

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.

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

7.9-100.15
CR-157904



(E79-10015) POPULATION AND GROWTH ESTIMATES
OF URBAN AREAS IN THE STATE OF SAO PAULO
UTILIZING LANDSAT IMAGES (Instituto de
Pesquisas Espaciais, Sao Jose) 115 p HC
A06/MF A01

N79-13430

Unclas
00015

CSCI 05B G3/43

RECEIVED BY
NASA SRI FACILITY
DATE 11-12-78
DOC NO. 212121212
PROCESSED BY
☒ NASA SRI FACILITY
☐ ESA-SDS ☐ AIAA



CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO

INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS

areas in the state of São Paulo utilizing

LANDSAT images

"Made available under NASA sponsorship

In the interest of early and wide dis-

semination of Earth Resources Survey

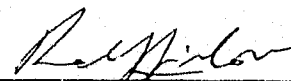
Program information and without liability

for any use made thereof."

1. Classificação INPE-COM.1/TPT C.D.U.: 621.38SR:312.92 (816.1)		2. Período	4. Critério de Distribuição: interna ☐ externa ☒
3. Palavras Chaves (selecionadas pelo autor) CRESCIMENTO URBANO ESTIMATIVAS POPULACIONAIS LANDSAT SENSORIAMENTO REMOTO			
5. Relatório nº INPE-1298-TPT/095	6. Data Junho, 1978	7. Revisado por <i>Gilberto Amaral</i> Dr. Gilberto Amaral	
8. Título e Sub-Título ESTIMATIVAS POPULACIONAIS E DE CRESCIMENTO DE ÁREAS URBANAS NO ESTADO DE SÃO PAULO, COM UTILIZAÇÃO DE IMAGENS LANDSAT		9. Autorizado por <i>Nelson de Jesus Parada</i> Nelson de Jesus Parada Diretor	
10. Setor DSR	Código	11. Nº de cópias 27	
12. Autoria <i>Celina Foresti</i> Original photography may be purchased from: EROS Data Center Sioux Falls, SD 57198		14. Nº de páginas 115	
13. Assinatura Responsável <i>Celina Foresti</i>		15. Preço	
16. Sumário/Notas <i>Imagens LANDSAT, fotografias aéreas convencionais e Image-100, foram utilizadas para estimativas populacionais e de crescimento de áreas urbanas no Estado de São Paulo. O método de regressão linear, simples e múltipla, foi utilizado nas estimativas populacionais das áreas testes analisadas. O monitoramento do crescimento urbano foi realizado através do Image-100 para a cidade de São José dos Campos no período de setembro de 1972 a junho de 1976. Os resultados da pesquisa mostraram a viabilidade de utilização das imagens LANDSAT para estimativas populacionais em períodos inter-censitários. Permitiram, também, avaliar tendências da expansão urbana de maneira mais rápida quando comparada aos métodos convencionais de pesquisa.</i> ORIGINAL CONTAINS COLOR ILLUSTRATIONS			
17. Observações Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto, aprovada em 17 de março de 1978.			

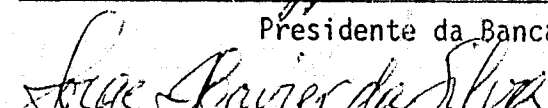
Aprovado pela Banca Examinadora
em cumprimento dos requisitos exigidos
para a obtenção do Título de Mestre em
Sensoriamento Remoto.

Dr. Ralf Gielow



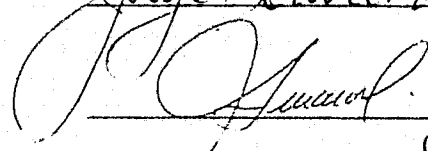
Presidente da Banca

Dr. Jorge Xavier da Silva



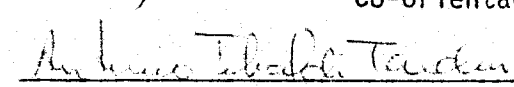
Orientador

Dr. Gilberto Amaral



Co-Orientador

Eng. Agr. Antonio Tebaldi Tardin, MSc.



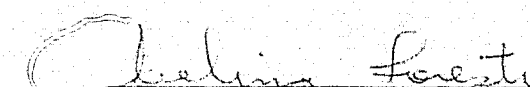
Membro da Banca

Eng. Agr. Sherry Chou Chen, MSc.



Membro da Banca

Celina Foresti



Candidata

São José dos Campos, 17 de março de 1978

A meus pais

*Em memória, a meu caro mestre,
Dr. João Dias da Silveira, com
toda minha admiração.*

INDICE

RESUMO	v
ABSTRACT	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	ix
<u>CAPÍTULO I</u> - INTRODUÇÃO	1
1.1 - Objetivos	1
1.2 - Justificativa da Pesquisa	2
1.3 - Área de Estudo - Características Demográficas	4
1.4 - Trabalhos Prévios	8
<u>CAPÍTULO II</u> - METODOLOGIA	15
2.1 - Material	15
2.1.1 - Áreas Testes	15
2.1.2 - Fotografias Aéreas	17
2.1.3 - Sistema LANDSAT	17
2.1.4 - Analisador Interativo de Imagens Multiespectrais (Image-100)	20
2.1.5 - Mapas	22
2.1.6 - Programas de Computador	22
2.1.7 - Mosaico Aerofotográfico de São José dos Campos	22
2.2 - Métodos e Técnicas	22
2.2.1 - Análise das Fotografias Aéreas	22
2.2.2 - Interpretação Visual das Imagens LANDSAT	23
2.2.3 - Interpretação Automática	24
2.2.4 - Problemas na Delimitação das Áreas Testes	28
2.2.5 - Obtenção de Dados Estatísticos de População	30
2.2.6 - Cálculo do Índice de Ligações Superficiais	31
2.2.7 - Análise Estatística dos Dados	32
<u>CAPÍTULO III</u> - RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
3.1 - A Análise das Informações Fornecidas por Fotografias Aéreas e Imagens LANDSAT	35
3.1.1 - Medidas de Áreas Urbanas	35
3.1.2 - Relações entre População e Área Urbana	37

3.2 - Estimativas Populacionais Baseadas em Imagens LANDSAT	41
3.2.1 - Expansão da Amostra	41
3.2.2 - Modelos de Estimativas Populacionais	41
3.2.3 - Análise do Erro nas Estimativas Populacionais	54
3.3 - Interpretação Automática no Image-100	63
3.3.1 - Comportamento Espectral das Áreas Urbanas	63
3.3.2 - Monitoramento do Crescimento Urbano	74
<u>CAPÍTULO IV</u> - CONCLUSÕES	85
AGRADECIMENTOS	87
BIBLIOGRAFIA	88

APÊNDICE A - Dados Básicos das Áreas Testes Seleccionadas

APÊNDICE B - Resultados da Regressão Linear Simples

APÊNDICE C - Resultados da Regressão Linear Múltipla

APÊNDICE D - Intervalos de Confiança (95%) para a População Estimada

Page intentionally left blank

ABSTRACT

LANDSAT MSS Imagery, conventional aerial photographs and the Image-100 system were used to estimate population and growth of urban areas in the State of São Paulo. Simple and multiple linear regression methods were used to estimate urban population in the test sites analysed. The monitoring of urban growth was conducted with the Image-100 system for the city of São José dos Campos for the period September 1972 to June 1976. The research results showed the viability of using LANDSAT imagery for population estimations during an intercensal period. It also provided for the evaluation of urban growth tendencies more rapidly as compared to conventional methods of research.

LISTA DE FIGURAS

I.1	- Estado de São Paulo: Área de estudo (IBGE, 1973)	5
II.1	- Mapa do Estado de São Paulo com a localização aproximada das imagens LANDSAT analisadas	16
II.2	- Esquema de varredura do Sistema Multiespectral (MSS) do LANDSAT-1 (NASA, 1972)	18
II.3	- Esquema do Analisador interativo de Imagens Multiespectrais (Image-100) (G.E., 1975)	21
III.1	- Mapa do Estado de São Paulo com a localização das 35 áreas testes componentes da amostragem "A"	34
III.2	- Comparação de medidas de áreas urbanas obtidas de fotografias aéreas e de imagens LANDSAT	36
III.3	- Relação funcional entre população e área urbana medida em fotografias aéreas	39
III.4	- Relação funcional entre população e área urbana medida em imagens LANDSAT	40
III.5	- Delimitação das áreas urbanas da Região de Ribeirão Preto	42
III.6	- Delimitação das áreas urbanas da Região de Campinas e da Grande São Paulo.....	43
III.7	- Delimitação das áreas urbanas do Vale do Paraíba	44
III.8	- Mapa do Estado de São Paulo com a localização das 70 áreas testes componentes da amostragem "B"	45
III.9	- Relação funcional entre população e área urbana para cidades pequenas	47
III.10	- Relação funcional entre população e área urbana para cidades médias	48
III.11	- Relação funcional entre população e área urbana para cidades grandes	49
III.12	- Relação funcional entre população e área urbana para a amostra total	50

III.13 - Gráfico de Regressão com intervalos de confiança	53
III.14 - Mapa de distribuição dos Resíduos negativos	57
III.15 - Mapa de distribuição dos Resíduos positivos	58
III.16 - Área urbana de Rio Claro classificada através da assinatura espectral comum	68
III.17 - Área urbana de Rio Claro classificada através de amostras de treinamento	69
III.18 - Cidade de Ribeirão Preto em 10/05/75 obtida do vídeo do Image-100	71
III.19 - Cidade de Ribeirão Preto em 07/02/77 obtida do vídeo do Image-100	72
III.20 - Cidade de São José dos Campos em 08/09/72 obtida do vídeo do Image-100	75
III.21 - Cidade de São José dos Campos em 25/06/76 obtida do vídeo do Image-100	76
III.22 - Histogramas da área urbana de São José dos Campos (1972)	77
III.23 - Histogramas da área urbana de São José dos Campos (1976)	78
III.24 - Histogramas com refinamentos nos 4 canais da área urbana de São José dos Campos (1976)	80
III.25 - Superposição da classificação da área urbana de São José dos Campos (1972 e 1976) obtida do vídeo do Image-100 ..	82

LISTA DE TABELAS

I.1	- Taxas de Crescimento da população urbana e total do Estado de São Paulo e do Brasil	7
I.2	- Taxas de Urbanização para o Estado de São Paulo e Brasil.	7
I.3	- Aumento no Coeficiente de Determinação (R^2) com a adição de variáveis independentes	11
II.1	- Imagens LANDSAT utilizadas na pesquisa	19
II.2	- Fitas Compatíveis com computador utilizadas na pesquisa..	19
III.1	- Valores de áreas urbanas obtidos de fotografias aéreas (1971/1973) e de imagens LANDSAT-1 (1973)	35
III.2	- Dados de população e área urbana para 35 áreas testes ...	38
III.3	- Resultados da Análise de Regressão Linear Simples.....	46
III.4	- Resultados da Análise de Regressão Linear Múltipla	51
III.5	- Classes de cidades quanto à taxa de desvios negativos ...	61
III.6	- Classes de cidades quanto à taxa de desvios positivos ...	62
III.7	- Cidades estudadas e suas coordenadas na imagem obtidas pelo Image-100	63
III.8	- Características espectrais da cidade de Bebedouro (10/05/75)	64
III.9	- Características espectrais da cidade de Ribeirão Preto (10/05/75)	64
III.10	- Características espectrais da cidade de Araraquara (10/05/75)	65
III.11	- Características espectrais da cidade de São Carlos (10/05/75)	65
III.12	- Características espectrais da cidade de Rio Claro obtidas através da assinatura comum	66

III.13 - Características espectrais da cidade de Rio Claro obtidas através de amostras de treinamento	67
III.14 - Características espectrais da cidade de Ribeirão Preto (07/02/77)	70
III.15 - Medidas de áreas urbanas através de interpretação visual e automática	73

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

1.1 - OBJETIVOS

Entre os diversos campos de aplicação das imagens LANDSAT estão as pesquisas demográficas e monitoramento de expansão de áreas urbanas.

A crescente urbanização tem gerado problemas econômicos e sociais e recebido grande atenção na pesquisa geográfica.

O acompanhamento do crescimento populacional tem sido feito através de censos demográficos que se realizam a cada dez anos. Nos períodos inter-censitários, é esperada uma certa imprecisão nas estimativas baseadas nos censos oficiais, devido a fatores entre os quais distingue-se o rápido crescimento das áreas urbanas.

O uso de imagens de pequena escala obtidas de satélites como o LANDSAT permite uma visão sinótica dos padrões regionais e sua cobertura repetitiva possibilita também uma análise dinâmica da urbanização.

O objetivo geral deste estudo é desenvolver uma metodologia de utilização de dados contidos em imagens e fitas compatíveis com o computador (CCT), proporcionadas pelo sistema LANDSAT, para monitoramento do crescimento de áreas urbanas e estimativas populacionais em períodos inter-censitários.

Neste trabalho, pretende-se determinar até que ponto densidades de reflectância, registradas em imagens de baixa resolução, podem estar relacionadas à variação das populações urbanas.

Como objetivos específicos do trabalho, pretende-se realizar:

- 1) Identificação e cálculo de áreas urbanas, utilizando imagens e fitas compatíveis com o computador (CCT) obtidas do Sistema LANDSAT;
- 2) Comparação de resultados obtidos em imagens LANDSAT, na escala 1:500.000, com aqueles proporcionados por fotografias aéreas na escala 1:25.000;
- 3) Avaliação da possibilidade do acompanhamento da expansão urbana utilizando-se dados do Sistema LANDSAT, analisados através do Analisador de Imagens Multiespectrais Image-100 do INPE;
- 4) Análise de regressão em que dados estimados de população serão considerados função da variação de áreas urbanizadas medidas em imagens LANDSAT.

A consecução desses objetivos representará a obtenção do objetivo geral citado acima, ou seja, contribuirá para o desenvolvimento de técnicas apropriadas para estimativas populacionais em períodos inter-censitários e também para o acompanhamento de tendências da expansão urbana em regiões de rápida urbanização.

1.2 - JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

O acompanhamento demográfico de uma área adquire cada vez maior importância, dada a necessidade de estimativas populacionais em estudos de planejamentos nos mais diversos níveis. No processo de desenvolvimento econômico municipal, estadual ou nacional, as pesquisas populacionais apresentam caráter prioritário.

Além do problema do aumento da população em si, é extremamente importante o estudo da distribuição geográfica desta população, que está fortemente relacionada ao problema da urbanização.

No Brasil, praticamente todos os estudos realizados para estimativas de população e de crescimento de áreas urbanas, têm sido feitos através de dados estatísticos e de cadastramentos municipais. É importante salientar que o fluxo constante de dados do satélite LANDSAT, possibilita detectar a tendência da expansão de áreas urbanas específicas e, também, o acompanhamento do desenvolvimento urbano regional, a um custo relativamente baixo quando comparado a outros tipos de levantamento de dados. Enquanto o Brasil, como um todo, cresceu no decênio 1960/1970 a uma taxa média anual de 2,86% os aglomerados urbanos com mais de 100.000 habitantes cresceram a uma taxa de 6,3% ao ano; os de 10.000 a 100.000 habitantes a uma taxa de 6,1% e os de menos de 10.000 habitantes à razão de 2,3% ao ano (Madeira, 1976).

Esta explosão urbana, considerada do ponto de vista da distribuição territorial, mostra que a população abandona extensas áreas rurais em diversos pontos do país para se concentrar nas cidades maiores e grandes regiões metropolitanas, as quais, como áreas, representam fração mínima do território brasileiro (Madeira, 1976).

O ritmo de crescimento da população influi diretamente na necessidade de moradias e de planejamento urbano. A necessidade de moradias crescerá, pelo menos, no mesmo ritmo que o da população. Supondo-se que o número médio de pessoas por moradia, no Brasil, não mude no futuro, pode-se dizer que o ritmo de crescimento de moradias necessárias para satisfazer à demanda será, pelo menos, entre 2,5 e 3% ao ano (Arriaga, 1976).

Supõe-se ser possível estabelecer, a partir do crescimento das áreas urbanas construídas, a relação com o crescimento das populações, uma vez que existe um ritmo de crescimento de moradias associado à expansão demográfica.

Para Hsu (1973) há necessidade urgente do desenvolvimento de técnicas apropriadas para que a população inter-censitária possa ser estimada com alto grau de precisão e baixos custos.

Kraus et al (1974) comentam que, embora os resultados dos censos demográficos sejam geralmente vistos como estatisticamente precisos e úteis, no período imediatamente posterior à coleta dos dados, há uma tendência para que essas informações fiquem desatualizadas. Os fatores significantes que prejudicam os dados dos censos são: o longo período de tempo entre a coleta e publicação dos dados; o intervalo de tempo (10 anos) entre a realização dos censos e o rápido crescimento das áreas urbanas.

Para Ogrosky (1975), a utilização de sensoriamento remoto apresenta vantagens como:

- estimativas inter-censitárias das mudanças nos padrões da distribuição da população urbana;
- registro permanente das relações entre fenômenos urbanos e todo o ambiente regional;
- facilidade de obtenção de informações, em áreas de difícil acesso por outros métodos.

1.3 - ÁREA DE ESTUDO - CARACTERÍSTICAS DEMOGRÁFICAS

O Estado de São Paulo foi escolhido como área de estudo, (Fig.I.1), por apresentar um intenso processo de urbanização nas últimas décadas, possuindo 19% da população brasileira em 1970. Ocupa uma superfície de 247.898 Km² que representa 2,9% do território brasileiro e apresenta um extraordinário dinamismo populacional, constituindo-se na área mais desenvolvida do país, onde se encontra o principal polo industrial da nação.

As variações no aumento da população paulista são mais dependentes das correntes migratórias dirigidas para o Estado, do que da mudança nas taxas de crescimento vegetativo (Keller, 1977).

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

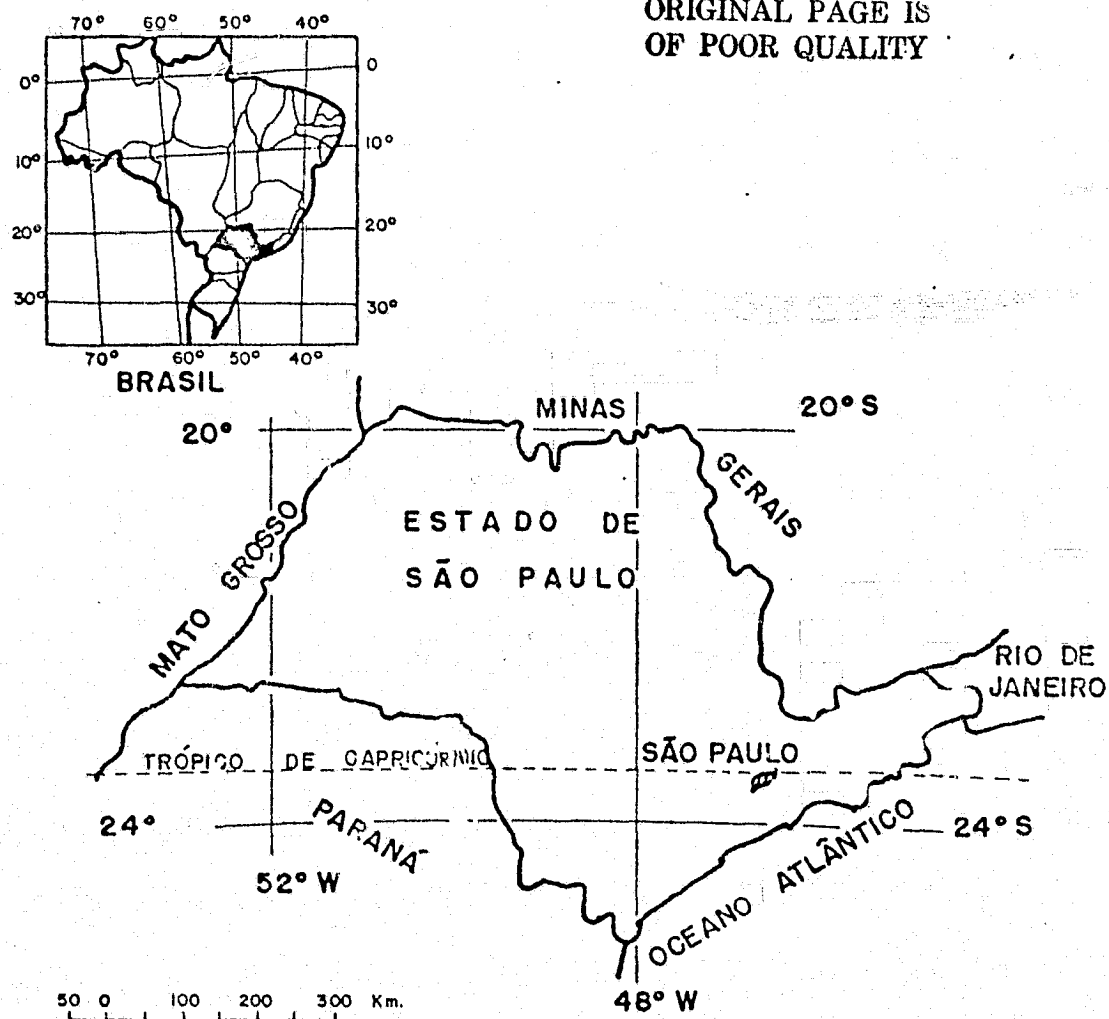


Fig. I.1 - Estado de São Paulo: Área de estudo
(IBGE, 1973).

A partir de 1950, o grande incremento da população paulista localizou-se essencialmente no setor urbano, ao contrário do que ocorrera anteriormente, quando as fronteiras agrícolas eram os focos de atração dos imigrantes. O grande desenvolvimento industrial de São Paulo e o crescimento de uma extensa rede urbana bem estruturada, são características do grande desenvolvimento urbano do Estado de São Paulo. Esse crescimento urbano é, por sua vez, o componente atual mais significativo do crescimento populacional do estado (Keller, 1977).

Jorge (1976), calculando as taxas de crescimento dos municípios paulistas no período de 1960-1970, para populações rural, urbana e total, chegou à conclusão que no período considerado, o meio rural sofreu um esvaziamento de 28% em relação à população de 1960. Quanto à população urbana, houve um acréscimo global de 6.010.760 habitantes, ou seja, 73,8% da população urbana existente em 1960, e com uma taxa de crescimento da ordem de 5,4% ao ano. Esses dados confirmam o êxodo rural verificado no Estado de São Paulo, durante a década de 1960-1970, como também o grande crescimento urbano em igual período.

Porcaro e Oliveira (1976), estudando a relação existente entre os processos de urbanização e industrialização, definiram urbanização em função da concentração da população nos centros urbanos. A Tabela I.1 mostra o crescimento da população urbana e da população total, a partir do período 1940-1950 até 1960-1970, fazendo uma comparação do Estado de São Paulo com o Brasil.

TABELA I.1

TAXAS DE CRESCIMENTO DA POPULAÇÃO URBANA E TOTAL
DO ESTADO DE SÃO PAULO E DO BRASIL

DÉCADAS	POPULAÇÃO URBANA (%)		POPULAÇÃO TOTAL (%)	
	SÃO PAULO	BRASIL	SÃO PAULO	BRASIL
1940/50	51,6	45,8	27,2	26,0
1950/60	69,5	70,3	42,0	36,7
1960/70	80,3	62,9	37,0	31,3

Fonte: Porcaro e Oliveira (1976)

Os autores estudaram também a taxa de urbanização (população urbana sobre a população total) como melhor indicador do grau de urbanização atingido pela área de estudo. A Tabela I.2 compara os índices de urbanização do Estado de São Paulo e do Brasil, desde o Censo de 1940 até o de 1970.

TABELA I.2

TAXAS DE URBANIZAÇÃO PARA O ESTADO DE SÃO PAULO E BRASIL

ANOS	POPULAÇÃO URBANA/POPULAÇÃO TOTAL	
	SÃO PAULO	BRASIL
1940	44,1	31,2
1950	52,8	36,1
1960	62,8	45,0
1970	80,3	55,9

Fonte: Porcaro e Oliveira (1976)

Segundo os autores, com base na evolução histórica dos processos de urbanização e industrialização, pode-se estabelecer a seguinte sequência:

- a indústria, por fatores locacionais de diversas ordens, tem-se localizado preferencialmente nos centros urbanos e sua instalação gera uma demanda de empregos. Entretanto, enquanto a industrialização intensifica o processo de urbanização, a concentração urbana não gera necessariamente um processo de industrialização.

Os autores calcularam a inter-relação entre a urbanização e a industrialização na Região Sudeste e na Região Nordeste, obtendo respectivamente os coeficientes de correlação 0,77 e 0,40, indicando que esses dois processos ocorrem de maneira mais interligada no Sudeste Brasileiro que na Região Nordeste.

1.4 - TRABALHOS PRÉVIOS

A utilização de técnicas de sensoriamento remoto em estudos de estimativas populacionais tem sido realizada especialmente com fotografias aéreas.

Segundo Lindgren (1974), a técnica básica para estimar a população através de fotografias aéreas é o cálculo do número de unidades de habitação dentro de uma área específica, multiplicando-se esse número pelo tamanho médio da família dentro dessa área.

Green (1957), foi um dos primeiros pesquisadores a propor a utilização de contagem de unidades habitacionais como um método para estimativas populacionais. Fez um estudo em Birmingham, Alabama, usando fotografias aéreas em branco e preto na escala 1:7.500.

Outros pesquisadores seguiram a mesma metodologia com algumas variações. Eyre et al (1970), Hsu (1971), Manso e Barros (1975), Teixeira et al (1977), utilizaram também fotografias aéreas para estimar população.

Para Kraus et al (1974), os estudos de estimativas populacionais têm sido desenvolvidos em três níveis básicos, baseados no grau de detalhe e tamanho da área estudada. Esses níveis podem ser categori

zados em: gerais, semi-detalhados e detalhados. Propuzeram um método semi-detalhado para estimativas populacionais da Califórnia. Relacionaram medidas de áreas de três tipos de uso do solo urbano e características populacionais associadas a cada um deles, extraídas de dados censitârios. Utilizaram fotografias pancromáticas na escala 1:600.000 e infravermelho nas escalas 1:120.000 e 1:60.000.

Teixeira et al (1974), para estimar a população de micro-áreas de zona urbana, desenvolveram um método de estimativa que, tendo grau aceitável de precisão, poderia ser aplicado à maioria das cidades brasileiras. O método utilizou a divisão da zona urbana em "setores escolares", definidos pela Secretaria de Educação do Estado de São Paulo como a menor unidade territorial do estudo de população para efeito de planejamento da rede de escolas. As estimativas foram feitas a partir dos dados do Censo de 1970, para os anos em que existiam fotografias aéreas e/ou Cadastro Imobiliário.

Manso e Barros (1975), no estudo da qualidade urbana de São José dos Campos, utilizaram fotografias aéreas na escala 1:8.000 para divisão de áreas habitacionais em zonas homogêneas. A cada zona homogênea foi atribuída uma densidade média populacional obtida da análise das fotografias aéreas e pesquisas de campo, para cálculo da população total da cidade.

Outros pesquisadores se preocuparam antecipadamente com o desenvolvimento de uma técnica de estimativa populacional para uso do Programa de Sistema de Observações dos Recursos Terrestres (EROS). Holtz et al (1969) estudaram a região do Vale do Rio Tennessee, utilizando fotografias aéreas como dados básicos. O tratamento metodológico e hipótese do trabalho foram semelhantes aos de Wellar (1969), isto é, que a área urbana construída e o tamanho da população são funcionalmente relacionadas. Incluíram os autores algumas relações estabelecidas na teoria das localidades centrais ("central place theory") tais como posição hierárquica urbana, importância de acessibilidade, ligações e conectividade em relação ao tamanho das populações urbanas. Utilizaram a análise de re

15

gressão linear múltipla para incorporar esses vários fatores. A equação proposta foi a seguinte:

$$P_i = a + b_1 L_i + b_2 P_j - b_3 D_{ij} + b_4 A_i$$

Onde:

P_i = população da área urbana i ;

L_i = número de ligações diretas entre i e as outras cidades;

P_j = população da área urbana maior e mais próxima j ;

D_{ij} = distância entre i e a cidade mais próxima j ;

A_i = área residencial ocupada observável da área urbana i .

A variável dependente população urbana (P_i), de cada área teste, foi obtida do Censo Demográfico Nacional como também P_j ; L_i e A_i diretamente das imagens e D_{ij} de mapas rodoviários.

Ogrosky (1975), simulando a utilização de imagens orbitais para estimativas de população, utilizou como principal fonte de dados transparências coloridas na escala aproximada de 1:135.000. Trabalhou em 18 áreas urbanas na área do Puget Sound. As áreas testes foram limitadas às cidades com 10.000 ou mais habitantes. Ogrosky seguiu a metodologia usada por Holtz et al (1969); no entanto, substituiu algumas variáveis por outras cujos dados puderam ser obtidos diretamente das imagens, ao invés de uma variedade de fontes. Usou as seguintes variáveis:

A_i - área urbana i ;

L_i - ligações superficiais, acrescidas de um fator dependendo dos tipos das ligações. Atribuiu o fator 4 para estradas principais de rodagem, 2 para estradas secundárias e 1 para estradas de ferro;

A_j - área urbana da cidade maior mais próxima j ;

D_{ij} - distância de cada área teste à cidade maior mais próxima j .

Ogrosky conseguiu melhores ajustes nas relações empregando transformações logarítmicas em P_i , A_i e D_{ij} . Foi usada a análise de regressão múltipla que resultou na seguinte equação:

$$\log P_i = 0,6896 \log A_i + 0,0106 L_i + 0,0004 A_j + 0,0143 \log D_{ij} + 0,7724$$

Para Ogrosky, o melhor estimador para população urbana em imagens de alta altitude foi $\log A_i$. As outras variáveis independentes baseadas em teorias sobre a dispersão hierárquica e correlações de áreas urbanas resultaram no insignificante aumento no coeficiente de determinação (R^2) em menos de 0,01, como pode ser visto na Tabela I.3 abaixo.

TABELA I.3

AUMENTO NO COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO (R^2) COM A
ADIÇÃO DE VARIÁVEIS INDEPENDENTES

VARIÁVEIS	R^2	AUMENTO EM R^2
$\log A_i$	0,9647	
L_i	0,9716	0,0068
A_j	0,9725	0,0010
$\log D_{ij}$	0,9727	0,0002

Fonte: Ogrosky (1975)

Alguns trabalhos de estimativas populacionais têm sido realizados utilizando imagens orbitais.

Para Wellar (1969), os limites de grandes áreas urbanas podem ser obtidos através de imagens espaciais com considerável precisão. Usou imagens do satélite Gemini - 1966, nas escalas 1:90.000 e 1:100.000, para estimar a população nas proximidades de Houston e Santo Antonio, Texas. Sua técnica básica foi delimitar a assinatura espectral urbana e aplicar a fórmula desenvolvida por Nordbeck (apresentado em Wellar, 1969) para estimativas populacionais de cidades americanas:

$$A = 0,00151P^{0,88}$$

Onde:

A = área (em milhas quadradas);

P = população.

Reining (1974), estudando padrões de povoamento humano, no Niger e Alto Volta, conseguiu identificar em imagens LANDSAT, na escala 1:1.000.000, povoações de 250 m de diâmetro, através das características de reflectância, localização e contraste. Concluiu que as imagens LANDSAT oferecem grande contribuição a esses estudos, em função do tamanho abrangido pelas cenas, repetitividade do imageamento e baixo custo.

Foresti e Mendonça (1974), estudaram a viabilidade de utilização de imagens LANDSAT-1 em inferências demográficas no território brasileiro. Nas imagens selecionadas para análise, na escala 1:1.000.000, foram identificadas 280 cidades. Foi utilizado o canal 5, por ser o melhor para a identificação visual de áreas urbanas. As medidas das áreas urbanas, obtidas através de planímetro, foram correlacionadas com os dados oficiais de população, do Censo Demográfico (1970). Os resultados evidenciaram alta correlação entre área urbana e população ($r = 0,85$).

Murai (1974), para estimar a densidade populacional nos Distritos de Tokyo, utilizou imagens e transparências positivas do LANDSAT-1. Usou um densitômetro para confecção de dois histogramas nos canais 5 e 7, para 4 classes de densidade populacional. Conseguiu 90% de precisão na estimativa de densidade populacional para a região estudada.

Foresti (1976), dando continuidade ao estudo de viabilidade de utilização dos dados do LANDSAT para estimativas populacionais no Brasil, testou outras variáveis relacionadas à população urbana. Uma análise de regressão linear múltipla foi feita para 14 áreas testes. Quatro variáveis independentes (A_i , L_i , D_j , D_{ij}), propostas por Ogrosky (1975), foram utilizadas. Pelos resultados encontrados, o melhor estimador individual de população urbana, visível em imagens de pequena escala foi A_i (área urbana construída observável na imagem), sendo que a variável L_i foi a única a adicionar explicação na variável população (aumento em R^2 de 0,13).

Ellefsen et al (1973), analisaram automaticamente imagens LANDSAT e concluíram que as características de rapidez de interpretação de dados, o baixo custo e a possibilidade de monitoramento da área são de grande importância na solução de muitos problemas de uso da terra.

Ainda para Ellefsen et al (1974), a separação rural/urbana é mais simples quando a interpretação dos dados LANDSAT é feita visualmente. Surgem problemas na interpretação automática, pois muitas cenas urbanas apresentam 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 combinação de solo nu e vegetação. O uso de dados multi-temporais em conjunto com os dados multiespectrais, poderia solucionar o problema, uma vez que as características da área agrícola mudam de uma estação para outra, o que facilita a identificação dos aspectos urbanos que permanecem constantes.

Reining e Egbert (1975), em pesquisas realizadas em Sonray, Niger, identificou automaticamente aldeias através do Image-100, verificando que as mesmas se apresentaram com características multimodais, devido aos componentes estruturais da aldeia (casas, árvores, parques, etc), que não são uniformemente distribuídos.

Christenson et al (1975), estudaram o problema da delimitação entre população urbana e rural. Utilizaram como área de estudo a área de Washington D.C. Áreas selecionadas nas imagens LANDSAT foram analisadas através do Image-100. Verificaram que a superposição de várias assinaturas espectrais, especialmente na área urbana, dificultou a delimitação área urbana/rural através da análise automática.

Odenyo e Pettry (1977), usando técnicas de reconhecimento automático, analisaram fitas CCT da área de Virgínia para mapeamento de uso da terra. Concluíram que a classe urbana é muito complexa, pois é composta de fenômenos espectralmente diversos: ruas de asfalto, estacionamento de concreto, telhados de várias tonalidades, etc.

Christenson e Lachowski (1977), analisaram dados multiespectrais do LANDSAT, em conjunção com dados de verdade terrestre para determinar sua utilidade na delimitação urbana/rural. Foram processados dados digitais para as áreas metropolitanas de Washington D.C., Austin, Texas, e Seattle, Washington, utilizando o Image-100. O objetivo principal foi a identificação automática dos usos de solo mais típicos na zona de transição urbana/rural, e definição de suas assinaturas espectrais. Os resultados dessa investigação evidenciaram que as informações coletadas de dados de satélite em várias datas, têm uma aplicação prática no problema da delimitação da área urbana e na detecção das suas mudanças.

CAPÍTULO II

METODOLOGIA

2.1 - MATERIAL

2.1.1 - ÁREAS TESTES

O termo "área teste" de uso corrente em sensoriamento remo, significa no presente contexto, cada cidade estudada.

Dois conjuntos de áreas testes, são encontrados no decorrer da pesquisa e foram analisados com objetivos distintos.

O primeiro deles, amostragem "A", correspondeu a 35 cidades e foi utilizado para um estudo comparativo entre resultados obtidos de fotografias aéreas (1971-1973) e de imagens LANDSAT (1973).

O segundo conjunto de áreas testes, amostragem "B", correspondeu a 70 cidades e foi utilizado especificamente, no estudo de modelos de estimativa populacional. As imagens LANDSAT, utilizadas nesta fase, foram do período 1975-1976.

A Figura II.1, mostra as áreas do Estado de São Paulo abrangidas pelas imagens LANDSAT, utilizadas na obtenção dos dois conjuntos de áreas testes.

As áreas delimitadas pelas imagens foram escolhidas por serem as mais representativas quanto aos aspectos urbano-demográficos do Estado de São Paulo e pela disponibilidade de imagens e fitas CCT, necessárias ao desenvolvimento da pesquisa. Apresentam como cidades principais: Presidente Prudente, Piracicaba, Ribeirão Preto, Campinas, São Paulo e São José dos Campos.

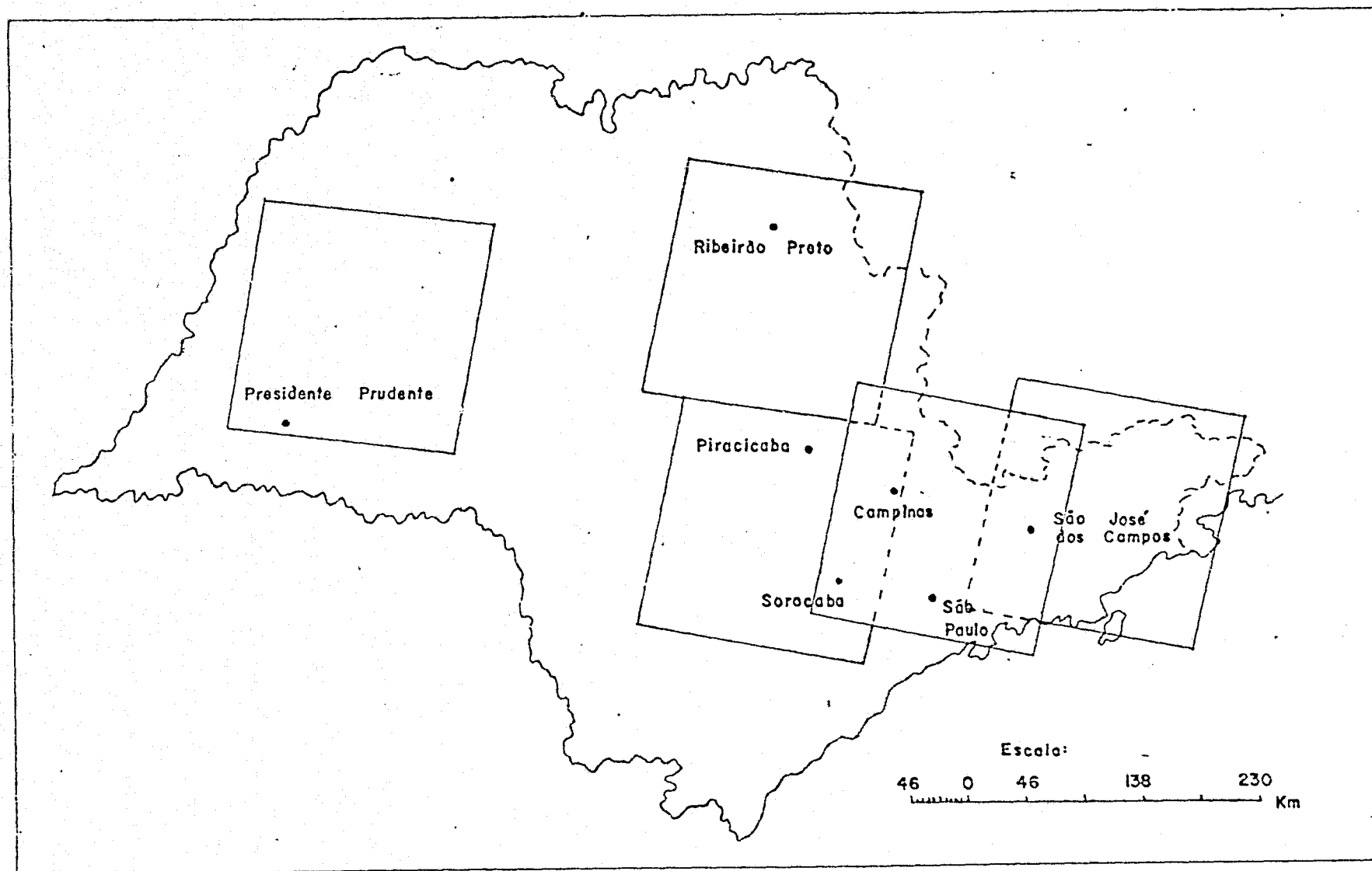


Fig. II.1 - Mapa do Estado de São Paulo com a localização aproximada das
Imagens LANDSAT analisadas.

2.1.2 - FOTOGRAFIAS AÉREAS

Foram utilizadas fotografias aéreas convencionais na escala 1:25.000, provenientes do levantamento aerofotográfico executado pela Força Aérea Brasileira no período de 1971 a 1973. Apresentam as seguintes características:

- 1) Formato: 23 x 23 cm
- 2) Área coberta pela fotografia: cerca de 33 Km²
- 3) Recobrimento Longitudinal: 60%
Recobrimento Lateral: 30%
- 4) Base: papel preto e branco

2.1.3 - SISTEMA LANDSAT

Nesta pesquisa foram utilizados produtos do Sistema LANDSAT, originalmente denominado ERTS (Earth Resources Technology Satellite), sistema que se encontra bem caracterizado nos trabalhos da National Aeronautics and Space Administration (1972), de Nossier et al (1975), Valério Filho et al (1976) e Koffler (1976).

As informações necessárias ao desenvolvimento da pesquisa foram extraídas de cenas obtidas através do Sistema de Varredura Multispectral (MSS) do LANDSAT, cujo mecanismo de sensoriamento é visto na Figura II.2.

O imageador multispectral (scanner) obtém a imagem da superfície da Terra em quatro bandas espectrais, simultaneamente.

- 1) Canal 4: 0,5 a 0,6 μ m (verde-laranja)
- 2) Canal 5: 0,6 a 0,7 μ m (laranja-vermelho)

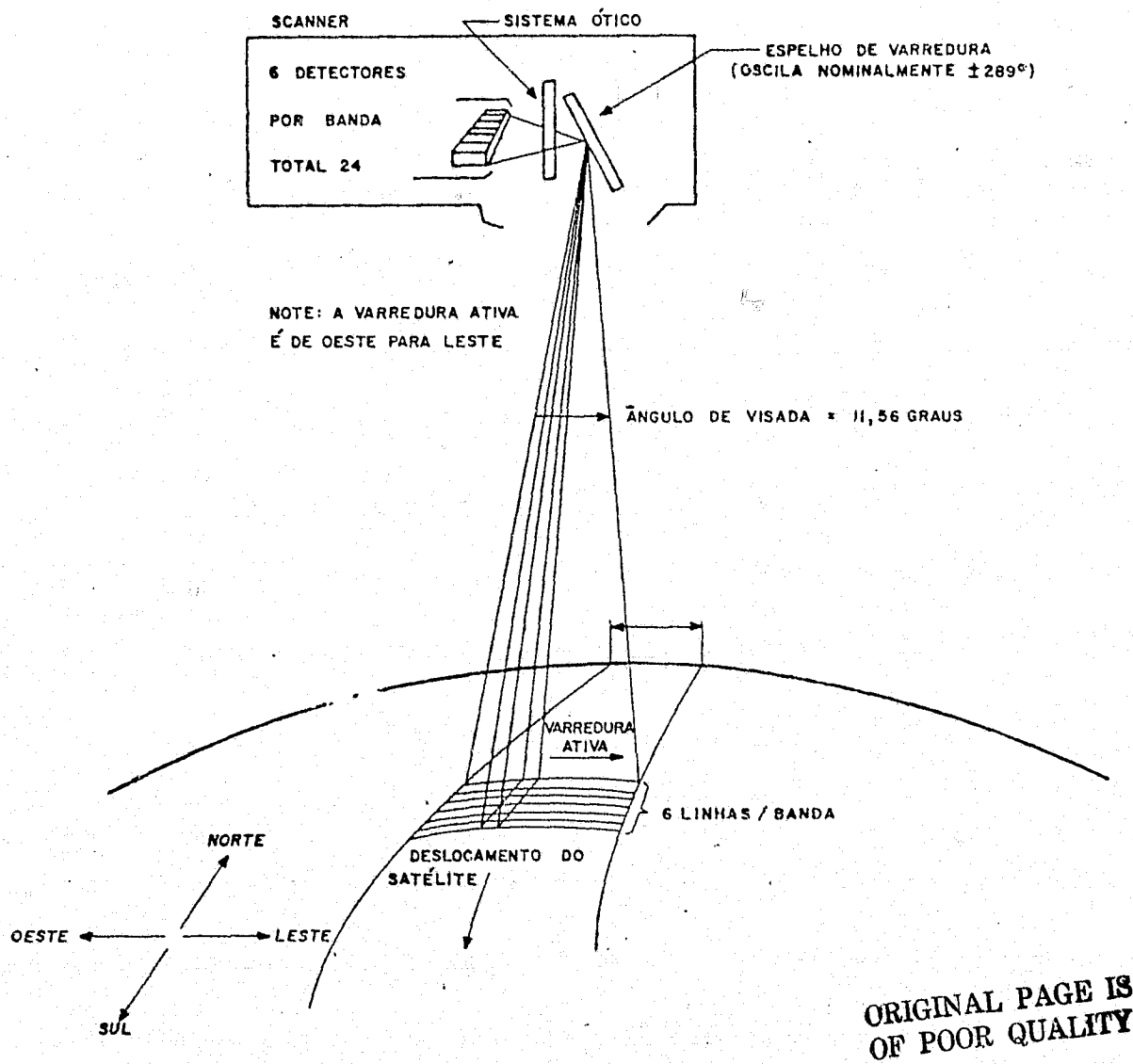


Fig. II.2 - Esquema de varredura do Sistema Multiespectral (MSS) do LANDSAT (NASA, 1972).

- 3) Canal 6: 0,7 a 0,8 μm (vermelho-infravermelho próximo)
- 4) Canal 7: 0,8 a 1,1 μm (infravermelho próximo)

No presente trabalho foram utilizadas imagens em preto e branco e infravermelho falsa cor, nas escalas 1:1.000.000 e 1:500.000 (Tabela II.1) e fitas compatíveis com o computador (Tabela II.2).

TABELA II.1

IMAGENS LANDSAT UTILIZADAS NA PESQUISA

IMAGEM LANDSAT Nº	ÓRBITA	PONTO	DATA
E - 1247 - 12402	178	28	27/03/73
E - 1213 - 12511	206	27	21/02/73
E - 1372 - 12333	164	28	30/07/73
L - 173212 - 123850	178	27	31/07/73
L - 175130 - 121903	178	27	10/05/75
L - 176177 - 114204	150	28	25/06/76
L - 176178 - 114744	164	28	26/06/76

TABELA II.2

FITAS COMPATÍVEIS COM O COMPUTADOR UTILIZADAS NA PESQUISA

FITA Nº	ÓRBITA	PONTO	DATA
1047-12274	150	28	08/09/72
1-130-12-19-04	178	27	10/05/75
1-76-177-11-42-04	150	28	25/06/76
2-77-038-12-13-15	178	27	07/02/77

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

O Sistema IMAGE-100 (Figura II.3), desenvolvido pela General Electric Company, é constituído por um equipamento que possibilita a interpretação automática de imagens através de técnicas baseadas na interação homem/máquina. Essas técnicas são caracterizadas pelo estabelecimento de áreas de treinamento bem conhecidas pelo pesquisador que são introduzidas no sistema como base para a classificação automática.

Os dados são introduzidos no sistema como transparências ou fitas digitalizadas.

O usuário poderá melhorar a qualidade da imagem a ser analisada através das funções de pré-processamento, antes da classificação temática.

As áreas de treinamento são caracterizadas por suas assinaturas espectrais e devem ser representativas da classe a ser analisada. São delimitadas no vídeo por meio de um dispositivo (cursor), que permite identificar para o sistema as áreas de interesse do analista.

Com base nas propriedades espectrais dessas áreas de treinamento, o sistema classificará todos os elementos da imagem que apresentarem as mesmas características espectrais das áreas de treinamento.

A descrição dos componentes do sistema IMAGE-100, bem como suas funções, se encontram no manual de utilização fornecido pela General Electric Company (1975), em Hernandez Filho e Shimabukuro (1978), e Niero (1978).

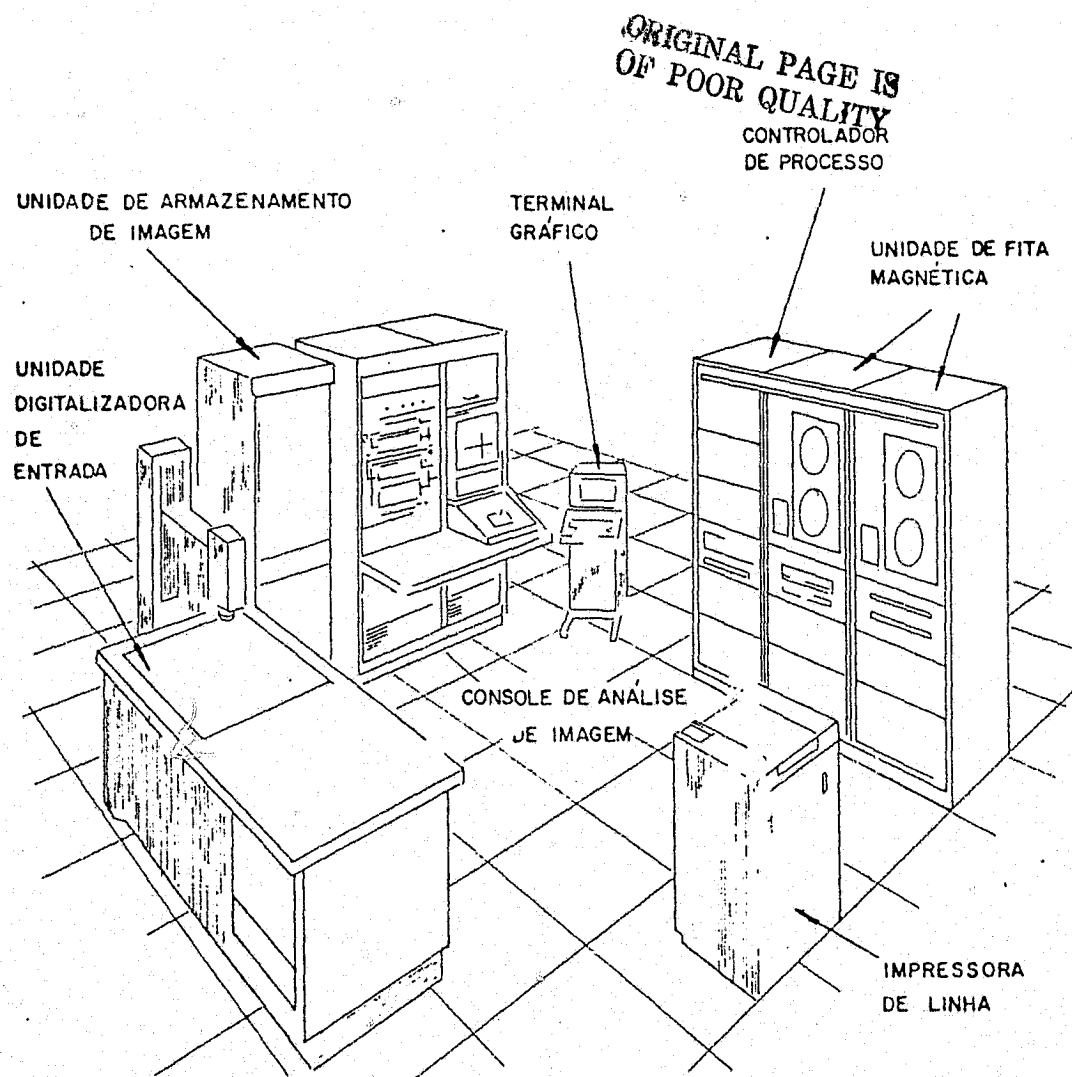


Fig. II.3 - Esquema do Analisador Interativo de Imagens Multi-espectrais Image-100 (G.E, 1975).

2.1.5 - MAPAS

Para a identificação das áreas urbanas nas imagens LANDSAT, foram utilizadas as folhas SF-22, Paranapanema e SF-23 Rio de Janeiro, da Carta Internacional do Mundo ao Milionésimo (IBGE, 1972). Foi também utilizado o Mapa da Divisão Administrativa do Estado de São Paulo, escala 1:1.000.000 (IGG, 1974) e Mapa Rodoviário do Estado de São Paulo, escala 1:1.000.000 (Polimaps Editora Ltda, 1976).

2.1.6 - PROGRAMAS DE COMPUTADOR

Para a obtenção dos modelos de estimativas populacionais, foi utilizado o Programa de Regressão Linear Múltipla. Este programa ajusta funções do tipo: $y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n$ e testa a validade da regressão através da análise de variância.

Foi também utilizado o Programa de Regressão Linear com Cálculos de Intervalos de Confiança das Estimativas.

2.1.7 - MOSAICO AEROFOTOGRAFICO DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS

Para a supervisão da classificação automática no IMAGE-100, foi utilizado o mosaico aerofotográfico na escala de 1:32.000, referente ao levantamento aerofotográfico de São José dos Campos, realizado pela aeronave do INPE em 12/02/73.

2.2 - MÉTODOS E TÉCNICAS

2.2.1 - ANÁLISE DAS FOTOGRAFIAS AÉREAS

Foram interpretadas 42 fotografias aéreas convencionais na escala 1:25.000, que cobriam as 35 áreas testes, da amostragem "A". O objetivo foi coletar medidas de área urbana, como uma forma de verificação de terrestre, para avaliação dos dados obtidos de imagens LANDSAT.

A delimitação das áreas urbanas, nas fotografias aéreas, seguiu a proposição de Anderson et al (1972) para classificação de área urbana e construída. Assim, os limites das áreas urbanas incluíram: uso do solo industrial, comercial, institucional, serviços, recreacional, e transportes. No traçado do limite periférico foram considerados, nos novos loteamentos, somente as áreas que já possuíam construções.

As fotografias aéreas na escala 1:25.000, permitiram a delimitação das áreas urbanas com relativa precisão, não havendo necessidade de escalas maiores, para obtenção desse tipo de dado. Não foram diferenciados tipos de uso do solo urbano, pois o interesse neste estudo foi a verificação da relação entre área urbana total e tamanho da população.

No cálculo das áreas urbanas, utilizou-se a técnica de contagem em uma grade milimetrada.

2.2.2 - INTERPRETAÇÃO VISUAL DAS IMAGENS LANDSAT

A interpretação visual foi realizada com utilização de imagens LANDSAT do canal 5 (0,6 a 0,7 μ m), auxiliada por composições coloridas infravermelho falsa cor.

As áreas urbanas foram localizadas sobre as imagens na escala 1:1.000.000 e identificadas com a utilização das folhas ao milionésimo Rio de Janeiro e Paranapanema (IBGE, 1972).

Para a interpretação visual das imagens foi seguido o método de fotointerpretação recomendado por Carter e Stone (1974), que considera como elementos de reconhecimento a tonalidade, textura, arranjo espacial das formas e outras feições de contexto.

No canal 5 do LANDSAT, as áreas urbanas apresentam-se com reflectância mais alta, com a consequente tonalidade mais clara, quando comparadas aos seus arredores. Nas imagens coloridas falsa cor, apresentam-se com tonalidade azulada, sendo distinguíveis especialmente em regiões de vegetação densa.

A textura se apresenta mais diversificada na área urbana do que nos arredores com florestas ou áreas de solo preparado para cultivo (Wellar, 1969), auxiliando na identificação.

Além da tonalidade e textura, as feições do contexto também foram importantes na identificação das áreas urbanas. A rede de transportes auxiliou na caracterização das cidades, pois os centros urbanos em sua maioria, estão localizados ao longo ou bem próximos das vias de transporte.

Os limites urbanos foram traçados sobre imagens na escala 1:500.000 e para determinação quantitativa da área urbana utilizou-se a técnica de contagem em uma malha de 0,4 x 0,4 mm.

2.2.3 - INTERPRETAÇÃO AUTOMÁTICA

A interpretação automática foi realizada através do Sistema IMAGE-100, utilizando-se fitas CCT do LANDSAT caracterizadas na Tabela II.2.

Um estudo preliminar dos programas e funções implementados no Sistema IMAGE-100, foi realizado e os seguintes programas, descritos por Hernandez Filho e Shimabukuro (1978), foram selecionados para este trabalho de pesquisa:

- "INPERTS": Leitura de fitas CCT do LANDSAT.
- "CORREÇÃO RADIOMÉTRICA": Correção radiométrica dos dados da fita, com o objetivo de eliminar ruídos.

- "VIDEO I/O": Foi usado para gravar as imagens do vídeo em fita magnética.
- "SCALED CURSOR": Foi utilizado para localizar determinada área na fita do LANDSAT, para posterior ampliação.
- "CURSOR": Foi utilizado para coleta de amostras de treinamento para classificação.
- Aquisição de assinaturas de "célula única" - "1 - CELL SIGACQ": Foi utilizado para classificação das áreas urbanas. Fornece os parâmetros das amostras de treinamento tais como: limite superior e inferior da resposta espectral, média, frequência e variância para cada canal.
- Modificação dos limites do histograma - "1 - DIM HGM DSPLY": Usado para refinar a classificação obtida pelo programa "1 - CELL SIGACQ", que permite diminuir ou aumentar o intervalo da resposta espectral em cada canal.
- Agrupamento "CLSTR SYNTH": Foi utilizado com a finalidade de recuperar a mesma classificação obtida através do programa "1 - CELL SIGACQ", melhorada pelo programa "1 - DIM HGM DSPLY".
- Área "THEME AREAS": Programa utilizado para a obtenção de áreas (quilômetros quadrados) ocupadas pelos temas classificados.

A interpretação automática foi desenvolvida em três fases: estudo do comportamento espectral das áreas urbanas, cálculo das áreas urbanas e monitoramento do crescimento urbano através da superposição de imagens em períodos distintos.

1) Estudo do Comportamento espectral de áreas urbanas

Nesta fase foram utilizadas fitas CCT da Região de Ribeirão Preto (Figura II.4), e o estudo foi realizado com duas abordagens distintas:

- estudo espacial;
- estudo temporal.

Para o estudo espacial foi utilizada a fita CCT de 10/05/75, e teve como objetivo principal verificar a existência de uma assinatura espectral comum, para as áreas urbanas dessa cena analisada. Como áreas de treinamento foram selecionadas as cidades de São Carlos, Araraquara, Bebedouro e Ribeirão Preto. As cidades foram identificadas na fita CCT através do vídeo do I-100. Posteriormente, essas áreas foram ampliadas para a escala aproximada de 1:60.000 e analisadas individualmente.

As assinaturas espectrais para as 4 cidades selecionadas, foram obtidas através dos programas: "aquisição de assinatura de célula única" e "modificação dos limites do histograma".

Com os parâmetros obtidos para as 4 cidades estudadas, padronizou-se uma assinatura espectral comum.

A cidade de Rio Claro, identificada na mesma cena, foi usada para testar a validade dessa assinatura padronizada.

O estudo temporal teve como objetivo verificar o comportamento espectral das áreas urbanas, em períodos sazonais distintos. Foi utilizada a cena da região de Ribeirão Preto, nas datas de 10/05/75 (período seco) e a de 07/02/77 (período chuvoso).

Nesta segunda fase do estudo foi escolhida a cidade de Ribeirão Preto, por não ter apresentado o problema de cobertura de nuvens na cena de 07/02/77.

2) Cálculo das Áreas Urbanas

O cálculo das áreas urbanas pelo método automático, foi realizado com a utilização do programa "THEME AREAS".

3) Monitoramento do crescimento urbano através da superposição de cenas em períodos distintos

Nesta fase, utilizou-se como área teste a cidade de São José dos Campos, escolhida por ter apresentado grande expansão urbana nestes últimos anos.

A superposição de duas imagens (08/09/72 e 25/06/76) no IMAGE-100 para verificação da taxa de crescimento urbano, seguiu os seguintes passos:

a) A fita CCT da passagem de 1972 foi carregada e os dados do canal 5 foram armazenados na memória do computador. As coordenadas foram determinadas e a área de interesse foi ampliada para a escala de 1:60.000.

b) As mesmas coordenadas encontradas para a passagem de 1972, foram usadas para 1976, como uma primeira aproximação da superposição.

c) A superposição das duas cenas armazenadas foi controlada no vídeo do sistema, de modo a corrigir deslocamentos em relação a alguns pontos de referência.

d) Para determinar a diferença nas coordenadas, usou-se o programa "SCALED CURSOR", que permite avaliar o número de "pixels" ("pixel": menor elemento de imagem) do deslocamento. Enquanto houve deslocamento de "pixels", voltou-se sempre ao passo c e a superposição foi refeita.

e) Armazenaram-se então os dados do canal 5 para a passagem de 1976, com as novas coordenadas.

Deve-se salientar que o algoritmo acima foi repetido várias vezes, até que as coordenadas fossem determinadas satisfatoriamente. Gravou-se então, a imagem de 1976 nas quatro bandas espectrais.

A etapa seguinte consistiu na classificação automática da área urbana de São José dos Campos para as duas passagens (1972 e 1976), sendo os resultados armazenados em temas distintos.

A classificação supervisionada foi auxiliada por um mosaico aerofotográfico da cidade de São José dos Campos, na escala aproximada de 1:32.000.

2.2.4 - PROBLEMAS NA DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS TESTES

O fenômeno da conurbação, existente na área metropolitana de São Paulo, impediu a individualização de todas as sedes de municípios que compõem a Região da Grande São Paulo. São foram incluídas como áreas testes, aquelas cidades que puderam ser perfeitamente individualizadas.

Um outro problema surgiu na delimitação das áreas urbanas muito pequenas (abaixo de 10.000 habitantes). Na escala 1:500.000, as cidades incluídas nessa classe, podem ter suas áreas superestimadas, devido à resolução do sistema.

A forma constitui um fator importante no cálculo das áreas urbanas. Formas aproximadamente quadradas ou circulares permitem maior precisão, do que aquelas do tipo alongado ou estelar. Se um "pixel" cair parcialmente na borda irregular de um limite urbano, dependendo de condições do contraste com os arredores, poderá ser registrado como pertencente à área urbana. Assim uma extensão de 56 x 79 m, que representa o registro de um "pixel" no terreno, não sendo constituída totalmente de área urbana, acarretará erros na medida. Quanto maior o perímetro do alvo a ser medido, permanecendo constante a área, maior será a porcentagem do erro associado à medida obtida. Com a utilização de dados de imagens orbitais de maior resolução tal problema será minimizado.

As áreas urbanas localizadas em regiões de relevo movimentado, apresentaram problemas na delimitação, devido ao sombreamento e projeção da área acidentada sobre o plano horizontal da imagem. Se o

sítio urbano acompanha o fundo dos vales ou se apresenta em acrópole, o tamanho da área urbana registrado pelo sensor é menor do que o real.

A franja rural-urbana com ocupação agrícola, também causou dificuldades na delimitação das áreas urbanas. Como as imagens utilizadas foram do período seco (maio e junho), este tipo de ocupação do solo, apresenta resposta espectral semelhante a da área urbana (Ellefsen et al 1974). A tendência é haver um aumento nos valores calculados para as medidas obtidas em tais condições.

Murai (1974), recomenda para solucionar este problema, que sejam utilizadas imagens de períodos chuvosos. Quando a vegetação está mais compacta, no período chuvoso ou imediatamente após, há maior contraste entre as áreas construídas e seus arredores. Existe, no entanto, o problema da cobertura de nuvens para tais épocas. Este fato impossibilitou a aquisição de imagens de períodos chuvosos na área em estudo. O lançamento de outros satélites e a consequente maior frequência na obtenção das imagens, tenderá a contornar esse problema.

As cidades litorâneas, de um modo geral, apresentaram o problema da reflectância da areia que, em alguns casos, se assemelha ao das áreas urbanas. Além deste problema, as cidades litorâneas apresentaram-se como exceções quanto à função urbana. O Guarujá por exemplo, cidade com função estritamente turística, possui grande extensão de área construída, cujos proprietários não são residentes. O caso da cidade de Santos também se constitui numa exceção, pois seu crescimento vertical é acentuado devido à falta de condições de seu sítio urbano, que sendo uma ilha, não possibilita a expansão urbana em superfície.

Os problemas levantados acima nortearam a tomada de decisão no presente trabalho, com relação à seleção das áreas testes. Os resultados numéricos da presente investigação baseiam-se em dados populacionais e de áreas urbanas concernentes apenas às localidades em que os citados problemas de delimitação, tiveram uma interferência desprezível na obtenção dos dados.

2.2.5 - OBTENÇÃO DE DADOS ESTATÍSTICOS DE POPULAÇÃO

Os dados de população das cidades estudadas foram obtidos a partir dos Censos Demográficos de 1950, 1960 e 1970 (IBGE, 1954; IBGE, 1962 e IBGE, 1973). Foi necessário projetar a população das áreas urbanas para os anos de 1973, 1975 e 1976, datas das imagens LANDSAT utilizadas na pesquisa. Essas projeções foram obtidas a partir de fórmulas matemáticas que consideram a população encontrada no último censo demográfico realizado (Teixeira et al, 1977).

Foi utilizado o modelo geométrico de crescimento que consiste fundamentalmente em extrapolar para o futuro as tendências de crescimento verificadas até então. Seu postulado básico é: a população continuará a crescer (ou a decrescer), a uma taxa equivalente à observada entre as datas de duas contagens de população. Sua expressão matemática é:

$$P(t) = P(0) (1 + i)^n$$

onde:

$P(0)$ = último dado existente sobre o número de habitantes;

$P(t)$ = população no ano t (ano da propagação);

i = taxa média anual de crescimento entre as duas contagens consideradas;

n = número de anos entre $P(t)$ e $P(0)$.

Neste trabalho foi definido:

$P(t)$ = População de 1970;

$P(0)$ = População de 1960;

n = 10 anos;

i = taxa de crescimento geométrico anual.

Como $P(0)$ e n são supostamente conhecidos, é necessário calcular a taxa i , para se chegar à população no ano t .

Para se chegar a i :

$$\frac{P(t)}{P(0)} = (1 + i)^n$$

$$\log \frac{P(t)}{P(0)} = n \log (1 + i)$$

$$\frac{\log \frac{P(t)}{P(0)}}{n} = \log (1 + i)$$

$$i = \text{antilog} \frac{\log \frac{P(t)}{P(0)}}{n} - 1$$

Utilizaram-se dados do censo de 1950, para avaliação do erro aproximado, que deveria estar associado aos dados básicos de população das áreas testes. Assim, foi calculada a taxa de crescimento de todas as áreas testes no período 1950-1960. Foi estimada a população urbana para 1970, e os valores resultantes, comparados aos dados oficiais do Censo Demográfico de 1970.

2.2.6 - CÁLCULO DO ÍNDICE DE LIGAÇÕES SUPERFICIAIS

Os dados de ligações superficiais foram coletados a partir de imagens LANDSAT no canal 5 e no mapa rodoviário do Estado de São Paulo.

Reconhecidos os tipos de estradas, foi atribuído a cada um deles um peso, segundo proposição de Ogrosky (1975).

Assim, 5 tipos de estradas foram computados: auto-estrada, rodovia pavimentada, estrada de ferro, rodovia implantada, rodovia de terra, com os pesos 5, 4, 3, 2 e 1 respectivamente.

Essa fase do trabalho teve como objetivo testar se a inclusão da variável número de ligações superficiais, isto é, se a conectividade da rede urbana era fator determinante na estimativa das populações urbanas.

2.2.7 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Na análise estatística dos dados foram considerados 4 tipos de abordagens, usando como técnica básica o coeficiente de correlação de Pearson:

1) Relação existente entre os dados de áreas urbanas obtidos de fotografias aéreas na escala 1:25.000 e dados de áreas urbanas obtidos de imagens LANDSAT na escala 1:500.000;

2) Relação existente entre dados de população (P) e de áreas urbanas (A) obtidos de fotografias aéreas na escala 1:25.000;

3) Relação existente entre os dados de população (P) e de áreas urbanas (A) obtidos de imagens LANDSAT na escala 1:500.000;

4) Relação existente entre dados de população (P), área urbana (A) e índices de ligações superficiais (L).

Regressões lineares simples e múltiplas foram utilizadas para testar modelos de estimativas populacionais.

CAPÍTULO III

RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 - A ANÁLISE DAS INFORMAÇÕES FORNECIDAS POR FOTOGRAFIAS AÉREAS E IMAGENS LANDSAT

3.1.1 - MEDIDAS DE ÁREAS URBANAS

A análise comparativa das fotografias aéreas (1971-1973) com as imagens LANDSAT (1973) foi desenvolvida utilizando-se as 35 áreas testes constituintes da amostragem "A" (Fig.III.1), cujos dados básicos estão relacionados na Tabela III.1. Obteve-se um coeficiente de correlação de 0,96, indicando existir uma alta correlação entre os valores de área urbana obtidos a partir dos dois tipos de imagens. Percentualmente as maiores diferenças encontradas entre as duas sequências de dados, estão associadas às cidades menores. Não houve entretanto, diferenças absolutas importantes entre as áreas urbanas registradas em fotografias aéreas e imagens LANDSAT, para estas mesmas cidades pequenas.

A Figura III.2 ilustra, graficamente, as diferenças absolutas entre os dois tipos de medidas das 35 áreas urbanas analisadas. De modo geral, as medidas obtidas de imagens LANDSAT, superestimam as áreas urbanas. No entanto, as cidades de Santa Bárbara d'Oeste, Jaú, Bragança Paulista e Ribeirão Preto, não seguem a tendência geral, apresentando valores mais baixos de áreas urbanas, quando medidas nas imagens LANDSAT.

No caso de Santa Bárbara d'Oeste, Jaú e Ribeirão Preto, provavelmente este resultado estaria associado ao tipo de solo e vegetação dominantes nas imediações de suas áreas urbanas: latossolo roxo e cana de açúcar. Valério Filho et al (1976), ao analisarem o comportamento espectral dos solos da área em estudo, verificaram que o latossolo roxo apresenta reflectância mais baixa quando comparado com outros solos da região. Por outro lado, a cana-de-açúcar também apresenta baixa reflectância o que foi particularmente observado na imagem do canal 5. Assim,



PAGE IS
POOR QUALITY

Fig. III.1 - Mapa do Estado de São Paulo com a localização das 35 Áreas Testes componentes da Amostragem "A".

TABELA III.1

VALORES DE ÁREAS URBANAS OBTIDAS DE FOTOGRAFIAS AÉREAS
(1971-1973) E DE IMAGENS LANDSAT (1973)

Nº	CIDADES	ÁREA URBANA FOTOG. AÉREA	ÁREA URBANA LANDSAT	DIFERENÇA (Km ²)	DIFERENÇA (%)
1	Itirapina	0,76	1,72	0,96	126,32
2	Avanhandava	0,81	1,48	0,67	82,72
3	Vinhedo	1,32	2,16	0,84	63,64
4	Buritama	1,53	1,60	0,17	11,11
5	Itatiba	1,90	4,16	2,26	118,95
6	Sumaré	2,30	3,24	0,94	40,87
7	Mirandópolis	2,45	2,52	0,07	2,86
8	Santo Anastácio	2,70	3,40	0,70	25,93
9	São Roque	2,85	2,90	0,15	5,26
10	Salto	2,90	3,00	0,10	3,45
11	Itapira	3,15	3,48	0,33	10,48
12	Pereira Barreto	3,37	5,00	1,63	48,37
13	Mococa	3,64	4,00	0,36	9,89
14	Santa Bárbara d'Oeste	3,92	3,44	- 0,44	- 11,22
15	Valinhos	3,92	4,60	0,68	17,35
16	Mogi-Guaçu	4,04	6,44	2,40	59,41
17	Leme	5,21	5,92	0,71	13,63
18	Bragança Paulista	5,26	4,72	- 0,54	- 10,27
19	Araras	5,29	7,96	2,67	50,47
20	Birigüí	5,37	7,64	2,27	42,27
21	Penápolis	5,65	7,00	1,35	23,89
22	Pirassununga	5,67	5,92	0,25	4,41
23	Jaú	5,98	4,56	- 1,42	- 23,75
24	Itu	6,40	8,20	1,80	28,13
25	Andradina	7,06	9,92	2,86	40,51
26	Botucatu	9,50	12,60	3,10	32,63
27	Rio Claro	13,81	14,80	0,99	7,17
28	Presidente Prudente	14,80	14,84	0,04	0,27
29	Piracicaba	15,09	17,40	2,31	15,31
30	Mogi das Cruzes	15,94	17,03	1,09	6,84
31	São Carlos	17,21	17,80	0,59	3,43
32	Araçatuba	18,56	18,76	0,20	1,08
33	Araraquara	19,45	19,88	0,43	2,21
34	Sorocaba	22,40	28,76	6,36	28,39
35	Ribeirão Preto	26,45	21,24	- 5,21	- 19,70

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

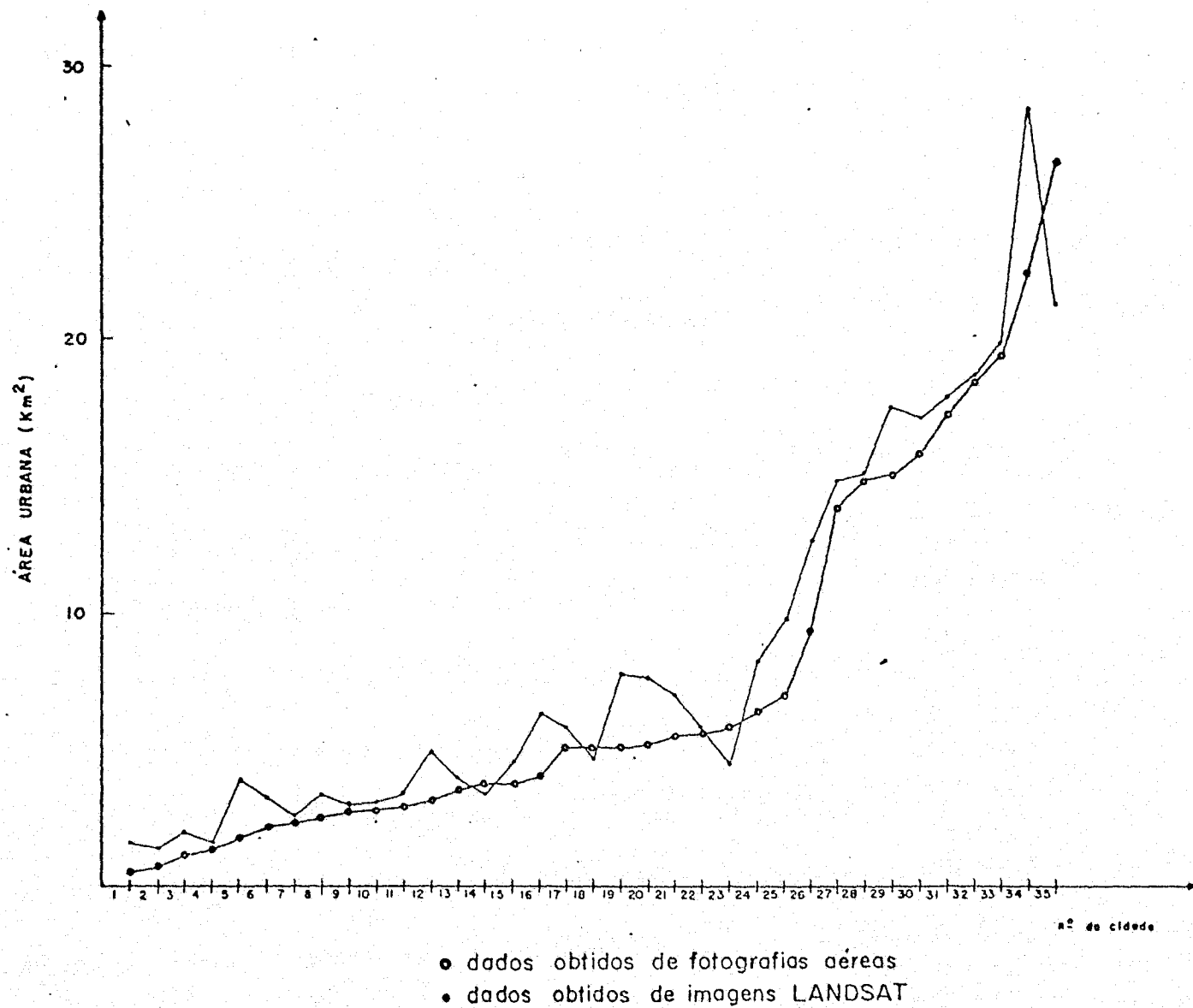


Fig. III.2 - Comparação de medidas de áreas urbanas obtidas de fotografias aéreas e de imagens LANDSAT.

a baixa reflectância resultante da associação solo/vegetação proporcionou um bom contraste com a alta reflectância característica das áreas urbanizadas, facilitando sua delimitação.

A faixa de transição rural/urbana nos casos analisados tornou-se bastante restrita, o que pode ter acarretado a subestimativa da área urbana nas imagens LANDSAT.

Para Bragança Paulista, supõe-se que a influência seja do relevo acidentado da região e da vegetação natural arbórea que existe na periferia de sua área urbana, o que daria efeito semelhante ao registrado nas cidades de Santa Bárbara d'Oeste, Jaú e Ribeirão Preto.

3.1.2 - RELAÇÕES ENTRE POPULAÇÃO E ÁREA URBANA

Na Tabela III.2, são apresentados dados de: população urbana estimados para 1973, medidas de áreas urbanas obtidas de fotografias (1971-1973) e medidas de áreas urbanas obtidas de imagens LANDSAT (1973). Do estudo comparativo da relação funcional entre população e área urbana resultaram coeficientes de correlação 0,95 e 0,92, respectivamente para população e área urbana medida em fotografias aéreas, e população e área urbana medida em imagens LANDSAT. Nota-se que há maior relacionamento entre população e área urbana quando se utilizam fotografias aéreas, embora essa diferença seja bastante reduzida.

A diferença insignificante entre os dois coeficientes de correlação (0,03), permite que se pondere sobre as vantagens de utilização de dados do sistema LANDSAT, tais como custo, repetitividade, extensão de área coberta pelas cenas e possibilidades de processamento automático.

As Figuras III.3 e III.4 representam, graficamente, as relações funcionais entre população e área urbana, medida em fotografias aéreas e em imagens LANDSAT, como também a equação de ajuste para os dois casos analisados.

TABELA III.2

DADOS DE POPULAÇÃO E DE ÁREA URBANA

PARA 35 ÁREAS TESTES

Nº	CIDADE	POPULAÇÃO ESTIMADA	ÁREA URBANA (Km ²)	
			FOT. AÉREA	LANDSAT
1	Itirapina	4.556	0,76	1,72
2	Avanhandava	3.997	0,81	1,48
3	Vinhedo	7.944	1,32	2,16
4	Buritama	6.550	1,53	1,60
5	Itatiba	22.474	1,90	4,16
6	Sumaré	13.751	2,30	3,24
7	Mirandópolis	11.677	2,45	2,52
8	Santo Anastácio	14.144	2,70	3,40
9	São Roque	17.178	2,85	2,90
10	Salto	20.264	2,90	3,00
11	Itapira	26.959	3,15	3,48
12	Pereira Barreto	20.364	3,77	5,00
13	Mococa	22.347	3,64	4,00
14	Santa Bárbara d'Oeste	24.127	3,92	3,44
15	Valinhos	22.088	3,92	4,60
16	Mogi Guaçu	34.228	4,04	6,44
17	Leme	26.132	5,21	5,92
18	Bragança Paulista	40.472	5,26	4,72
19	Araras	44.448	5,29	7,96
20	Birigui	28.698	5,37	7,64
21	Penápolis	26.661	5,65	7,00
22	Pirassununga	27.046	5,67	5,92
23	Jaú	42.678	5,98	4,56
24	Itu	48.959	6,40	8,20
25	Andradina	48.675	7,06	9,92
26	Botucatu	55.835	9,50	12,60
27	Rio Claro	72.819	13,81	14,80
28	Presidente Prudente	98.696	14,80	14,84
29	Piracicaba	134.217	15,09	17,40
30	Mogi das Cruzes	95.183	15,94	17,03
31	São Carlos	79.565	17,21	17,80
32	Araçatuba	91.890	18,56	18,76
33	Araraquara	87.045	19,45	19,88
34	Sorocaba	176.742	22,40	28,76
35	Ribeirão Preto	205.597	26,45	21,24

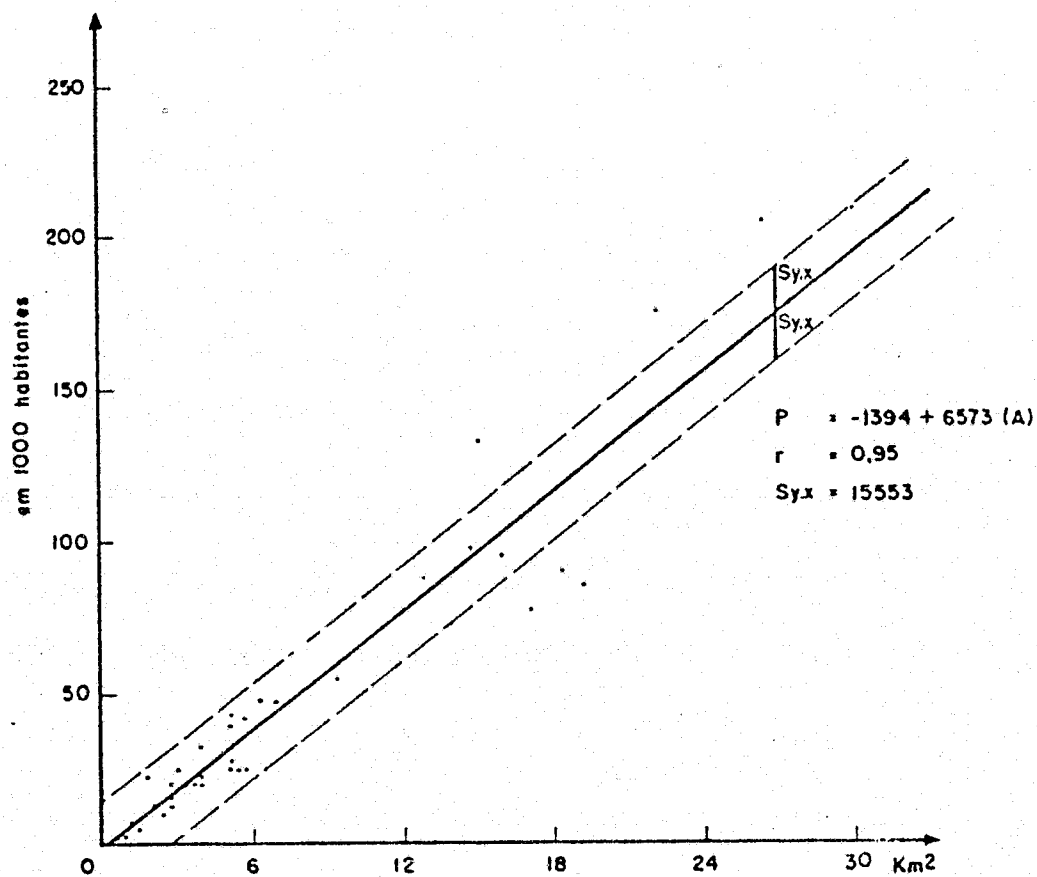


Fig. III.3 - Relação funcional entre população e área urbana medida em fotografias aéreas.

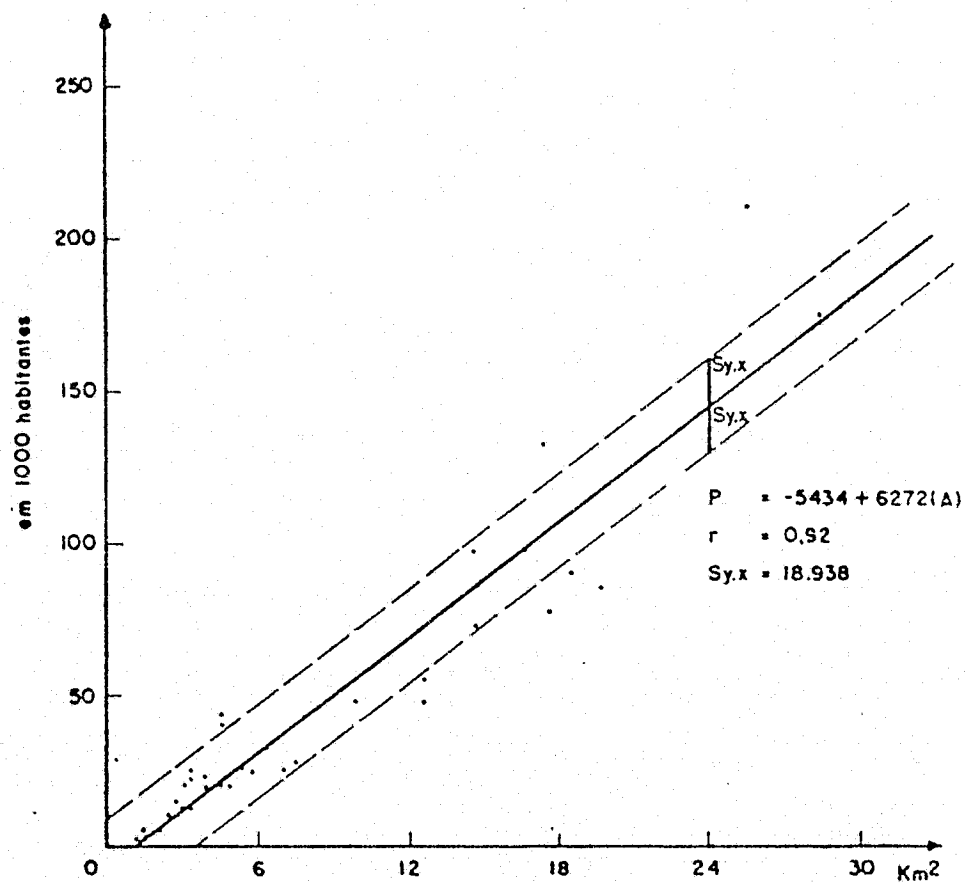


Fig. III.4 - Relação funcional entre população e área urbana medida em imagens LANDSAT.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

3.2 - ESTIMATIVAS POPULACIONAIS BASEADAS EM IMAGENS LANDSAT

3.2.1 - EXPANSÃO DA AMOSTRA

O estudo de modelos de estimativas populacionais, com imagens LANDSAT (1975-1976), foi desenvolvido utilizando-se 70 áreas testes constituintes da Amostragem "B".

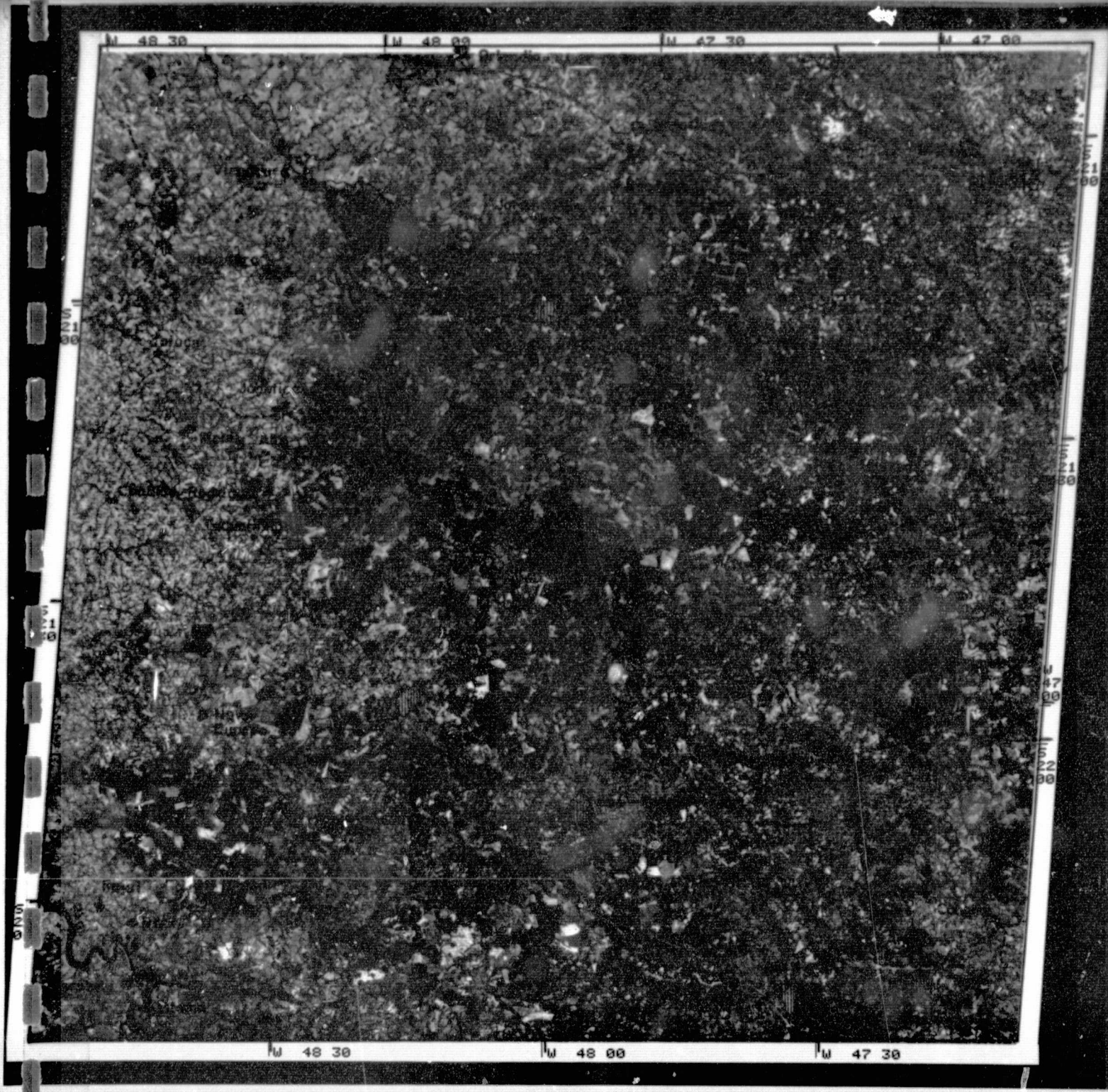
As Figuras III.5, III.6 e III.7 apresentam as áreas urbanas identificadas nas 3 imagens LANDSAT, correspondentes às regiões centro leste e sudeste do Estado de São Paulo.

São foram utilizadas como áreas testes, aquelas cidades que, pelo contraste com os arredores, permitiram, através da interpretação visual, uma delimitação nítida na escala 1:500.000 utilizada nas medições das áreas urbanas. As 70 cidades, que serviram como áreas testes no estudo dos modelos de estimativas populacionais, estão localizadas no mapa do Estado de São Paulo (Fig. III.8), sendo que a numeração existente corresponde à sequência do Apêndice A.

3.2.2 - MODELOS DE ESTIMATIVAS POPULACIONAIS

O Apêndice A apresenta os dados de população, área urbana (obtida de imagens LANDSAT) e índice de ligações superficiais para as 70 áreas testes, calculados segundo metodologia descrita no Capítulo II.

Os dados foram submetidos à análise de regressão linear simples e múltipla. As análises de regressão foram aplicadas ao conjunto todo de dados e ainda a 3 classes distintas, estabelecidas pelo tamanho da população. Essas três classes corresponderam a cidades de até 30.000 habitantes (pequenas), de 30.000 a 100.000 habitantes (médias) e de mais de 100.000 habitantes (grandes). Os limites para as três classes foram baseadas em Siqueira (1976) e adaptados para o Estado de São Paulo. As 3 classes compreenderam 35 cidades pequenas, 25 cidades médias e 10 cidades grandes.



OMAI75 C S21-32/W047-49 N S21-32/W047-44 MSS 5 SOL EL33 A2049 190 14234 P L2 3 01 INPE LANDSAT-175130-121903-5

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

ESCALA — 1:1.000.000

Fig. III.5 - Delimitação das áreas urbanas
da Região de Ribeirão Preto

LEGENDA

-  CIDADES
-  ESTRADAS DETECTADAS
-  REPRESAS, RESERVATÓRIOS D'ÁGUA
-  RIOS
-  LIMITE INTERESTADUAL

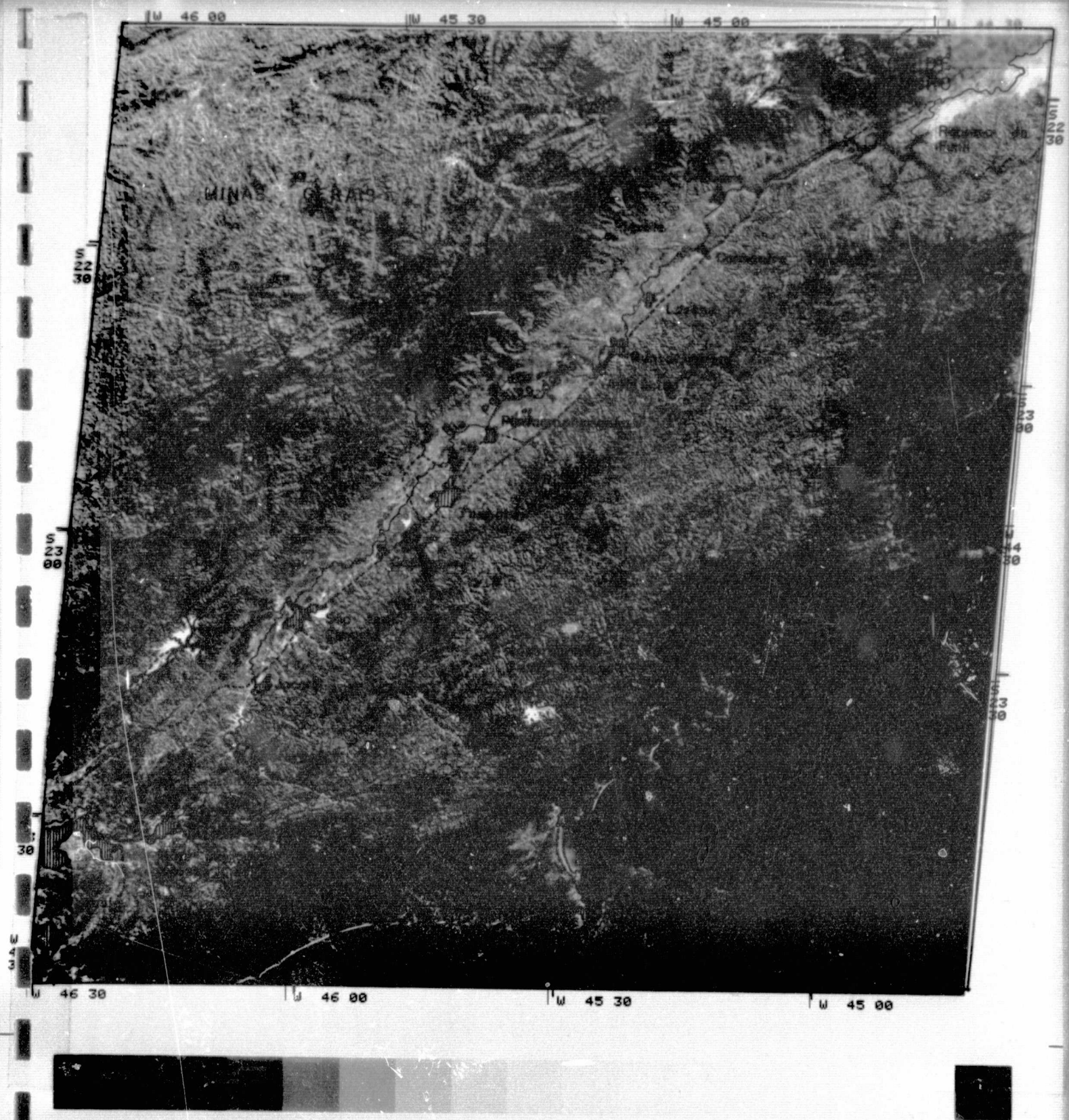


6JUN76 ORB 164 PT 28 C: S23-04/W046-46 MSS 5 SOL: EL22 A2050 B 190 LC 19993 INPE/LANDSAT 176178-114744-5
 N: S23-04/W046-41 R01 N =BRASIL= 040UT76 CENA 017

CALA -- 1:1.000.000

Fig. III.6 - Delimitação das áreas urbanas da Região de Campinas e da Grande São Paulo.

-  CIDADES
-  ESTRADAS DETECTADAS
-  REPRESAS, RESERVATÓRIOS D'ÁGUA
-  RIOS
-  LIMITE INTERSTAUAL



25JUN76 ORB 150 PT 28 C: S23-04/W045-23 MSS 5 SOL: EL22 A2049 B 190 LC 19979 INPE/LANDSAT 176177-114204-5
N: S23-02/W045-14 R02 N =BRASIL= 28MAR77 CENA 017

LEGENDA

-  CIDADES
-  ESTRADAS DETECTADAS
-  REPRESAS, RESERVATÓRIOS D'ÁGUA
-  RIOS
-  LIMITE INTERESTADUAL

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

ALA - 1:1.000.000

Fig. III.7 - Delimitação das áreas urbanas
do Vale do Paraíba

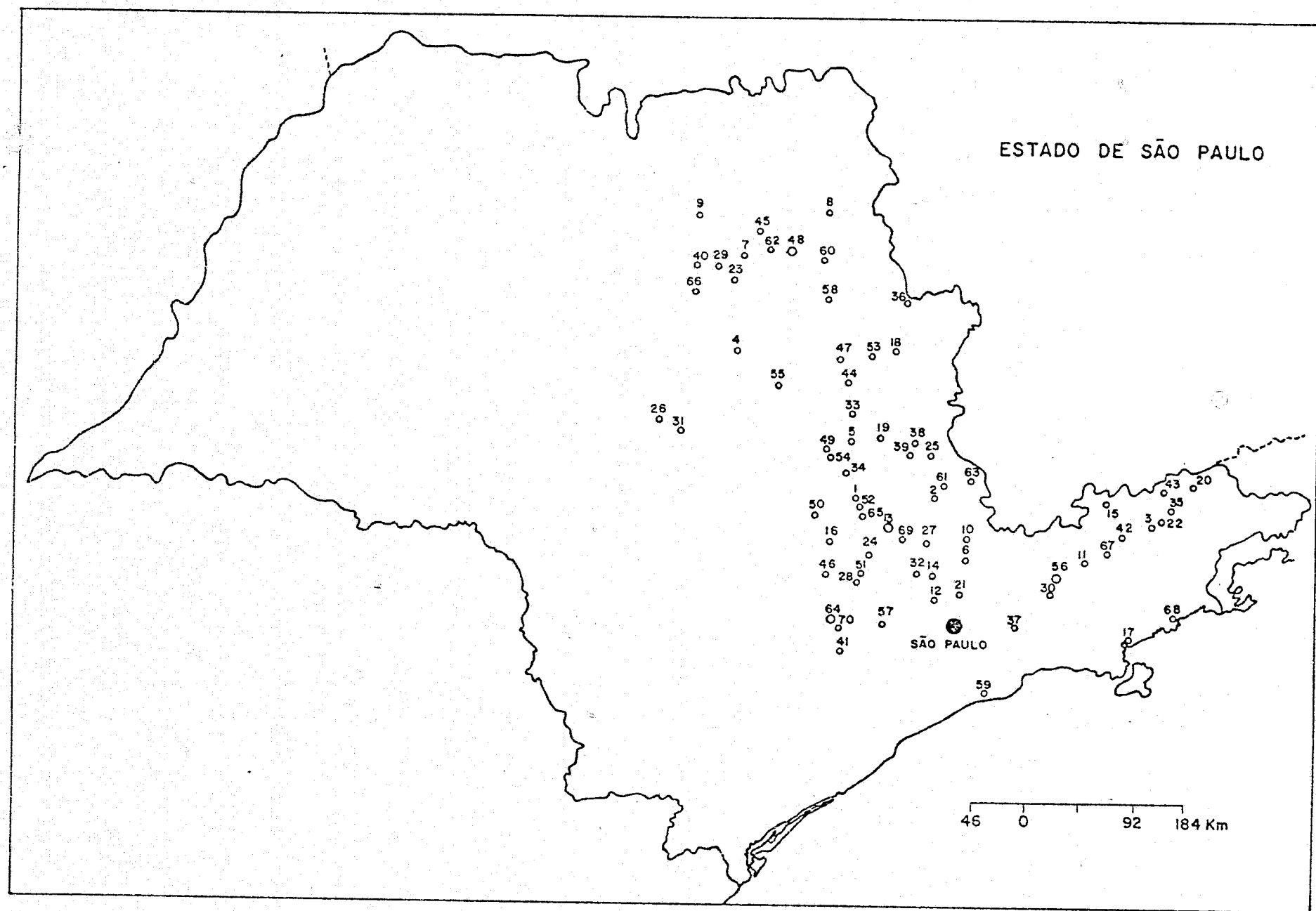


Fig. III.8 - Mapa do Estado de São Paulo com a localização das 70 áreas testes componentes da amostragem "B".

Na análise de regressão linear simples considerou-se a variável população urbana (P), como variável dependente da variável área urbana (A).

A Tabela III.3 apresenta os resultados da análise de regressão linear simples para as 3 classes de cidades e para a amostra total.

TABELA III.3

RESULTADOS DA ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR SIMPLES

CLASSES DE CIDADES	n	r	R ²	Y = a + bx
Cidades Pequenas (até 30.000 hab)	35	0,85	0,7289	P = 4061 + 4507 (A)
Cidades Médias (30.000 a 100.000 hab)	25	0,90	0,8147	P = 14046 + 4444 (A)
Cidades Grandes (+ de 100.000 hab)	10	0,92	0,8529	P = 16618 + 6337 (A)
Amostra Total	70	0,97	0,9418	P = -1186 + 6672 (A)

As Figuras III.9, III.10, III.11 e III.12 apresentam os diagramas de dispersão e ajustes das equações, respectivamente para as 3 classes de cidades e amostra total.

Analisando-se essas figuras e a Tabela III.3, observou-se que o melhor ajuste encontrado foi para a análise de regressão que englobou as 70 cidades, cujo coeficiente de correlação foi de 0,97. Supunha-se que a separação das cidades por classes de tamanho poderia melhorar o ajuste da equação, hipótese que não foi confirmada. Em consequência registra-se a tendência para haver maior erro nas estimativas feitas para as cidades pequenas.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

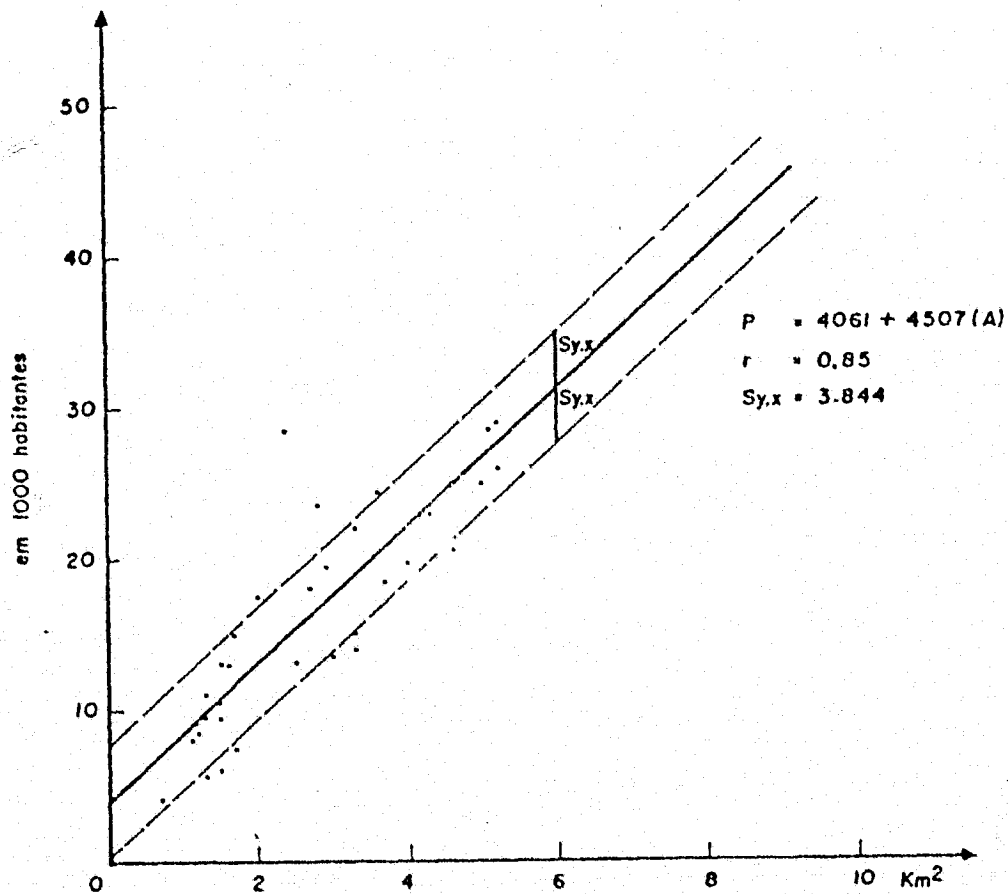


Fig. III.9 - Relação funcional entre população e área urbana para cidades pequenas.

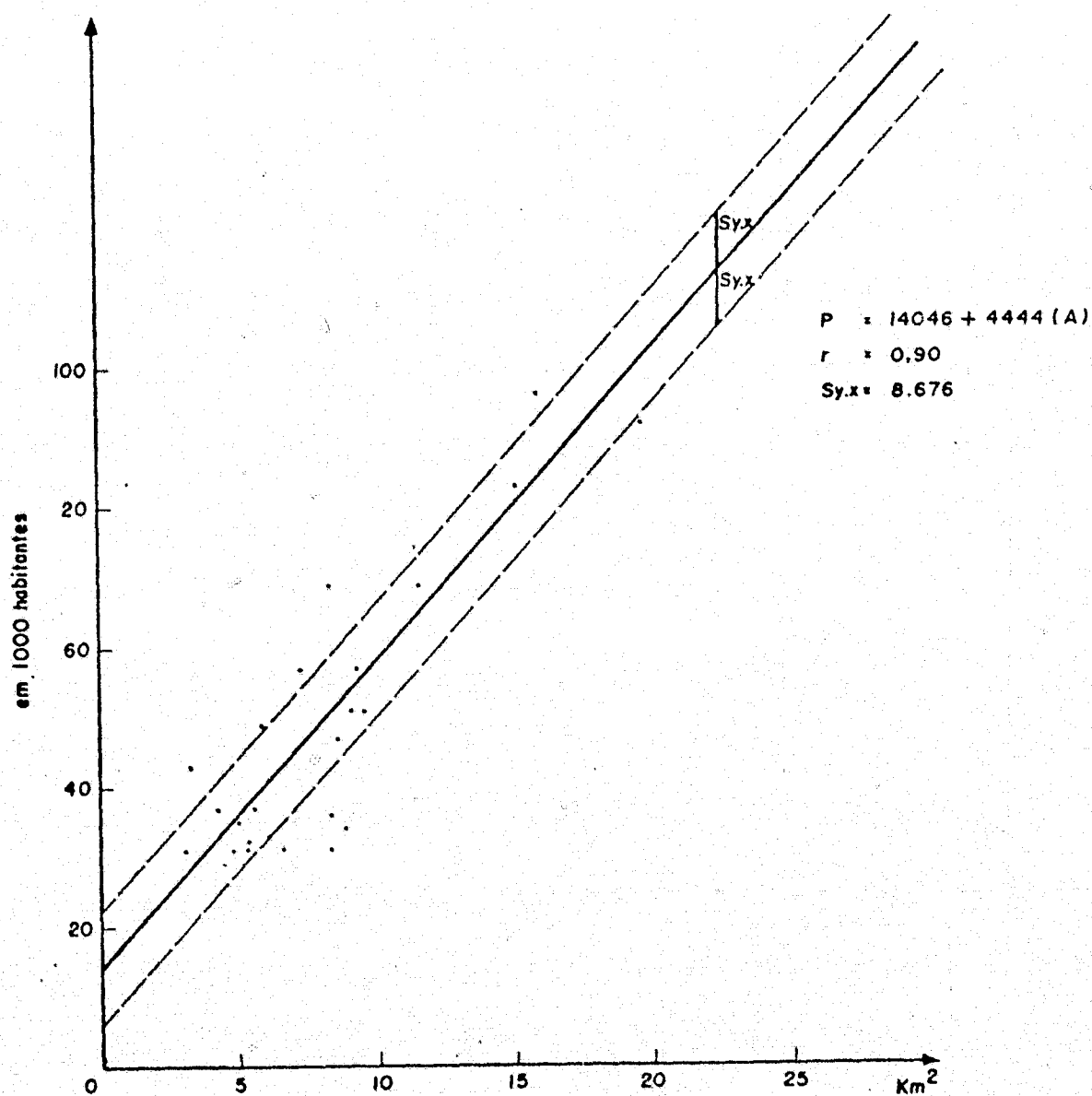


Fig. III.10 - Relação funcional entre população e área urbana para cidades médias.

ORIGINAL PAGE 1^a
OF POOR QUALITY

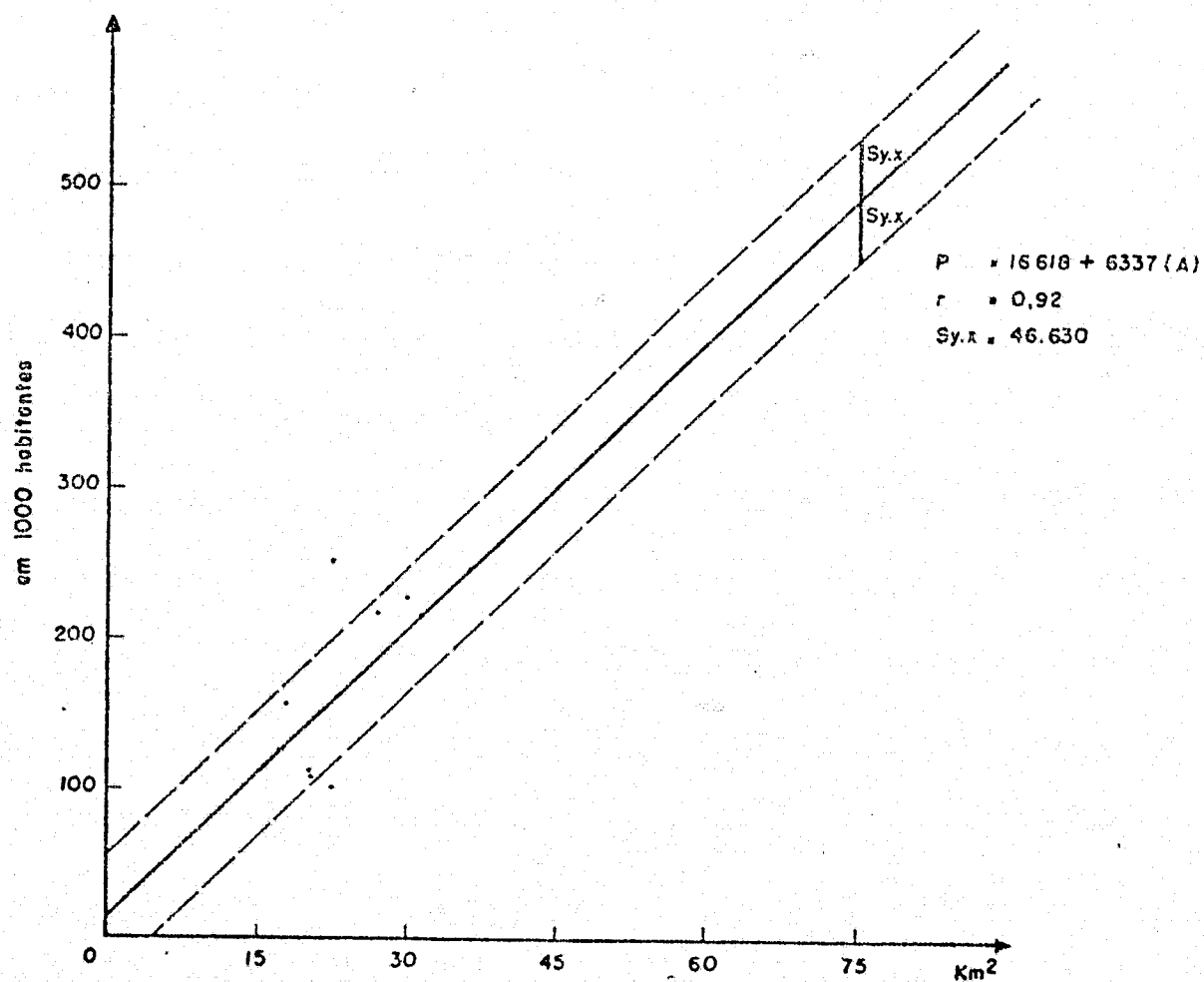


Fig. III.11 - Relação funcional entre população e área urbana para cidades grandes.

POPULAÇÃO EM 1000 HAB.

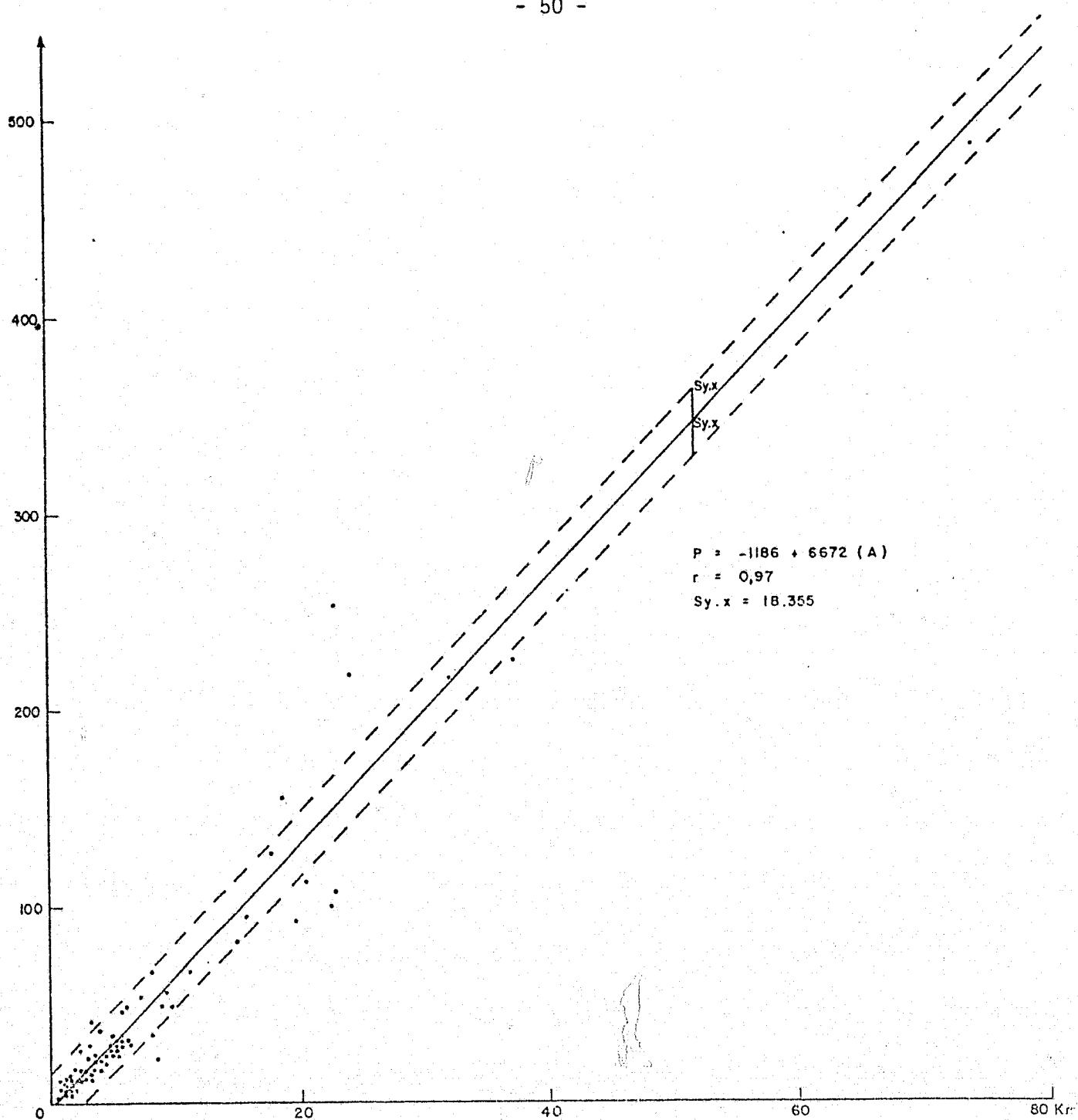


Fig. III.12 - Relação funcional entre população e área urbana para a amostra total.

Compararam-se os coeficientes de correlação das 3 classes de cidades, através do teste de homogeneidade do coeficiente de correlação (Steel; Torrie, 1960). Os resultados indicaram que os coeficientes de correlação para as 3 classes são homogêneos ao nível de 0,01. Neste caso, a separação das cidades por classes segundo o critério "tamanho da população", não melhorou a precisão das estimativas populacionais. Pode ser utilizada portanto, a equação encontrada para a amostra total (Fig. III.12) para estimativa da população das áreas urbanas.

Os resultados da análise de regressão linear múltipla são apresentados na Tabela III.4 para as 3 classes de cidades e para a amostra total. Participam desta regressão as variáveis população urbana (P), área urbana (A) e índice de ligações superficiais (L).

TABELA III.4

RESULTADO DA ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA

CLASSES DE CIDADES	n	r	R^2	$Y = a + b_1x_1 + b_2x_2$
Cidades Pequenas (até 30.000 hab.)	35	0,85	0,7309	$P = 3224 + 4462(A) + 63(L)$
Cidades Médias (30.000 a 100.000 hab.)	25	0,91	0,8282	$P = 25481 + 4806(A) - 625(L)$
Cidades Grandes (+ de 100.000 hab.)	10	0,92	0,8555	$P = -10495 + 5962(A) + 1217(L)$
Amostra Total	70	0,97	0,9418	$P = -2231 + 6638(A) + 66(L)$

Comparando-se os resultados da Tabela III.3 e III.4 nota-se que não houve melhoria significativa na precisão das estimativas, pela adição da variável independente índice de ligações superficiais (L). Para a amostra total, o resultado do coeficiente de determinação (R^2) foi praticamente o mesmo nas análises de regressão simples e múltipla. Para

as 3 classes de cidades, houve acréscimo em R^2 , respectivamente, de 0,0020, 0,0135 e 0,0026, para as cidades pequenas, médias e grandes quando se utilizou a regressão linear múltipla. Ogrosky (1975), também obteve um acréscimo insignificante em R^2 , de 0,0068, quando adicionou a variável índice de ligações superficiais a uma regressão semelhante a da presente investigação.

Procedeu-se ainda ao estudo isolado das relações entre população urbana e índice de ligações superficiais. Os coeficientes de correlação obtidos foram de 0,20, 0,38, 0,70 e 0,71 respectivamente para as 3 classes de cidades e amostra total. Nota-se que há maior relacionamento entre população urbana e vias de ligações, para as cidades grandes e para a amostra total, embora de valores médios (R^2 de 0,49 e 0,50, respectivamente). No caso das cidades pequenas a correlação é muito baixa ($r = 0,20$), supondo-se mesmo, que esta variável tenha interferência mínima na explicação do tamanho da população destas cidades.

Através das análises comparativas realizadas, concluiu-se que a variável índice de ligações superficiais, acrescentou pouca precisão nos modelos de estimativas populacionais obtidos nesta pesquisa.

Na continuação da análise dos resultados considerou-se apenas o modelo mais simplificado, que foi obtido através da regressão linear simples para as 70 áreas testes (Figura III.12).

A Figura III.13, apresenta graficamente os intervalos de confiança obtidos a partir de dados básicos de população e área urbana. As linhas envolventes à reta de ajuste, definem uma região de 95% de confiança para o modelo de estimativas populacionais encontrado nesta pesquisa (Acton, 1959). Os dados de intervalo de confiança das estimativas populacionais para medidas de áreas urbanas de 0,70 Km^2 a 75,00 Km^2 , estão listados no Apêndice D.

Através do gráfico da Figura III.13, é possível, a partir de qualquer área urbana medida, estimar-se a população da mesma, com intervalo de confiança para mais ou para menos e probabilidade de 95% de acerto nas estimativas. Assim, por exemplo, se tivermos uma cidade com área urbana de 15 Km^2 aproximadamente, medidos na imagem, sua população será de 100.588 ± 11.474 habitantes.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

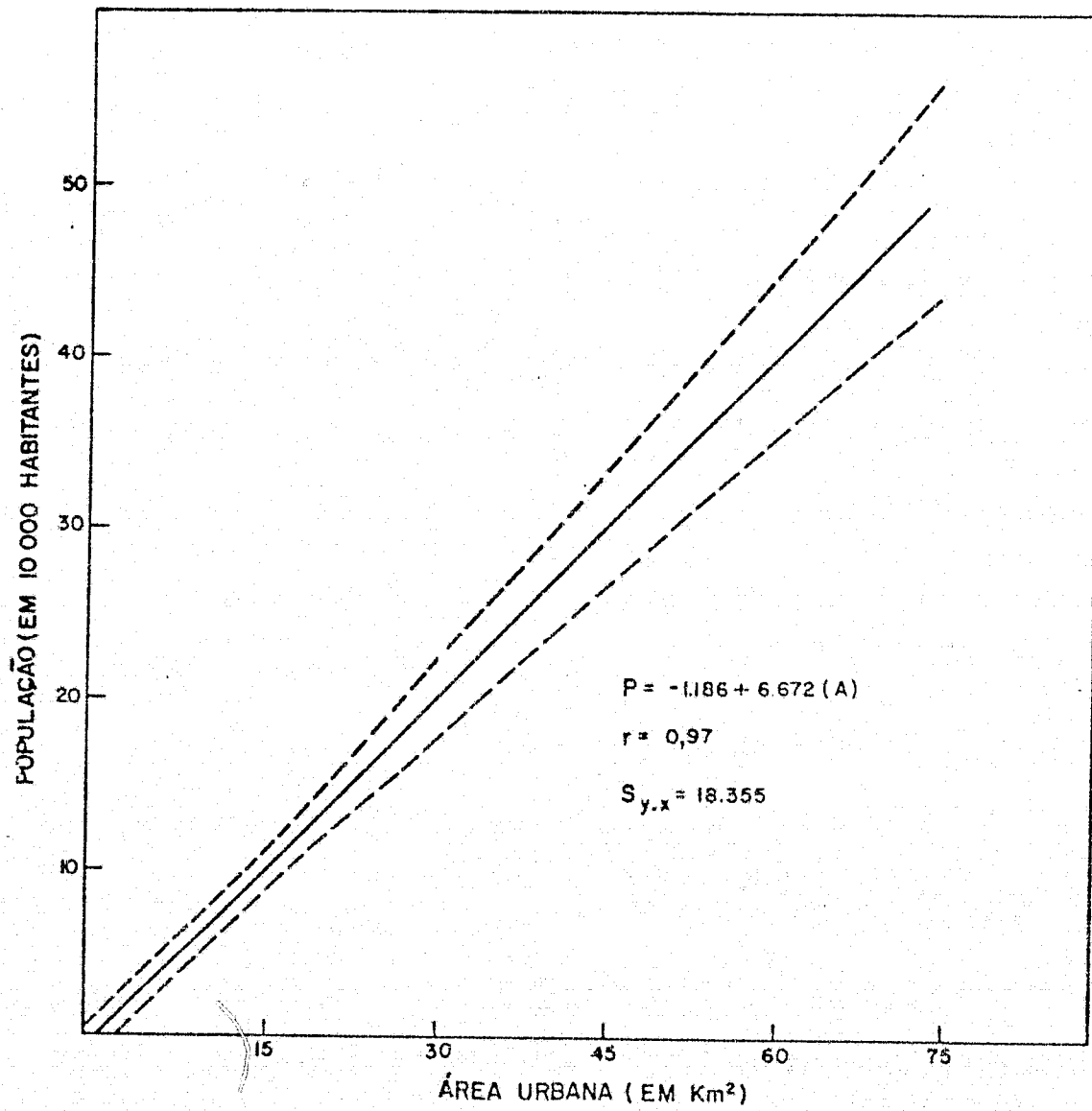


Fig. III.13 - Gráfico de Regressão com Intervalos de confiança.

3.2.3 - ANÁLISE DO ERRO NAS ESTIMATIVAS POPULACIONAIS

Antes de se proceder a uma análise dos erros nas estimativas populacionais obtidas das análises de regressão, é importante salientar que possivelmente existem erros associados aos dados básicos utilizados.

1) Dados básicos de população urbana

Os dados de população urbana foram estimados a partir do Censo Demográfico de 1970, com o emprego da fórmula de crescimento geométrico, já apresentada no Capítulo II.

Segundo Teixeira et al (1977), existem alguns inconvenientes na utilização desse processo em estimativas populacionais. Uma aglomeração urbana dificilmente apresenta um caráter linear de crescimento, que possa ser previsto segundo uma taxa constante e acumulativa. Não obstante, para prazos curtos e com a pressuposição de não existirem mudanças radicais no comportamento demográfico, essa fórmula poderá ser utilizada sem grandes problemas.

No caso específico deste trabalho, se as cidades tiverem tido uma variação na taxa de crescimento nos últimos anos (de 1970 a 1976), para mais ou para menos, essa variação não foi considerada. Essa imprecisão nos valores básicos utilizados pode ter afetado os resultados, sem contudo invalidá-los.

Para cálculo do erro aproximado nos dados básicos de população urbana, fez-se um estudo comparativo da aplicação da fórmula de crescimento geométrico em estimativas populacionais e dados oficiais do Censo Demográfico de 1970. Assim, valores estimados para 1970 nas 70 áreas testes foram comparados com os dados oficiais do Censo Demográfico de 1970.

O erro percentual médio encontrado foi de aproximadamente 20%, havendo uma subestimação de 8,7% para os dados oficiais do Censo Demográfico.

É possível que o erro, associado aos dados básicos de população urbana utilizados, não tenha assumido o percentual acima enunciado. Houve grande mudança no comportamento demográfico do Estado de São Paulo, a partir de 1960. O processo de industrialização se intensificou, contribuindo para maior concentração populacional nas áreas urbanas. A população urbana do Estado de São Paulo de 62,8% em 1960, passou para 80,3% em 1970.

Para centros urbanos com grande expansão demográfica e com áreas disponíveis para crescimento, o procedimento de estimativas populacionais através da fórmula de crescimento geométrico é válido (Teixeira et al, 1977).

O erro associado aos dados básicos de população urbana seria minimizado em pesquisas que utilizassem dados de anos censitários ou imediatamente após. Nesta pesquisa, em função das datas de obtenção das fotografias aéreas (1971-1973) e imagens LANDSAT (1973-75-76), não foi possível a utilização de dados de anos censitários.

2) Dados básicos de áreas urbanas

Os valores medidos de áreas urbanas, também tem erro associado, pelas dificuldades no traçado dos limites urbanos, devido a fatores como tamanho e forma da cidade, relevo local e tipo de ocupação do solo na periferia urbana.

No âmbito da presente investigação não foram consideradas isoladamente essas fontes de erro. Maior exatidão nas medidas de áreas urbanas, poderá ser conseguida com satélites de maior resolução e com aplicação de fatores corretivos específicos aos vários problemas citados.

3) Distribuição espacial dos resíduos

A análise da distribuição espacial dos resíduos positivos e negativos ao ajuste da equação $P = -1186 + 6672 (A)$, que apresenta a população urbana como função da área medida em imagens LANDSAT, é de grande complexidade. Numerosos fatores interferem na dinâmica populacional das áreas urbanas. Tais fatores não puderam ser considerados nesta pesquisa e correspondem à variação não explicada (6%).

As figuras III.14 e III.15 localizam as áreas testes que apresentaram respectivamente desvios negativos e positivos da regressão linear simples (Apêndice B).

No caso dos resíduos negativos, a população estimada em função das áreas urbanas medidas, foi maior do que a população "real". Observando-se a Figura III.14, verifica-se que existe um eixo ao longo das cidades de Monte Alto, Araraquara, São Carlos, Rio Claro, Santa Gertrudes, Limeira, Santa Bárbara d'Oeste, Sumaré, Indaiatuba e Itatiba com uma ramificação subsidiária que compreende Leme, Pirassununga e Porto Ferreira, em que cidades de ocupação antiga no Estado de São Paulo apresentam sua população superestimada. Aparentemente essas cidades não tiveram crescimento populacional que acompanhasse sua expansão em área. Na década 1960-1970, essas cidades apresentaram taxas de crescimento populacional moderado. Keller (1977), atesta esse comportamento para a Depressão Periférica Paulista, na qual estão localizadas muitas dessas cidades.

No caso dos resíduos positivos (Figura III.15), a população estimada em função das áreas urbanas medidas, foi inferior à população "real". Em torno da cidade de São Paulo, ocorre um cinturão de subestimativas coincidentes com o crescimento populacional acelerado verificado naquela área (Keller, 1977), que aparentemente não foi acompanhada pela expansão da área urbana.

Um padrão nucleado de atrações e repulsões populacionais, parece ter atuado ao longo do Vale do Paraíba. Subestimativas e superestimativas populacionais se intercalam naquele eixo urbano-industrial. É possível que para algumas cidades como Jacareí e Mogi das Cruzes, tenha havido defasamentos entre o crescimento populacional e a expansão da área urbana. É de se notar entretanto, que os valores percentuais dos resíduos são baixos para a maioria das principais cidades daquele eixo (São José dos Campos, 10%; Caçapava, 7%; Taubaté, 9%; Guaratinguetá, 8%).

A Tabela III.5, apresenta as cidades em 5 diferentes classes de resíduos negativos que variaram de 1% a 50%. As cidades de Campinas e São José dos Campos apresentaram taxas residuais bastante baixas. O crescimento em área construída nestas duas cidades, foi acompanhado de um intenso crescimento vertical que contribuiu para grande concentração populacional nas mesmas.

De modo geral as cidades pequenas (abaixo de 10.000 habitantes), apresentaram resíduos negativos acima de 15%, possivelmente por problemas na obtenção de medidas mais precisas de áreas urbanas nas imagens LANDSAT. Algumas delas como Atibaia (29%), Campos de Jordão (29%), Serra Negra (34%) e Ubatuba (37%), cuja função urbana principal é o turismo, apresentam-se com áreas construídas, cujos proprietários muitas vezes não são residentes.

É de grande interesse que sejam estabelecidos, vários tipos de modelos de inferência populacional, para diferentes tipos de cidades quanto á funções urbanas específicas. Isto corresponderia a um detalhamento desta investigação, no sentido de conferir-lhe mais adequação á diversidade dos ambientes urbanos.

A Tabela III.6, apresenta as cidades em 5 diferentes classes de resíduos positivos que variaram de 0% a 49%.

As cidades de tamanho médio (entre 30.000 e 100.000 habitantes), em regiões de relevo movimentado, como Bragança Paulista (18%), Jundiaí (17%), Cruzeiro (16%), Aparecida (33%) e Franco da Rocha (47%), tiveram altas taxas de crescimento demográfico na década 1960-1970 (acima de 4% ao ano). O crescimento demográfico alto dessas cidades não foi acompanhado pela expansão de suas áreas urbanas e/ou suas áreas tiveram a medição prejudicada pelo relevo.

As cidades de São Vicente (21%, para uma população de 225.463 habitantes) e Ribeirão Preto (38% para uma população de 253.122 habitantes), tiveram altas taxas residuais. Essas taxas foram mais altas do que o esperado para as cidades grandes. Provavelmente a principal causa para tais desvios tenha sido o intenso crescimento vertical acompanhado de uma desaceleração da expansão em área.

O modelo obtido nesta pesquisa (Figura III.12) poderá ser testado e melhorado com dados censitários de 1980 e imagens LANDSAT do mesmo período. Esta coincidência, conforme exposto anteriormente, é desejável por permitir um confronto das estimativas com a realidade populacional do Censo.

TABELA III.5

CLASSES DE CIDADES QUANTO À TAXA DE DESVIOS NEGATIVOS

CLASSES DE DESVIOS NEGATIVOS (em %)	CIDADES
0 a 10%	Americana Araras Caçapava Guaratinguetã Valinhos São José dos Campos Campinas
10 a 20%	Casa Branca Batatais Itatiba Sumaré Sertãozinho Indaiatuba Itu Leme Lorena Rio Claro
20 a 30%	Atibaia Campos do Jordão Monte Alto Mococa Pirassununga Mogi Guaçu Mogi das Cruzes
30 a 40%	Serra Negra Campo Limpo Santa Gertrudes Ubatuba Limeira Santa Bárbara d'Oeste São Carlos
40 a 50%	Piquete Porto Ferreira Conchal Pindamonhangaba Araraquara

TABELA III.6

CLASSES DE CIDADES QUANTO À TAXA DE DESVIOS POSITIVOS

CLASSES DE DESVIOS POSITIVOS (em %)	CIDADES
0 a 10%	Taquaritinga São Roque Barrinha Capivari Caraguatatuba Salto Bebedouro Itapira Jaboticabal Taubaté Sorocaba
10 a 20%	Itapiú Pontaí Serrana Socorro Bragança Paulista Cruzeiro Jundiaí
20 a 30%	Amparo Caieiras Piedade Rio das Pedras Santa Cruz das Palmeiras Porto Feliz Jau Jacareí Mogi Mirim São Vicente
30 a 40%	Guariba Porto Feliz Santa Cruz das Palmeiras Aparecida Ribeirão Preto
40 a 50%	Franco da Rocha Votorantim

3.3 - INTERPRETAÇÃO AUTOMÁTICA NO IMAGE-100

3.3.1 - COMPORTAMENTO ESPECTRAL DAS ÁREAS URBANAS

1) Estudo Espacial

A Tabela III.7 apresenta as cidades selecionadas para esta fase do estudo e suas coordenadas em relação à cena completa (Figura III.5), obtidas através do programa "SCALED CURSOR" no Image-100.

TABELA III.7

CIDADES ESTUDADAS E SUAS COORDENADAS

NA IMAGEM OBTIDAS PELO IMAGE-100

COORDENADAS CIDADES				
	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂
Bebedouro	83	324	397	550
Ribeirão Preto	1367	476	1681	702
Araraquara	1002	1408	1316	1634
São Carlos	1606	1675	1920	1901
Rio Claro	2324	2112	2638	2338

As Tabelas III.8, III.9, III.10 e III.11, apresentam os parâmetros obtidos com os programas "aquisição de assinaturas de célula única" e "modificação dos limites do histograma". Tais parâmetros foram calculados para cada uma das 4 áreas urbanas selecionadas para treinamento visando a obtenção de uma assinatura espectral comum das áreas urbanas de toda a cena.

TABELA III.8

CARACTERÍSTICAS ESPECTRAIS DA CIDADE DE BEBEDOURO (10/05/75)

CANAL	LIMITE DE NÍVEIS DE CINZA		AMPLITUDE	MÉDIA	VARIÂNCIA
	INFERIOR	SUPERIOR			
4	26	40	15	30,7	4,1
5	29	46	18	36,5	7,5
6	52	70	19	60,2	10,2
7	19	34	16	24,8	8,6

TABELA III.9

CARACTERÍSTICAS ESPECTRAIS DA CIDADE DE RIBEIRÃO PRETO (10/05/75)

CANAL	LIMITES DE NÍVEIS DE CINZA		AMPLITUDE	MÉDIA	VARIÂNCIA
	INFERIOR	SUPERIOR			
4	23	47	25	30,0	8,5
5	29	48	20	35,5	11,8
6	29	56	28	43,8	18,0
7	10	33	23	19,7	11,6

TABELA III.10

CARACTERÍSTICAS ESPECTRAIS DA CIDADE DE ARARAQUARA (10/05/75)

CANAL	LIMITES DE NÍVEIS DE CINZA		AMPLITUDE	MÉDIA	VARIÂNCIA
	INFERIOR	SUPERIOR			
4	24	44	21	29,5	5,2
5	28	48	21	34,4	9,5
6	32	56	25	45,0	8,6
7	11	31	21	21,3	6,5

TABELA III.11

CARACTERÍSTICAS ESPECTRAIS DA CIDADE DE SÃO CARLOS (10/05/75)

CANAL	LIMITES DE NÍVEIS DE CINZA		AMPLITUDE	MÉDIA	VARIÂNCIA
	INFERIOR	SUPERIOR			
4	26	51	26	31,9	11,0
5	27	54	28	34,0	19,3
6	33	58	26	44,1	16,6
7	11	32	22	20,6	9,0

Pela análise das tabelas apresentadas verifica-se certa semelhança nas características espectrais das quatro áreas urbanas, indicando a possibilidade de obtenção de uma assinatura espectral comum.

A cidade de Rio Claro, foi utilizada para testar a validade da assinatura espectral padronizada obtida das 4 áreas urbanas analisadas e os parâmetros obtidos por esse processo de classificação se encontram na Tabela III.12.

TABELA III.12

CARACTERÍSTICAS ESPECTRAIS DA CIDADE DE RIO CLARO
OBTIDAS ATRAVÉS DA ASSINATURA COMUM

CANAL	LIMITES DE NÍVEIS DE CINZA		AMPLITUDE	MÉDIA	VARIÂNCIA
	INFERIOR	SUPERIOR			
4	25	46	22	31,9	6,9
5	28	49	21	33,0	12,1
6	36	60	26	45,2	13,0
7	13	33	21	22,8	13,9

A Tabela III.13 apresenta os parâmetros obtidos com os programas "aquisição de assinaturas de célula única" e "modificação dos limites do histograma", na classificação da área urbana de Rio Claro.

A Figura III.16, apresenta a área urbana de Rio Claro classificada com a assinatura espectral apresentada na Tabela III.12, com um total de área urbana classificada de 14,46 Km².

A Figura III.17, apresenta a área urbana de Rio Claro classificada com a assinatura espectral apresentada na Tabela III.13, com um total de área urbana classificada de 14,09 km².

TABELA III.13

CARACTERÍSTICAS ESPECTRAIS DA CIDADE DE RIO CLARO

OBTIDAS ATRAVÉS DE AMOSTRAS DE TREINAMENTO

CANAL	LIMITES DE NÍVEIS DE CINZA		AMPLITUDE	MÉDIA	VARIÂNCIA
	INFERIOR	SUPERIOR			
4	25	48	24	32,5	5,6
5	30	51	18	36,5	7,5
6	31	62	32	44,0	12,8
7	11	33	23	20,7	8,7

Comparando-se as duas medidas de áreas urbanas obtidas, nota-se uma pequena diferença (0,37 Km) entre os resultados obtidos pelos dois processos de classificação automática.

A obtenção de uma assinatura espectral comum para áreas urbanas numa mesma cena, é muito importante, pois facilita a classificação de um grande número de cidades, muito rapidamente, sem necessidade da seleção de amostras de treinamento para cada área analisada.

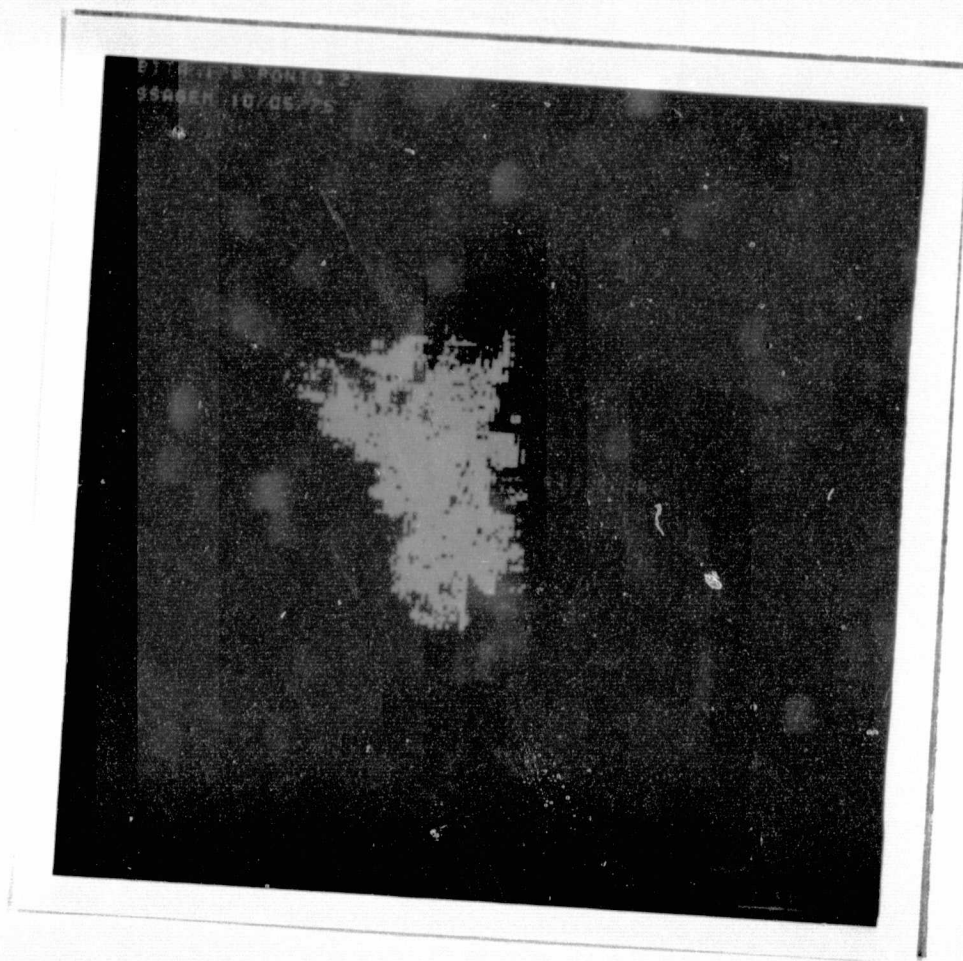


Fig. III.16 - Área urbana de Rio Claro classificada através da assinatura espectral comum.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

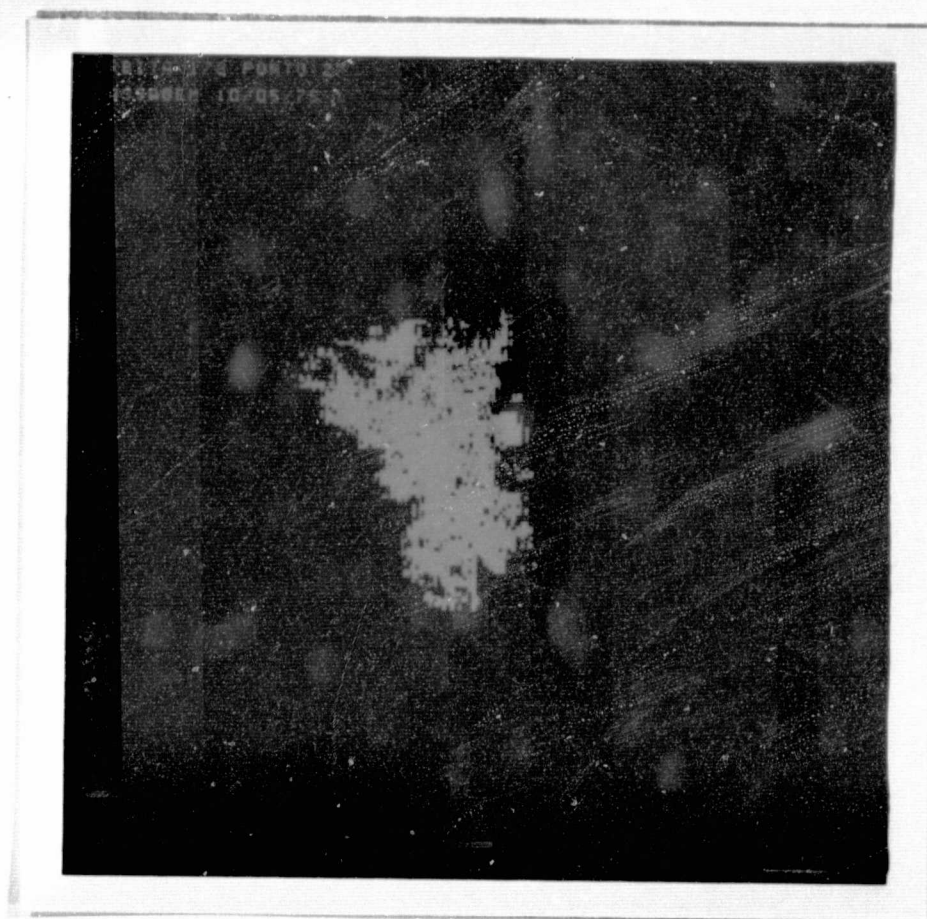


Fig. III.17 - Área urbana de Rio Claro classificada através de amostras de treinamento.

2) Estudo Temporal

A cidade de Ribeirão Preto nas datas de 10/05/75 (período sêco) e 07/02/77 (período chuvoso) é apresentada respectivamente nas Figuras III.18 e III.19, obtidas do vídeo do Image-100. Como já havia observado Murai (1974), a cena do período chuvoso apresenta os limites urbanos com maior nitidez, pois nessa época há maior contraste entre a vegetação dos arredores e a área urbana construída.

A verificação da variação temporal na assinatura espectral, pôde ser feita através dos parâmetros obtidos pelo programa "aquisição de assinaturas de célula única" e "modificação dos limites do histograma" para as duas épocas estudadas, apresentadas nas Tabelas III.9 e III.14.

TABELA III.14

CARACTERÍSTICAS ESPECTRAIS DA CIDADE DE RIBEIRÃO PRETO (07/02/77)

CANAL	LIMITES DE NÍVEIS DE CINZA		AMPLITUDE	MÉDIA	VARIÂNCIA
	INFERIOR	SUPERIOR			
4	13	38	26	20,6	8,8
5	23	44	22	27,8	9,1
6	20	58	34	36,0	26,0
7	10	49	40	26,2	25,4

Comparando-se as Tabelas III.9 e III.14, nota-se que nos canais 4 e 5, embora as amplitudes das respostas espectrais sejam semelhantes, a reflectância é mais alta para o período sêco. Nos canais 6 e 7, as amplitudes das respostas espectrais são maiores para o período chuvoso. Assim, não foi possível a obtenção de uma assinatura comum para áreas urbanas, considerando-se imagens de períodos sazonais distintos.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

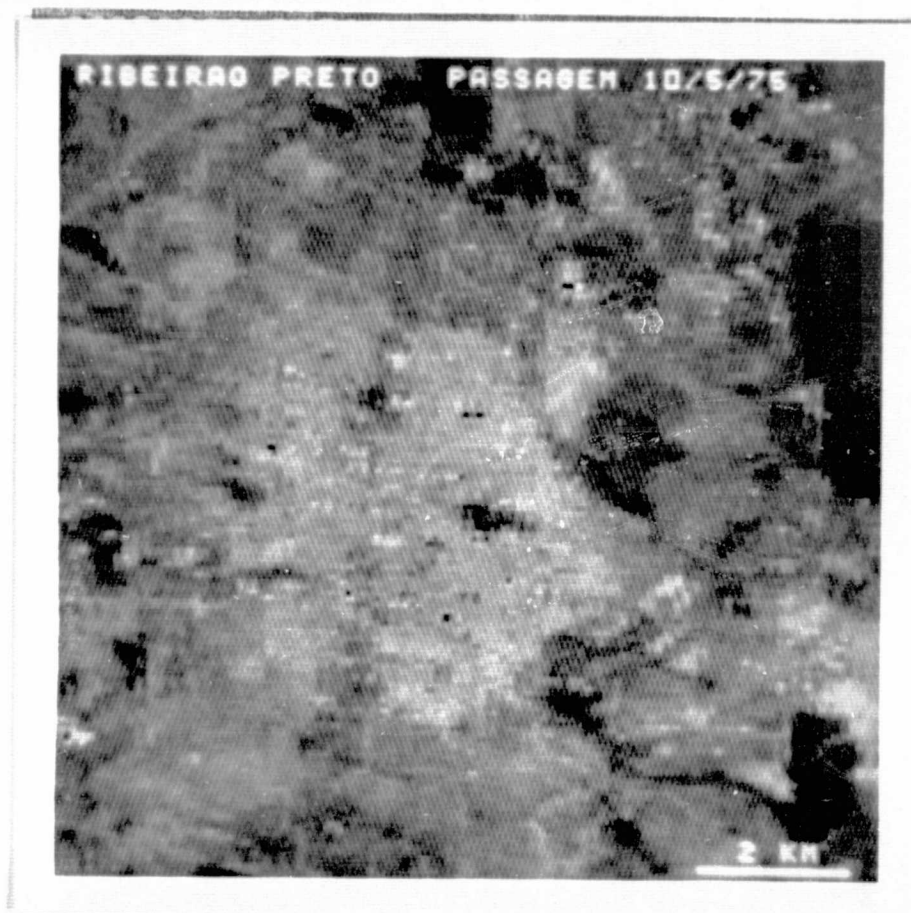


Fig. III.18 - Cidade de Ribeirão Preto em 10/05/75 obtida do vídeo do Image-100.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

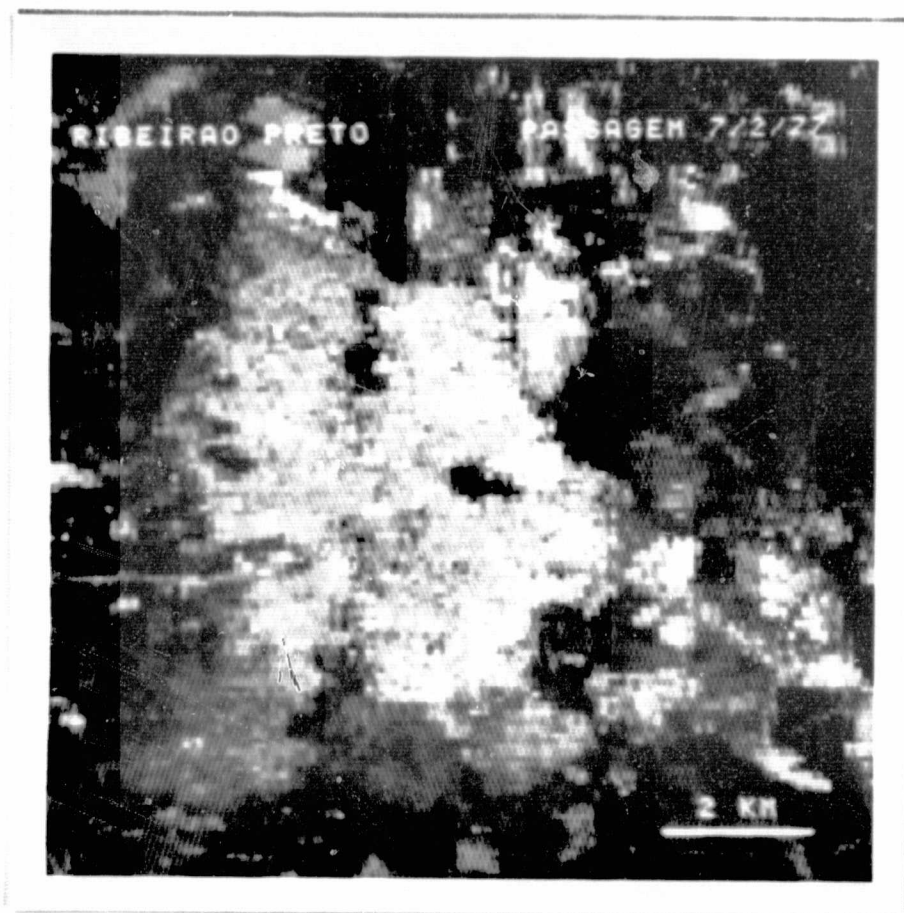


Fig. III.19 - Cidade de Ribeirão Preto em 07/02/77 obtida do vídeo do Image-100.

3) Cálculo de áreas urbanas

A Tabela III.15 apresenta as áreas urbanas calculadas através da interpretação visual e automática para cidades da região de Ribeirão Preto (Figura III.5).

TABELA III.15

MEDIDAS DE ÁREAS URBANAS ATRAVÉS DE INTERPRETAÇÃO VISUAL E AUTOMÁTICA

ÁREAS TESTES	ÁREA URBANA (Km ²)		DIFERENÇA	%
	INT.VISUAL	INT.AUTOMÁTICA		
Rio Claro	15,08	17,00	- 1,92	12,73
São Carlos	19,60	19,30	0,30	1,50
Araraquara	22,64	21,30	1,34	5,92
Ribeirão Preto	23,04	23,20	- 0,16	0,69
Bebedouro	5,72	5,10	0,62	0,11

Analisando-se os dados dessa Tabela através da distribuição de Student, verificou-se que não há diferença significativa ao nível de 0,01, nos resultados encontrados para os dois tipos de medidas. A diferença percentual média entre as duas medidas foi de aproximadamente 4%.

Embora não haja discrepâncias nos dois tipos de medidas, o cálculo de área urbana no Image-100, é dificultado pela complexidade da resposta espectral das áreas urbanizadas. O limite entre área urbana e rural é traçado mais facilmente através da interpretação visual em imagens no canal 5. Ellefsen et al (1974) observaram que essas dificuldades estão associadas às similaridades das respostas espectrais de muitas cenas urbanas com certas características rurais. Por exemplo, as áreas residenciais com diferentes combinações de fenômenos espectrais são semelhantes a algumas áreas de cultura que têm combinação de solo nu e

vegetação.

Um outro problema surge quando se faz o refinamento de histogramas para melhorar a precisão da classificação. As áreas classificadas se restringem então às áreas construídas. No entanto, no interior das cidades, existem outros componentes (praças, parques, áreas verdes), que devem ser incluídos, pois pertencem ao sistema urbano. Essas áreas foram adicionadas através do "Sintetizador de Temas".

No presente trabalho, entretanto, tratando-se da análise experimental de 70 cidades, por razões de tempo e custo, preferiu-se a interpretação visual.

Para estudos urbanos de casos isolados, a interpretação automática permite a ampliação das áreas urbanas possibilitando, em certa medida, estudos mais detalhados em relação aos tipos de uso do solo que compõem o sistema urbano (Niero, 1977).

3.3.2 - MONITORAMENTO DO CRESCIMENTO URBANO

Uma expansão do estudo de áreas urbanas com o Image-100 foi realizada para o monitoramento do crescimento da área urbana de São José dos Campos. O estudo foi realizado através da superposição de duas imagens (08/09/72 e 26/06/76), conforme a metodologia descrita no Capítulo II.

As Figuras III.20 e III.21, correspondem à cidade de São José dos Campos, respectivamente para 1972 e 1976, obtidas no vídeo do Image-100.

A assinatura espectral para a área urbana de São José dos Campos, nos dois períodos estudados é apresentada nos histogramas obtidos pelo programa "aquisição de assinaturas de célula única" (Figuras III.22 e III.23). Uma característica comum nos histogramas de áreas urbanas é apresentarem-se multimodais (Reining, 1975). Esse tipo de distri

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

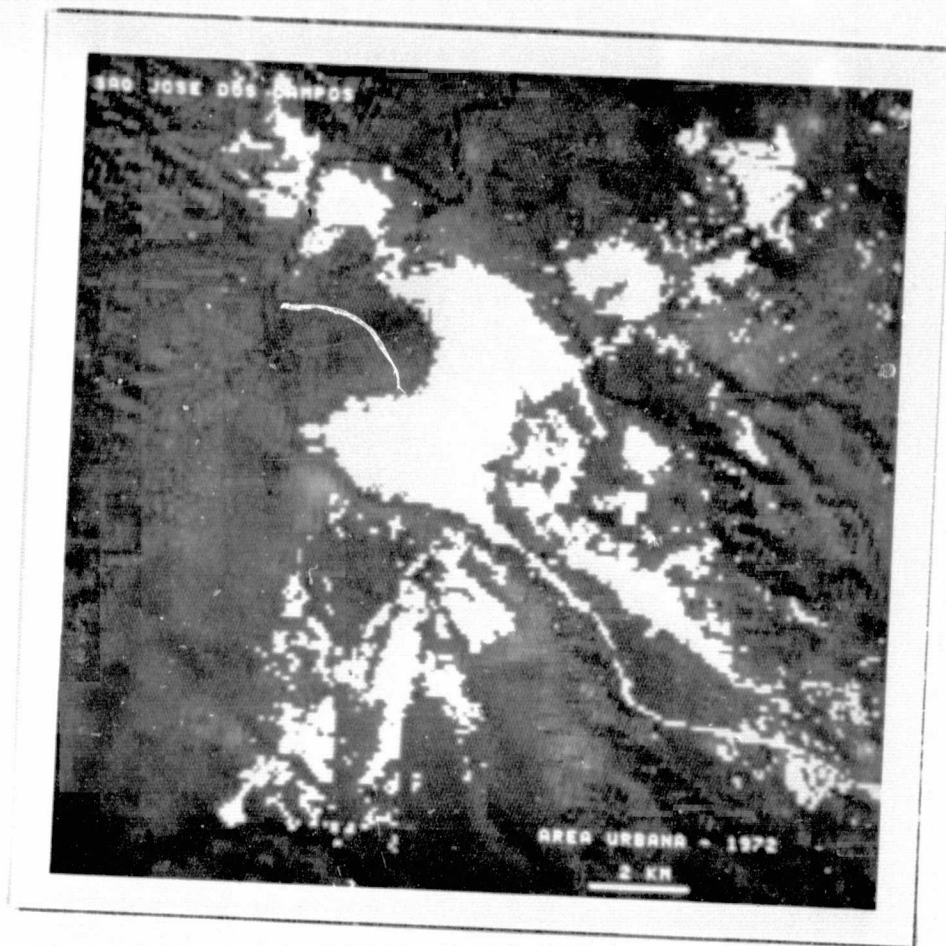


Fig. III.20 - Cidade de São José dos Campos em 08/09/72 obtida do vídeo do Image-100.

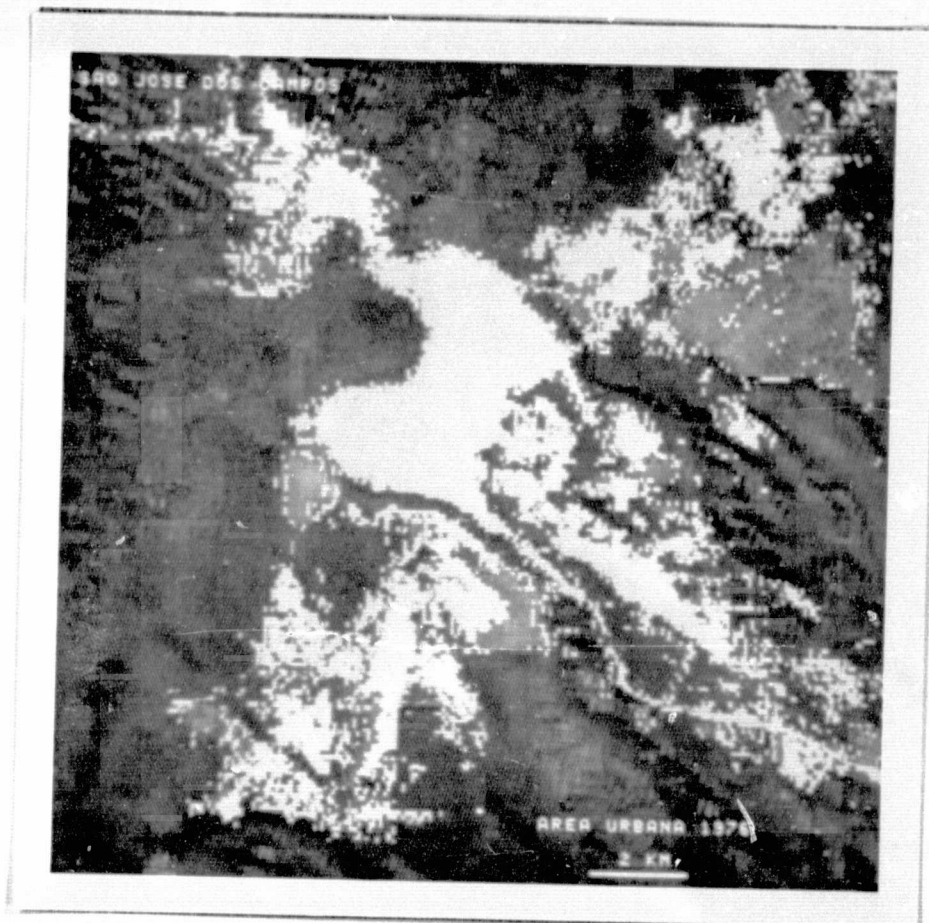
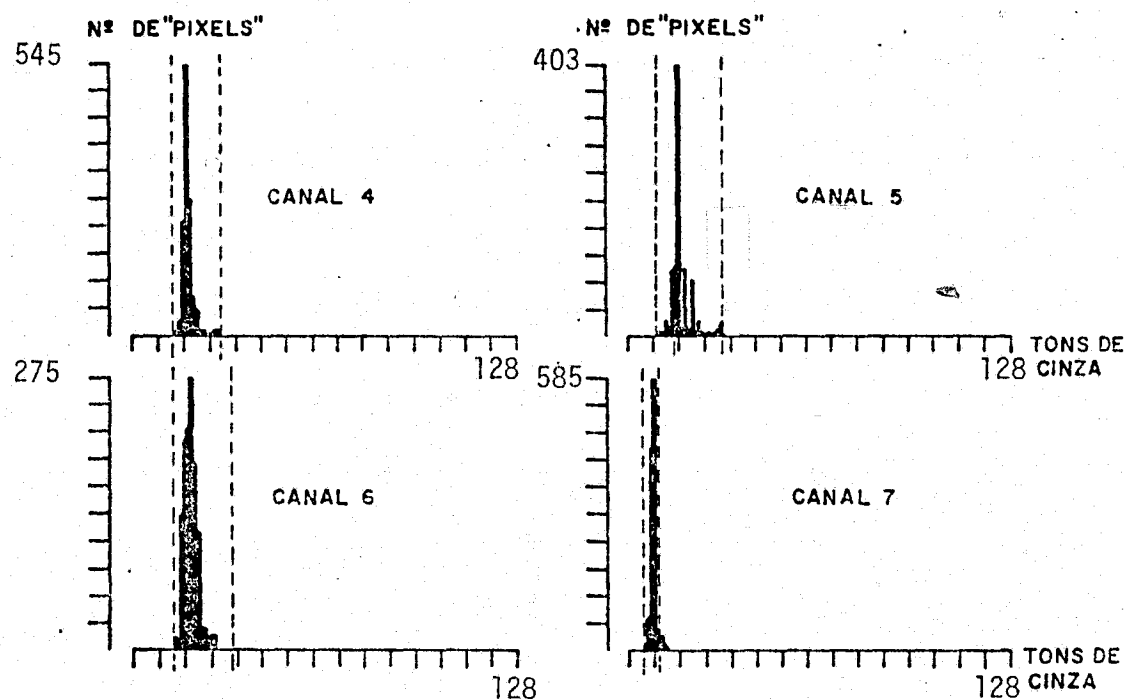


Fig. III.21 - Cidade de São José dos Campos em 25/06/76 obtida do vídeo do Image-100.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

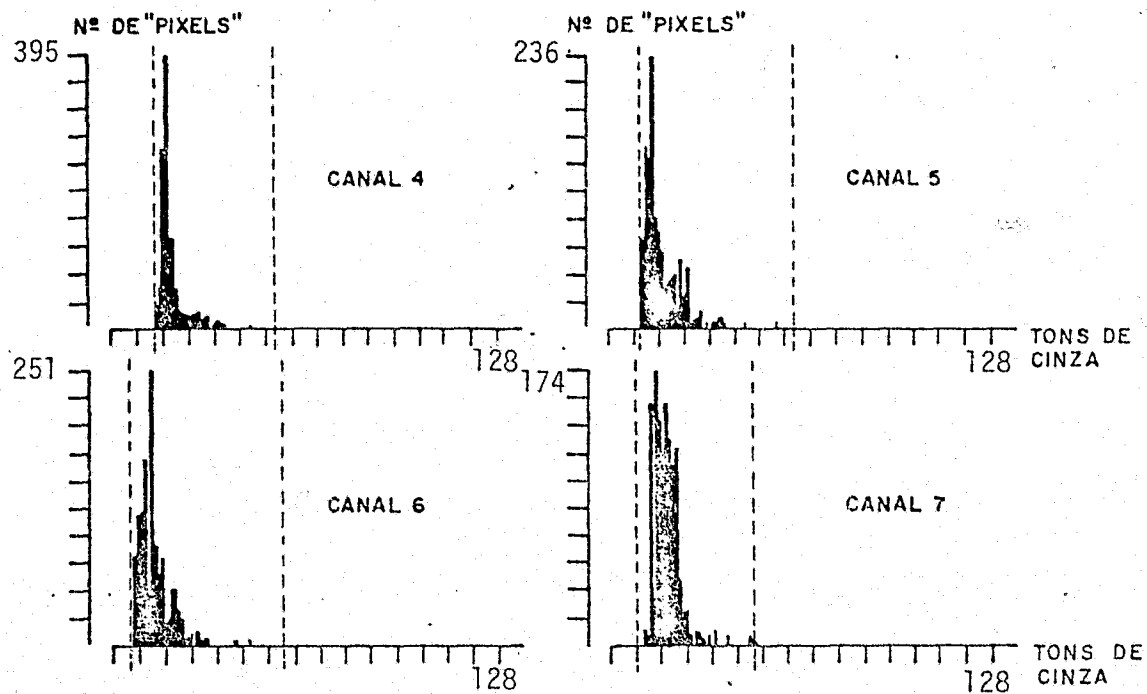


CANAL	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR	DELTA	PICO	MÉDIA	VARIÂNCIA
4	13	27	15	545	17.4	3.0
5	8	29	15	403	17.6	7.4
6	13	30	18	275	17.8	4.8
7	5	9	5	585	7.6	0.6

ÁREA DE TREINAMENTO = 1300 "PIXELS"
 ÁREA CLASSIFICADA = 34.767 "PIXELS"

Fig. III.22 - Histogramas da área urbana de São José dos Campos (1972).

ORIGINAL PAGE IS
 OF POOR QUALITY



CANAL	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR	DELTA	PICO	MÉDIA	VARIÂNCIA
4	14	50	37	395	18.9	24.5
5	11	58	48	236	17.1	40.6
6	6	52	47	251	18.9	30.1
7	10	45	37	174	18.0	19.0

ÁREA DE TREINAMENTO = 1300 "PIXELS"
 ÁREA CLASSIFICADA = 95678 "PIXELS"

Fig. III.23 - Histogramas da área urbana de São José dos Campos (1976).

buição é mais marcante na Figura III.23.

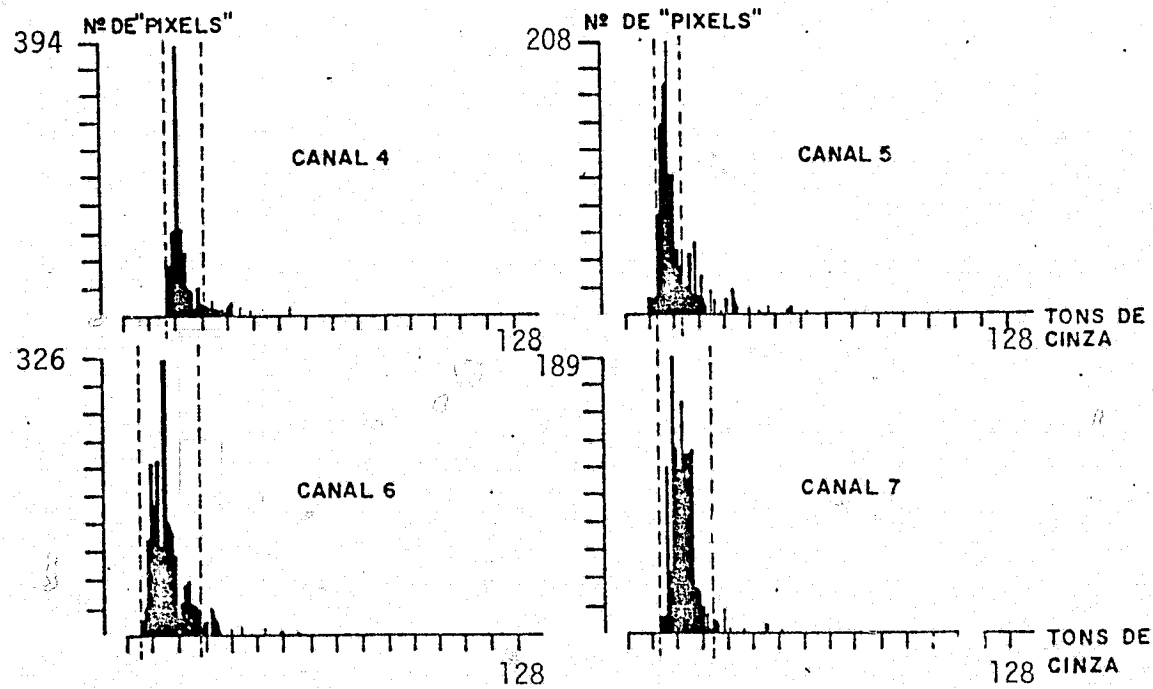
O grande crescimento da área urbana de São José dos Campos no período estudado (1972 a 1976), foi caracterizado especialmente pelo aumento e diversificação nos tipos de solo urbano industrial e residencial uni-familiar. Esses dois tipos de uso do solo urbano que se expandiram nos últimos anos, geram grandes áreas de solo nu ao se instalarem, conseqüentemente, apresentam uma reflectância mais alta nas imagens, quando comparados às áreas já construídas.

O cálculo da área urbana construída de São José dos Campos, apresentou ainda um problema ligado a sua forma de expansão, tanto na interpretação visual como na automática. Quando as cidades não têm um crescimento contínuo porém, ao contrário, se desenvolvem em núcleos que posteriormente se aglutinam, a reflectância da área urbana em expansão diminui por ausência da continuidade nas edificações.

Através de cortes no histograma do canal 5 da Figura III.23, foi possível a determinação aproximada dos intervalos de níveis de cinza da área construída (11 a 18); solo nu (18 a 33) e telhados de algumas indústrias (33 a 58).

A Figura III.24, ilustra o mesmo histograma da figura anterior, com refinamento nos 4 canais.

O cálculo da área urbana de São José dos Campos para 1972, pelo método automático foi de 30 Km^2 . Para a área urbana de 1976, considerando-se toda a sua expansão obteve-se 54 Km^2 , portanto, um crescimento físico de 80%. No entanto, grande parte dessa superfície não estava ainda construída em 1976. Usando-se o refinamento descrito, isto é, extraíndo-se as áreas de solo nu, obteve-se uma estimativa de 41 Km^2 para a área urbana em 1976. Este último resultado representa 37% de expansão urbana em superfície, em aproximadamente 4 anos, sendo um resultado mais exato do que aquele obtido pelo tratamento não refinado dos dados.



CANAL	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR	DELTA	PICO	MÉDIA	VARIÂNCIA
4	14	24	11	394	17.2	42
5	11	13	8	208	13.9	33
6	6	22	18	326	12.0	14.0
7	10	27	17	189	17.8	10.8

ÁREA DE TREINAMENTO = 1300 "PIXELS"
 ÁREA CLASSIFICADA = 83.780 "PIXELS"

Fig. III.24 - Histogramas com refinamentos nos 4 canais da área urbana de São José dos Campos. (1976).

A superposição da área urbana classificada no Image-100, nas duas datas analisadas, pode ser observada na Figura III.25. Nota-se a tendência da expansão urbana, especialmente seguindo o eixo rodoviário Rio-São Paulo, a NE e SE de São José dos Campos.

A partir do modelo de estimativas populacionais obtido na pesquisa (Fig.III.13), é possível estimar a população para períodos inter-censitários utilizando-se os dados do Apêndice D. Com esses dados foram feitas estimativas baseadas na interpretação visual e automática para a população de São José dos Campos em 1976. Outras estimativas obtidas para a população urbana de São José dos Campos foram:

- a) usando a fórmula de crescimento geométrico;
- b) por uma amostragem efetuada pela Secretaria do Planejamento da Prefeitura de São José dos Campos.

As estimativas citadas acima são as seguintes:

- 1) interpretação visual: 248.799 ± 27.630
- 2) interpretação automática: 274.353 ± 30.838
- 3) fórmula de crescimento geométrico: 225.463
- 4) Crescimento por amostragem demográfica (Secretaria do Planejamento da Prefeitura de São José dos Campos): 215.360

Tomando-se como "verdade terrestre" a estimativa por amostragem da Secretaria do Planejamento que abrangeu apenas 10% da população urbana, a qual estão associados conceitos específicos de área urbana e rural, julga-se que as diferenças entre as estimativas são satisfatórias.

É possível que o modelo esteja super-estimando a população em função da área. Uma maneira de contornar o problema seria através da consideração das classes de uso de solo urbano, com atribuição de densidades populacionais distintas a cada uma delas (Christenson et al 1975).

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

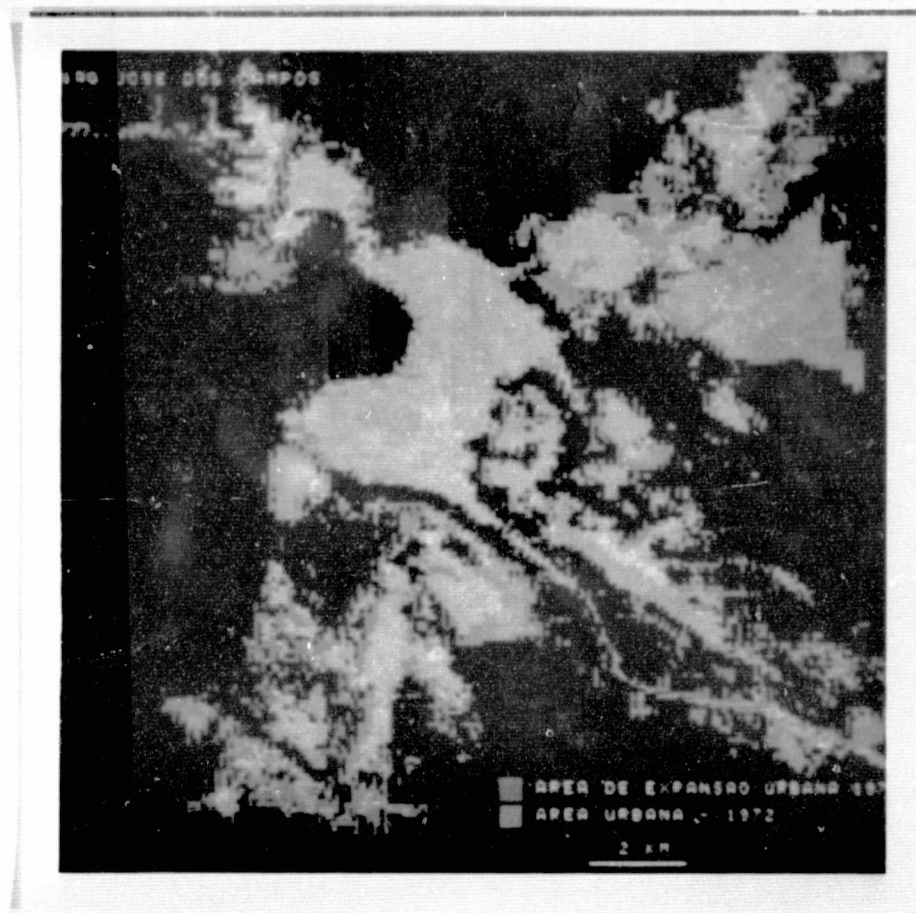


Fig. III.25 - Superposição da classificação da área urbana de São José dos Campos (1972 e 1976) obtida do vídeo do Image-100.

Este procedimento considera que a rarefação na densidade populacional aumenta à medida que nos afastamos da área central urbana, como também varia em função do tipo de uso do solo urbano. Obviamente isto representa uma continuação das investigações aqui encetadas.

CAPÍTULO IV

CONCLUSÕES

Considerando-se os resultados obtidos nesta pesquisa sobre estimativas populacionais e de crescimento de áreas urbanas com utilização de dados do Sistema LANDSAT, chegou-se às seguintes conclusões:

- A identificação e delimitação de áreas urbanas deve ser efetuada com imagens de alto contraste, pois estas permitem maior separabilidade das áreas urbanas em relação a seus arredores.

- As imagens de período chuvoso apresentam maior contraste entre os diferentes alvos e devem ser utilizadas de preferência.

- A delimitação das áreas urbanas através da interpretação visual deve ser realizada em imagens LANDSAT do canal 5.

- A interpretação automática através do IMAGE-100, apresentou dificuldade na delimitação das áreas urbanas, pela complexidade e similaridade espectral dos componentes urbanos e dos aspectos rurais existentes na periferia urbana.

- A utilização do IMAGE-100 na caracterização de áreas urbanas deve procurar usar todo o potencial de programas disponíveis naquele equipamento e mesmo estar associada a programas especialmente projetados para tratamento de áreas urbanas. Espera-se que isto venha tornar a utilização do IMAGE-100, em pesquisas que envolvem grande número de unidades experimentais, mais vantajosa, em tempo e custo, do que a interpretação visual, o que não se verificou na presente investigação.

- O estudo comparativo entre os resultados obtidos com utilização de fotografias aéreas convencionais e de imagens LANDSAT para as 35 áreas testes constituintes da amostragem "A", mostrou que o coeficiente de correlação entre população e área urbana, aumentou em 0,03 quando fo

84, 85

- 86 -

ram utilizados dados de fotografias aéreas. Essa diferença insignificante ressalta as vantagens de utilização de dados do LANDSAT, tais como custo, repetitividade, extensão da área coberta pelas cenas e possibilidade de processamento automático.

O coeficiente de correlação 0,97 encontrado entre população e área urbana para as 70 áreas testes, demonstrou a viabilidade de estimativas populacionais, em particular para cidades aqui definidas como médias e grandes, com base nas áreas urbanas identificáveis em imagens LANDSAT.

- A inclusão da variável Índice de ligações superficiais na análise de regressão linear não melhorou a precisão nas estimativas populacionais para as áreas urbanas da região estudada.

- A divisão das cidades em classes, segundo o critério "tamanho da população", não melhorou os resultados das estimativas populacionais para as áreas estudadas.

- A superposição da mesma cena em períodos diferentes no IMAGE-100 possibilitou a verificação do crescimento urbano da cidade de São José dos Campos. O monitoramento da taxa de crescimento urbano foi facilitado, no IMAGE-100, pela possibilidade de ampliação que o sistema oferece.

Estimativas populacionais inter-censitárias podem representar valioso instrumento de controle do desenvolvimento regional. O acompanhamento do crescimento urbano tem merecido particular atenção em nosso país. O desenvolvimento de metodologia específica neste campo, foi o objetivo central da presente investigação.

A precisão dos modelos de estimativas populacionais, resultantes deste estudo, deverá ser testada por comparação com os dados populacionais do próximo Censo Demográfico, a ser realizado em 1980.

AGRADECIMENTOS

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

Ao Coordenador do Departamento de Sensoriamento Remoto, Dr. Claudio Roland Sonnenburg, ao Chefe da Divisão de Desenvolvimento e Pesquisas em Aplicações, Renê Antonio Novaes, pela aprovação e incentivo na realização deste trabalho.

Ao Dr. Jorge Xavier da Silva, pela orientação, apoio e colaboração.

Ao Dr. Gilberto Amaral pela colaboração e sugestões apresentadas.

Ao Dr. Fernando de Mendonça, pela idéia inicial do trabalho e orientação em pesquisas preliminares que abriram caminhos para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao José Carlos Moreira, Antonio Tebaldi Tardin, Sherry Chou Chen, Armando Pacheco dos Santos, Evelyn Marcia L.M.Novo, Natálio Felipe Koffler e Madalena Niero pela colaboração.

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

BIBLIOGRAFIA

- ACTON, F.S. *Analysis of Straight-Line Data*. New York, John Wiley & Sons, 1959. Cap.2.
- ANDERSON, J.R.; HARDY, E.E.; ROACH, J.T. A Land Use Classification System for Use with Remote Sensor Data. *Washington, D.C. U.S. Geological Survey*, 1972. (U.S. Geological Survey Circ. 617).
- ARRIAGA, E.E. Inter-relações entre algumas características Demográficas e Sócio-econômicas. In: *Encontro Brasileiro de Estudos Populacionais*. Rio de Janeiro, IBGE, 1976. p.439-449.
- CARTER, L.D.; STONE, R.O. Interpretation of Orbital Photographs. *Photogrammetric Engineering*, 15(2):193-197, Feb., 1974.
- CHRISTENSON, J.W.; DAVIS, J.B.; GREGG, V.J.; LACHOWSKI, H.M. LANDSAT - Urban Area Delineation. *Interin Report - U.S., Bureau of Census*. Maryland, Feb./May, 1975.
- CHRISTENSON, J.W.; LACHOWSKI, H.M. Urban Area Delineation and Detection of Change Along the Urban-Rural Boundary as Derived From LANDSAT Digital Data. *Goddard Space Flight Center*. Greenbelt, Maryland, Oct., 1977. (Goddard Space Flight Center Report nº X-923-77-245).
- ELLEFSSEN, 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 Oct., 1973. p.2A7-2A22.
- ELLEFSSEN, R.; GAYDOS, L.; SWAIN, P.; WRAY, J.R. 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 Data. In: *SYMPOSIUM on Remote Sensing and Photo Interpretation*. The Canadian Institute of Surveying, Banff, Alberta, Canada, 1974. Proceeding. p.51-64.

- EYRE, L.A.; ADOLPHUS, B.; AMIEL, M. Census Analysis and Population Estimates. *Photogrammetric Engineering*, 36(5):460-466, May, 1970.
- FORESTI, C. Estimativas Populacionais com Utilização de Imagens do Satélite LANDSAT-1. São José dos Campos, INPE, Fev., 1976. (INPE-833-NTI/059).
- FORESTI, C.; MENDONÇA, F. Demographic Inference Using ERTS Images. In: *SEMINAR on Space Applications of Direct Interest to Developing Countries*. São José dos Campos, Jun., 1974. p.239-256.
- GENERAL ELECTRIC COMPANY. *Image-100 - Interactive Multispectral Image Analysis System: user Manual*. Daytona, 1975.
- GREEN, N.E. Aerial Photographic Interpretation and the Social Structure of City. *Photogrammetric Engineering*, 23(3):89-96, Mar., 1957.
- HERNANDEZ FILHO, P.; SHIMABUKURO, Y.E. *Estabelecimento de Metodologia para Avaliação de Povoamentos Florestais Artificiais, utilizando-se dados do LANDSAT*. Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Apli cações. São José dos Campos, INPE, 1978. No prelo.
- HOLTZ, R.K.; HUFF, D.L.; MAYFIELD, R.C. Urban: Spatial Structure Based on Remote Sensing Imagery. In: *INTERNATIONAL Symposium on Remote Sensing of Environment*, 6., Ann Arbor, Oct., 1969. V.2. Proceedings. p.819-830.
- HSU, S. Population Estimation. *Photogrammetric Engineering*, 37(5):449-454, May., 1971.
- . Population Estimation from ERTS Imagery: Methodology and Evaluation. In: *AMERICAN Society of Photogrammetry*, 39., Washington, D.C., Mar., 1933. Proceedings. p.583-591.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Atlas Geogrāfico Escolar*. Rio de Janeiro, 1967. p.40.
- . *Censo Demográfico do Estado de São Paulo, 4. - Recenseamento Ge ral do Brasil, 1950*. Rio de Janeiro, 1954. V.25, Tomo 1.

- . *Censo Demográfico do Estado de São Paulo, 8. - Recenseamento Geral, 1970.* Rio de Janeiro, 1973. V.1, Tomo 18, Parte 3.
- . *Sinopse Preliminar do Censo Demográfico, 7. - Recenseamento Geral, 1960.* Rio de Janeiro, 1962.
- . *Carta Internacional do Mundo do Milionésimo: Folha Rio de Janeiro (SF-23) e Paranapanema (SF-22).* Rio de Janeiro, 1972.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO (IGG). *Mapa da Divisão Administrativa do Estado de São Paulo.* São Paulo, 1974.
- JORGE, W.J. Taxas de Crescimento dos Municípios Paulistas no Período 1960-70. In: *Encontro Brasileiro de Estudos Populacionais.* Rio de Janeiro, IBGE, 1976. p.617-618.
- KELLER, E.C. População. In: GALVÃO, M.V. *Geografia do Brasil: Região Sudeste.* Rio de Janeiro, IBGE, 1977. p.143-276.
- KOFFLER, N.F. *Utilização de imagens aerofotográficas e orbitais no padrão de drenagem em solos originados do arenito Bauru.* Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações. São José dos Campos, INPE, 1976. (INPE-898-TPT/029)
- KRAUS, S.P.; SINGER, L.W.; RYERSON, J.M. Estimating Population from Photographically Determined Residential Land Use Types. *Remote Sensing of Environment*, 3(1):35-42., Mar., 1974.
- LINDGREN, D.T. Sistemas de Informação Urbana e Sensores Remotos. *Boletim Geográfico*, 33(240):57-70, Mai./Jun., 1974.
- MADEIRA, J.L. Alguns Aspectos dos Estudos de População Destinados a Orientar uma Política Demográfica. In: *Encontro Brasileiro de Estudos Populacionais.* Rio de Janeiro, IBGE, 1976. p.565-577.
- 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).

- MURAI, S. Estimation of Population Density in Tokyo Districts from ERTS-1 Data. In: *INTERNATIONAL Symposium on Remote Sensing of Environment*, 9., Ann Arbor, Michigan, Apr., 1974. Proceedings. V.1, p.13-22.
- NASA *Data User Handbook - ETS*. Baltimore, Goodard Space Flight Center, 1972.
- NIERO, M. *Utilização de Dados Orbitais do LANDSAT-1 na Classificação de Uso do Solo Urbano de São José dos Campos*. Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações. São José dos Campos, INPE, 1978. No prelo.
- NOSSEIR, M.K.; PALESTINO, C.V.B.; BATISTA, G.T. *Mapeamento de Vegetação Natural nos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo (Região Leste do Brasil) através de imagens MSS do ERTS-1*. São José dos Campos, INPE, fev., 1975. (INPE-LAFE-617).
- ODENYO, V.A.O.; PETTRY, D.E. Land Use Machine Processing of LANDSAT-1 Data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 43(4): 515-524, Apr., 1977.
- OGROSKY, C.E. Population Estimates from Satellite Imagery. *Photogrammetric Engineering*, 41(6):707-712, Jun., 1975.
- POLIMAPAS. *Mapa Rodoviário do Estado de São Paulo*. São Paulo, 1976.
- PORCARO, R.M.; OLIVEIRA, L.H.G. de Urbanização, Industrialização e Absorção de Mão de Obra no Mercado de Trabalho Urbano - 1974. In: *ENCONTRO Brasileiro de Estudos Populacionais*. Rio de Janeiro, IBGE, 1976. p.331-354.
- REINING, P. Human Settlement Patterns in Relation to Resources of Less Developed Countries. In: *SEMINAR on Space Applications of Direct Interest to Developing Countries*. São José dos Campos, Jun., 1974. Proceedings. p.214-238.
- REINING, P.; EGBERT, D. Interactive Multispectral Analysis for more than on Lonrai Village in Niger, West Africa. In: *NASA Earth Resources Survey Symposium*, Texas, Jun., 1975. Proceedings. V.1-C, p.1811-1815.

SIQUEIRA, S. Evolução da Estrutura de Urbanização no Brasil Analisada Através do Gráfico de Lorenz e da Região de Concentração de Gini.

In: *ENCONTRO Brasileiro de Estudos Populacionais*. Rio de Janeiro, IBGE, 1976. p.223-239.

STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.H. *Principles and Procedures of Statistics with special reference to the biological Sciences*. New York, McGraw Hill, 1960. Cap.9.

TEIXEIRA, P.; GORDON, F.; ACKEL, L.G.M.; MATSUMOTO, E.; LIMA, M.W.S. de *Estimativa da População para áreas Urbanas Desagregadas Aplicada ao Planejamento Educacional - Estudo de caso*. Trabalho apresentado na XXIX Reunião da SBPC. São Paulo, jul., 1977.

VALÉRIO FILHO, M.; HIGA, N.T.; CARVALHO, V.C. de *Avaliação das Imagens Orbitais (LANDSAT-1) como base para levantamento de solos*. Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações. São José dos Campos, INPE, 1976. (INPE-912-TPT/030).

WELLAR, B.S. The role of Space Photography in Urban and Transportation Data Series. In: *INTERNATIONAL Symposium on Remote Sensing of Environment*, 6. Ann Arbor, Oct., 1969. Proceedings, V.2, p.831-854.

APÊNDICE A

DADOS BÁSICOS DAS ÁREAS TESTES SELECIONADAS

Nº	NOME DAS CIDADES	POPULAÇÃO	ÁREA (Km ²)	LIGAÇÕES (Índice)
1	Americana	96.271	15,88	30
2	Amparo	23.703	2,84	16
3	Aparecida	30.153	3,20	18
4	Araraquara	100.377	22,64	31
5	Araras	57.878	9,32	21
6	Atibaia	25.068	5,04	10
7	Barrinha	9.841	1,52	14
8	Batatais	25.132	4,64	24
9	Bebedouro	37.069	5,72	31
10	Bragança Paulista	50.427	6,36	23
11	Caçapava	32.184	5,36	21
12	Caieiras	17.623	2,08	14
13	Campinas	485.409	74,60	46
14	Campo Limpo	13.785	3,08	14
15	Campos do Jordão	19.777	4,00	13
16	Capivari	14.314	2,20	22
17	Caraguatatuba	18.472	2,72	13
18	Casa Branca	13.410	2,56	31
19	Conchal	6.068	1,56	7
20	Cruzeiro	57.130	7,40	25
21	Franco da Rocha	28.954	2,48	16
22	Guaratinguetã	69.811	11,52	24
23	Guariba	13.211	1,52	8
24	Indaiatuba	31.070	5,36	27
25	Itapira	33.629	5,20	21
26	Itapui	4.188	0,72	6
27	Itatiba	29.228	5,20	14
28	Itu	47.950	8,72	22
29	Jaboticabal	35.619	5,04	25

Nº	NOME DAS CIDADES	POPULAÇÃO	ÁREA (Km ²)	LIGAÇÕES (Índice)
30	Jacarei	69.665	8,28	19
31	Jau	49.076	5,80	22
32	Jundiai	215.568	27,00	30
33	Leme	34.424	6,20	17
34	Limeira	108.550	23,00	32
35	Lorena	51.750	9,08	20
36	Mococa	26.111	5,20	17
37	Mogi das Cruzes	112.856	20,64	24
38	Mogi Guaçu	51.490	9,72	20
39	Mogi Mirim	37.773	4,28	20
40	Monte Alto	18.585	3,76	14
41	Piedade	8.859	1,20	12
42	Pindamonhangaba	36.400	8,36	29
43	Piquete	14.250	3,36	15
44	Pirassununga	31.976	5,96	24
45	Pontal	8.132	1,16	13
46	Porto Feliz	15.409	1,76	13
47	Porto Ferreira	20.576	4,60	26
48	Ribeirão Preto	253.122	23,04	35
49	Rio Claro	83.657	15,08	27
50	Rio das Pedras	13.220	1,68	20
51	Salto	24.906	3,68	18
52	Santa Bárbara	31.096	6,52	23
53	Santa Cruz das Palmeiras	11.322	1,32	17
54	Santa Gertrudes	5.548	1,32	10
55	São Carlos	92.784	19,60	29
56	São José dos Campos	225.463	37,46	32
57	São Roque	19.686	2,96	16
58	São Simão	9.037	1,24	24
59	São Vicente	156.384	18,60	20
60	Serrana	10.779	1,52	10
61	Serra Negra	7.573	1,72	10
62	Sertãozinho	28.611	5,16	15

Nº	NOME DAS CIDADES	POPULAÇÃO	ÁREA (Km ²)	LIGAÇÕES (Índice)
63	Socorro	9.506	1,36	16
64	Sorocaba	216.676	32,20	27
65	Sumaré	23.059	4,32	14
66	Taquaritinga	22.401	3,36	16
67	Taubaté	129.163	17.80	35
68	Ubatuba	15.290	3,32	18
69	Valinhos	31.387	4,92	18
70	Votorantin	43.270	3,48	14

APENDICE B

RESULTADOS DA REGRESSÃO LINEAR SIMPLES

Nº	NOME DAS CIDADES	POPULAÇÃO "REAL"	POPULAÇÃO "ESTIMADA"	DESVIO	DESVIO (em %)
1	Americana	96.271	104.767	- 8.496	- 9
2	Amparo	23.703	17.762	5.940	25
3	Aparecida	30.153	20.164	9.988	33
4	Araraquara	100.377	149.871	- 49.494	- 49
5	Araras	57.878	60.998	- 3.120	- 5
6	Atibaia	25.068	32.441	- 7.373	- 29
7	Barrinha	9.841	8.955	885	9
8	Batatais	25.132	29.772	- 4.640	- 18
9	Bebedouro	37.069	36.978	91	0
10	Bragança Paulista	50.427	41.248	9.178	18
11	Caçapava	32.184	34.576	- 2.392	- 7
12	Caieiras	17.623	12.691	4.931	28
13	Campinas	485.409	496.557	- 11.148	- 2
14	Campo Limpo	13.785	19.363	- 5.578	- 40
15	Campos do Jordão	19.777	25.502	- 5.725	- 29
16	Capivari	14.314	13.492	821	6
17	Caraguatatuba	18.422	16.961	1.460	8
18	Casa Branca	13.410	15.894	- 2.484	- 19
19	Conchal	6.068	9.222	- 3.154	- 51
20	Cruzeiro	57.130	48.187	8.942	16
21	Franco da Rocha	28.954	15.360	13.593	47
22	Guaratinguetã	69.811	75.676	- 5.865	- 8
23	Guariba	13.211	8.955	4.255	32
24	Indaiatuba	31.070	34.576	- 3.506	- 11
25	Itapira	33.629	33.508	120	0
26	Itapui	4.188	3.617	570	14
27	Itatiba	29.228	33.508	- 4.280	- 15
28	Itu	47.950	56.994	- 9.044	- 19
29	Jaboticabal	35.619	32.441	3.177	9

Nº	NOME DAS CIDADES	POPULAÇÃO "REAL"	POPULAÇÃO "ESTIMADA"	DESVIO	DESVIO (em %)
30	Jacarei	69.665	54.059	15.605	22
31	Jau	49.076	35.512	11.563	24
32	Jundiai	215.568	178.962	36.605	17
33	Leme	34.424	40.181	- 5.757	- 17
34	Limeira	108.550	152.273	- 43.723	- 40
35	Lorena	51.570	59.396	- 7.646	- 15
36	Mococa	26.111	33.508	- 7.397	- 28
37	Mogi das Cruzes	112.856	136.527	- 23.671	- 21
38	Mogi Guaçu	51.490	63.667	- 12.177	- 24
39	Mogi Mirim	37.773	27.370	10.402	28
40	Monte Alto	18.585	23.900	- 5.315	- 29
41	Piedade	8.859	6.820	2.038	23
42	Pindamonhangaba	36.400	54.592	- 18.192	- 50
43	Piquete	14.250	21.232	- 6.982	- 49
44	Pirassununga	31.976	38.579	- 6.603	- 21
45	Pontal	8.132	6.553	1.578	19
46	Porto Feliz	15.409	10.556	4.852	31
47	Porto Ferreira	20.576	29.505	- 8.929	- 43
48	Ribeirão Preto	253.122	152.540	100.581	38
49	Rio Claro	83.657	99.429	- 15.772	- 19
50	Rio das Pedras	13.220	10.022	3.197	24
51	Salto	24.906	23.367	1.538	6
52	Santa Bárbara d'Oeste	31.096	42.316	- 11.220	- 36
53	Santa Cruz das Palmeiras	11.322	7.620	3.701	33
54	Santa Gertrudes	5.548	7.620	- 2.072	- 37
55	São Carlos	92.784	129.588	- 36.804	- 40
56	São José dos Campos	225.463	248.799	- 23.336	- 10
57	São Roque	19.686	18.563	1.122	6
58	São Simão	9.037	7.087	1.949	22
59	São Vicente	156.384	122.915	33.468	21
60	Serrana	10.779	8.955	1.823	17
61	Serra Negra	7.573	10.289	- 2.716	- 34
62	Sertãozinho	28.611	33.242	- 4.631	- 16

Nº	NOME DAS CIDADES	POPULAÇÃO "REAL"	POPULAÇÃO "ESTIMADA"	DESVIO	DESVIO (em %)
63	Socorro	9.506	7.887	1.618	17
64	Sorocaba	216.676	213.657	3.018	1
65	Sumaré	23.059	27.637	- 4.578	- 20
66	Taquaritinga	22.401	21.232	1.168	5
67	Taubaté	129.163	117.578	11.584	9
68	Ubatuba	15.290	20.965	- 5.675	- 37
69	Valinhos	31.387	31.640	- 253	- 1
70	Votorantin	43.270	22.032	21.237	49

APENDICE C

RESULTADOS DA REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA

Nº	NOME DAS CIDADES	POPULAÇÃO "REAL"	POPULAÇÃO "ESTIMADA"	DESVIO	DESVIO (em %)
1	Americana	96.271	105.162	- 8.891	- 9
2	Amparo	23.703	17.677	6.025	25
3	Aparecida	30.153	20.199	9.953	33
4	Araraquara	100.377	150.102	- 49.725	- 49
5	Araras	57.878	61.022	- 3.144	- 5
6	Atibaia	25.068	31.885	- 6.817	- 27
7	Barrinha	9.841	8.783	1.057	10
8	Batatais	25.132	29.494	- 4.365	- 17
9	Bebedouro	37.069	37.785	- 716	- 1
10	Bragança Paulista	50.427	41.505	8.921	17
11	Caçapava	32.184	34.735	- 2.551	- 7
12	Caieiras	17.623	12.500	5.122	29
13	Campinas	485.409	496.009	- 10.600	- 2
14	Campo Limpo	13.785	19.138	- 5.353	- 38
15	Campos do Jordão	19.777	25.179	- 5.402	- 27
16	Capivari	14.314	13.825	488	3
17	Caraguatatuba	18.422	16.682	1.739	9
18	Casa Branca	13.410	16.809	- 3.399	- 25
19	Conchal	6.068	8.586	- 2.518	- 41
20	Cruzeiro	57.130	48.541	8.588	15
21	Franco da Rocha	28.954	15.287	13.666	47
22	Guaratinguetã	69.811	75.824	- 6.013	- 8
23	Guariba	13.211	8.387	4.823	36
24	Indaiatuba	31.070	35.131	- 4.061	- 13
25	Itapira	33.629	33.673	- 44	- 0
26	Itapui	4.188	2.944	1.243	29
27	Itatiba	29.228	33.211	- 3.983	- 13
28	Itu	47.950	57.105	- 9.155	- 19
29	Jaboticabal	35.619	32.875	2.743	7

Nº	NOME DAS CIDADES	POPULAÇÃO "REAL"	POPULAÇÃO "ESTIMADA"	DESVIO	DESVIO (em %)
30	Jacarei	69.665	53.986	15.678	22
31	Jau	49.076	37.722	11.353	23
32	Jundiai	215.568	178.978	36.589	16
33	Leme	34.424	40.047	- 5.623	- 16
34	Limeira	108.550	152.558	- 44.008	- 40
35	Lorena	51.750	59.363	- 7.613	- 14
36	Mococa	26.111	33.409	- 7.298	- 27
37	Mogi das Cruzes	112.856	136.364	- 23.508	- 20
38	Mogi Guaçu	51.490	63.611	- 12.121	- 23
39	Mogi Mirim	37.773	27.500	10.272	27
40	Monte Alto	18.585	23.652	- 5.067	- 27
41	Piedade	8.859	6.529	2.332	26
42	Pindamonhangaba	36.400	55.178	- 18.778	- 50
43	Piquete	14.250	21.063	- 6.813	- 47
44	Pirassununga	31.976	38.916	- 6.940	- 21
45	Pontal	8.132	6.327	1.804	22
46	Porto Feliz	15.409	10.310	5.098	33
47	Porto Ferreira	20.576	30.020	- 9.444	- 40
48	Ribeirão Preto	253.122	153.021	100.100	39
49	Rio Claro	83.657	99.654	- 15.997	- 19
50	Rio das Pedras	13.220	10.241	2.978	22
51	Salto	24.906	23.385	1.520	6
52	Santa Bárbara d'Oeste	31.096	42.567	- 11.471	- 36
53	Santa Cruz das Palmeiras	11.322	7.653	3.668	32
54	Santa Gertrudes	5.548	7.191	- 1.643	- 29
55	São Carlos	92.784	129.790	- 37.006	- 39
56	São José dos Campos	225.463	248.799	- 23.336	- 10
57	São Roque	19.686	18.474	1.211	6
58	São Simão	9.037	7.584	1.452	16
59	São Vicente	156.384	122.558	33.825	21
60	Serrana	10.779	8.519	2.259	20
61	Serra Negra	7.573	9.846	- 2.273	- 30
62	Sertãozinho	28.611	33.011	- 4.400	- 15

Nº	NOME DAS CIDADES	POPULAÇÃO "REAL"	POPULAÇÃO "ESTIMADA"	DESVIO	DESVIO (em %)
63	Socorro	9.506	7.853	1.652	17
64	Sorocaba	216.676	213.299	3.376	1
65	Sumarē	23.059	27.369	- 4.310	- 18
66	Taquaritinga	22.401	21.129	1.271	5
67	Taubatē	129.163	118.238	10.924	8
68	Ubatuba	15.290	20.995	- 5.705	- 37
69	Valinhos	31.387	31.665	- 229	- 0
70	Votorantin	43.270	21.793	21.476	49

APÊNDICE D

INTERVALOS DE CONFIANÇA (95%) PARA A POPULAÇÃO ESTIMADA

ÁREA URBANA (Em Km ²)	POPULAÇÃO ESTIMADA	INTERVALO DE CONFIANÇA (+ ou -)
0,70	3.484	11.813
1,46	8.594	11.437
2,23	13.705	11.090
2,99	18.816	10.775
3,76	23.927	10.494
4,52	29.037	10.251
5,29	34.148	10.048
6,06	39.259	9.888
6,82	44.370	9.773
7,59	49.480	9.704
8,35	54.591	9.683
9,12	59.702	9.709
9,89	64.813	9.783
10,65	69.923	9.903
11,42	75.034	10.067
12,18	80.145	10.274
12,95	85.256	10.521
13,72	90.366	10.805
14,48	95.477	11.124
15,25	100.588	11.474
16,01	105.699	11.853
16,78	110.809	12.257
17,55	115.920	12.686
18,31	121.031	13.135
19,08	126.141	13.604
19,84	131.252	14.090
20,61	136.363	14.592

ÁREA URBANA (Em Km ²)	POPULAÇÃO ESTIMADA	INTERVALO DE CONFIANÇA (+ ou -)
21,38	141.474	15.107
22,14	146.584	15.635
22,91	151.695	16.175
23,67	156.806	16.724
24,44	161.917	17.283
25,21	167.027	17.851
25,97	172.138	18.426
26,74	177.249	19.008
27,50	182.360	19.596
28,27	187.470	20.190
29,04	192.581	20.789
29,80	197.692	21.394
30,57	202.803	22.002
31,33	207.913	22.615
32,10	213.024	23.231
32,87	218.135	23.851
33,63	223.246	24.474
34,40	228.356	25.100
35,16	233.467	25.729
35,93	238.582	26.360
36,70	243.688	26.994
37,46	248.799	27.630
38,23	253.910	28.268
38,99	259.021	28.908
39,76	264.131	29.549
40,53	269.242	30.193
41,29	274.353	30.838
42,06	279.464	31.484
42,82	284.574	32.132
43,59	289.685	32.781
44,36	294.796	32.431

ÁREA URBANA (Em Km ²)	POPULAÇÃO ESTIMADA	INTERVALO DE CONFIANÇA (+ ou -)
45,12	299.907	34.083
45,89	305.017	34.735
46,65	310.128	35.389
47,42	315.239	36.044
48,19	320.350	36.699
48,95	325.460	37.356
49,72	330.571	38.013
50,48	335.682	38.671
51,25	340.793	39.330
52,02	345.903	39.989
52,78	351.014	40.649
53,55	356.125	41.310
54,31	361.235	41.972
55,08	366.346	42.634
55,85	371.457	43.296
56,61	376.568	43.959
57,38	381.678	44.623
58,14	386.789	45.287
58,91	391.900	45.952
59,68	397.011	46.617
60,44	402.121	47.282
61,21	407.232	47.948
61,97	412.343	48.614
62,74	417.454	49.281
63,51	422.564	49.948
64,27	427.675	50.615
65,04	432.786	51.283
65,80	437.897	51.951
66,57	443.007	52.619
67,34	448.118	53.288
68,10	453.229	53.957
68,87	458.340	54.626

ÁREA URBANA (Em Km ²)	POPULAÇÃO ESTIMADA	INTERVALO DE CONFIANÇA (+ ou -)
69,63	463.450	55.296
70,40	468.561	55.965
71,17	473.672	56.635
71,93	478.783	57.305
72,70	483.893	57.976
73,46	489.004	58.646
74,23	494.115	59.317
75,00	499.225	59.988

