversos produtos necessários à interpretação. Incluem-se nesse caso, o processamento fotográfico e a preparação de fitas compatíveis com computador.

Segundo Palestino (1976) cada ponto da matriz que forma uma imagem LANDSAT (intersecções entre linhas e colunas) corresponde ao elemento mínimo de resolução, ou seja, um retângulo de aproximadamente 79x56 m, com uma determinada intensidade de cinza. Um ponto de maior radiância irá aparecer mais claro nas imagens que um ponto de menor radiância, originando assim a escala de níveis de cinza que compõem a imagem. Assim, as imagens podem ser representadas por uma matriz de valores numéricos obtidos proporcionalmente à radiância, dentro de uma determinada gama de variação. A cada cena fornecida pelo LANDSAT (conjunto de 4 imagens nos canais 4,5,6 e 7) corresponde um conjunto de fitas, nas quais estão armazenadas as matrizes digitais representativas das imagens, que podem ser analisadas automaticamente.

No presente trabalho foi analisado o conjunto de fitas CCT com as seguintes características:

a) data da passagem: 8 de setembro de 1972
b) órbita e ponto: 150/28;
c) coordenadas do centro: 23°06'S; 45°17' W.

3.2.2 - MOSAICO AEROFOTOGRÁFICO

Para o levantamento dos dados de uso do solo urbano foi utilizado mosaico aerofotográfico na escala de 1:8000 referente ao levantamento aerofotográfico de São José dos Campos realizado pela aeronave do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) em 12.02.1973.

3.2.3 - CARTA PLANIMÉTRICA

Como referência para a coleta de dados de usos do solo urbano foi utilizada a Carta Planimétrica de São José dos Campos na escala 1:20.000 relativa ao ano de 1973.

3.2.4 - ESTEREOSCÓPIO

A visão estereoscópica foi obtida com a utilização do Estereoscópio de espelho ST-4 da Wild com ocular de três aumentos.

3.2.5 - ANALISADOR INTERATIVO DE IMAGENS MULTIESPECTRAIS (IMAGE-100)

Os recentes desenvolvimentos em metodologia de classificação automática levaram a General Electric Company à produção de um sistema de classificação chamado Image-100 (Figura III.2), cujas características encontram-se descritas em General Electric (1975).

O Image-100 é um analisador multiespectral interativo, que permite ao usuário analisar automaticamente imagens, na forma de fitas digitalizadas, e fotografias aéreas, na forma de transparências.

A função principal do sistema é extrair informações temáticas de imagens multiespectrais, podendo ainda proporcionar um melhoramento da imagem analisada através de funções de pré-processamento.

A extração de informações temáticas é feita de maneira supervisionada e interativa. O trabalho é acompanhado pelo analista,

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

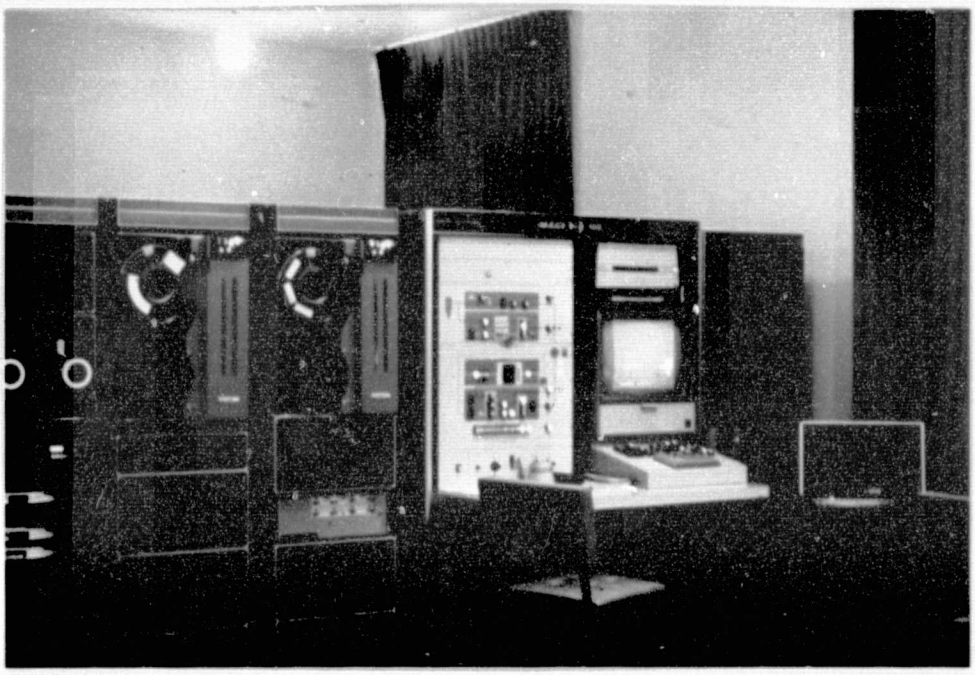


Fig. III.2 - Analisador Interativo de Imagens Multiespectrais (IMAGE-100)

que tem condições de modificar os limites estatísticos ao mover o cursor do terminal gráfico, produzindo melhores resultados de classificação.

No processo de obtenção de informações, a imagem da área de interesse é inicialmente carregada na memória do computador. Em função da qualidade dos dados mostrados no vídeo do Image-100, serão aplicadas nas imagens as funções de pré-processamento.

As funções de pré-processamento, que são o processamento dos dados contidos nas imagens antes da aquisição de assinaturas e classificação, têm o objetivo de melhorar a qualidade dos dados.

A seguir é feita a seleção das áreas de treinamento, cujas propriedades espectrais servirão de base para o processo de classificação automática.

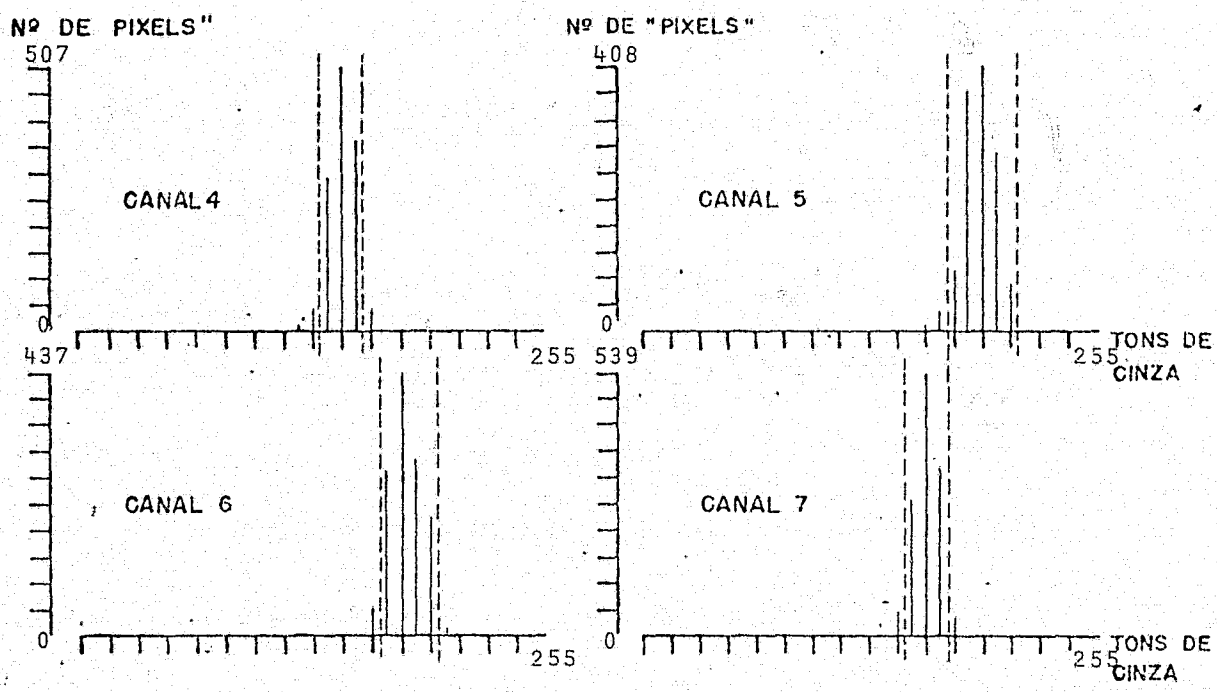
As áreas de treinamento são caracterizadas por suas assinaturas espectrais, que são as respostas de um dado material nos diferentes comprimentos de onda da radiação eletromagnética. São áreas conhecidas pelo analista através de trabalhos de campo e devem ser representativas da classe a ser analisada.

As áreas selecionadas são, em seguida, delimitadas no vídeo por meio do cursor, dispositivo do Image-100 que permite identificar, para o sistema, as áreas de interesse do analista.

A representação gráfica das áreas de treinamento pode ser observada no terminal gráfico do aparelho, sob a forma de histograma para cada canal analisado (Figura III.3).

Os histogramas obtidos apresentam os seguintes parâmetros estatísticos:

1) Limite espectral inferior: limite mínimo de reflectância dado em níveis de cinza;



CANAL	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR	DELTA	PICO	MÉDIA	VARIÂNCIA
4	17	19	3	507	18.1	0.6
5	22	26	5	408	23.9	1.1
6	21	24	4	437	22.3	1.0
7	19	21	3	539	20.1	0.5

ÁREA DE TREINAMENTO = 1274 "PIXELS"
ÁREA CLASSIFICADA = 6462 "PIXELS"

Fig. III.3. - Histogramas mostrados pelo vídeo do Sistema IMAGE-100
(Fonte: Image-100, User Manual, G.E., 1975)

2) Limite espectral superior: limite máximo de reflectância dado em níveis de cinza;

3) Delta: diferença entre limite inferior e superior de reflectância acrescido de uma unidade;

4) Pico: número máximo de "pixels" ("pixel": menor elemento de imagem);

5) Média = $m = \dfrac{\sum_{i=0}^{R} X_i \; P_i}{\sum_{i=0}^{R} P_i}$

onde X_i = nível de cinza i

P_i = nº de "pixels" correspondente ao nível de cinza X_i

R = resolução do sistema (níveis de cinza)

6) Variância = $V = \dfrac{\sum_{i=0}^{R} X_i^2 \; P_i}{\sum_{i=0}^{R} P_i} - m^2$

ORIGINAL PAGE IS OF POOR QUALITY

Definidas as áreas de treinamento através do posicionamento do cursor, o sistema classificará todos os elementos da imagem.

As classificações temáticas podem ser feitas através do processo de aquisição de assinatura uni-célula e multi-célula. Esses processos são interativos e incluem modificação dos limites dos histogramas e aquisição interativa de assinaturas. A essas classificações estão associados erros de omissão e inclusão. Os erros de omissão ocorrem quando elementos pertencentes à classe analisada deixaram de ser classificados. Erros de inclusão são definidos pelos ele-

mentos pertencentes às demais áreas, erroneamente classificados dentro da classe analisada.

a) Aquisição de Assinatura Uni-Célula

No processo de aquisição de assinatura uni-célula, após a identificação da área de treinamento, o sistema gera quatro histogramas independentes para cada canal ou comprimento de onda. Essa opção cria um hiper-paralelepípedo de quatro dimensões, cada um dos lados correspondendo aos limites da assinatura espectral da área de treinamento nos diferentes canais.

Nesta opção de aquisição de assinatura tem-se o problema de superposição entre classes, porque o sistema classificará os dados baseando-se nos limites inferior e superior das respostas espectrais em cada canal. Dessa forma os "pixels" que se encontram dentro da área de superposição irão pertencer a mais de uma classe causando erros na classificação.

b) Modificação dos Limites dos Histogramas

A modificação dos limites do histograma é considerada um refinamento da aquisição de assinatura uni-célula.

Nesta opção o analista promoverá uma modificação nos limites dos histogramas unidimensionais provocando uma diminuição nos erros de inclusão e aumento dos erros de omissão.

Essa opção, portanto, tem o inconveniente de eliminar áreas corretamente classificadas.

ORIGINAL PAGE
OF POOR QUALITY

c) Aquisição de Assinatura Multi-Célula

No processo de aquisição de assinatura multi-célula o hiper-paralelepípedo da assinatura espectral é subdividido em células unitárias e com um determinado nº de "pixels" associado.

A assinatura da área de treinamento poderá ser obtida eliminando-se as células com número de "pixels" menor que m e retendo-se as células com número de "pixels" maior ou igual a m. Por exemplo: quando m=1, serão eliminadas todas as células vazias.

A opção multi-célula tem a vantagem de reduzir a superposição entre as classes.

d) Modificação Interativa de Assinaturas

No processo de modificação interativa de assinaturas, novas áreas de treinamento serão selecionadas sobre a área classificada erroneamente, produzindo nova assinatura. Os resultados obtidos ao utilizar-se, como treinamento, "pixels" classificados com erros de omissão e inclusão, serão adicionados e subtraídos, respectivamente, à classificação original. Esse processo será repetido até os resultados se tornarem satisfatórios.

Tanto a opção uni-célula como a multi-célula podem ser modificadas interativamente.

Como o sistema Image-100 possibilita a interação do analista com a máquina, o usuário poderá reiniciar todo o processo de classificação até obter um completo refinamento dos resultados.

A versatilidade do sistema permite, ainda, implementar novos programas, como por exemplo, correção radiométrica, escala de imagens LANDSAT, calculo de área, "distância B".

3.3 - MÉTODOS

No decorrer da pesquisa foram analisadas as informações obtidas a partir de técnicas visuais e automáticas de interpretação de imagens. Foram executadas as seguintes etapas:

3.3.1 - ELABORAÇÃO DO MAPA DE USO DO SOLO URBANO

A interpretação visual das fotografias aéreas em preto e branco, na escala 1:8.000, permitiu a elaboração de um mapa de uso de solo de São José dos Campos. Utilizou-se o mosaico aerofotográfico, confeccionado no INPE, para a coleta de dados de interesse para o trabalho.

No processo de confecção de mapa de uso do solo foram inicialmente separadas as áreas urbanas das não urbanas. Uma vez reconhecidas as áreas urbanas, procedeu-se à análise dos padrões de textura fotográfica, tonalidade de cinza, arranjo espacial e tamanho dos fenômenos, obtendo-se uma chave de interpretação para determinar a estrutura espacial interna da cidade.

Nesta fase, a planta urbana de São José dos Campos na escala 1:20.000 serviu para identificar as diferentes unidades observadas nas imagens. Concomitantemente foi realizado trabalho de campo nas áreas que apresentaram dúvidas, com a finalidade de verificar os dados obtidos.

3.3.2 - SEPARABILIDADE DAS CLASSES DE USO DO SOLO URBANO UTILIZANDO-SE O SISTEMA IMAGE-100

Durante a interpretação automática foram utilizados os dados obtidos pelo LANDSAT em 08 de setembro de 1972, na forma de fita CCT.

A interpretação foi efetuada segundo a técnica da "distância B", descrita em Swain e King (1973), para avaliação da separabilidade estatística de classes. Foram analisadas as classes estabelecidas na elaboração do mapa de uso do solo urbano de São José dos Campos a partir de fotografias aéreas convencionais. Essa análise visou obter medidas quantitativas do contraste espectral existente entre classes, durante a utilização de diferentes combinações de um até quatro canais do LANDSAT.

Procurou-se determinar qual combinação dos quatro canais espectrais disponíveis proporciona a melhor separabilidade estatística das classes de uso do solo urbano de São José dos Campos.

A separabilidade estatística foi determinada através de um algoritmo, disponível no Image-100, que permite a leitura de fitas compatíveis com computador (CCT) proporcionadas pelo sistema LANDSAT e o cálculo da "distância B".

Inicialmente foi obtida no vídeo do Image-100 a imagem contendo a área teste (Figura III.4). A seguir a área de São José dos Campos foi ampliada até a escala de 1:50.000 aproximadamente,através da utilização do Programa Escala (Figura III.5). A escala 1:50.000 foi escolhida porque apresentou qualidades satisfatórias para a observação visual.

As amostras de cada classe, necessárias para o cálculo da "distância B", foram selecionadas de modo a serem representativas das classes de uso do solo urbano em estudo, evitando-se os limites entre as classes estabelecidas no mapa de uso do solo urbano, uma vez que podiam não corresponder a áreas típicas ou representativas da classe (Figura III.6).

O algoritmo "distância B", implementado no Image-100 por Kumar (1977), proporcionou os valores B_{ij} para todos os pares (2 pares) das sete classes de uso do solo, nas combinações possíveis de um, dois, três e quatro canais espectrais. A partir dos dados obtidos foi calculada a "distância B média", para cada combinação de canais espectrais a fim de se selecionar a combinação que apresentasse a melhor separabilidade das classes analisadas.

$$B_{média} = \frac{\sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=i+1}^{m} B_{ij}}{\frac{m!}{2!(m-2)!}} = \frac{1}{21} \sum_{i=1}^{6} \sum_{j=i+1}^{7} B_{ij}$$

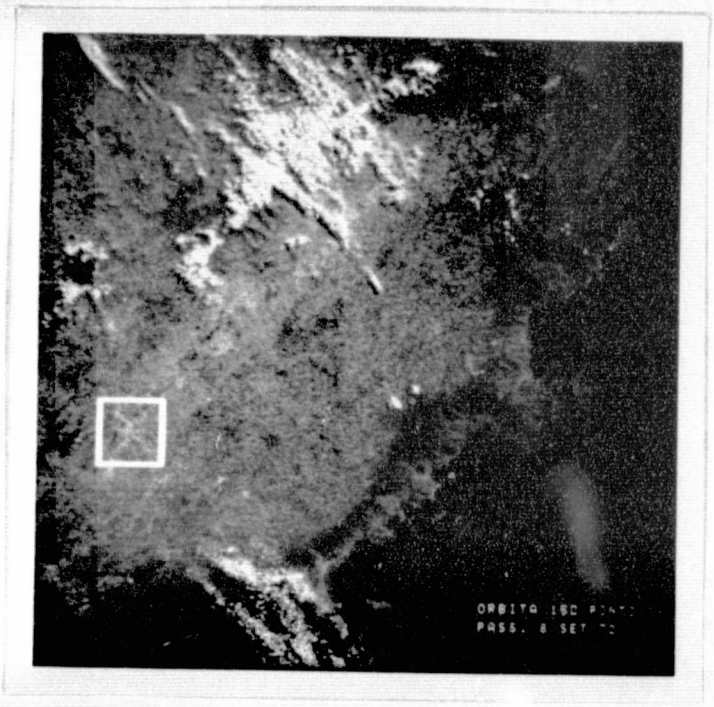


Fig. III.4 - Localização da área de estudo no vídeo do sistema IMAGE-100

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

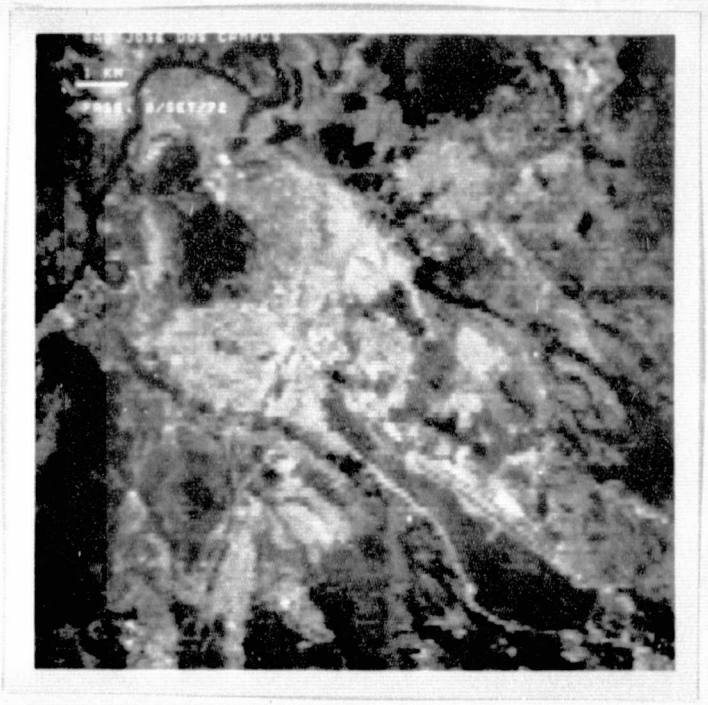


Fig. III.5 - Área de estudo ampliada no vídeo do Sistema IMAGE-100

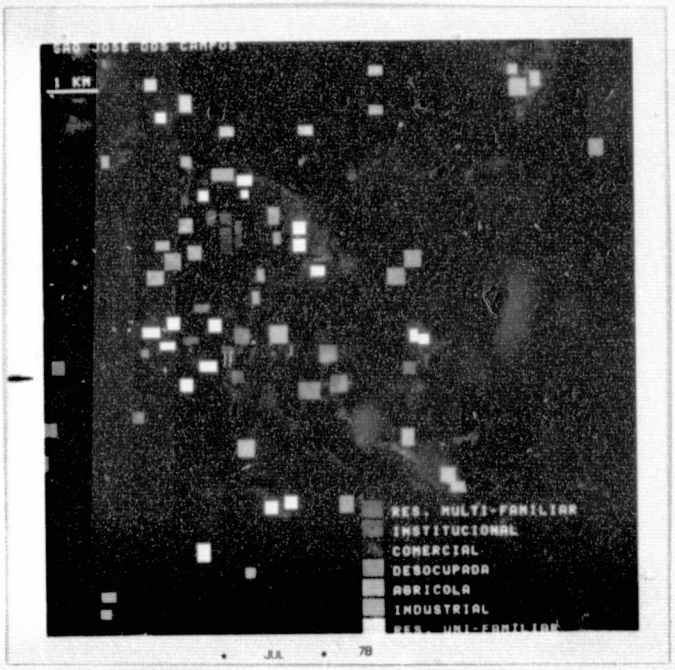


Fig. III.6 - Localização das Amostras no vídeo do Sistema IMAGE-100

onde B_{ij} é a "distância B" entre as classes i e j

m= número total de classes analisadas

Com os valores de "distância B média" obtidos, estimou-se a probabilidade de classificação correta através do gráfico da Figura III.7.

3.3.3 - CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DOS USOS DE SOLO URBANO

Nesta fase do trabalho foram examinadas as diferentes opções de classificação temática, existentes no Image-100: uni-célula, multi-célula, aquisição interativa de assinaturas e classificador de amostras.

As amostras relativas a cada classe de uso do solo urbano, selecionadas sobre o vídeo do Image-100, para o cálculo da "distância B" (Figura III.6), foram divididas em dois conjuntos independentes: 20% em áreas de treinamento e 80% em áreas testes, conforme Tabela III.1; em seguida foram gravadas nos 8 temas disponíveis no Image-100.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

TABELA III.1

DISTRIBUIÇÃO DAS AMOSTRAS

CLASSES	NÚMERO DE "PIXELS"	
	ÁREAS DE TREINAMENTO	ÁREAS TESTES
Residencial Uni-familiar	384	1196
Residencial Multi-familiar	48	192
Comercial	108	344
Industrial	360	1296
Institucional	272	944
Agrícola	276	1074
Desocupada	300	1198

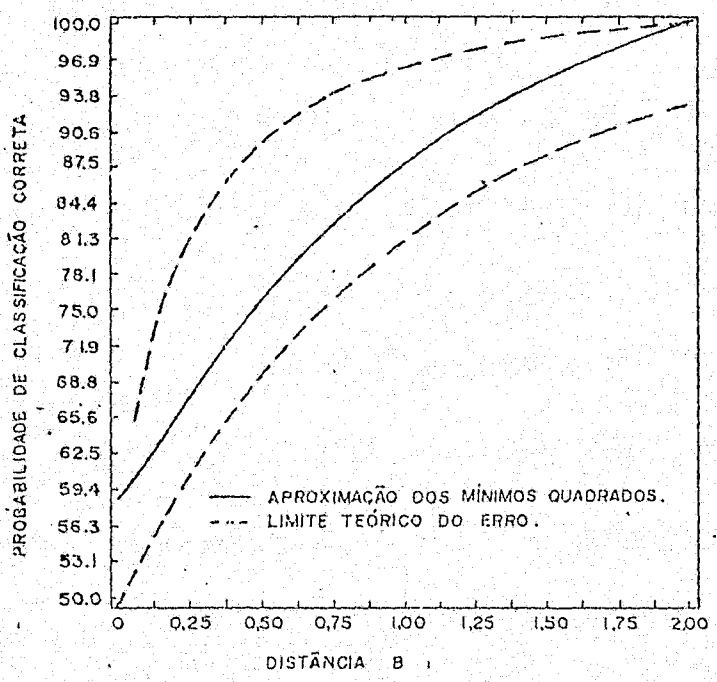


Fig. III.7 - Relação entre Probabilidade de Classificação correta e "distância B" conforme Swain e King(1973)

Os campos de treinamento foram utilizados para classificar os diferentes usos do solo urbano, fornecendo informações espectrais ao sistema de classificação do aparelho. Os campos de teste serviram para avaliar a precisão das classificações realizadas.

As classificações foram feitas da seguinte forma:

- classificação da imagem utilizando-se as áreas de treinamento de uma classe;
- interseção do resultado com a área teste da classe analisada;
- interseção do resultado da classificação com as amostras (áreas de treinamento e áreas testes) das demais classes armazenadas nos temas disponíveis do Sistema Image-100. Foram classificadas as áreas de treinamento e testes das demais classes devido ao pequeno número de "pixels" associado a cada classe.

Inicialmente, utilizando-se as áreas de treinamento de uma das classes, as amostras das demais classes foram classificadas conjuntamente com a área teste desta classe, através da classificação unicélula com modificação dos limites dos histogramas.

Assim, através do programa Cálculo de Área obteve-se o número de "pixels" classificados corretamente dentro da área da classe analisada e, ao mesmo tempo, os "pixels" classificados incorretamente nas áreas das demais classes.

O processo acima descrito foi repetido para todas as demais opções de aquisição de assinatura, utilizando-se sempre as mesmas áreas de amostragem.

Na classificação multi-célula as assinaturas das classes analisadas foram obtidas através da eliminação das células vazias, devido ao pequeno número de "pixels" das áreas de amostragem.

No processo aquisição interativa de assinaturas, os erros de omissão foram adicionados e os erros de inclusão subtraídos, até

os resultados se tornarem satisfatórios.

Nesse processo, inicialmente, a área foi classificada usando a opção de classificação uni-célula com o limite do histograma modificado. A seguir foi feita a interseção da área classificada com a área teste da classe analisada. Feita a interseção, o próximo passo foi a utilização dos "pixels" não classificados na área teste, como treinamento, para uma nova classificação. Os resultados obtidos foram adicionados à classificação inicial, diminuindo-se os erros de omissão.

Para diminuir os erros de inclusão, "pixels" classificados erroneamente foram utilizados como área de treinamento para uma nova classificação. A nova classificação gerada foi, posteriormente, subtraída da classificação anterior, diminuindo-se os erros de inclusão.

Baseando-se no classificador de amostras "distância B" os campos de treinamento foram utilizados para classificar as áreas testes. A "distância B" foi computada, sempre, entre uma área teste e todas as demais áreas de treinamento relativas às classes de uso do solo urbano. A área teste analisada foi classificada dentro da classe para a qual a "distância B" foi mínima. No caso da área teste Institucional foram analisados apenas 924 "pixels" pois 20 "pixels" apresentaram problemas classificatórios.

Em seguida, foi avaliado o grau da precisão das classificações realizadas, através do cálculo dos erros de omissão e inclusão.

Segundo Aldrich (1975) omissão e inclusão são tipos de erros muito significativos em um sistema de monitoramento. A eliminação desses erros na aplicação de um programa de sensoriamento é importante para diminuir as visitas ao campo.

Os erros de omissão foram calculados a partir do número de "pixels" que não foram classificados dentro da área teste analisada. O erro de omissão (em porcentagem) é obtido pela razão:

$$\frac{\text{Número de "pixels" não classificados como pertencentes à área teste da classe analisada}}{\text{Número de "pixels" pertencentes à área teste da classe analisada}} \times 100$$

Erro de inclusão "pixels" erroneamente classificados como pertencentes à classe analisada, é expresso pela razão:

$$\frac{\text{Número de "pixels", pertencentes às demais classes, classificados erroneamente como elemento da classe analisada}}{\text{(Número total de "pixels") - (Número de "pixels" da classe analisada)}} \times 100$$

No caso do classificador de amostras "distância B" os erros de inclusão foram obtidos através da razão:

$$\frac{\text{Número de "pixels, pertencentes às áreas testes das demais classes, classificados erroneamente como elemento da classe analisada}}{\text{(Número total de "pixels" das áreas testes) - (Número de "pixels" na área teste da classe analisada)}} \times 100$$

Finalmente foram obtidas matrizes dos erros de omissão e inclusão que possibilitaram analisar e comparar diferentes opções de classificação.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - MAPA DE USO DO SOLO URBANO

O mapa de uso do solo urbano de São José dos Campos, feito a partir de fotografias aéreas convencionais, na escala 1:8.000, pode ser visto na Figura IV.1.

As categorias de uso do solo urbano, codificadas no mapa, enquadram-se quase totalmente no nível II do sistema de classificação desenvolvido por Hardy e Anderson (1973).

As classes levantadas estão abaixo relacionadas e a cada uma delas estão associadas algumas características que mostraram ser importantes para sua identificação.

1) Área Residencial Multi-Familiar

   a) presença de edifícios de apartamentos.

2) Área Residencial Família Única

   a) densidade das edificações;

   b) tamanho das edificações;

   c) presença de um sistema de arruamento bem definido.

3) Área Institucional

   a) presença de estacionamentos e áreas recreativas;

   b) tamanho das construções.

Foram consideradas, como áreas institucionais, as igrejas, escolas, universidades, centros de pesquisa, hospitais, conventos, ce-

PAGE 34 INTENTIONALLY BLANK

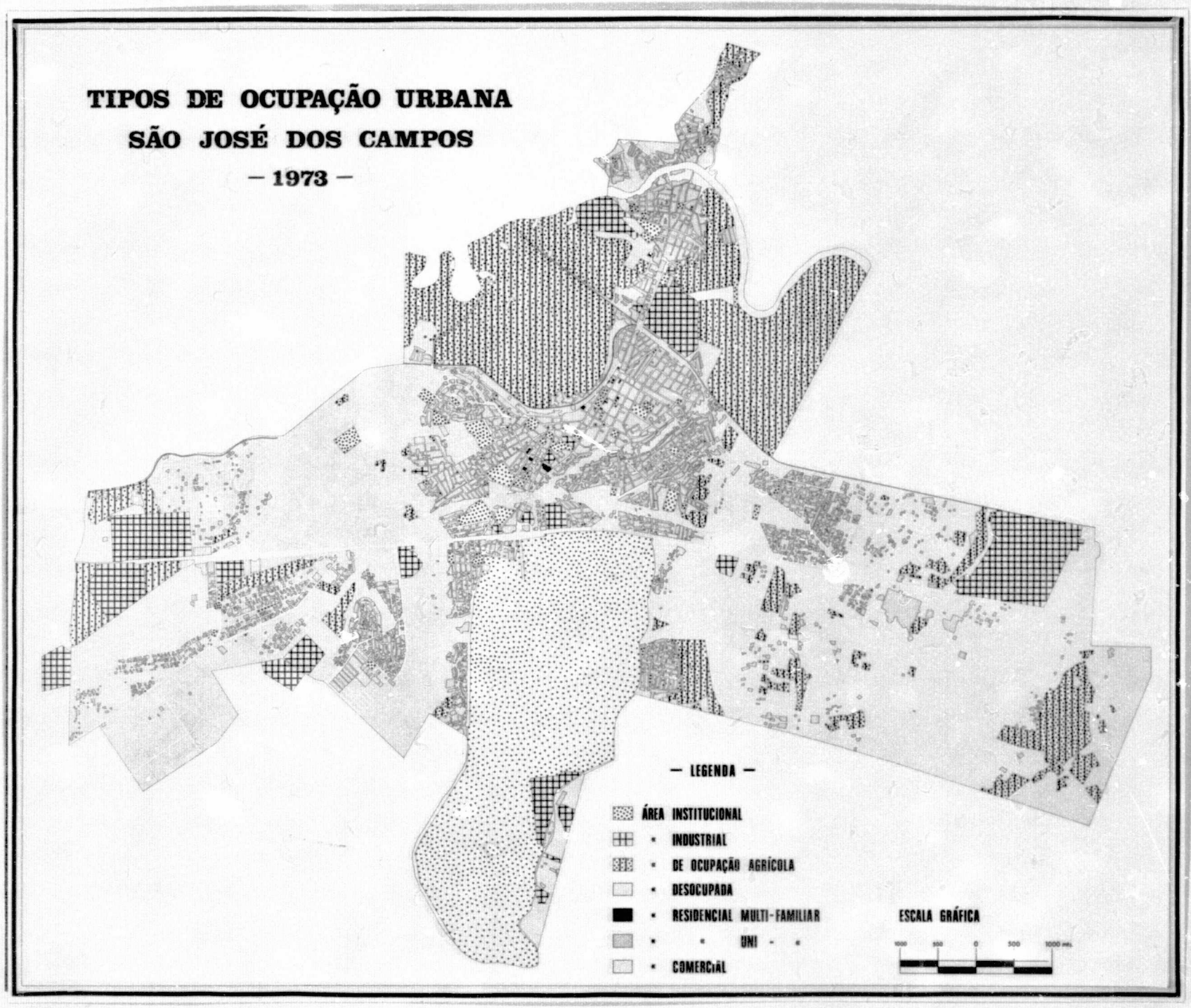


Fig. IV.1 - Tipos de Ocupação Urbana de São José dos Campos

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

mitérios, clubes, áreas verdes, etc..

4) Área Agrícola

a) áreas cultivadas;

b) áreas de reflorestamento;

c) granjas e chácaras.

5) Área Desocupada

a) ausência de ocupação e/ou influência humana.

As áreas desocupadas geralmente aparecem na periferia do núcleo urbano, apresentando um padrão geométrico irregular em solo nu ou com cobertura vegetal rasteira.

6) Área Industrial

a) presença de chaminés;

b) grandes estruturas ao longo das vias que fazem ligações externas;

c) extensão areal das edificações;

d) presença de grandes pátios de estacionamento;

e) presença de amplos telhados.

As áreas industriais apresentam uma associação de amplos edifícios com uma orientação característica. Nessa classe aparecem as grandes indústrias identificáveis nas aerofotos.

7) Área Comercial

a) presença de edificações mais antigas;

b) altura das edificações;

c) agrupamento das edificações.

Dois tipos principais de áreas comerciais são usualmente encontrados: "shopping centers" suburbanos e faixas comerciais ao longo das vias principais.

4.2 - SEPARABILIDADE DAS CLASSES DE USO DO SOLO URBANO UTILIZANDO-SE O SISTEMA IMAGE-100

Para determinar que combinação, dos quatro canais espectrais disponíveis, proporciona melhor separabilidade estatística das classes de uso do solo urbano, foi utilizada a "distância B média" descrita em Swain e King (1973). Foram examinadas combinações de 1, 2, 3 e 4 canais espectrais do LANDSAT e as respectivas porcentagens de classificação correta foram avaliadas através dos dados contidos na Figura III.7.

4.2.1 - SUBCONJUNTOS DE 1 CANAL

A Tabela IV.1 mostra os valores de "distância B média", obtidos pela utilização de cada canal individualmente e as correspondentes porcentagens de classificação correta. Observa-se que, quando analisado independentemente, o canal 4 apresentou a melhor separabilidade estatística entre as classes.

TABELA IV.1

SEPARABILIDADE DAS CLASSES DE USO DO SOLO URBANO UTILIZANDO-SE 1 CANAL

CANAL LANDSAT	DISTÂNCIA B MÉDIA	PROBABILIDADE DE CLASSIFICAÇÃO CORRETA - (%)
4	0,7787	82,4
5	0,7250	81,6
6	0,4267	72,8
7	0,3510	69,6

Isto pode ser explicado analisando-se os histogramas das Figuras IV.2 a IV.8: o aumento da variância de duas distribuições estatísticas aumenta a superposição entre elas e, consequentemente, reduz a separabilidade. Por outro lado, o aumento da distância entre as médias das distribuições reduz a superposição, aumentando a separabilidade estatística das classes. Pode-se observar que as variâncias das respostas dadas pelas diferentes classes, no canal 4, são menores que nos canais 5 e 6.

Embora o canal 7 também apresente valores de variância relativamente pequenos, há pouca diferença entre as médias das respostas relativas às diferentes classes. Esse aspecto irá dificultar a discriminação das classes usando-se apenas esse canal.

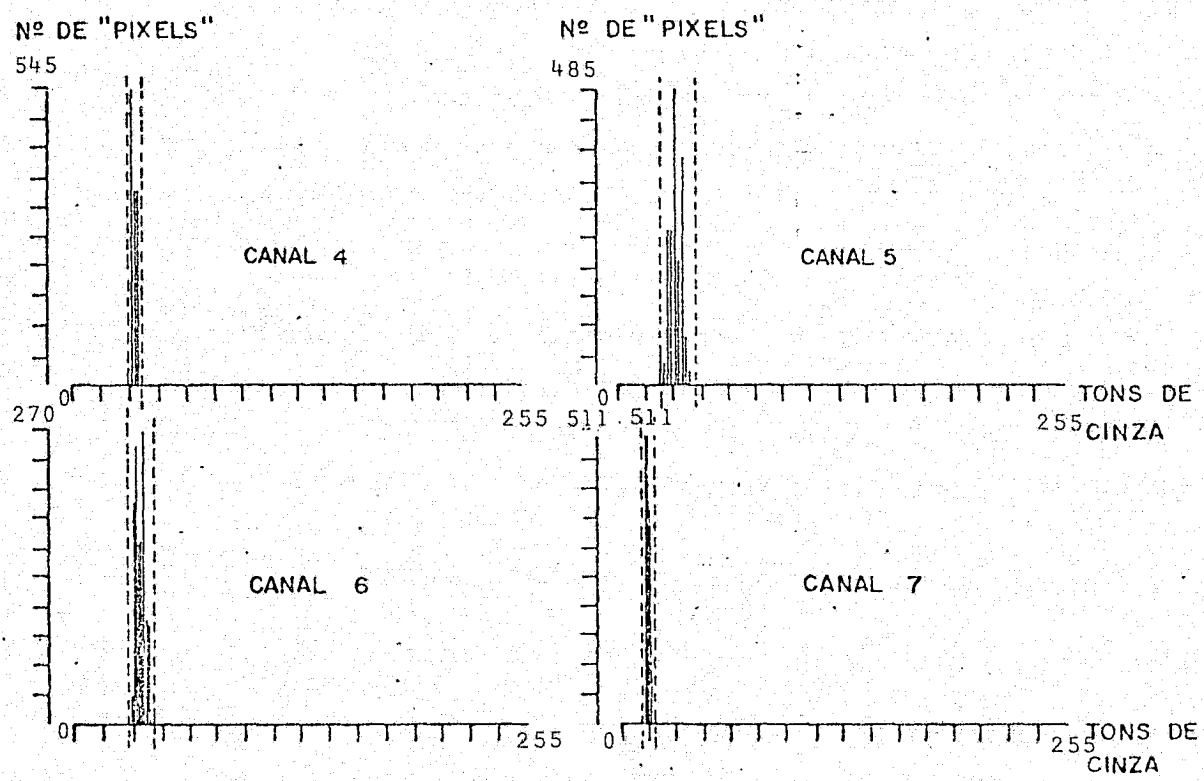
4.2.2 - SUBCONJUNTOS DE DOIS CANAIS

Quando o canal 7 foi usado juntamente com o canal 4, na análise de subconjuntos de dois canais (Tabela IV.2), ocorreu a melhor separabilidade entre as classes. Isso mostra que as informações do canal 7 (infra-vermelho próximo), estão completando as informações obtidas pelo canal 4 (visível).

TABELA IV.2

SEPARABILIDADE DAS CLASSES DE USO DO SOLO URBANO UTILIZANDO-SE COMBINAÇÕES DE DOIS CANAIS

CANAIS LANDSAT	DISTÂNCIA B MÉDIA	PROBABILIDADE DE CLASSIFICAÇÃO CORRETA - (%)
4.5	0,8877	84,8
4.6	0,8959	85,6
4.7	0,9599	86,4
5.6	0,8436	83,2
5.7	0,8775	84,8
6.7	0,6075	77,6

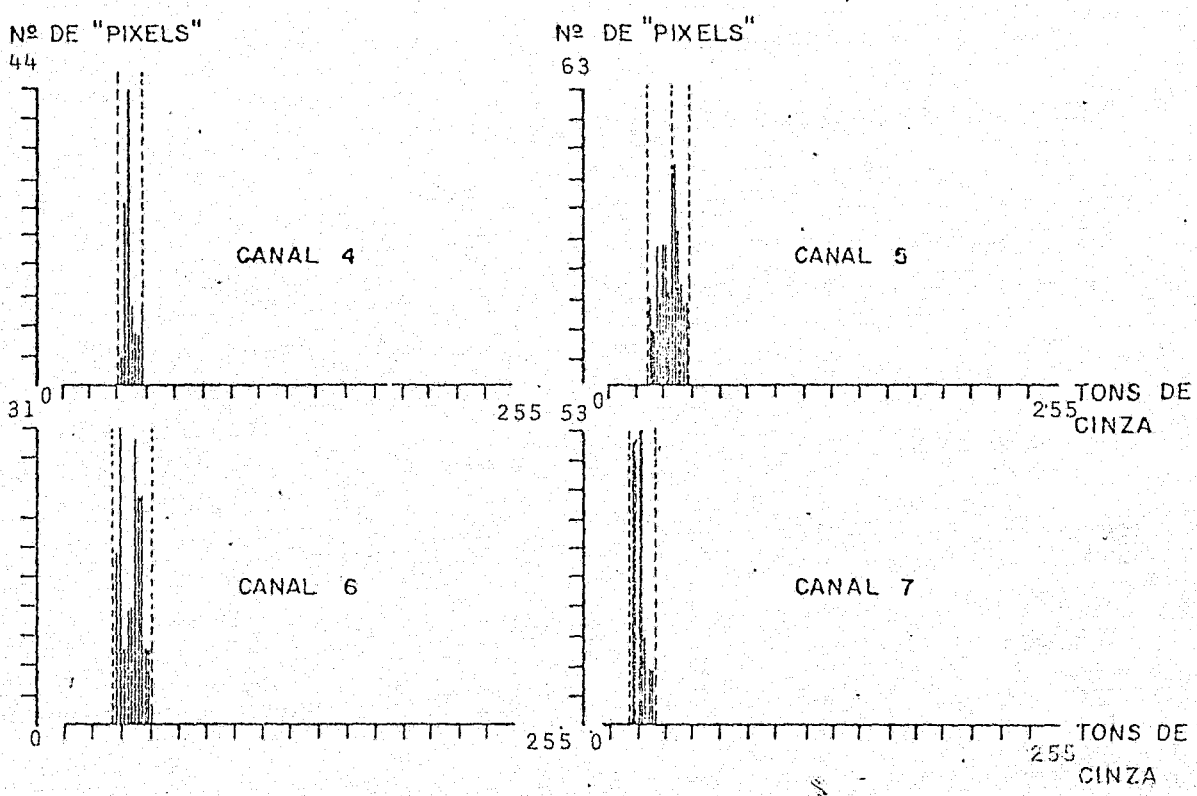


CANAL	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR	DELTA	PICO	MÉDIA	VARIÂNCIA
4	32	39	8	545	35.0	2.1
5	25	45	21	485	33.3	11.1
6	30	44	15	270	36.7	7.9
7	13	19	7	511	16.5	1.6

ÁREA DE TREINAMENTO = 1580 "PIXELS"
ÁREA CLASSIFICADA = 107512 "PIXELS"
RESOLUÇÃO = 256 TONS DE CINZA

Fig. IV.2 - Histogramas da classe residencial uni-familiar

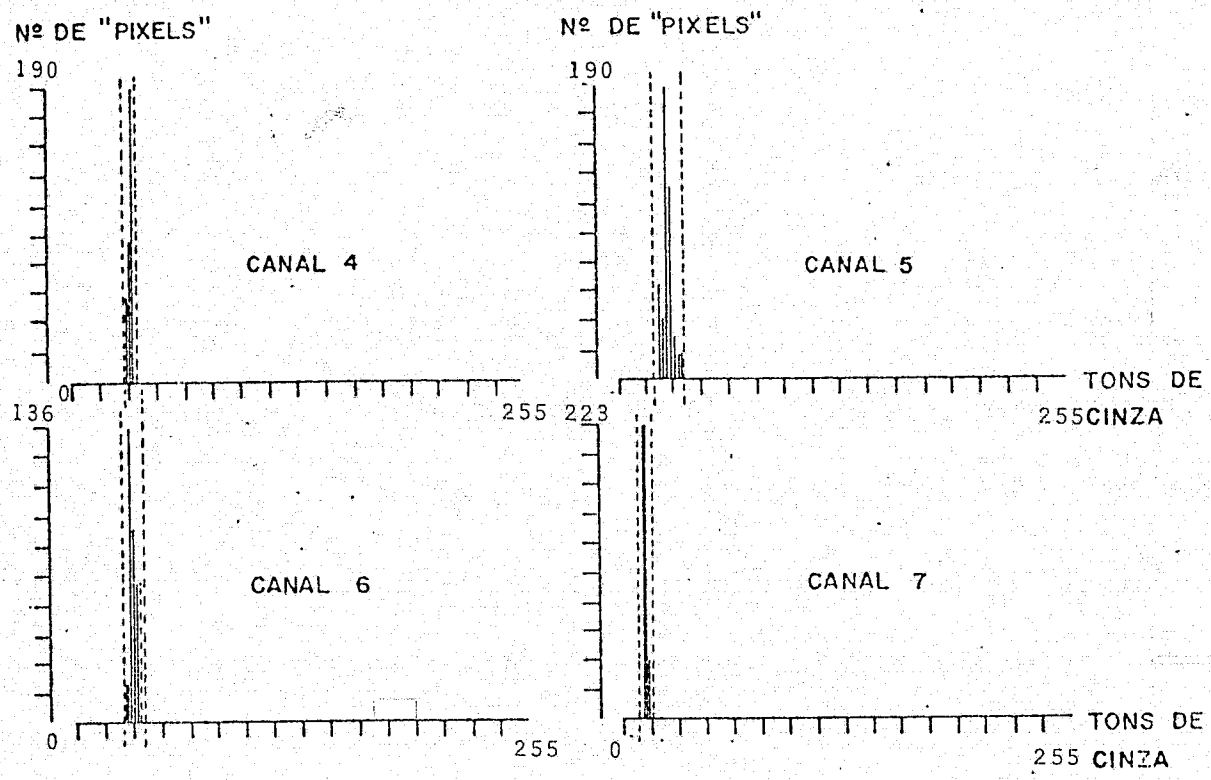
ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY



CANAL	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR	DELTA	PICO	MÉDIA	VARIÂNCIA
4	31	45	15	44	37.1	10.4
5	24	47	24	63	36.1	35.9
6	28	50	23	31	38.7	30.4
7	12	26	15	53	16.5	7.0

ÁREA DE TREINAMENTO = 240 "PIXELS"
ÁREA CLASSIFICADA - 167240 "PIXELS"
RESOLUÇÃO = 256 TONS DE CINZA

Fig. IV.3 - Histogramas da classe residencial multi-familiar

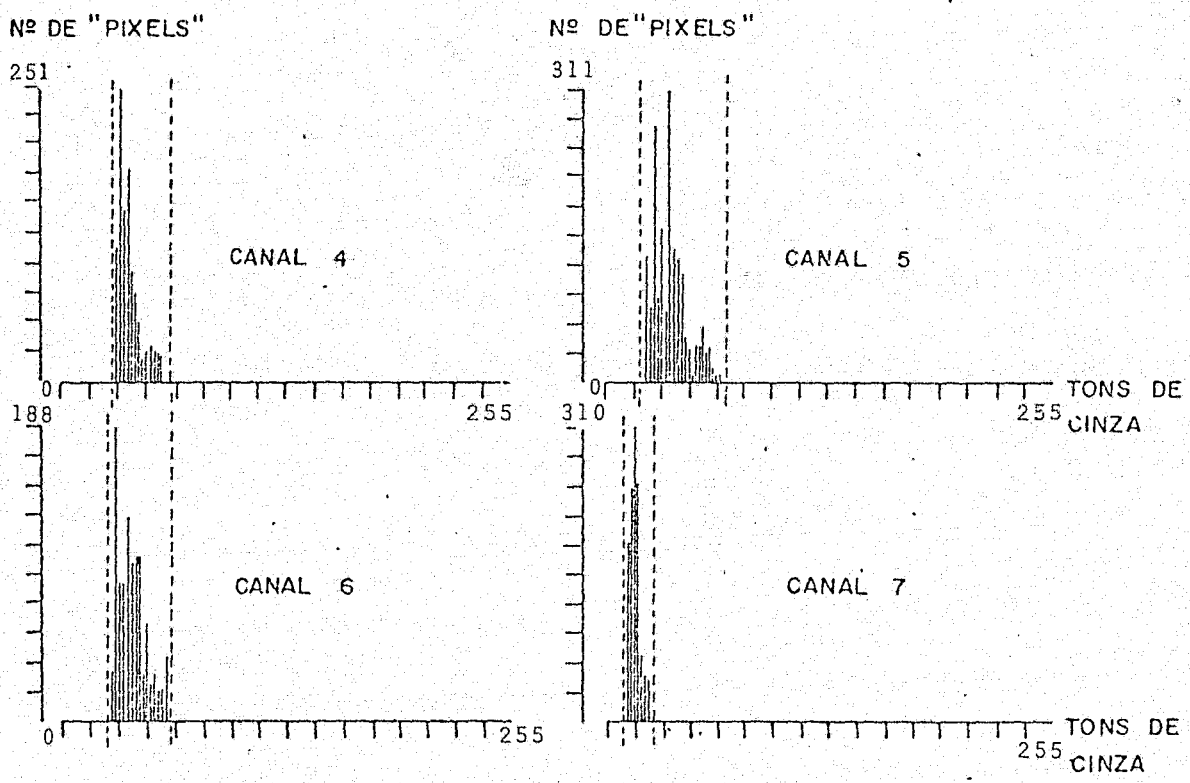


CANAL	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR	DELTA	PICO	MÉDIA	VARIÂNCIA
4	30	37	8	190	33.9	1.3
5	21	38	18	190	29.9	7.7
6	26	38	13	136	31.9	5.1
7	10	18	9	223	13.7	0.9

ÁREA DE TREINAMENTO = 452 "PIXELS"
ÁREA CLASSIFICADA = 177774 "PIXELS"
RESOLUÇÃO = 256 TONS DE CINZA

Fig. IV.4 - Histogramas da classe comercial

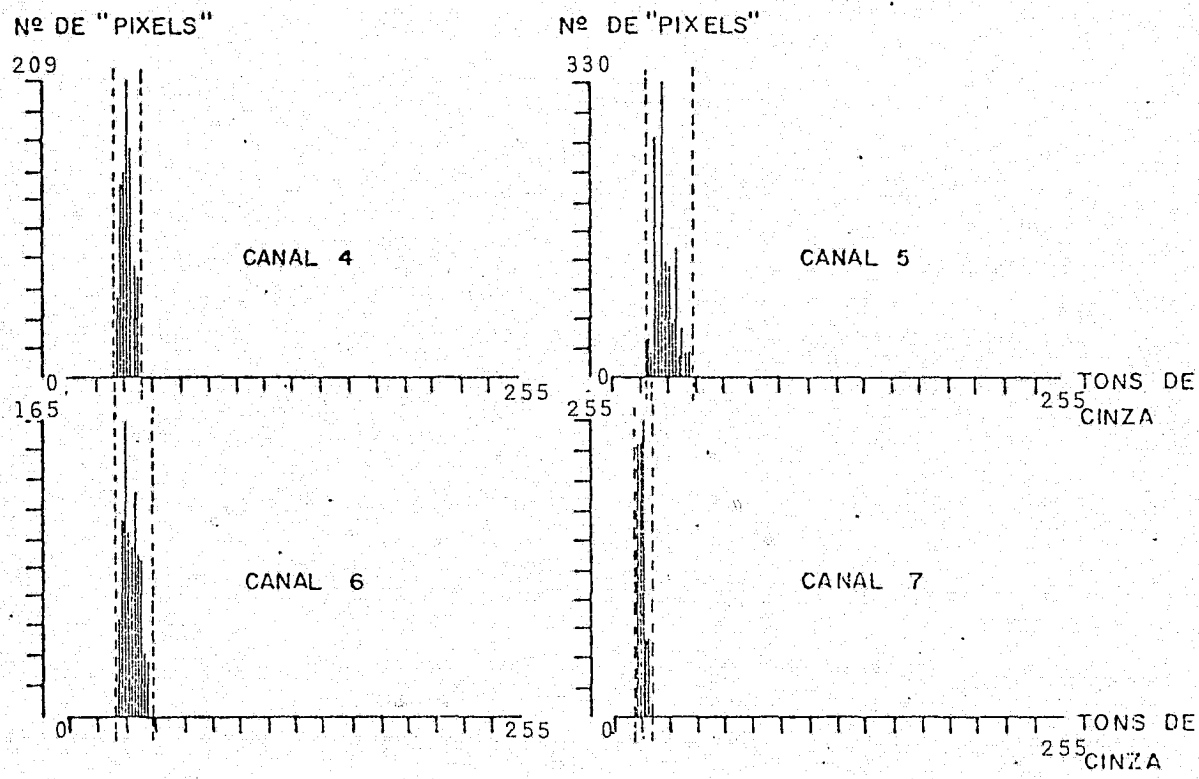
ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY



CANAL	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR	DELTA	PICO	MÉDIA	VARIÂNCIA
4	29	61	33	251	38.8	40.5
5	20	70	51	311	37.6	90.5
6	26	61	36	188	39.1	57.8
7	10	27	18	310	17.1	9.8

ÁREA DE TREINAMENTO = 1656 "PIXELS"
ÁREA CLASSIFICADA = 237072 "PIXELS"
RESOLUÇÃO = 256 TONS DE CINZA

Fig. IV.5 - Histogramas da classe industrial

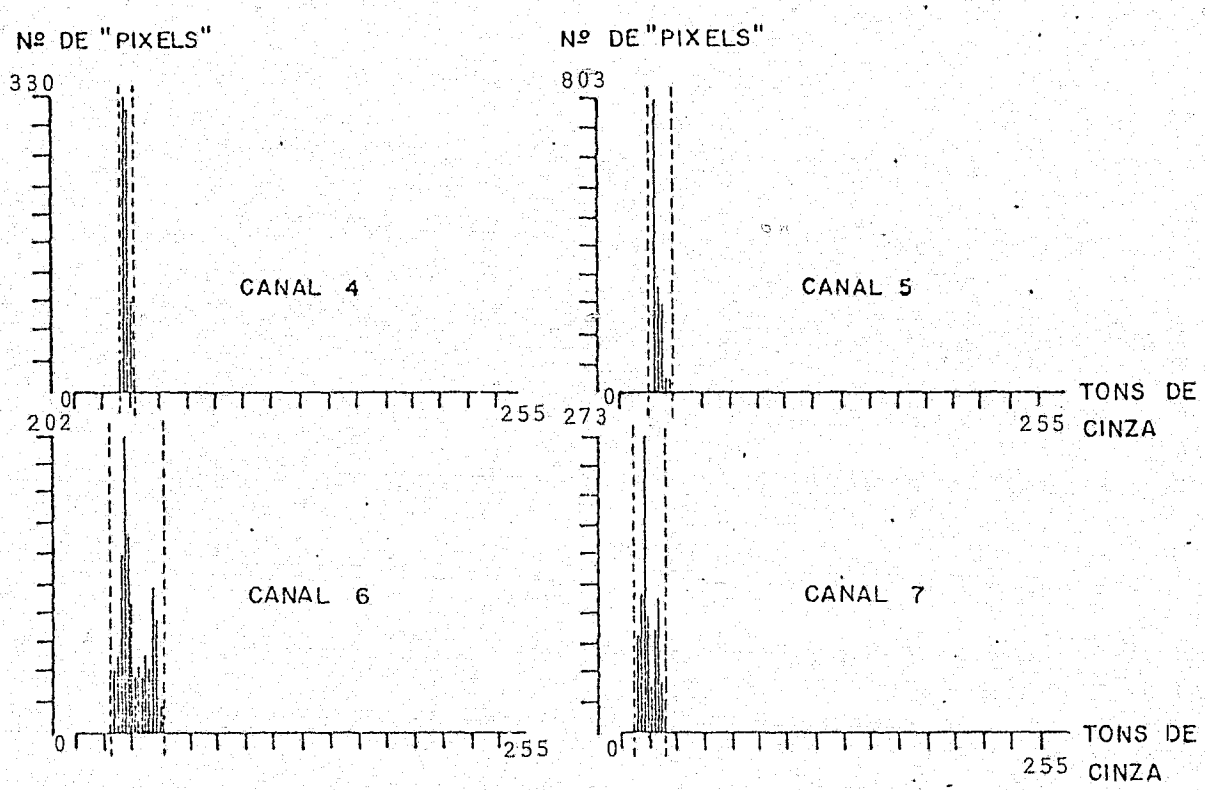


CANAL	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR	DELTA	PICO	MÉDIA	VARIÂNCIA
4	27	42	16	209	34.3	7.9
5	21	47	27	330	30.7	28.2
6	26	47	22	165	35.5	20.7
7	12	22	11	235	16.1	3.9

ÁREA DE TREINAMENTO = 1216 "PIXELS"
ÁREA CLASSIFICADA = 234718 "PIXELS"
RESOLUÇÃO = 256 TONS DE CINZA

Fig. IV.6 - Histogramas da classe institucional

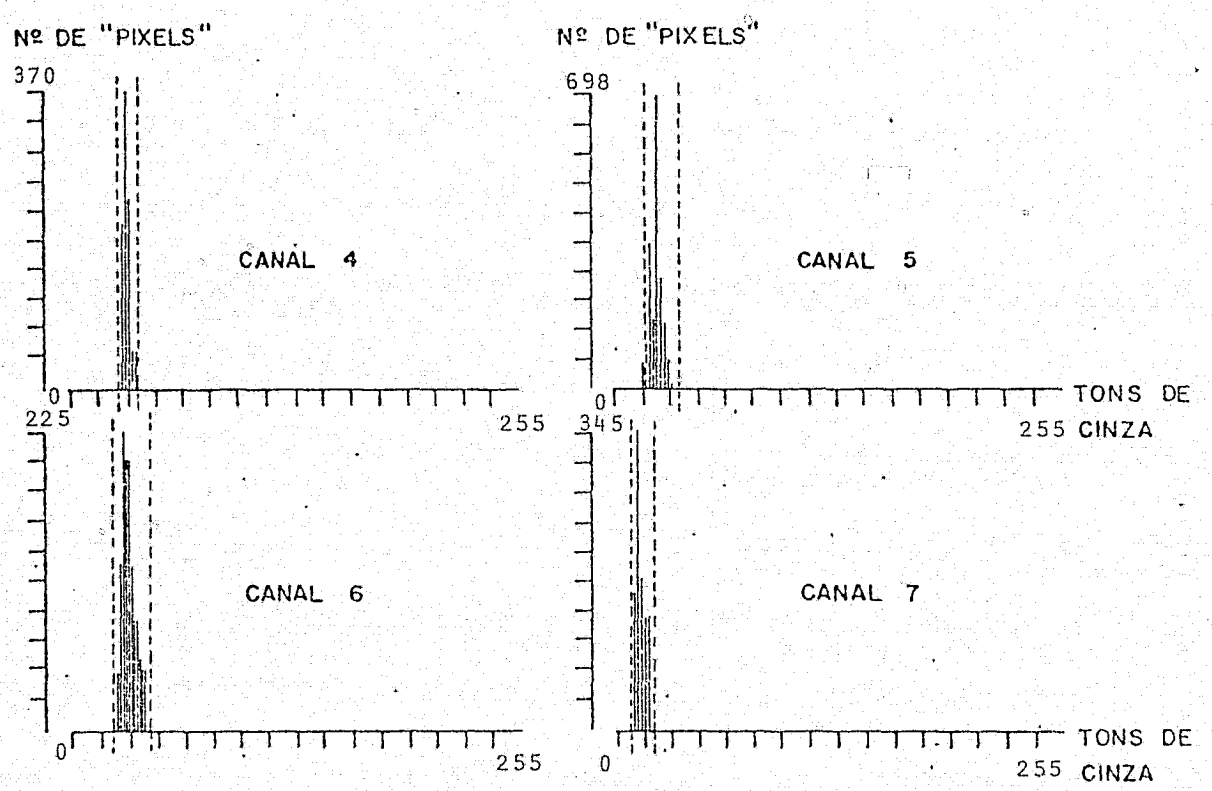
ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY



CANAL	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR	DELTA	PICO	MÉDIA	VARIÂNCIA
4	26	34	9	330	29.9	2.9
5	17	31	15	803	22.3	4.6
6	20	50	31	202	32.4	52.2
7	8	26	19	273	15.7	18.6

ÁREA DE TREINAMENTO = 1348 "PIXELS"
ÁREA CLASSIFICADA = 212027 "PIXELS"
RESOLUÇÃO = 256 TONS DE CINZA

Fig. IV.7 - Histogramas da classe agrícola



CANAL	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR	DELTA	PICO	MÉDIA	VARIÂNCIA
4	26	37	12	370	30.6	4.3
5	17	37	21	698	24.7	10.8
6	22	43	22	225	30.7	18.2
7	9	22	14	345	14.3	6.0

ÁREA DE TREINAMENTO = 1497 "PIXELS"
ÁREA CLASSIFICADA = 245535 "PIXELS"
RESOLUÇÃO = 256 TONS DE CINZA

Fig. IV.8 - Histogramas da classe desocupada

4.2.3 - SUBCONJUNTOS DE TRÊS CANAIS

Ao utilizar-se subconjuntos de três canais (Tabela IV.3), a melhor combinação foi dada pelos dois canais do espectro visível 4 e 5, e um canal do infra-vermelho próximo - canal 7. Isto pode ser explicado quantitativamente, pelo fato de que a soma das distâncias entre as médias de todos os pares de classes, nos canais 4 e 5, é maior do que a soma correspondente nos canais 6 e 7. Outro aspecto a ser considerado é a "distância B média" apresentar-se significativamente maior nos canais 4 e 5.

TABELA IV.3

SEPARABILIDADE DAS CLASSES DE USO DO SOLO URBANO UTILIZANDO-SE COMBINAÇÕES DE TRÊS CANAIS

CANAIS LANDSAT	DISTÂNCIA B MÉDIA	PROBABILIDADE DE CLASSIFICAÇÃO CORRETA - (%)
4.5.6	0,9920	87,2
4.5.7	1,0449	88,0
4.6.7	1,0188	87,2
5.6.7	0,9504	85,7

4.2.4 - CONJUNTO DE QUATRO CANAIS

Como se esperava, a maior separabilidade e consequentemente maior probabilidade de classificação correta foi obtida utilizando-se os quatro canais espectrais simultaneamente.

TABELA IV.4

SEPARABILIDADE DAS CLASSES DE USO DO SOLO URBANO UTILIZANDO-SE COMBINAÇÕES DE QUATRO CANAIS

CANAIS LANDSAT	DISTÂNCIA B MÉDIA	PROBABILIDADE DE CLASSIFICAÇÃO CORRETA - (%)
4.5.6.7	1,0940	89,0

Isto confirma os trabalhos de Swain e King,(1973) e Todd et al. (1973), para os quais a utilização de maior número de canais, simultaneamente, tende a melhorar a precisão da classificação automática.

Embora o tempo de computador gasto na análise aumente consideravelmente com o aumento do número de canais utilizados, a classificação através do IMAGE-100, utilizando quatro canais espectrais, é relativamente rápida.

Analisando-se as medidas de separabilidade "distância B" utilizando-se quatro canais espectrais, entre cada par de classes (Tabela IV.5), observa-se que os pares residencial uni-familiar/institucional, residencial multi-familiar/industrial, comercial/institucional, desocupada/agrícola são os que apresentam maior superposição no campo espectral. Isto pode ser causado pelo fato dessas classes possuirem respostas espectrais semelhantes. Por exemplo, as áreas multi-familiar e industrial possuem elementos principais com alta reflectância no visível, concreto e grandes telhados respectivamente. As áreas agrícolas e desocupadas não se distinguiram, provavelmente por se apresentarem com características semelhantes de cobertura do solo na época de obtenção da imagem (setembro/72), sejam áreas de pastagem ou áreas preparadas para o plantio.

As medidas de separabilidade dessas classes estão associadas às porcentagens de classificação correta inferiores ou iguais a 75%, com exceção do par de classes comercial/institucional.

Os pares de classes que apresentaram "distância B" mais alta, e probabilidade de classificação correta acima de 90%, sendo portanto as mais facilmente separáveis, foram:

residencial uni-familiar/agrícola;

residencial multi-familiar/agrícola;

comercial/agrícola;

industrial/comercial;

industrial/agrícola;

institucional/agrícola;

desocupada/residencial uni-familiar.

Como se pode notar, a maioria desses pares de classes refere-se à comparação de áreas não-edificadas (desocupadas ou agrícolas) com áreas edificadas (multi-familiar, comercial, uni-familiar, industrial, institucional). Essas classes são identificáveis porque são representadas por áreas relativamente homogêneas e áreas formadas por diferentes proporções de cobertura do solo.

TABELA IV.5

SEPARABILIDADE DOS PARES DE CLASSES DE USO DO SOLO URBANO

COMBINAÇÃO DE CLASSES		DISTÂNCIA B	PROBABILIDADE DE CLASSIFICAÇÃO CORRETA -(%)
Residencial Uni-familiar	Residencial Multi-familiar	0,72584	81,6
	Comercial	1,22140	91,2
	Industrial	0,94490	86,4
	Institucional	0,39260	72,0
	Agrícola	1,89765	99,2
	Desocupada	1,43899	94,4
Residencial Multi-Familiar	Comercial	1,10091	89,6
	Industrial	0,49980	75,0
	Institucional	0,57757	76,8
	Agrícola	1,80653	98,4
	Desocupada	1,41241	93,6
Comercial	Industrial	1,38948	93,6
	Institucional	0,87697	84,8
	Agrícola	1,83226	98,4
	Desocupada	1,28178	92,0
Industrial	Institucional	0,73065	81,6
	Agrícola	1,38729	93,6
	Desocupada	1,08245	88,8
Institucional	Agrícola	1,19479	90,4
	Desocupada	0,66754	79,2
Agrícola	Desocupada	0,51150	75,0

4.3 - CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DOS USOS DO SOLO URBANO

As vantagens da interpretação automática de dados enumeradas por Rawling (1971) e Ellefsen et al (1973) são confirmadas nesta parte do trabalho, em que grande quantidade de informações foi analisada objetivamente num tempo relativamente curto.

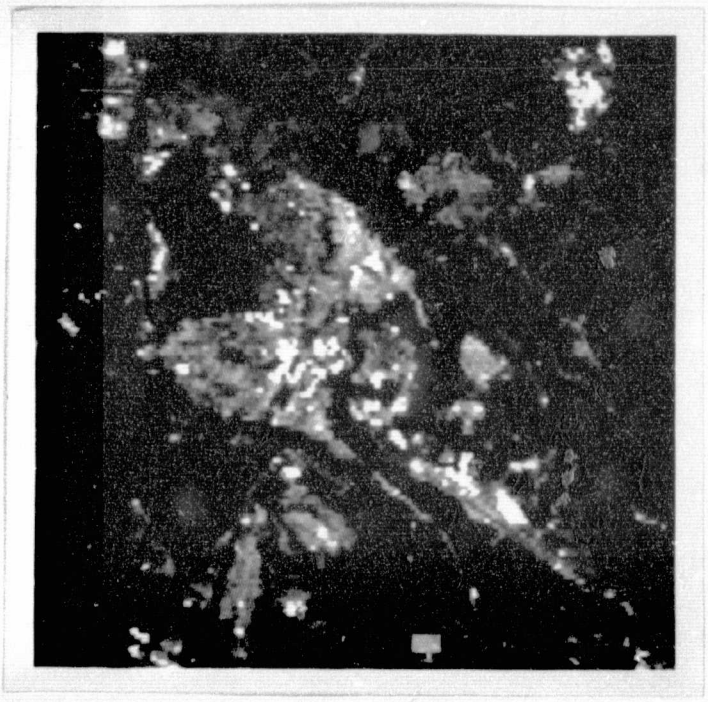
4.3.1 - AQUISIÇÃO DE ASSINATURA UNI-CÉLULA

Os resultados da classificação dos diferentes tipos de uso do solo utilizando-se o processo de aquisição de assinatura uni-célula encontram-se exemplificados na Figura IV.9.

A Tabela IV.6 mostra a distribuição dos "pixels" resultantes da análise; na diagonal encontram-se os elementos classificados corretamente enquanto os demais valores, nas linhas horizontais referentes a cada classe, referem-se ao número de "pixels" incorretamente classificados. Esses valores serviram de base para o cálculo das porcentagens de erro resultantes deste tipo de classificação.

Os erros de omissão e inclusão, decorrentes do processo de separação de cada classe de uso do solo, podem ser observados na Tabela IV.7. Nota-se que os erros de omissão variam de 5% para a classe industrial, a 46% a classe institucional, enquanto os erros de inclusão variam de 11% para a classe comercial, a 39% para a classe industrial.

Pode-se verificar que a precisão da classificação é baixa para todas as classes, com exceção da comercial, confirmando os altos valores da "distância B" calculados para esta classe.



ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

Fig. IV.9 - Área industrial obtida através da classificação Uni-célula

TABELA IV.6

DISTRIBUIÇÃO DOS "PIXELS" NA CLASSIFICAÇÃO UNI-CÉLULA

CLASSES	RESIDENCIAL UNI-FAMILIAR	RESIDENCIAL MULTI-FAMILIAR	COMERCIAL	INDUSTRIAL	INSTITUCIONAL	AGRÍCOLA	DESOCUPADA
Res.Uni-Familiar	876	60	452	506	471	1	131
Res.Multi-Familiar	1206	128	137	872	497	0	51
Comercial	160	46	288	230	203	0	190
Industrial	1364	180	219	1231	615	6	87
Institucional	1219	88	240	589	507	49	390
Agrícola	8	13	31	93	258	866	1019
Desocupada	78	28	76	175	361	970	995

NOTA: *As colunas indicam os "pixels" pertencentes às respectivas classes. Por exemplo: a primeira linha que, quando se utilizou as áreas de treinamento da classe residencial uni-familiar, 60 "pixels", pertencentes a área residencial multi-familiar, foram classificadas incorretamente nessa classe.*

TABELA IV.7

ERROS DE OMISSÃO E INCLUSÃO NA CLASSIFICAÇÃO UNI-CÉLULA

CLASSES	ERROS (%)	
	OMISSÃO	INCLUSÃO
Residencial Uni-Familiar	27	25
Residencial Multi-Familiar	33	36
Comercial	16	11
Industrial	5	39
Institucional	46	38
Agrícola	19	21
Desocupada	17	26
Média	23	28

Quantitativamente este aspecto pode ser explicado pelo valor da variância das respostas espectrais desta classe nos canais 4 e 7 (Figuras IV.2 e IV.8). Em geral, um aumento da variância das respostas espectrais tende a reduzir os erros de omissão e aumentar os erros de inclusão.

Embora na classe industrial ocorra menor erro de omissão (Tabela IV.7), o erro de inclusão é relativamente alto. Isto pode ser explicado pelo fato dessa classe apresentar grande intervalo de respostas espectrais (Figura IV.5), consequência de sua composição por materiais com reflectâncias discrepantes, conforme descrição

de Todd et al (1973).

Outro aspecto é a alta variância das respostas espectrais, nos quatro canais, para esta classe, quando comparada com as demais classes analisadas (Figuras IV.2 e IV.8).

Os erros de omissão e inclusão, associados à classe residencial uni-familiar (Tabela IV.7), podem ser causados pela composição complexa desta classe, com diferentes coberturas de solo, de acordo com a observação de Odenyo e Pettry (1977).

A classe institucional apresentou índices muito altos de omissão e inclusão. Acredita-se que as áreas de treinamento,selecionadas para esta classe, não tenham sido suficientemente representativas, devido à inclusão de alvos muito heterogêneos como institutos de pesquisas, cemitérios, áreas verdes, etc.

As classes agrícolas e desocupadas diferenciam-se das demais por serem homogêneas, consistindo às vezes de um único tipo de cobertura do solo. Apresentam, nos canais do visível, uma reflectância menor que as demais classes (Figuras IV.2 a IV.8). Os erros de omissão e inclusão nestas classes (Tabela IV.7), confirmam a afirmação de Ellefsen et al (1974) para os quais a separação rural/urbana é dificultada quando se usam apenas informações espectrais.

Outro aspecto a ser considerado é a grande superposição entre estas duas classes. Grande número de "pixels", pertencentes à classe agrícola, foram classificados como classe desocupada e vice-versa (Tabela IV.6).

A alta porcentagem de erros de omissão e inclusão, referentes à classe residencial multi-familiar, deve-se ao fato de suas edificações se apresentarem dispersas e isoladas na época de obtenção da imagem. Como consequência, foi tomado um número menor de amos

tras de treinamento e teste para essa área, influenciando negativamente o resultado da classificação.

Os erros de omissão, referentes a essa opção, podem ser explicados, em parte, pelo fato de terem sido eliminadas algumas áreas, corretamente classificadas, no processo de modificação nos limites dos histogramas. Erros de inclusão são explicados pelo fato dessa opção ser sensível ao problema de superposição espectral das classes, segundo General Electric Company (1975).

4.3.2 - AQUISIÇÃO DE ASSINATURA MULTI-CÉLULA

A classificação obtida por aquisição de assinatura multi-célula pode ser exemplificada pela Figura IV.10.

A Tabela IV.8 relaciona os índices de omissão e inclusão. Pode-se observar, como era esperado, que ocorre um aumento significativo dos erros de omissão e uma diminuição nos erros de inclusão para todas as classes levantadas.

TABELA IV.8

ERROS DE OMISSÃO E INCLUSÃO NA AQUISIÇÃO DE ASSINATURA MULTI - CÉLULA

	ERROS (%)	
CLASSES	OMISSÃO	INCLUSÃO
Res. Uni-Familiar	63	5
Res. Multi-Familiar	80	1
Comercial	74	2
Industrial	68	11
Institucional	59	27
Agrícola	73	3
Desocupada	77	5
Média	71	8

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

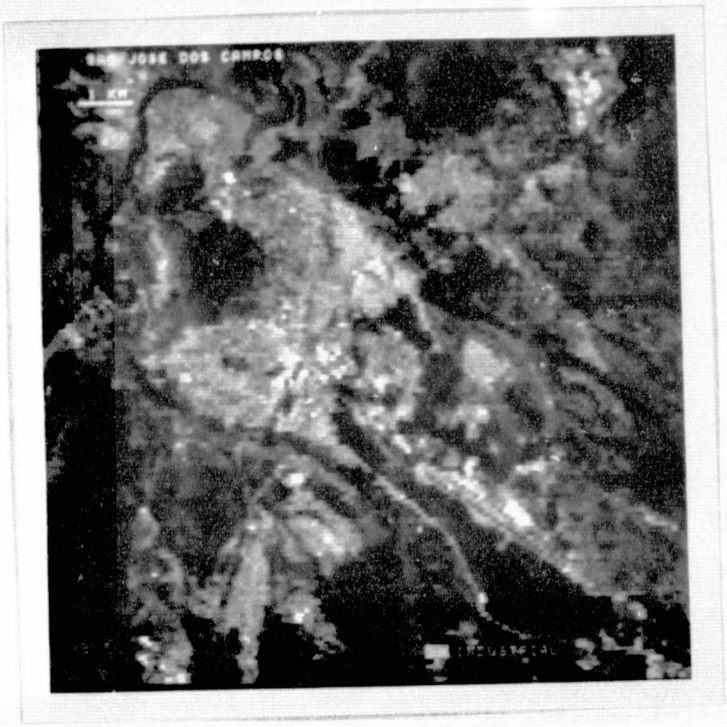


Fig. IV.10 - Área Industrial obtida através da classificação Multi-célula

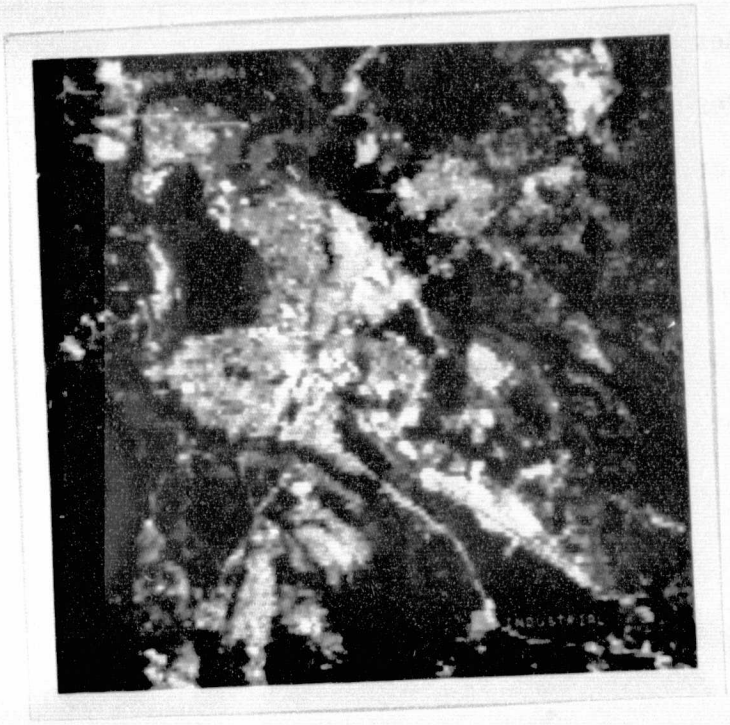
A porcentagem média de apenas 8% de erros de inclusão explica-se pelo fato dessa opção reduzir consideravelmente o problema de superposição das classes, conforme General Eletric Company (1975).

Considerando-se os erros de omissão e inclusão em conjunto, nota-se que a porcentagem de classificação correta é baixa para todas as classes. Isto é justificado pelo fato de terem sido rejeitadas muitas células, representativas das classes, que se apresentam vazias porque o número de "pixels" usado foi relativamente pequeno para propósitos estatísticos.

4.3.3 - AQUISIÇÃO INTERATIVA DE ASSINATURAS

No processo de aquisição interativa de assinaturas (Figura IV.11) a superposição espectral das classes influenciou fortemente o resultado da classificação. A Tabela IV.9 mostra porcentagem média dos erros de omissão (32%) maiores do que de inclusão (27%). Isto é explicado pelas alterações feitas nessa classificação, ao selecionar-se novas áreas de treinamento para se obter um refinamento dos resultados. Os "pixels", classificados na categoria de erros de inclusão, apresentam um intervalo espectral maior do que os classificados na categoria de erros de omissão. Consequentemente, no processo de adição e subtração dos resultados obtidos, utilizando-se as novas áreas de treinamento, obteve-se maiores erros de omissão e menores erros de inclusão.

Recomenda-se essa opção de classificação para áreas de estudo bem conhecidas e quando se pode dispender maior tempo de computador no refinamento dos resultados.



ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

Fig. IV.11 - Área industrial obtida através da classificação aquisição interativa de assinaturas

TABELA IV.9

ERROS DE OMISSÃO E INCLUSÃO NA AQUISIÇÃO INTERATIVA DE ASSINATURAS

CLASSES	ERROS (%)	
	OMISSÃO	INCLUSAO
Res.Uni-Familiar	23	31
Res.Multi-Familiar	45	13
Comercial	26	32
Industrial	54	8
Institucional	23	59
Agrícola	21	20
Desocupada	34	26
Média	32	27

4.3.4 - CLASSIFICADOR DE AMOSTRAS-DISTÂNCIA-B

A Figura IV.12 ilustra a classificação automática gerada através da "distância B", descrita em Swain e King (1973). Na Tabela IV.10 tem-se a distribuição dos "pixels" resultantes desta classificação. Nota-se que os elementos da diagonal, fração total de "pixels" corretamente classificados, são pequenos para todas as classes, com exceção da residencial uni-familiar e comercial. As restantes frações pertinentes aos "pixels" incorretamente classificados, também foram baixas.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

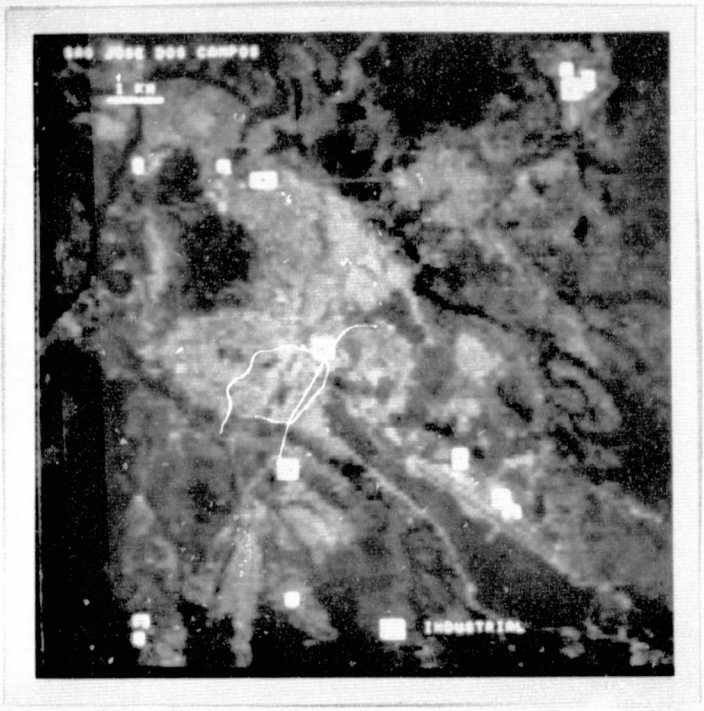


Fig. IV.12 - Área Industrial obtida através da classificação usando "distância B"

TABELA IV.10

DISTRIBUIÇÃO DOS "PIXELS" NA CLASSIFICAÇÃO DE AMOSTRAS - DISTÂNCIA B

CLASSES	RESIDENCIAL UNI-FAMILIAR	RESIDENCIAL MULTI-FAMILIAR	COMERCIAL	INDUSTRIAL	INSTITUCIONAL	AGRÍCOLA	DESOCUPADA
Res. Uni-Familiar	1144	-		264	220		
Res. Multi-Familiar	-	108		320			
Comercial	52	84	344	204			
Industrial	-	-		420			
Institucional	-	-		28	576		198
Agrícola	-	-				786	340
Desocupada	-	-		60	128	288	660

NOTA: *As colunas indicam os "pixels" pertencentes às respectivas classes. Por exemplo, a primeira coluna mostra que do total de 1196 "pixels", pertencentes às áreas teste da classe residencial uni-familiar, 1144 foram classificados corretamente dentro dessa classe e 52 foram classificados como comercial.*

A pequena fração de "pixels" corretamente e/ou incorretamente classificados gerou, respectivamente, os altos erros de omissão e baixos erros de inclusão da Tabela IV.11.

TABELA IV.11

ERROS DE OMISSÃO E INCLUSÃO DA CLASSIFICAÇÃO DE AMOSTRAS-DISTÂNCIA-B

	ERROS (%)	
CLASSES	OMISSÃO	INCLUSÃO
Res. Uni-Familiar	4	10
Res. Multi-Familiar	44	5
Comercial	0	6
Industrial	68	0
Institucional	38	4
Agrícola	27	7
Desocupada	45	9
Média	32	6

A classe industrial apresentou o maior erro de omissão, consequência do fato de apresentar grandes diferenças espectrais entre as amostras: algumas indústrias selecionadas apresentaram telhados altamente reflexivos em relação às demais. Já a classe comercial não apresentou erros de omissão.

Os erros de inclusão da classe multi-familiar são decorrentes da pequena separabilidade espectral existente entre esta classe e a industrial, indicada pelos valores da "distância B" da Tabela IV.5.

A classe agrícola tem, como principais responsáveis pelos erros de inclusão, os "pixels" pertencentes a área desocupada (Tabela IV.10), de características semelhantes de cobertura de solo na época da obtenção dos dados.

O problema principal da classificação por "distância B" é o fato de ter sido utilizado pequeno número de "pixels" como área de treinamento para cada classe. Assim, essas áreas não foram suficientemente representativas das respectivas áreas testes, gerando altos erros de omissão.

A pequena variação dos índices de inclusão (Tabela IV.11), de 0% para a classe industrial a 10% para a classe residencial, é consequência da área de superposição relativamente pequena existente entre os histogramas, no espaço multidimensional, quando se utiliza o classificador "distância B".

De modo geral, assumindo que as amostras são representativas, no caso da "distância B", as classes que apresentam menores valores de variância, em cada canal espectral, têm menor superposição e, consequentemente, melhor resultado classificatório.

4.4 - CLASSIFICAÇÕES AUTOMÁTICAS: ANÁLISE COMPARATIVA

Com base nas médias dos índices de omissão e inclusão, relacionadas na Tabela IV.12, foi feita uma comparação entre as diferentes opções de classificação.

TABELA IV.12

MÉDIAS DOS ERROS DE OMISSÃO E INCLUSÃO

OPÇÕES DE CLASSIFICAÇÃO	MÉDIAS DOS ERROS (%)	
	OMISSÃO	INCLUSAO
Aquisição de Assinatura Uni-Célula	23	28
Aquisição de Assinatura Multi-Célula	71	8
Aquisição Interativa de Assinaturas	32	27
Classificador de Amostras "Distância B"	32	6

Nota-se que há grande semelhança entre as médias dos erros de omissão e inclusão obtidos para os casos uni-célula e aquisição interativa de assinaturas. Isto é decorrente da utilização do programa uni-célula quando se procedeu à aquisição interativa de assinatura. Por outro lado, ambas as opções são igualmente sensíveis à superposição espectral das classes, por se basearem apenas nos limites inferior e superior das respostas espectrais em cada canal.

Ambas as opções apresentaram altos erros de inclusão, uma vez que os "pixels", que se encontram na área de superposição no espaço multidimensional, pertencem a mais de uma classe. Os menores erros de inclusão, apresentados pela aquisição interativa de assinatura, são consequência do maior intervalo espectral das novas áreas de treinamento representadas pelos erros de inclusão, quando comparadas com as representadas pelos erros de omissão.

A opção multi-célula diferenciou-se das demais pelo seu alto índice de omissão. Isto fez com que os resultados fossem pouco significativos para propósitos classificatórios, embora apresentado erros de inclusão menores que as classificações uni-célula e aquisição interativa de assinaturas. Faz-se necessário um aumento de "pixels" pertencentes às áreas de treinamento, para que esta opção possa ser analisada comparativamente.

A vantagem de se utilizar multi-célula em análise de áreas urbanas, é que permite reduzir a influência da superposição espectral.

O classificador de amostra "distância B" apresentou a menor soma dos erros de omissão e inclusão. Foram obtidos erros médios de omissão iguais à aquisição interativa de assinatura, devido ao fato das áreas de treinamento não terem sido suficientemente representativas das áreas testes.

Os menores erros de inclusão, obtidos com a "distância B", são explicados pela menor superposição espectral existente entre os histogramas no espaço multidimensional, quando comparada com as superposições apresentadas pelas opções que utilizam apenas o limite inferior e superior de reflectância, das respostas espectrais, durante o processo classificatório.

Considerando os erros de omissão e inclusão, conjuntamente, o melhor resultado classificatório foi apresentado pelo classificador de amostras "distância B".

Analisando-se cada opção em função de seus erros de omissão e inclusão, separadamente, tem-se que:

- a classificação uni-célula mostrou-se a mais eficiente, quando se analisa apenas erros de omissão;

- o classificador de amostras "distância B" é o mais indicado quando devem ser obtidos baixos erros de inclusão.

Os resultados obtidos através das diferentes opções de classificação foram condicionados pelos seguintes fatores: a) resolução do satélite; b) esquema de classificação utilizado; c) interpretação automática baseada apenas em informações espectrais; d) complexidade espectral

das classes urbanas. Confirman-se, assim, as observações de Economy et al (1974) e Ellefsen et al (1974).

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES

A interpretação e análise dos resultados obtidos para São José dos Campos possibilitaram as conclusões abaixo relacionadas. .

5.1 - SEPARABILIDADE ESPECTRAL DAS CLASSES

a) A interpretação automática de uso do solo pode ser executada através do programa "distância B", implementado no Image-100,que utiliza informações fornecidas por diferentes combinações dos quatro canais MSS do LANDSAT;

b) A melhor separabilidade estatística das classes foi obtida utilizando-se os quatro canais MSS simultaneamente;

c) Ao utilizar-se subconjuntos de três canais, a melhor separabilidade foi proporcionada pela combinação de dois canais do espectro visível (canais 4 e 5), com um canal do infra-vermelho próximo (canal 7);

d) Na análise de subconjuntos de dois canais, o canal 7, utilizado juntamente com o canal 4, proporcionou a melhor separabilidade entre as classes;

e) Na análise de cada canal isoladamente, o canal 4 apresentou a melhor separabilidade entre as classes.

PAGE 68 INTENTIONALLY BLANK

5.2 - CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA

a) Todos os tipos de classificações automáticas utilizadas foram condicionadas pela grande superposição espectral das classes analisadas;

b) O aumento da variância das respostas espectrais das classes, quando se utiliza a opção uni-célula tende a reduzir os erros de omissão e aumentar os erros de inclusão;

c) Aumentando-se o número de amostras de treinamento pode-se melhorar o desempenho da classificação multi-célula. Através dessa opção é possível obter baixos erros de inclusão;

d) A influência da superposição espectral das classes é reduzida quando se utiliza o classificador "distância B".

e) Em geral, o aumento da variância das respostas espectrais das classes, quando se utiliza o classificador "distância B", promove uma diminuição na precisão das classificações.

5.3 - CLASSIFICAÇÕES AUTOMÁTICAS - ANÁLISE COMPARATIVA

a) A opção de classificação "distância B" mostrou-se o melhor sistema para análise espectral do solo urbano, quando considerados os erros de omissão e inclusão simultaneamente; ou apenas os erros de inclusão;

b) A classificação uni-célula é o sistema mais eficiente quando se considera apenas os erros de omissão.

5.4 - CONCLUSÕES GERAIS

a) A classificação de uso do solo da cidade de São José dos Campos, utilizando dados do LANDSAT, não pode ser executada com alta precisão, através de interpretação automática, ao nível II de Hardy e Anderson (1973);

b) A utilização de fotografias aéreas convencionais de grande escala facilita o levantamento das classes funcionais de uso do solo urbano, proporcionando as informações de "verdade terrestre" necessárias para o desenvolvimento da interpretação automática;

c) A melhor separabilidade estatística das classes de uso do solo é obtida utilizando-se os 4 canais MSS simultaneamente, ou apenas os canais 4, 5 e 7;

d) O classificador de amostra "distância B" mostrou-se o melhor sistema para a classificação automática da área analisada;

e) Os resultados obtidos foram possíveis devido à área relativamente grande ocupada por São José dos Campos, conhecimento da cidade, à presença de unidades identificáveis no vídeo do Sistema IMAGE-100.

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Nelson de Jesus Parada, Diretor do Instituto de Pesquisas Espaciais, por ter permitido a realização deste trabalho.

Ao Dr. Cláudio Roland Sonnenburg, Coordenador do Departamento de Sensoriamento Remoto e René Antonio Novaes, Chefe da Divisão de Desenvolvimento e Pesquisas em Aplicações, por terem aprovado e incentivado a realização do trabalho.

Ao Dr. Ravindra Kumar, pela orientação e colaboração.

Ao Dr. Jorge Xavier da Silva, pelas sugestões apresentadas.

À Celina Foresti, João Carlos Moreira, Maria Suelena S.Barros, Natálio Felipe Koffler, Evlyn Márcia L. M. Novo, Armando Pacheco dos Santos, pela colaboração e incentivo.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

PAGE 72 INTENTIONALLY BLANK

BIBLIOGRAFIA

ALDRICH, R.C. Detecting Disturbances in a Forest Environment. *Photogrammetric Engineering*, 41 (1): 39-48, Jan., 1975.

ALEXANDER, R.H.; BOWDEN, L.W.; MARBLE, D.F.; WOORE, E.G. Remote Sensing of Urban Environment. In: *Symposium on Remote Sensing of Environment*, 5., Ann Arbor, Institute of Science and Technology, Sep., 1968. Proceedings, p.889-911.

BARTHOLOMEW, H. The Land-Use Survey. In: MAYER, H.M. and KOHN, C. F. *Readings in Urban Geography* Chicago, The University of Chicago, 1959. p.265-269.

DUEKER, K.J. and HORTON, F.E. Urban Change Detection Systems. In: *International Symposium on Remote Sensing of Environment*, 7., Ann Arbor, Institute of Science and Technology, May, 1971. Proceedings, V.2, p.1523-1536.

ECONOMY, R.; GOODENOUGH, D.; RYERSON, R.; TOWLES, R. Classification Accuracy of the Image-100. In: *Canadian Symposium on Remote Sensing*, 2., Guelph, Ontario, Apr/May, 1974. p. 278-287.

ELLEFSEN, R.; SWAIN,P.; WRAY, J. Land Use Mapping by Machine Processing of ERTS-1 Multispectral Data: A San Francisco Bay Area Example. In: *CONFERENCE on Machine Processing of Remotely Sensed Data*, LARS, Purdue University, West Lafayette, Indiana, Oct., 1973. p.2A7-2A22.

ELLEFSEN, R.; GAYDOS, L.; SWAIN, P.; WRAY, J. New Techniques in Mapping Urban Land Use and Monitoring Change for Selected U.S. Metropolitan Areas: An Experiment Employing Computer - Assisted Analysis of ERTS-1 MSS Data. In: *SYMPOSIUM on Remote Sensing and Photo Interpretation*, The Canadian Institute of Surveying, Banff, Alberta, Canada, 1974. Proceeding. p.51-64.

ESTÂNCIA DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS - PREFEITURA. Departamento de Planejamento. Divisão de Pesquisa Sócio-Econômica. *Pesquisa de Instrumentação do Planejamento Urbano, março 1978.* São José dos Campos, 1977.

GARNER, B.J. Modelo de Geografia Urbana e Localização de Povoações. In: CHORLEY, R.J. and HAGGETT, P., ed. *Modelos Sócio-Econômicos em Geografia.* /Socio-Economic Models in Geography/ trad. Arnaldo Viriato de Medeiros, rev. Antonio Olivio Ceron. São Paulo, USP, 1975. cap. 5, 124-177.

GENERAL ELECTRIC COMPANY *Image-100: Interative Multispectral Image Analysis System.* User Mannual. Daytona, 1975.

HARDY, E.E.; ANDERSON, J.R. A Land Use Classification System for Use with Remote Sensor Data. In: *CONFERENCE on Machine Processing of Remotely Sensed Data,* LARS, Purdue University, West Lafayette, Indiana, Oct., 1973. 2A1-2A6.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) *Atlas Geográfico Escolar.* Rio de Janeiro, MEC, 1967. p. 40.

KUMAR, R. Feature Selection and Sample Classification Algorithms of INPE. In: *Annual Remote Sensing of Earth Resources Conference,* 6. The University of Tennessee Space Institute, Tullahama, Tennesse, 1977. p. 487-498.

LINDGREN, D.T. Sistemas de Informação Urbana e Sensores Remotos. *Boletim Geográfico,* 33 (240): 57-70, Mai.Jun., 1974.

MANSO, A.P.; BARROS, M.S.S. *Qualidade Urbana: Obtenção de Dados de uma Realidade e Modelos para sua Análise.* São José dos Campos, INPE, fev. 1975. V. 1 (INPE LAFE-608).

———. *Zonas homogêneas: setorização, codificação.* São José dos Campos, INPE. Departamento de Sistemas Espaciais, 1977. Publicação Interna do projeto URES/INEQ, fase 1. no prelo.

NASA *LANDSAT Data Users Handbook.* Maryland, Goddard Space Flight Center, 1976.

ODENYO, V.A.O.; PETTRY, D.E. Land Use Mapping by Machine Processing of LANDSAT-1 Data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing,* 43 (4): 515-524, Apr., 1977.

OSTERHOUDT, F.H. A Data Base for Comparisons Between Planned and Unplanned Urban Growth. In: *International Symposium on Remote Sensing of Environment,* 8., Ann Arbor, Michigan, Oct., 1972 Proceedings, V. 2, p. 297-298.

PALESTINO, C.V.B. *Formatação das Fitas CCT e Exemplo de Montagem de Arquivos em Disco para sua Utilização.* São José dos Campos, INPE, Mar., 1976. (INPE-845-NTE/054).

PINHEIRO, E.S.; TAVARES, L.P.; BARBOSA, M.N. *Manual do Usuário de Dados do Satélite ERTS (LANDSAT).* São José dos Campos, INPE, Jun., 1976. (INPE-b68-NTE/009).

RAJE, S.; ECONOMY, R. First Look Analysis of Five Cicles of ERTS-1 Imagery over Country of Los Angeles: Assessment of Data Quality for Urban Development and Regional Planning. In: *SYMPOSIUM on Significant Results Obtained from Earth Technology Satellite-1,* New Carrollton, Maryland, 1973. V. 1, Sec. B, p. 1023-1030.

RAWLING, F.G. Some Considerations for the Use of Remote Sensing in the Study of Residential Dynamics. In: *International Symposium on Remote Sensing of Environment,* 7., Ann Arbor, Institute of Science and Technology, May, 1971. Proceedings, V. 2, p. 1537-1552.

ROCHA, R.V.M. da Subsídios à Regionalização e Classificação Funcional das Cidades: Estudo de Caso - Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geografia,* 36 (3): 30-73, Jul./set., 1974.

SÃO PAULO - SECRETARIA DE ECONOMIA E PLANEJAMENTO. Departamento de Estatística. *Conheça seu Município - Região do Vale do Paraíba.* São Paulo, 1974. V. 3, Tomo 2.

ORIGINAL PAGE IS OF POOR QUALITY

SIMPSON, R.B.; LINDGREN, D.T. Land Use of Northern Megalopolis. In: *SYMPOSIUM on Significant Results Obtained from Earth Technology Satellite-1,* New Carrollton, Maryland, Mar., 1973. V. 1, Sec. B, p. 973-980.

SMITH, J.; HORNUMG, R.; BERRY, J. Application of Spatial Features to Satellite Land Use Analysis. In: *SYMPOSIUM on Remote Sensing and Photo Interpretation,* Banff, Alberta, Canada, The Canadian Institute of Surveying, 1974. Proceedings, p. 23-27.

SWAIN, P.H.; KING, R.C. Two Effective Feature Selection Criteria for Multispectral Remote Sensing. *LARS Information note 042673.* Indiana, Purdue University. Laboratory for Applications of Remote Sensing, 1973.

TODD, W.J.; BAUMGARDNER, M.F. Land Use Classification of Marion Country, Indiana by Spectral Analysis of Digitized Satellite Data. In: *Conference on Machine Processing of Remotely Sensed Data,* LARS, Indiana, Purdue University, Oct., 1973. p. 2A23-2A30.

TODD, W.J.; MAUSEL, P.; BAUMGARDNER, M.F. An Analysis of Milwake County Land Use by Machine Processing of ERTS Data. In: *SYMPOSIUM on Significant Results Obtained from ERTS-1.* Maryland, NASA, Goddard Space Flight Center, Mar., 1973.