

UTILIZAÇÃO DE DADOS LANDSAT NO MONITORAMENTO DA EXPANSÃO URBANA  
DA GRANDE SÃO PAULO, EM ÁREAS DE PROTEÇÃO AOS MANANCIAIS

M. Niero, C. Foresti, M. A. Lombardo

Instituto de Pesquisas Espaciais

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

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

RESUMO

O monitoramento do uso do solo na área metropolitana de São Paulo tem sido feito através de técnicas convencionais que apresentam um alto custo, devido à necessidade de um controle permanente das mudanças de ocupação do solo que ocorrem nestas áreas. A região localizada entre as represas Billings e Guarapiranga foi escolhida como área teste por apresentar grande dinamismo quanto à expansão urbana e situar-se numa região onde o crescimento urbano é controlado pelos órgãos governamentais. Os principais objetivos desse trabalho são: o estudo de vários produtos do Sistema LANDSAT (MSS, RBV e CCT) no monitoramento da expansão urbana; a análise da resposta espectral na franja rural-urbana para diferentes períodos sazonais; o mapeamento e a avaliação da expansão urbana no período de 1977 a 1979. Técnicas de interpretação visual e automática foram aplicadas aos dados. Os resultados mostraram que a área urbana analisada cresceu a uma taxa de 28,7% no período de 1977 a 1979. Isso demonstra a necessidade de um controle sistemático dessa área por agências governamentais.

ABSTRACT

The land use monitoring in São Paulo metropolitan area has been done by conventional techniques which present high cost, due to the need of continuous control of land use change. In this aspects, orbital remote sensing can help the systematic control of land use at low costs. The region located between Billings and Guarapiranga reservoirs was selected as test site because it presents high taxes of land use change and it is located in a region of urban growth under government control. The main objectives of this work are: the study of several LANDSAT data (MSS, RBV and CCT) to monitor urban growth; the analysis of spectral response in the rural-urban fringe for different sazonal periods; the mapping and evaluating urban growth from 1977 to 1979. Visual and automatic techniques were applied to the data. The results showed that the urban area analysed grew at a rate of 28,7% during the period from 1977 to 1979. This demonstrates the need of a systematic control of this area by governmental agencies.

1 - INTRODUÇÃO

Em 18 de dezembro de 1975 foi aprovada a Lei 898, que dispõe sobre o uso do solo para proteção dos mananciais, cursos e reservatórios d'água e demais recursos hídricos da Região Metropolitana da Grande São Paulo. Em 1976 foi aprovada a Lei 1172, que regulamenta alguns artigos da Lei 898/75, delimita a área de proteção e estabelece normas para o uso do solo nestas áreas.

Esta lei considera como áreas de proteção aquelas correspondentes às bacias hidrográficas dos reservatórios Billings, Cabucu, Antigo Cantareira, Juqueri, Engordador, Guarapi

ranga, Tanque Grande e Graças, e trechos dos rios Capivari, Morros, Cotia, Guaió, Itapanhaú, Itatinga, Jundiá, Icuapeba, Jaguari, Biritiba, Juquiá e Tietê.

A Lei 1172/76 consiste em disciplinar o uso do solo para proteção dos mananciais e preservar os recursos naturais da região Metropolitana de São Paulo.

A fiscalização do uso do solo nas áreas de proteção aos mananciais tem sido feita através de técnicas convencionais. Estas técnicas, entretanto, apresentam um alto custo devido à

necessidade de um controle permanente das mudanças que nelas ocorrem. Neste sentido o uso de sensoriamento remoto a nível orbital pode auxiliar o controle sistemático de ocupação do solo a um baixo custo, uma vez que as imagens LANDSAT recobrem grandes áreas de forma repetitiva.

O objetivo deste trabalho é analisar a expansão urbana da Grande São Paulo, em direção aos mananciais através de técnicas de sensoriamento remoto.

Pretende-se com esta metodologia identificar áreas problemáticas, com relação à ocupação urbana, que deverão ser submetidas a estudos mais detalhados pelos órgãos governamentais.

O trabalho tem como objetivos específicos:

- estudar os vários produtos do sistema LANDSAT (MSS, RBV e CCTs) no monitoramento da expansão urbana;
- analisar a resposta espectral obtida na franja rural-urbana;
- mapear e avaliar a área de expansão urbana em direção ao limite sul da área de proteção aos mananciais no período de 1977 a 1979;
- identificar áreas que exijam um controle mais intenso por parte dos órgãos de planejamento através da fiscalização da ocupação do solo urbano.

Foi escolhida como área de estudo parte da região sul do município de São Paulo, situada entre as represas Billings e Guarapiranga. Os seguintes aspectos justificam sua seleção: grande dinamismo quanto à expansão urbana; área sob controle governamental através da lei de proteção aos mananciais; presença de corpos d'água (represas Billings e Guarapiranga), que serviram como pontos de referência, o que facilitou a comparação dos dados obtidos em diversas épocas e a partir de diversos produtos LANDSAT.

## 2 - MATERIAIS E MÉTODO

### 2.1 - DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo corresponde ao setor sul do município de São Paulo. Está compreendida entre as represas Billings e Guarapiranga e se estende desde a confluência dos rios Grande e Guarapiranga até a latitude de 23° 49' (Figura 1).

Segundo EMPLASA (1980), a maior expansão do município de São Paulo no período de 1974 a 1977 verificou-se na região sul. Esta região apresentou um crescimento de 21,65Km<sup>2</sup>,

que corresponde a 45% do total da expansão do município.

A região sul do município de São Paulo inclui áreas de proteção aos mananciais (Figura 2), e como tal deve ter sua expansão urbana controlada. Entretanto, corresponde à região que vem se expandindo com mais intensidade, especialmente ao longo do eixo determinado pela estrada de Parelheiros, localizada entre as represas Billings e Guarapiranga. O crescimento urbano na região sul de São Paulo pode ser explicado pelo fato de esta região caracterizar-se como tipicamente industrial, constituindo assim área de atração de população. Além disso, sofre influência da região adjacente (SE), também altamente industrializada (Emplasa, 1980).

Outro aspecto a ser considerado é o fato de esta região apresentar predominância de classes de declividade que variam de 0 a 5% e de 5% a 20%, não havendo restrições à urbanização.

Analisando-se a carta de classes de declividades da Região Metropolitana da Grande São Paulo, pode-se verificar que estas classes estão associadas às áreas de grande concentração urbana.

### 2.2 - MATERIAIS

No presente trabalho utilizaram-se dados do sistema LANDSAT referentes à órbita 164, ponto 28, relacionados na Tabela 1.

Como material de apoio para a coleta de informações dos aspectos físicos da área de estudo, foi utilizada a "Carta de Classes de Declividades da Região Metropolitana da Grande São Paulo" na escala de 1:100.000, referente ao ano de 1979.

Durante as etapas de interpretação visual e automática dos dados foi utilizado o "Mapa de Uso da Terra da Grande São Paulo" na escala de 1:50.000, referente ao ano de 1977 (no prelo), que serviu de base no processo de separação das áreas urbanas e arredores.

Foi também utilizado o fotoíndice da Grande São Paulo na escala de 1:32.000, relativo ao ano de 1980.

### 2.3 - MÉTODO

No desenvolvimento do trabalho foram executadas as seguintes etapas:

#### 2.3.1 - INTERPRETAÇÃO VISUAL DE IMAGEM LANDSAT

Foram analisadas através da interpretação visual imagens MSS nos canais 5 e 7 de 1977, 1978 e 1979 e imagem RBV de 1979.

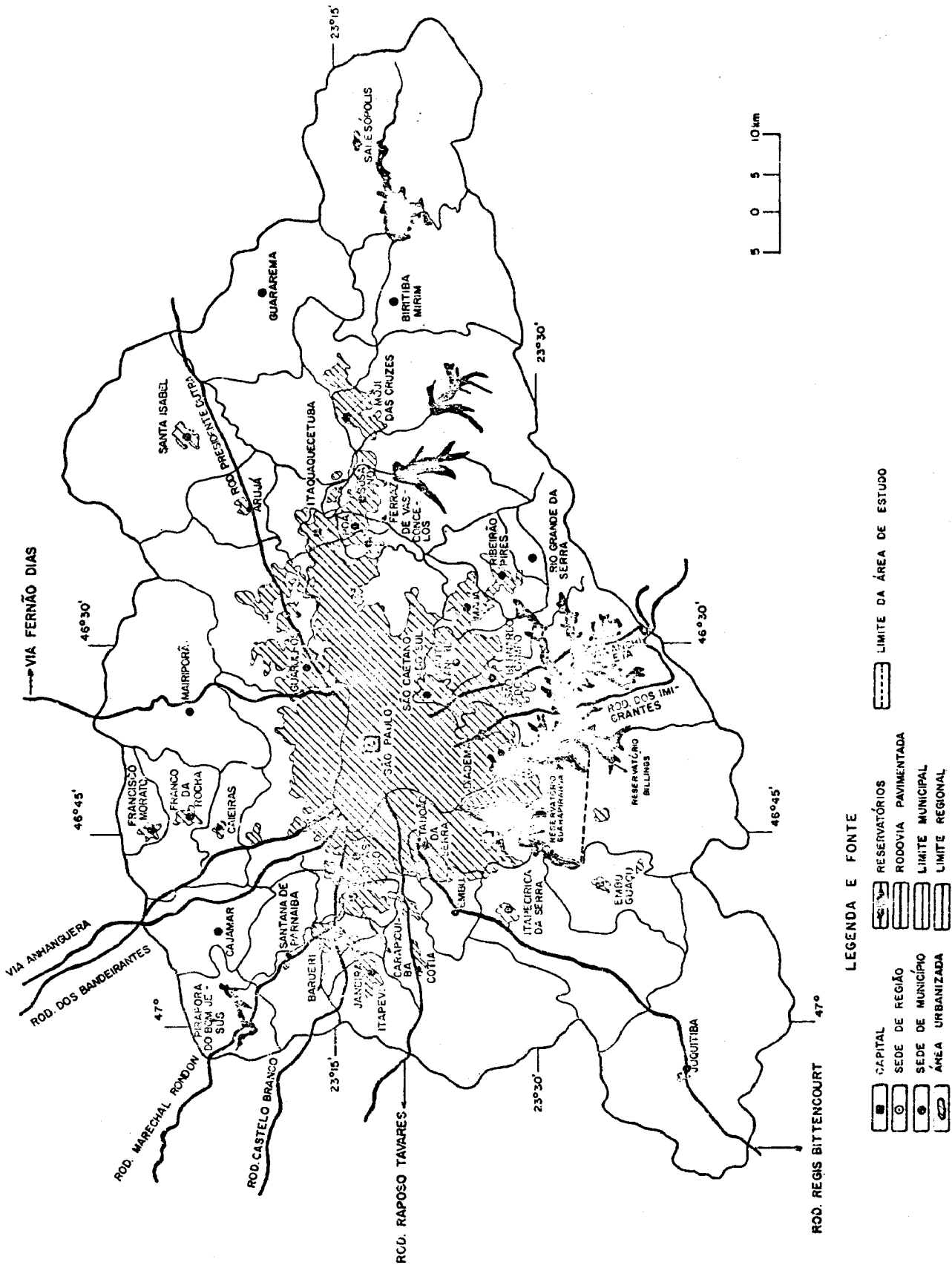


Fig. 1 - Área de estudo.

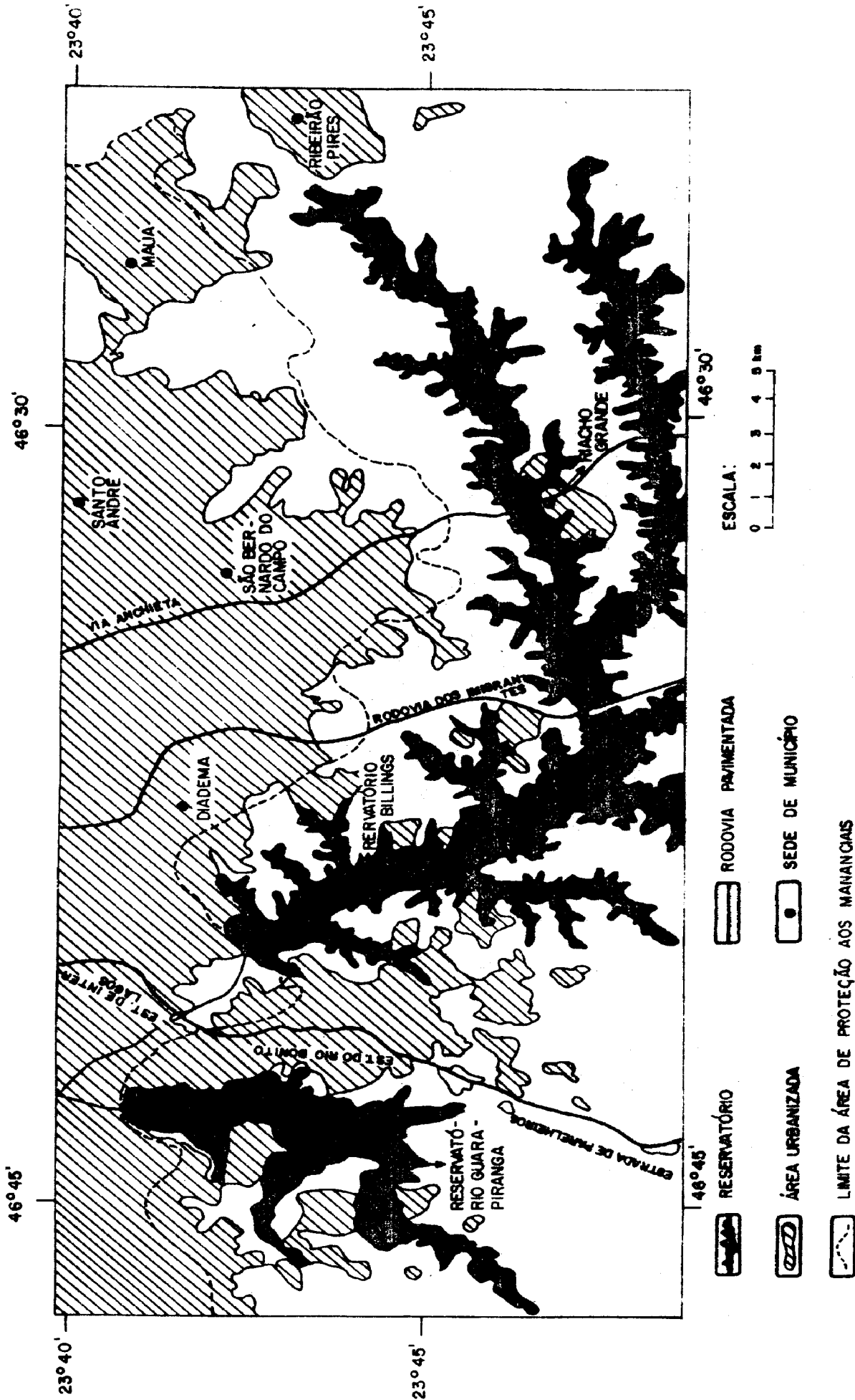


Fig. 2 - Limite da área de proteção aos mananciais.

TABELA 1

RELAÇÃO DE DADOS LANDSAT (MSS, RBV e CCTs)  
UTILIZADOS NO TRABALHO

PRODUTO	DATA	ESCALA
Imagem MSS	24.02.77	1:250.000
	05.04.78	1:250.000
	04.07.79	1:250.000
Imagem RBV	04.08.79	1:125.000
Fita CCT	10.09.77	-
	05.04.78	-
	08.07.79	-

A seleção das imagens baseou-se na existência de dados sobre a área de estudo, utilizados até o ano de 1977, que serviram de apoio à interpretação das imagens. A utilização de imagens de datas mais recentes (1978 e 1979) teve como objetivo a atualização da expansão da área urbana na área de estudo até 1979.

Com o objetivo de comparar informações obtidas através dos produtos MSS e RBV procedeu-se à interpretação visual de imagens obtidas no mesmo período.

Embora o período chuvoso seja o mais adequado para separar áreas urbanas de seus arredores (Foresti, 1978), apenas a imagem de 1977 respondeu àquela estação devido às condições atmosféricas desfavoráveis (cobertura de nuvens), dos demais anos estudados.

Na interpretação visual dos dados foram separadas as áreas urbanizadas de seus arredores através da utilização de imagens no canal 5, tendo como critério as variáveis tons de cinza, textura e relações de contexto. Nessa fase do trabalho o mapa pre-existente sobre a área de estudo na escala de 1:50.000 e o fotoíndice da Grande São Paulo na escala de 1:32.000 auxiliaram na verificação dos diferentes usos que ocorrem na franja rural-urbana.

Foram ainda analisadas as imagens MSS do canal 7, com o objetivo de verificar a sua utilidade na identificação de áreas agrícolas localizadas na franja rural-urbana.

A seguir foi feita uma superposição de "overlays", que contém os resultados da análise visual nas diferentes datas analisadas. Es

ta análise temporal permitiu uma melhor definição das áreas urbanizadas.

Após esta fase foi realizado um trabalho de campo, com o objetivo de tomar conhecimento da área de estudo e verificar os tipos de ocupação do solo.

O trabalho de campo foi útil para definir o limite urbano nas áreas que apresentavam problemas de separabilidade com outros tipos de uso.

O cálculo da área urbanizada nas diferentes datas analisadas foi feito a partir da utilização da técnica de contagem em malha milimetrada. Foram computadas como área urbana as seguintes classes: área urbana edificada (contínua), área urbana em expansão e loteamento.

### 2.3.2 - ANÁLISE AUTOMÁTICA DOS DADOS LANDSAT

A análise automática de fitas compatíveis com computador (Tabela 1) foi feita com o auxílio do Analisador Interativo de Imagens Multi-espectrais, utilizando-se a opção de classificação "máxima verossimilhança" (Velasco et alii 1978).

O refinamento das classificações realizadas foi feito através do programa MAXVφ3 e MAXVφ4, que permitem a análise e subtração das amostras de treinamento, respectivamente. A partir do programa "Aquisição de Parâmetros" (MAXVφ1), novas amostras podem ser adicionadas a cada classe.

Foram coletadas áreas de treinamento para as seguintes classes: área urbana edificada, loteamento, vegetação rala, vegetação densa, e corpos d'água com variações de material em sus

pensão. Embora o objetivo do trabalho seja classificar apenas a área urbana, outras classes também foram consideradas. Isto se explica pelo fato de que a precisão da opção de classificação utilizada (MAXVER) melhorar com o aumento do número de classes analisadas. Como área urbana foram consideradas as classes área urbana edificada e loteamento.

O cálculo da área urbana para as diferentes épocas analisadas foi feito a partir da utilização do programa "Cálculo de área" disponível no I-100.

A seguir foi feita a comparação dos dados de áreas das diferentes classes para os diversos períodos analisados.

### 2.3.3 - EXPANSÃO URBANA: ANÁLISE COMPARATIVA

A expansão urbana na área de estudo foi analisada através dos dados de área urbana obtidos nos diferentes períodos estudados (1977, 1978 e 1979). Nesta análise foram utilizados apenas os dados resultantes das interpretações em imagens MSS, uma vez que só se dispunha de imagens RBV para um dos períodos analisados.

Os dados resultantes da análise automática não foram utilizados para analisar o crescimento urbano, pois na CCT correspondente ao período de 1977 houve dificuldade na seleção de amostras representativas da área urbana, o que prejudicou o resultado da classificação obtida.

Finalmente foram identificadas as áreas que exigem maior controle pelos órgãos governamentais a partir da superposição dos overlays obtidos na interpretação visual. Através da análise dos dados superpostos foi possível identificar espacialmente as áreas de maior crescimento urbano.

## 3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 - INTERPRETAÇÃO VISUAL DE IMAGENS LANDSAT/MSS.

Utilizando-se o canal 5 foi possível a delimitação das seguintes classes: área urbana edificada, área urbana em expansão e loteamento. Foram consideradas como área urbana em expansão as regiões parcial ou totalmente edificadas, não-aglutinadas ao núcleo urbano contínuo.

A comparação da interpretação visual com dados preexistentes mostrou que muitas áreas utilizadas para horticultura foram classificadas erroneamente como urbanas. Segundo Wehrwein (1959), a franja rural-urbana pode ser definida como área de transição entre uso do solo urbano e áreas agrícolas. Os aspectos econômico, sociológico e de habitação, próprios das áreas urbanas, muitas vezes se estendem além

do limite urbano; por outro lado, hábitos de vida rural são encontrados dentro do limite político da cidade. Devido a estes fatores analisados, a franja rural-urbana constitui uma área de difícil delimitação.

Para solucionar o problema de separabilidade entre área urbana e horticultura foi analisado o comportamento espectral dessas áreas no canal 7 do MSS.

O comportamento espectral das três classes urbanas e da horticultura nos canais 5 e 7 pode ser visto na Tabela 2. Esta Tabela apresenta as características espectrais e espaciais das diferentes classes. Estas características foram obtidas para cada imagem, a seguir submetidas a um estudo comparativo que permitiu a definição do comportamento espectral generalizado das diferentes classes analisadas, nas diferentes épocas.

A partir da análise da Tabela 2 pode-se concluir que:

- as áreas urbanas contínuas apresentam grande variação de tons e de textura nos canais 5 e 7. Isto se explica pela grande variação interna desta área, que apresenta bairros arborizados e bairros com alta densidade demográfica, como foi observado no trabalho de campo;
- as áreas urbanas em expansão e as utilizadas para horticultura apresentam-se com tonalidades semelhantes nos dois canais analisados. Ambas as áreas apresentam tonalidades claras no canal 5 e grande variação tonal no canal 7;
- determinadas áreas utilizadas para horticultura apresentam tonalidade cinza claro nos canais 5 e 7, semelhantes as áreas de loteamentos urbanos;
- houve dificuldade na separação entre áreas urbanas e áreas utilizadas para horticultura pelo fato de esta última classe não apresentar formato regular no canal 5, característica esta que poderia diferenciá-la das áreas construídas. Isto pode ser explicado pelo fato de estas áreas de horticultura apresentarem divisão em grande número de parcelas. Segundo Filgueira (1972), a cultura de hortaliças tem uma exploração característica de pequenas áreas, bem menores do que as utilizadas para outras culturas;
- O fator localização não teve grande importância na separação entre áreas urbanas e áreas utilizadas para horticultura, pois os dois tipos de ocupação do solo são contíguos.

PADRÕES DE IDENTIFICAÇÃO DE CLASSES DE USO DA TERRA EM IMAGENS MSS NA ESCALA DE 1:250.000

CLASSES DE USO DA TERRA	TOM DE CINZA		TEXTURA (CANAL 5)	OUTROS ASPECTOS
	CANAL 5	CANAL 7		
ÁREA URBANA EDIFICADA	As áreas edificadas caracterizam-se pela presença de tons de cinza claro, médio e escuro.	Apresentam tom de cinza claro, médio, e escuro. Estão representadas por grande variedade de tons de cinza.	A textura apresentada por estas áreas é rugosa nas áreas de tonalidades mais escuras e lisa em área de tons de cinza médio. Este aspecto pode estar ligado à diferença de densidade ocupacional da área e à presença de bairros arborizados.	Caracterizam-se por apresentar formato irregular. Localizam-se junto às reservas Billings e Guara Piranga e próximo à estrada principal em direção a Parelheiros.
ÁREA URBANA EM EXPANSÃO	Estas áreas apresentam tons de cinza claro e médio no canal 5. Representam áreas em expansão e em processo de urbanização.	A tonalidade destas áreas no canal 7 varia de cinza médio a cinza escuro, com pequena ocorrência de tons claros.	A área urbana em expansão apresenta predominância de textura com rugosidade média.	Apresentam formato irregular, por serem áreas de crescimento espontâneo. Localizam-se junto às estradas principais e próximas à mancha urbana contínua.
LOTEAMENTO	Áreas de loteamentos apresentam tons de cinza claro, pois correspondem a áreas de terraplenagem.	Estas áreas apresentam grande variação de tonalidade. Nestes canais as tonalidades variam do cinza claro ao escuro.	Estas áreas apresentam textura lisa.	Áreas de formato irregular localizadas junto à estrada principal e próxima à área edificada em expansão.
HORTICULTURA	As áreas ocupadas por horticultura caracterizam-se pela presença de tons de cinza claro neste canal.	Nestas áreas ocorre a presença de tons de cinza claro, médio e escuro numa mesma área.	Apresentam textura lisa neste canal.	O formato apresentado por estas áreas é irregular. Caracteriza-se por apresentar pequeno tamanho e localização dispersa.

Desta forma, não foi possível realizar a diferenciação entre áreas urbanas e áreas utilizadas para horticultura somente a partir de critérios convencionais de interpretação visual de imagens LANDSAT. Realizou-se então uma análise temporal através da comparação dos mapas obtidos nas diferentes datas analisadas. A partir da técnica de superposição dos "overlays" pode-se observar que:

- as áreas urbanas mapeadas corretamente apresentaram um aumento em área, no período de 1977 a 1978, sem grandes modificações de tonalidade, enquanto as áreas utilizadas para horticultura, mapeadas como urbanas, apresentaram variações na tonalidade e localização. Muitas áreas que apresentaram tonalidades claras no período de fevereiro de 1977 passaram a apresentar tonalidade cinza médio ou escuro na imagem de 1978 e vice-versa. Assim sendo, muitas áreas de tonalidades claras, que foram consideradas como urbanas em 1977, não apareceram com a mesma tonalidade em 1978;
- de 1978 para 1979, também houve variação das tonalidades das áreas ocupadas com horticultura. Entretanto, as áreas classificadas corretamente como urbanas apresentaram tonalidades claras nos diferentes períodos analisados.

A variação de tonalidade das áreas ocupadas com horticultura é devida ao caráter intensivo de utilização do solo. Segundo Filgueira (1972), o ciclo das hortaliças é geralmente bem mais curto que o das demais culturas, assim o terreno pode ser permanentemente ocupado. Por exemplo, o mesmo hectare pode ser utilizado em 3 culturas de tomate, 6 de alface ou 12 de rabanete no período de um ano.

Os resultados da interpretação visual das imagens MSS, para 1977, 1978 e 1979, que apresentam a área urbana obtida para estes períodos, podem ser vistos nas figuras 3, 4 e 5.

### 3.2 - INTERPRETAÇÃO VISUAL DE IMAGENS RBV

As imagens RBV (Return Bean Vidicon) abrangem a faixa espectral de 0,505 a 0,750  $\mu\text{m}$  e apresentam resolução espacial de aproximadamente 40 m. A utilização dessa imagem não favoreceu a separação entre áreas urbanas e arredores, quando comparadas com imagens MSS (canais 5 e 7) do mesmo período analisado.

Através da interpretação visual dessas imagens foram identificadas as seguintes classes: área urbana edificada, área urbana em

expansão e loteamento. Através da análise da Tabela 3, pode-se verificar que o comportamento espectral das áreas urbanas coincidiu com aquele obtido em imagens MSS do canal 5, apresentado na Tabela 2. Também nesse caso, como para o canal 5 do MSS, algumas áreas de horticultura foram classificadas erroneamente como urbanas.

A escala e o período da imagem RBV analisada, provavelmente dificultou a delimitação precisa da classe área urbana. No caso da área de estudo, houve dificuldade na delimitação de áreas urbanizadas na franja rural-urbana. Somente a partir da utilização de dados pré-existentes e trabalho de campo foi possível a separação entre áreas urbanas e áreas de horticultura. A área urbana obtida pela imagem RBV pode ser vista na Figura 6.

### 3.3 - INTERPRETAÇÃO AUTOMÁTICA DE DADOS

A classificação automática de dados foi realizada utilizando-se o sistema MAXVER, descrito em Velasco et alii (1978).

As matrizes de classificação (Tabelas 4, 5 e 6) mostram os resultados das classificações MAXVER, referentes a 1977, 1978 e 1979. Estas matrizes, obtidas a partir das amostras de treinamento, apresentam uma estimativa dos erros (omissão e inclusão) obtidos na classificação.

Os dados contidos nas colunas representam os percentuais de pontos não-classificados e aqueles classificados em outras classes.

A diagonal da matriz representa, em percentual, os pontos corretamente classificados nas diferentes classes analisadas.

Pela análise das Tabelas 4, 5 e 6 pode-se verificar que existe superposição entre as classes área urbana edificada e loteamento para os três anos analisados. Estas classes apresentam respostas espectrais mais altas nos canais 4 e 5 quando comparadas com as demais classes.

Nos canais 6 e 7 a classe área urbana edificada apresenta reflectância média, quando comparada com as áreas de loteamento que apresentam alta reflectância nesses canais. A superposição destas classes, portanto, se dá na região do visível (canais 4 e 5). Através da análise do fotoíndice referente a 1980, pode-se verificar que determinadas áreas de loteamento já se encontram em processo de ocupação urbana e apresentam usos intercalados de áreas edificadas e terrenos baldios.



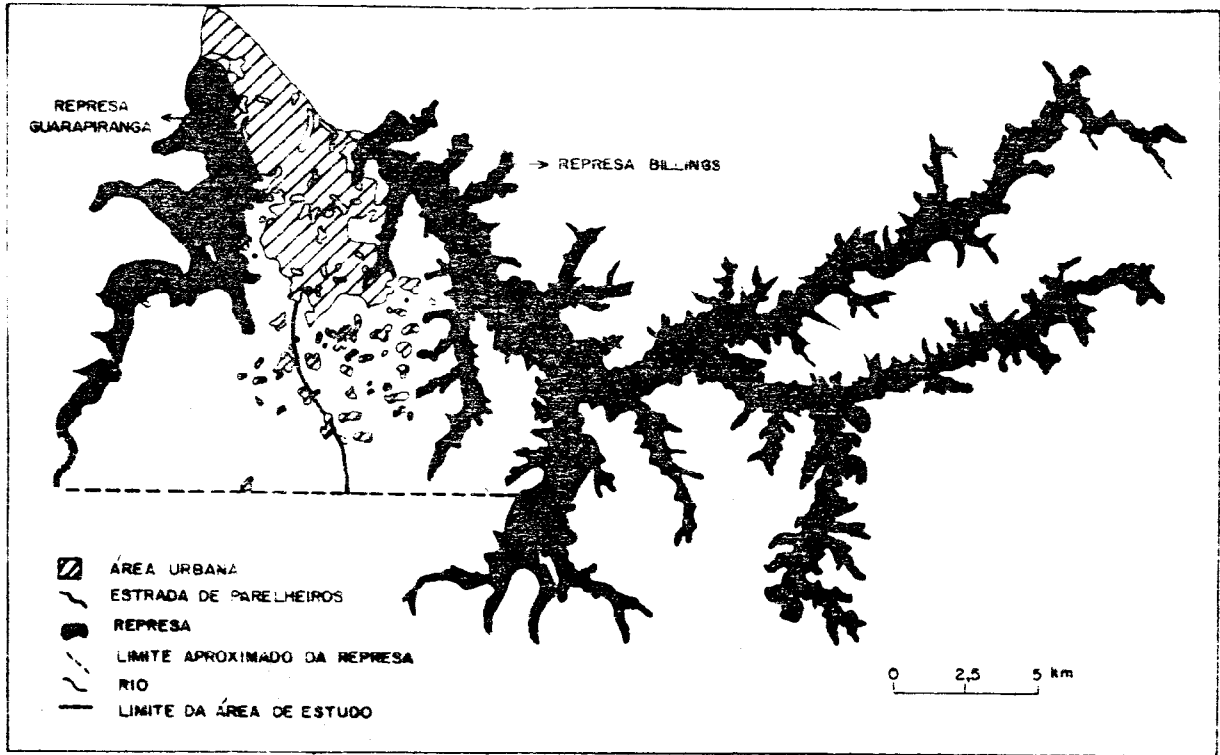


Fig. 3 - Área urbana obtida em 1977 através da interpretação visual de imagens MSS.

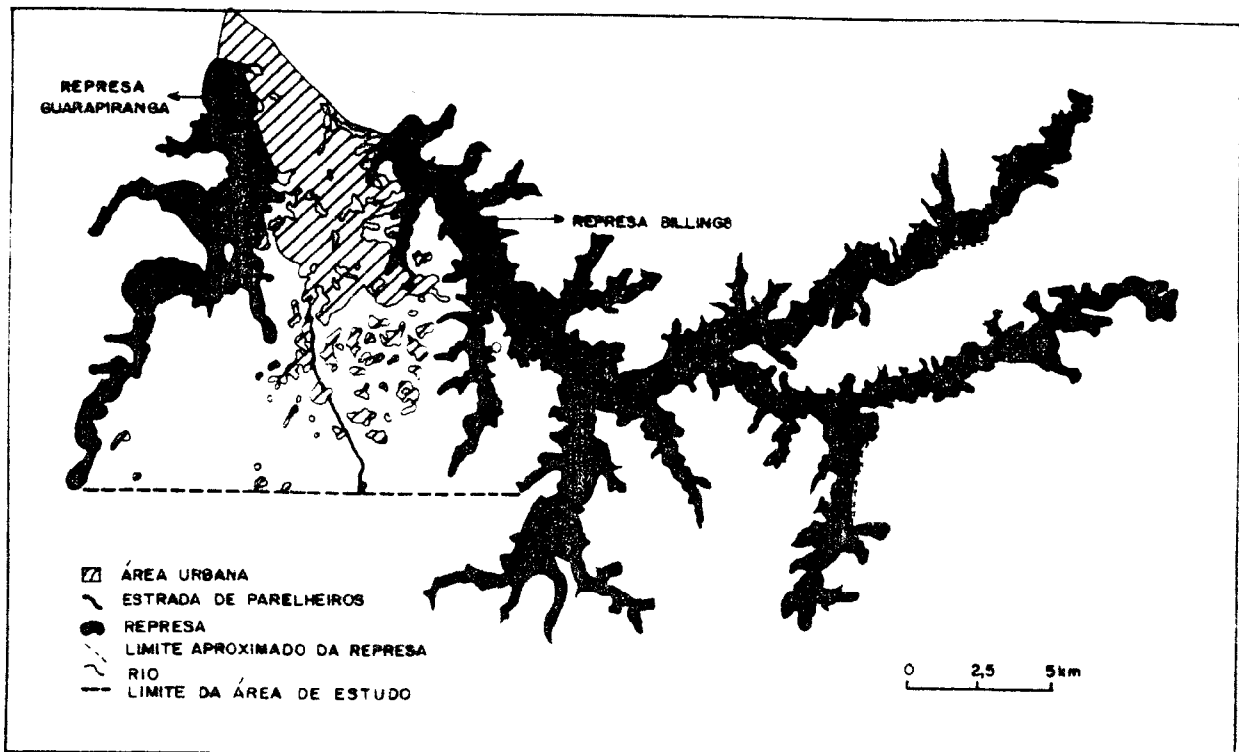


Fig. 4 - Área urbana obtida em 1978 através da interpretação visual de imagens MSS.

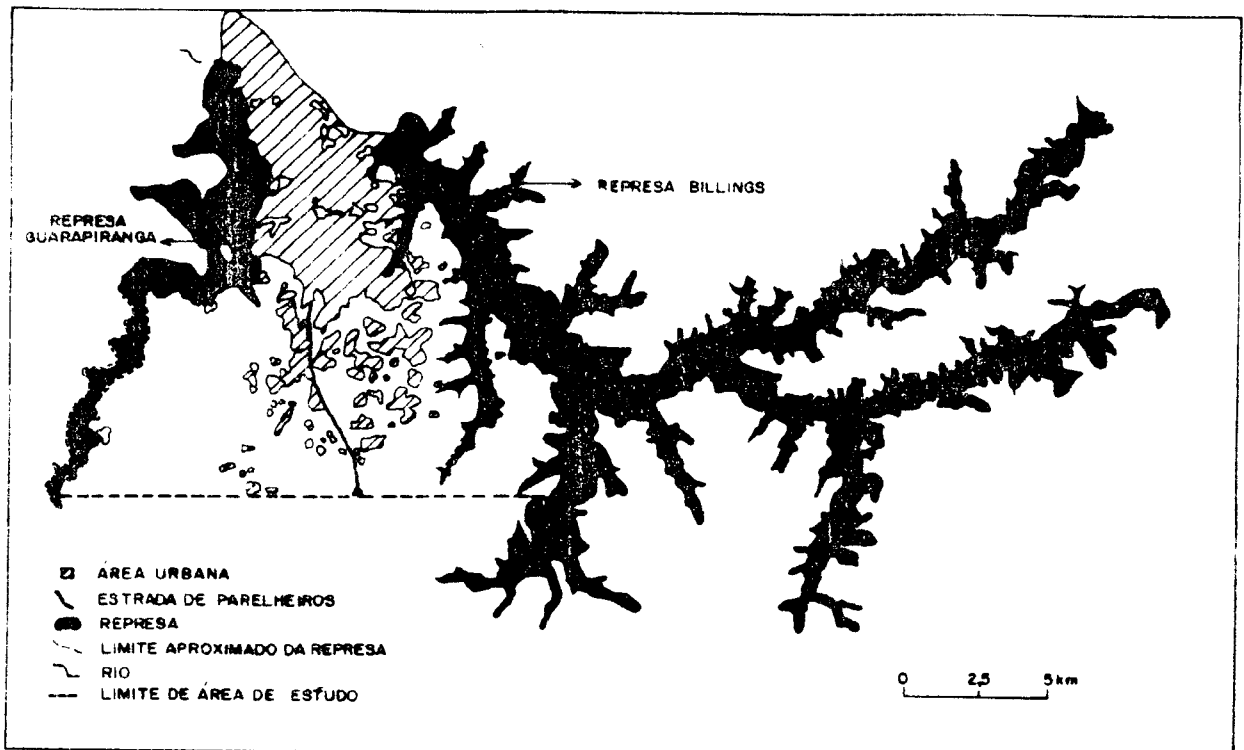


Fig. 5 - Área urbana obtida em 1979 através da interpretação visual de imagens MSS.

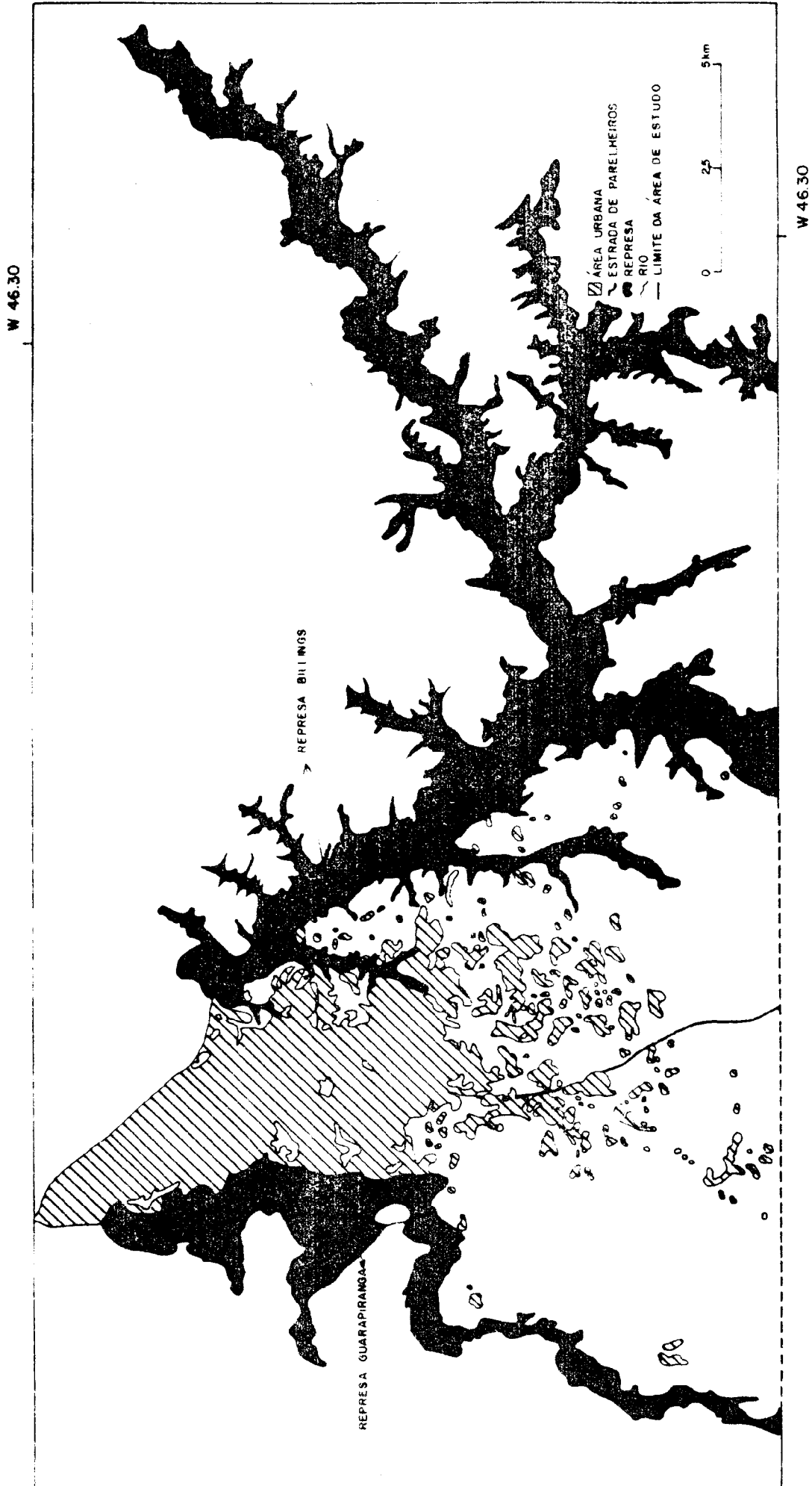


Fig. 6 - Área urbana obtida em 1979 através de imagens RBV.

TABELA 3

PADRÕES DE IDENTIFICAÇÃO DE CLASSES DE USO DA TERRA EM IMAGENS RBV NA ESCALA DE 1:125.000

CLASSES DE USO DA TERRA	TOM DE CINZA	TEXTURA	OUTROS ASPECTOS
ÁREA URBANA EDIFICADA	Estas áreas apresentam tons de cinza claro, médio e escuro.	A textura apresentada por estas áreas varia de lisa a rugosa. A maior rugosidade ocorre em áreas de maior arborização.	As características principais destas áreas são o formato irregular e continuidade, pois fazem parte da mancha urbana contínua da Grande São Paulo.
ÁREA URBANA EM EXPANSÃO	Apresentam tons de cinza claro e médio devido à variação de densidade de ocupação desta área.	Caracterizam-se por apresentar variação de textura de lisa a rugosa média.	Localizam-se junto ao núcleo urbano principal e próximo à estrada de Paraleiros. Apresentam formato irregular, pois são áreas de crescimento urbano espontâneo.
LOTEAMENTO	São áreas de tons de cinza claro.	A característica principal destas áreas é a ocorrência de textura lisa.	O formato destas áreas pode ser considerado regular, quando comparado com as demais áreas analisadas. Localizam-se junto às represas, estradas e áreas de expansão urbana.
HORTICULTURA	Caracterizam-se por apresentar tons de cinza claro.	Nestas áreas ocorre a presença de texturas lisas e médias.	São áreas de pequena dimensão. Apresentam-se dispersas em toda a área de estudo.

TABELA 4

MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO DE DADOS LANDSAT REFERENTES A 1977

	CLASSES DE USO	NÃO CLASSIFICADO	1	2	3	4	5	6	7
1	ÁREA URBANA EDIFICADA	0,3	84,3	15,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	LOTEAMENTO	4,7	12,8	80,8	0,8	0,6	0,3	0,0	0,0
3	VEGETAÇÃO DENSA	0,4	0,0	1,8	88,6	6,1	3,1	0,0	0,0
4	VEGETAÇÃO RALA (1)*	0,0	0,0	0,0	11,1	73,6	15,3	0,0	0,0
5	VEGETAÇÃO RALA (2)	2,8	0,0	0,0	3,7	17,6	75,9	0,0	0,0
6	ÁGUA DA REPR. GUARAPIRANGA	2,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	97,2	0,0
7	ÁGUA DA REPR. BILLINGS	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	97,7

\* A classe vegetação rala foi subdividida em 1 e 2 em função da maior e menor densidade de biomassa respectivamente.

TABELA 5

MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO DE DADOS LANDSAT REFERENTES A 1978

	CLASSES DE USO	NÃO CLASSIFICADO	1	2	3	4	5	6
1	ÁREA URBANA EDIFICADA	0,0	98,2	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0
2	LOTEAMENTO	1,1	7,1	91,3	0,0	0,5	0,0	0,0
3	VEGETAÇÃO DENSE	0,0	0,0	0,0	88,6	11,4	0,0	0,0
4	VEGETAÇÃO RALA	2,8	0,0	0,0	7,4	89,8	0,0	0,0
5	ÁGUA DA REPR. GUARAPIRANGA	0,3	1,0	0,0	0,0	0,0	98,7	0,0
6	ÁGUA DA REPR. BILLINGS	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	99,8

TABELA 6

MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO DE DADOS LANDSAT REFERENTES A 1979

	CLASSES DE USO	NÃO CLASSIFICADO	1	2	3	4	5	6
1	ÁREA URBANA EDIFICADA	0,0	74,7	25,3	0,0	0,0	0,0	0,0
2	LOTEAMENTO	0,8	18,9	80,1	0,0	0,3	0,0	0,0
3	VEGETAÇÃO DENSE	0,0	0,0	0,0	78,2	21,8	0,0	0,0
4	VEGETAÇÃO RALA	0,6	0,4	3,3	13,2	82,4	0,0	0,0
5	ÁGUA DA REPR. GUARAPIRANGA	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	99,1	0,0
6	ÁGUA DA REPR. BILLINGS	0,0	0,6	0,0	0,0	1,3	0,2	98,0

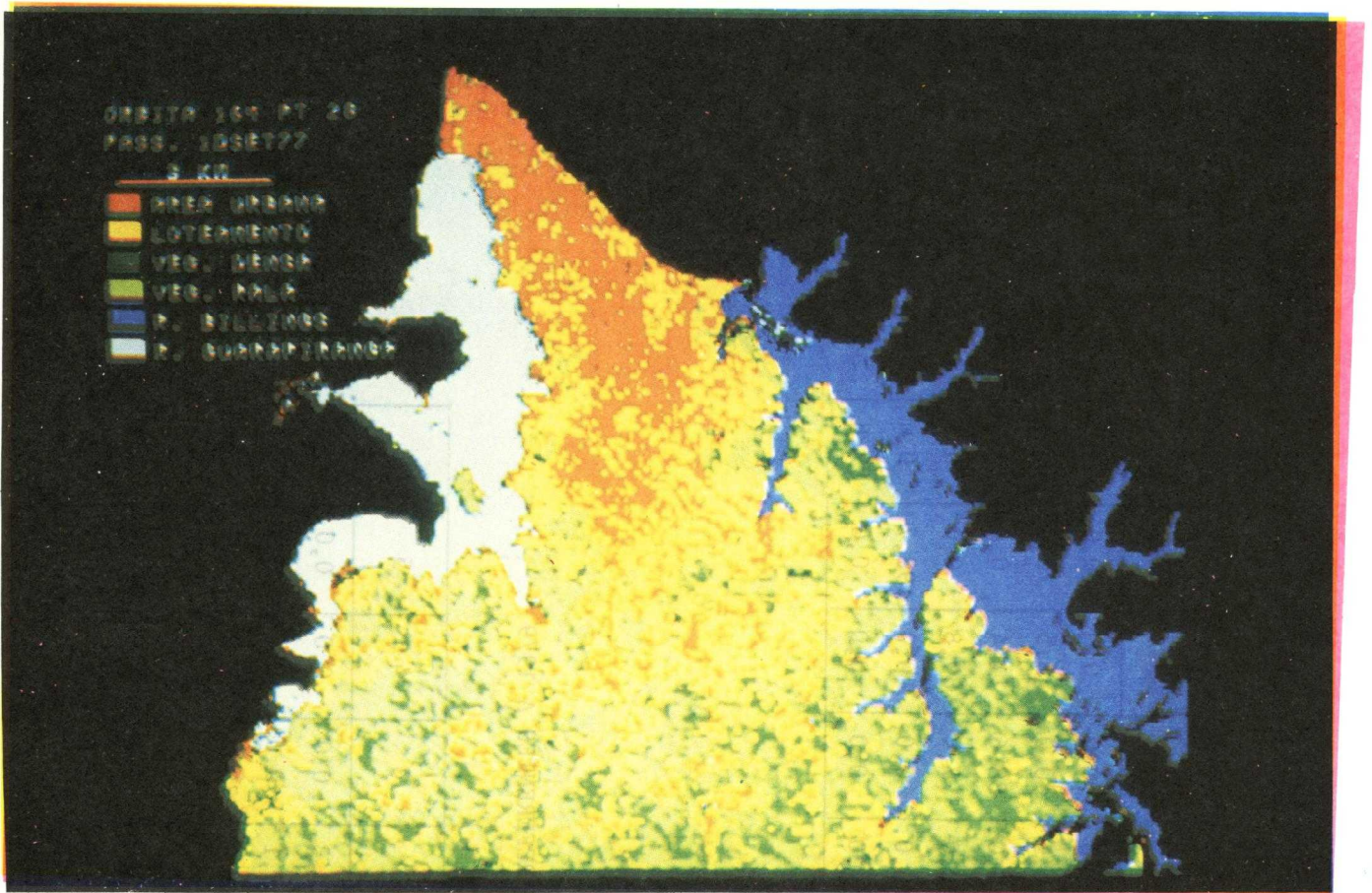


Fig. 7 - Área urbana obtida em 1977 através de análise automática do MSS.

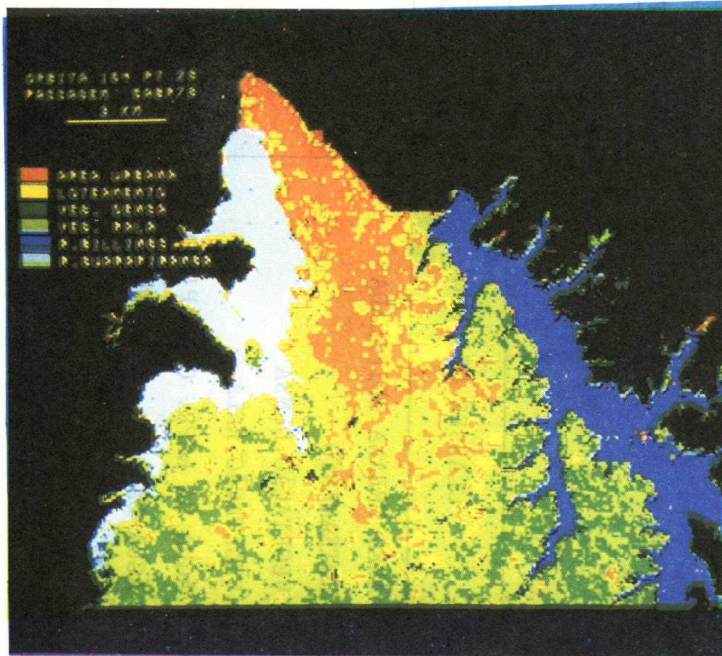


Fig. 8 - Área urbana obtida em 1978 através de análise automática do MSS.

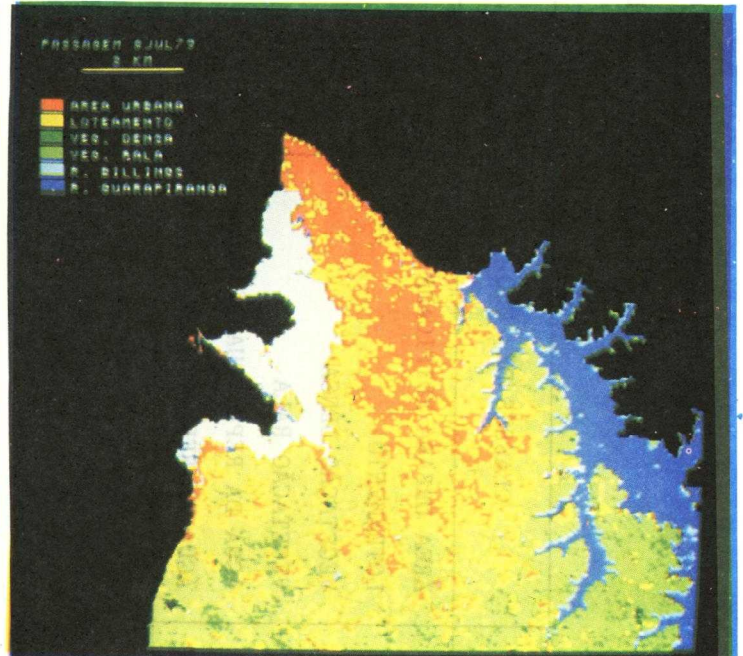


Fig. 9 - Área urbana obtida em 1979 através de análise automática do MSS.

A não-separabilidade total das classes área urbana edificada/ loteamento, entretanto, não prejudica os resultados classificatórios obtidos, pois as áreas de terraplenagem e esparsamente edificadas foram consideradas como área urbana.

Analisando-se as matrizes (Tabelas 4, 5 e 6) verifica-se também que, teoricamente, existem pequenos erros de omissão para a classe área urbana edificada. A maior parte dos "pixels" pertencentes a esta classe foi classificada corretamente.

Pela visualização dos resultados nas Figuras 7, 8 e 9 e comparação deles com dados preexistentes, verificou-se que as áreas urbanas arborizadas não foram classificadas como urbanas. Estas áreas localizam-se preferencialmente junto à represa Guarapiranga e caracterizam-se por apresentar residências e arborização.

Nestes locais, a área construída é pequena em relação às áreas adjacentes com vegetação. Assim sendo, a resposta espectral dessas áreas é determinada pela vegetação.

Os erros de inclusão que superestimam a classe área urbana edificada foram determinados pelos "pixels" pertencentes às classes loteamento, vegetação e água.

A classe loteamento apresentou superposição com as classes área urbana edificada e vegetação. (Tabelas 4 e 6). Através do trabalho de campo verificou-se que muitas áreas de loteamento apresentavam uma cobertura vegetal esparsa. Esses aspectos, portanto, geraram erros de classificação da classe loteamento.

A Tabela 7 apresenta a área obtida para todas as classes analisadas durante a interpretação automática.

TABELA 7

ÁREA TOTAL DAS CLASSES ANALISADAS ATRAVÉS DA CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA PARA 1977, 1978 E 1979

CLASSES DE USO DA TERRA	ÁREA URBANA (EM KM <sup>2</sup> )		
	1977	1978	1979
ÁREA URBANA EDIFICADA	29,01	32,83	45,24
LOTEAMENTO	40,11	3,74	3,09
VEGETAÇÃO DENSA	26,62	29,23	39,31
VEGETAÇÃO RALA	37,52	64,43	52,49
ÁGUA DA REPR. GUARAPIRANGA	19,02	21,64	15,27
ÁGUA DA REPR. BILLINGS	24,44	26,17	22,83

Na classificação do período de 1977, observando-se os resultados da Tabela 7, nota-se que a análise automática superestimou a classe loteamento, pois esta apresentou resultado superior à área urbana edificada. Na Figura 7 verifica-se que muitas áreas urbanas edificadas foram classificadas como loteamento. Esta classe também aglutinou áreas de vegetação rala e horticultura, como se pôde verificar através de dados preexistentes sobre a área de estudo. Isto pode ser explicado pelo fato de o período analisado corresponder a uma época seca, em que ocorre pouco contraste entre vegetação rala e solo exposto, ou áreas parcialmente urbanizadas. Nesta época do ano a biomassa é relativamente pequena. Assim sendo, a resposta espectral da vegetação será atenuada devido à menor quantidade de clorofila. Outro aspecto é que nessa época do ano tem-se

a ocorrência de áreas preparadas para horticultura, que também foram classificadas como loteamento.

Como pode ser verificado na Tabela 7, a classe loteamento apresentou grande decréscimo em área de 1977 para 1978. Por outro lado, a classe vegetação rala teve um acréscimo de 29,91 Km<sup>2</sup>.

Comparando-se as Figuras 7 e 8, pode-se notar que áreas classificadas como vegetação rala em 1977 foram classificadas como loteamento em 1978.

Ao comparar os dados obtidos com aqueles preexistentes, foi possível verificar que a classificação obtida para 1978 está mais coerente com a disposição espectral das classes

loteamento e vegetação rala que ocorrem na área de estudo. Isto pode ser explicado pelo fato de a análise realizada corresponder ao fim do período chuvoso, em que há maior contraste entre vegetação e área urbana.

As áreas de parques e de clubes pertencentes à classe urbana edificada foram classificadas como vegetação rala. Assim sendo, esta classe apresentou erros de omissão.

Na classificação realizada em 1979 a área urbana sofreu um acréscimo de 12,41 km<sup>2</sup> em relação a 1978. Pela análise da Figura 9 pode-se verificar que áreas próximas à represa Guarapiranga foram classificadas erroneamente como áreas urbanas. No período seco, época, da imagem analisada, há uma diminuição da lâmina d'água dos reservatórios, especialmente na represa Guarapiranga. As áreas anteriormente ocupadas pelas águas da represa foram classificadas como urbanas, devido à alta reflectância destas áreas, especialmente no canal 5.

No período seco a resposta espectral dos alvos na franja rural-urbana apresenta grande similaridade, o que dificulta a delimitação das áreas urbanas. Por outro lado, o final do período úmido, como pode ser verificado na imagem de 1978 (Figura 8), favoreceu a classificação da área urbana, pois nesta época a vegetação apresenta uma resposta espectral bem definida, o que permite a delimitação mais precisa das áreas urbanas.

### 3.4 - EXPANSÃO URBANA: ANÁLISE COMPARATIVA

Com base nos dados de área urbana obtidos para os períodos analisados, foi feita uma análise da expansão urbana na região de estudo (Figura 10).

Pela análise do gráfico, pode-se observar que a área urbana teve um crescimento mais ou menos constante nos períodos analisados.

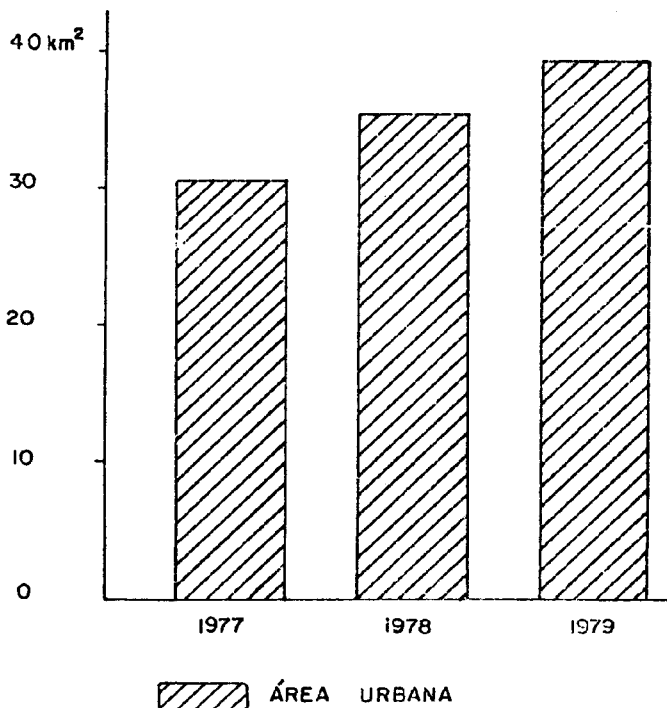


Fig. 10 - Total da área urbana referente a 1977 1978 e 1979, obtida de interpretação visual de imagens MSS.



Na Tabela 8 tem-se o crescimento percentual da área urbana em estudo. Pela análise

da Tabela verifica-se uma maior taxa de crescimento de 1977 para 1978.

TABELA 8

ANÁLISE DA EXPANSÃO URBANA NA ÁREA DE ESTUDO PARA 1977, 1978 e 1979

PERÍODO	TOTAL DA ÁREA URBANA (EM KM <sup>2</sup> )	EXPANSÃO (EM KM <sup>2</sup> )	TAXA DE EXPANSÃO (EM %)
1977	30,68	-	-
1978	35,50	4,82	15,70
1979	39,50	4,00	11,20

Observa-se também que no último período analisado ocorreu um pequeno decréscimo na taxa de crescimento urbano. Apesar deste decréscimo, dadas as condições da região, surgem sérios problemas decorrentes desta ocupação. O primeiro deles decorre do fato de a região localizar-se na área de proteção aos mananciais, devendo portanto apresentar crescimento urbano controlado pelos órgãos governamentais. Outro aspecto é que o crescimento verificado nesta área apresenta-se totalmente desordenado, com bairros sem infra-estrutura urbana. Isto pode ser explicado pelo fato de a maioria dos loteamentos instalados nesta área ser clandestinos.

Comparando-se as Figuras 3, 4 e 5 verifica-se que o maior crescimento tem ocorrido junto à estrada de Parelheiros e à represa Billings. Segundo Emplasa (1980), Parelheiros apresentou, a maior taxa de crescimento de toda a Região Metropolitana de São Paulo, com 16,28% ao ano, no período de 1970-79. Isto pode ser explicado pelo fato de a zona sul do município caracterizar-se tipicamente como industrial, portanto, atrativa à força de trabalho migrante. Além de tudo, este vetor do município de São Paulo está ao lado do vetor sudeste, também tipicamente industrial.

Conforme Aziz Nacib Ab'Saber, segundo Emplasa (1980), a periferia tem uma organização do espaço complicada e pouco racional: sua textura urbana dependeu mais dos especuladores do que dos urbanistas, enquanto sua paisagem arquitetônica reflete o primarismo e a persistência de seus humildes habitantes.

Através do trabalho de campo realizado, pôde-se observar que nas áreas junto às represas Billings e nas proximidades da estrada

de Parelheiros ocorre ocupação da classe populacional de baixa renda. São loteamentos onde existe alta densidade de construção e crescimento desordenado. Em certas áreas, não ocorre um padrão de loteamento definido.

#### 4 - CONCLUSÕES

A análise dos resultados do trabalho apresentado permitiu as seguintes conclusões:

- na análise da expansão urbana é necessário o conhecimento da ocupação do solo nas áreas circunvizinhas, na fase de seleção de imagens. Este aspecto facilita a interpretação dos dados e, conseqüentemente, a precisão da classificação realizada;
- a diferenciação entre áreas urbanas e áreas utilizadas para horticultura, no presente trabalho, foi possível através da comparação dos mapas obtidos nos diferentes períodos sazonais. Para a obtenção de resultados mais precisos, é necessária a utilização de imagens do período chuvoso para todos os anos analisados, como também imagens de outras estações, que mostrem a dinâmica do uso do solo na franja rural-urbana, especialmente em relação à variação de ocupação agrícola;
- na análise automática dos dados, o maior erro de omissão da classe área urbana verificou-se em bairros arborizados ou áreas de recreação. O maior erro de inclusão verificou-se nas áreas de loteamento, quando analisadas em período seco. Esta classe foi superestimada, pois apresentou superposição com áreas de vegetação rala;

- no presente trabalho não foi realizada a separação entre a classe loteamento e área de empréstimo ou jazidas de minerais industriais. Assim sendo a área urbana apresenta-se superestimada;
- os resultados apresentados neste trabalho mostram uma expansão urbana de 28,7%, no período de 1977 a 1979, para a área de estudo. Isto evidencia a necessidade de um controle sistemático pelos órgãos competentes, uma vez que esta área se situa dentro dos limites de proteção aos mananciais.

##### 5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- EMPRESA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANA. *Carta de declividade da Região Metropolitana de São Paulo*. São Paulo, 1979. Escala 1:100.000.
- EMPRESA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO. Projeto 4133 - revisão da legislação referente à proteção aos mananciais. Sub-produto: 3.1; relatório preliminar "Análise das tendências de expansão da metrópole". São Paulo, 1980.
- FILGUEIRA, F.A.R. *Manual de olericultura*. São Paulo, CERES, 1972. 451 p.
- FORESTI, C. *Estimativas populacionais e de crescimento de áreas urbanas no Estado de São Paulo, com utilização de imagens LANDSAT*. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações. São José dos Campos, INPE, 1978. 115 p. (INPE-1298-TPT/095).
- SÃO PAULO. SECRETARIA DE ESTADO DOS NEGÓCIOS DO INTERIOR. DIVISÃO ADMINISTRATIVA E JUDICIÁRIA. *Mapa na Escala de 1:500.000*. São Paulo, 1980.
- 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).
- WEHRWEIN, G.S. *The Rural - Urban Fringe*. In: MAYER, H.M.; KOHN, C.F., ed. *Readings in urban geography*. Chicago, University of Chicago Press, 1959. Section 16, p. 533-543.