

# **ANÁLISE DO AMBIENTE RESIDENCIAL URBANO VISANDO A INFERÊNCIA DE POPULAÇÃO UTILIZANDO DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL DE ALTA RESOLUÇÃO**

*Cláudia Durand Alves Borba GONÇALVES<sup>1</sup>*

*Íris de Marcelhas e SOUZA<sup>1</sup>*

*Madalena Niero PEREIRA<sup>1</sup>*

*Corina da Costa FREITAS<sup>1</sup>*

## **Resumo**

O objetivo deste trabalho foi avaliar o uso dos produtos de sensoriamento remoto de alta resolução espacial para estimativa de população urbana em períodos intercensitários, tendo como base as áreas residenciais unifamiliares. Foram utilizadas no desenvolvimento do trabalho imagens do satélite IKONOS-2 da cidade de São José dos Campos. A análise foi feita a partir da integração dos dados dentro do SPRING (GIS). Devido à grande heterogeneidade das áreas residenciais em termos de padrões construtivos, a área de estudo foi subdividida em zonas residenciais unifamiliares homogêneas (ZRUF). Para estas zonas foram selecionadas amostras representativas, que se constituíram em setores censitários do censo demográfico realizado para o ano 2000. Foi feita a contagem das unidades residenciais por setor censitário a partir do uso das imagens IKONOS 2. A estimativa da população foi obtida a partir da multiplicação do número de unidades residenciais, identificadas nas imagens pelo número médio de moradores por domicílio. A estimativa realizada para a área de estudo mostrou resultados satisfatórios, quando comparados com os dados oficiais fornecidos pelo censo demográfico, obtendo-se um erro total de estimativa de 0,41%, em função dos erros de omissão terem sido compensados pelos erros de inclusão.

**Palavras-chave:** Estimativa populacional; sensoriamento remoto; alta resolução espacial.

## **Abstract**

### **Urban environment analysis for population estimation using high resolution satellite images**

The objective of this research was to evaluate the applicability of high spatial resolution remote sensing data for the estimation of urban population in the intercensus periods in the Brazilian city of São José dos Campos. Digital IKONOS-2 data were used. Data analysis was conducted using SPRING (GIS). The procedure attempted to identify single residential areas with similar residential occupation features, known as homogeneous zones. Within chosen zones, homogeneous samples (official census sectors) were selected. The number of housing units per sector was identified in the digital IKONOS 2 images. The population was estimated by multiplying the number of dwellings by the average per household occupancy figures obtained from census tract data. Estimates showed satisfactory results when compared to the census data, presenting a total error of 0,41%, because omission errors were offset by commission errors.

**Key words:** Population estimation; remote sensing; high spatial resolution.

<sup>1</sup> INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - Caixa Postal 515 - 12201-097 - São José dos Campos - SP, Brasil - durand@ltd.inpe.br, iris@ltd.inpe.br, madalena@ltd.inpe.br, corina@dpi.inpe.br

## INTRODUÇÃO

A população urbana aumenta continuamente no mundo. Segundo o Relatório do World Resources Institute (WRI) sobre o meio ambiente urbano, na próxima década, metade da população mundial, aproximadamente três bilhões de pessoas, estarão vivendo nas cidades e, em 2025, dois terços da população do mundo será urbana (WORLD RESOURCES INSTITUTE 96/97).

De acordo com o censo demográfico de 2000 a população brasileira é de 169.799.170 habitantes, sendo 137.953.959 urbana.

Em aproximadamente duas gerações, de 1950 a 2000, de acordo com Deák (1999), o Brasil se transformou de um país predominantemente agrário em um país virtualmente urbanizado, quando a população urbana sextuplicou. Esse rápido crescimento da população urbana constitui um dos maiores problemas para o planejamento e controle do crescimento urbano.

Um dado importante para o planejamento de uma cidade é a informação atualizada de sua população, entretanto os censos demográficos são realizados pelos órgãos governamentais a cada dez anos, devido à grande quantidade de recursos humanos, materiais e financeiros envolvidos nos levantamentos realizados e nas análises dos dados.

Os dados obtidos através desses censos, embora de importância fundamental para decisões em nível nacional, são insuficientes para sustentar o processo de Planejamento Urbano, devido ao grande intervalo entre os períodos dos censos, além da defasagem existente entre a obtenção e a publicação dessa informação pelos órgãos oficiais.

Outro aspecto diz respeito à dinâmica das cidades brasileiras contemporâneas, que exigem levantamentos mais freqüentes, confiáveis e de baixo custo sobre a população urbana existente, para com isso atender à demanda real dessa população por serviços da rede hospitalar, escolar e de recreação. Esses problemas já foram levantados por Kraus e Senger (1974).

Esses aspectos levam à necessidade do desenvolvimento de um método acurado e relativamente eficiente para a atualização de dados populacionais em períodos intercensitários.

Diversos trabalhos foram realizados utilizando-se fotografias aéreas, buscando desenvolver metodologias de obtenção de dados demográficos (HSU, 1971; KRAUS E SENGER, 1974; ADENIYI, 1983; IKHUORIA, 1996).

No Brasil, Manso et al. (1979) desenvolveram estudos que exploram a relação existente entre a morfologia urbana e características demográficas, e sócio-econômicas da população residente. O pressuposto é que existe relação entre a morfologia urbana expressa através da textura de fotografias aéreas e a dimensão da família e de seus agregados.

Manso et al. (1981) desenvolveram também metodologia de uso de fotografias aéreas para a determinação da população, tendo como área teste a cidade de São José dos Campos, e obtiveram uma diferença de 1,3% na estimativa, comparando-se os resultados com dados da Prefeitura Municipal.

A utilização de fotografias aéreas para este fim, entretanto, envolve alto custo para países de grande extensão territorial e em desenvolvimento, onde existe pouco recurso econômico disponível para estudos urbanos.

Nesse sentido, o sensoriamento remoto orbital tem sido apontado como uma alternativa adequada para proporcionar informações sobre dados de população urbana. Murai (1974), Lo (1995) e Chen (2002) desenvolveram trabalhos com resultados

satisfatórios, considerando a limitação da resolução espacial das plataformas utilizadas (LANDSAT e SPOT).

Foresti (1978) desenvolveu estudo para a verificação da correlação entre área urbana obtida a partir do uso de dados MSS - Landsat e população, em 105 cidades brasileiras. Para as cidades de pequeno porte, com baixa ocupação vertical, foi obtida uma alta correlação entre população e área, o mesmo não ocorrendo para cidades maiores com alta porcentagem de ocupação vertical.

Lo (1995), ao usar imagem SPOT e abordagem automática para estimativa de população e de unidades residenciais, obteve resultados satisfatórios com relação à macro escala, mas a precisão diminuiu, considerando-se a microescala, em função da dificuldade de discriminação do uso residencial do não-residencial, associados a edifícios multifuncionais.

Com os avanços tecnológicos na área espacial, houve melhora na resolução espacial e temporal dos dados. A disponibilidade de produtos de alta resolução espacial, ou seja, 0,6m e 1m obtidos pelos satélites QUICKBIRD e IKONOS 2, respectivamente, deve revolucionar os estudos urbanos através de sensoriamento remoto. Dessa forma, amplia-se o número de aplicações dos dados de sensoriamento remoto para estudos relativos ao sistema urbano, eleva-se a precisão das informações obtidas a partir deles e melhora-se a relação custo-benefício dos produtos.

Conforme citado em Lo (1995), o uso de fotografias aéreas para estimativa de população através da contagem de unidades residenciais é mais adequado para pequenas áreas, devido, além do tempo envolvido na interpretação, ao grande número de fotografias aéreas necessárias para análise da área de estudo. Neste caso, as imagens de alta resolução resolvem o problema da quantidade de fotos, pois uma grande área no terreno está contida em uma única imagem.

Liu e Clark (2002) realizaram estudo preliminar relacionado à estimativa de população usando imagens de satélite de alta resolução. Utilizaram imagens IKONOS 2 relativas ao ano de 2000 da cidade de Santa Bárbara, na Califórnia-EUA, e verificaram que, além do tamanho da área construída, outros fatores como distância deste ao centro, distância das principais rodovias, declividade e variação temporal da ocupação contribuem para a melhoria da estimativa da população. Obtiveram uma precisão de estimativa de aproximadamente 92% para a área residencial unifamiliar.

Segundo Liu e Clark (2002), existem basicamente três maneiras de se levantar dados demográficos, sendo elas através dos censos demográficos, de registros em cartórios e através de dados de sensoriamento remoto. Ainda através da perspectiva do sensoriamento remoto há três escalas de trabalho a serem utilizadas:

- Método global ou generalizado: baseados em modelos matemáticos que se apóiam na relação da área urbana e a população, utilizando imagens orbitais;
- Método semidetalhado: utilizam-se de imagens de média resolução espacial (TM 30m, SPOT 20m e 10m), gerando tipologias de ocupação baseadas na densidade demográfica em nível de bairros;
- Método detalhado: observa a unidade residencial para o cálculo de inferência de população.

Este trabalho utilizou o método detalhado, buscando uma maior exatidão nos resultados obtidos. Através deste método obteve-se a inferência da população a partir do uso de imagens IKONOS 2, objetivo principal deste trabalho, baseando-se essencialmente no levantamento do número de unidades residenciais unifamiliares (domicílios) contidas em áreas amostrais selecionadas. A essas unidades foram associados números médios de moradores, obtidos a partir de dados do Censo Demográfico 2000, para se obter os dados de população.

Esta abordagem dos dados pelo método detalhado, identificando as unidades residenciais através da análise visual das imagens permite observações constantes das áreas de interesse (atendendo à dinâmica das cidades). Por outro lado, a desvantagem que se ressalta é a subjetividade na análise dos dados, gerando, portanto uma necessidade de se determinar chaves de interpretação baseadas em conceitos sólidos, sendo que algumas delas podem ficar subordinadas ao prévio conhecimento da área estudada, assim como necessitam que seja realizado um trabalho de campo.

Considerando as necessidades de informação para suprir a deficiência de dados relativos à população urbana em períodos intercensitários, considerando também a disponibilidade tecnológica e a busca de alternativas metodológicas para a estimativa populacional é que se justifica o presente trabalho.

Foi tomada a diretriz de analisar somente áreas predominantemente residenciais e de ocupação horizontal, já que as imagens IKONOS 2 disponíveis sobre a área teste não formam pares estereoscópicos necessários para uma análise da ocupação vertical. Além disso, a população urbana existente no município de São José dos Campos, aproximadamente 10% dos habitantes vivem em apartamentos (residencial multifamiliar) e 90% vivem em casas (residencial unifamiliar), segundo o IBGE, 2000.

O trabalho desenvolvido dá continuidade e aprofunda trabalhos exploratórios desenvolvidos por Souza et al. (2002) e Souza et al. (2003).

O uso das imagens orbitais de alta resolução IKONOS 2 para a estimativa de população em períodos intercensitários é também justificado pelos seguintes fatores:

- relativo baixo custo das imagens, se comparado com o método convencional do censo;
- facilidade de aquisição das imagens orbitais;
- vantagem da visão sinótica;

## ÁREA DE ESTUDO

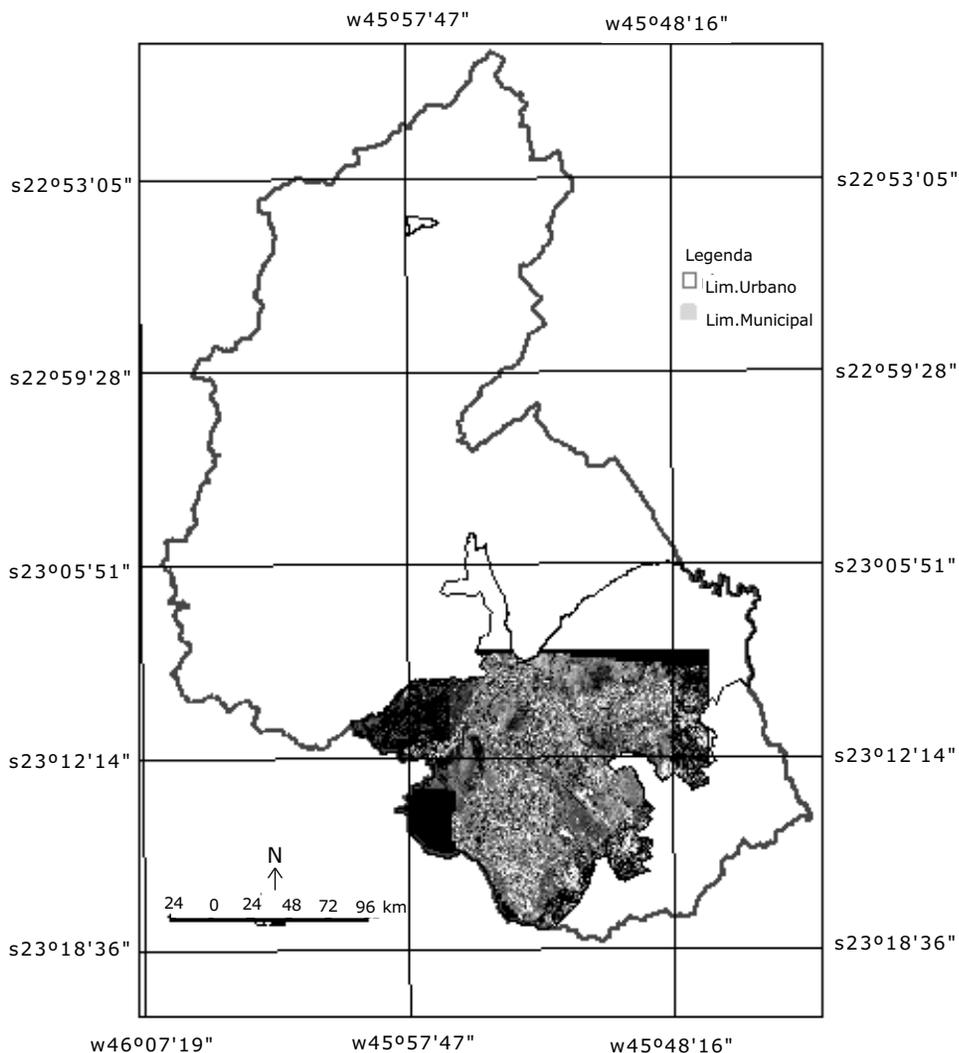
Para a realização do trabalho foi utilizada como área teste a cidade de São José dos Campos – SP, compreendida pelas coordenadas 23°18'24" de latitude Sul e 46°00'17" de longitude Oeste, situada a nordeste do Estado de São Paulo, no médio Vale do Rio Paraíba, entre as duas principais cidades do país, São Paulo e Rio de Janeiro (Figura 1).

A população total do município de São José dos Campos é de 539.313 habitantes, sendo que 532.717 vivem em áreas urbanas e 6.596 em áreas rurais, segundo o censo demográfico de 2000. Aproximadamente 99% da população de São José dos Campos vive na zona urbana. Essa população é formada por pessoas vindas de inúmeros outros lugares atraídas pelo fato de ser, esta cidade, um grande centro tecnológico com expressivas empresas e por estar estrategicamente localizada entre duas grandes capitais e entre a Serra e o Mar.

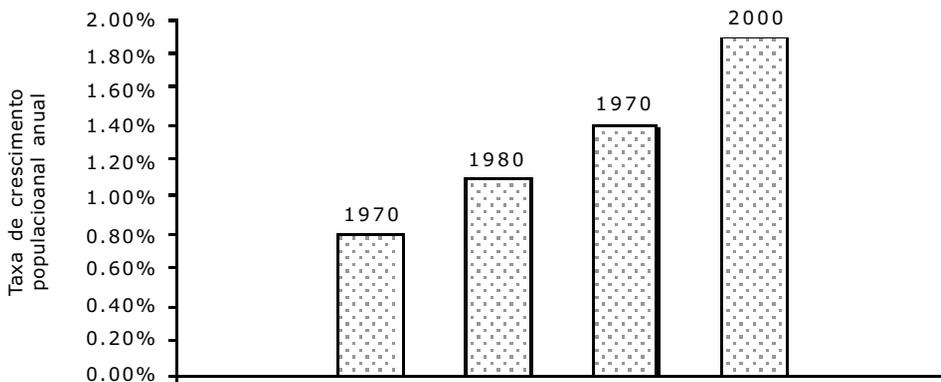
Atualmente o município São José dos Campos é considerado o município de maior destaque e influência na região, como se pode observar através da variação de sua taxa de crescimento populacional (Figura 2) e pelo seu desenvolvimento industrial, sendo o município do interior com maior porcentagem de área industrial construída entre 1980-1985 (Secretaria do Meio Ambiente, 1989).

Um dos fatores que determinaram o desenvolvimento econômico de São José dos Campos, impulsionado pela instalação de várias indústrias e alguns centros de pesquisa, posicionando-o atualmente como um dos mais importantes centros industriais e tecnológicos do Brasil, foi sua boa localização geográfica no eixo Rio - São Paulo.

**Figura 1 - Localização da área de estudo  
(cidade de São José dos Campos)**



**Figura 2 – Taxa anual de crescimento populacional de São José dos Campos**



## MATERIAIS

Foram utilizadas para este trabalho, imagens digitais do satélite IKONOS 2, composição colorida obtida da fusão de dados nos modos multiespectral (4 metros de resolução espacial) e pancromático (1 metro de resolução espacial), adquiridas em 10/09/2000 e 13/10/2000 respectivamente. As imagens analisadas compreendem as coordenadas 23° 08' 55" a 23° 17'51" de latitude sul e 45° 47'4" a 45° 59'42" de longitude oeste, e foram obtidas com ângulo de 69°.

Para se realizar o registro das imagens IKONOS 2, foram utilizados o mosaico digital ortorretificado, obtido em julho do ano 2000, na escala 1:30.000 e resolução espacial de 0,6 m pela empresa Base Aerofotogrametria S.A., como base cartográfica e o software ENVI (Environment for Visualizing Images), versão 3.5.

Os dados vetoriais referentes ao Perímetro Urbano de São José dos Campos foram obtidos a partir da base de dados geográficos "Cidade Viva" da Prefeitura Municipal de São José dos Campos (PMSJC, 2003).

Na determinação das áreas amostrais para a inferência da população, utilizaram-se dados vetoriais referentes aos setores censitários do Censo Demográfico 2000, realizado pelo IBGE.

Foi também utilizada a "Base de Informações por Setor Censitário" (IBGE, 2000), referente aos setores censitários de São José dos Campos, de onde foram extraídos atributos considerados significativos para a análise e cálculo da precisão dos dados obtidos a partir das imagens IKONOS 2.

Os dados foram integrados dentro do SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas), versão 3.6.03, ambiente para modelagem dos dados, instalado numa plataforma PC – 300MHZ, 128RAM, 12Gb.

Na identificação das unidades residenciais foi utilizado o software ENVI (Environment for Visualizing Images), versão 3.5.

## **METODOLOGIA**

Para atingir o objetivo proposto neste trabalho foram obedecidos os seguintes passos:

### *Delimitação da área de estudo*

Inicialmente delimitou-se a área de estudo, levando-se em consideração o perímetro urbano e as imagens disponíveis. A área teste delimitada abrange grande parte do perímetro urbano do município de São José dos Campos, aproximadamente 230 km<sup>2</sup> ou 77% da área urbana.

### *Pré-processamento das imagens*

O georreferenciamento das imagens IKONOS 2 (seis faixas utilizadas) foi feita utilizando-se o software ENVI, tendo como base cartográfica o mosaico obtido de fotografias aéreas digitais. Como a interpretação foi exclusivamente visual, o contraste aplicado objetivou melhorar a qualidade visual, realçando os dados, para o olho humano.

### *Estratificação da área de estudo em zonas residenciais unifamiliares homogêneas (ZRUFs)*

Diversos trabalhos em Sensoriamento Remoto, como Luiz (2003), ressaltam que, mais do que qualquer outro fator, a estratificação da área de estudo é a grande responsável pela melhora na precisão dos resultados obtidos. A estratificação pode produzir um ganho na precisão das estimativas das características da população completa, pois é possível dividir uma população heterogênea em sub populações, cada uma das quais sendo internamente homogênea. Este aspecto irá possibilitar a obtenção de uma amostragem estratificada, necessária devido à grande heterogeneidade das áreas residenciais.

A estratificação da área de estudo em ZRUFs foi realizada para servir de base no processo de seleção das amostras representativas da área de estudo. Visou-se com esta estratificação levantar os diferentes tipos de uso residencial unifamiliar associados ao padrão construtivo, que se encontram associados às diferentes condições sócio-econômicas dos seus moradores, determinando diferentes padrões de textura nas imagens.

Para a determinação das ZRUFs, os dados foram analisados no SPRING, amplificados para a escala 1:10.000, usando-se a opção *edição vetorial*, que permite a digitalização de polígonos. Os dados foram analisados na escala 1:10.000 para a obtenção de uma visão sinótica da área de estudo, necessária para a identificação de zonas homogêneas, e para se determinar um critério constante de observação. Isto, entretanto não descartou ampliações e reduções na visualização das áreas de interesse, a fim de enxergar maiores detalhes ou de ter visões de conjunto para áreas mais extensas.

A identificação das ZRUFs, a partir da interpretação visual das imagens IKONOS 2, foi feita utilizando-se critérios convencionais de fotointerpretação como cor, textura, forma, tamanho, sombra, localização e convergência de evidências, além da utili-

zação de chaves de interpretação geradas a partir do conhecimento da área e experiência do intérprete.

Na estratificação da área de estudo em zonas homogêneas, não compuseram a classificação final as seguintes áreas: área central da cidade, onde predominam os usos comercial e serviços; áreas institucionais; áreas industriais, representadas por indústrias de grande porte e áreas de ocupação vertical.

As ZRUFs obtidas para a área de estudo foram associadas diferentes classes sócio-econômicas, levando-se em consideração suas feições nas imagens, dados do IBGE (Censo 2000) e o conhecimento da área de estudo. Neste caso, as ZRUFs relativas à área urbana consolidada foram associadas às classes sócio-econômicas *alta*, *média*, *baixa* e *favela*. As áreas urbanas não-consolidadas foram associadas as classes *alta* e *baixa*.

As ZRUFs obtidas encontram-se descritas a seguir:

- alta 1; alta 2;
- média 1; média 2; média 3; média 4; média 5; média 6;
- baixa 1; baixa 2; baixa 3; baixa 4;
- favela;
- expansão 1, expansão 2, expansão 3.

A subdivisão das classes deveu-se ao fato de que essas áreas, embora pertencentes à uma única classe sócio-econômica, apresentam variações na textura, que podem ser visualizadas nas imagens. Exceção feita à classe *alta*, que apresenta subdivisão em função do tamanho do lote.

A área urbana não-consolidada (*expansão*) foi denominada de acordo com a classe sócio-econômica e a forma de expansão. No caso da classe *expansão 3*, os loteamentos a ela associados resultam do parcelamento de áreas rurais e em sua maioria não possuem licença urbanística junto à Prefeitura Municipal.

A seguir são descritas características importantes associadas às ZRUFs, que foram levantadas e exemplificadas nas imagens IKONOS 2 (Figuras 3 a 18).

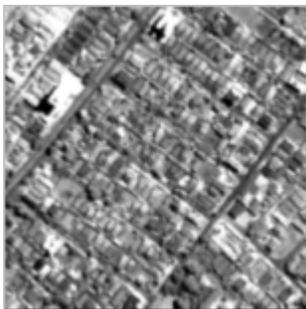
### **Figura 3 – Classe Alta 1 – exemplo obtido nas imagens IKONOS**



**Alta 1**-Próxima do centro; lotes e quadras bem definidos; arborização urbana de grande porte; presença de áreas verdes intralotes; lotes inteiros (12x30m ou maiores); um domicílio por lote com construções secundárias, incluindo piscinas; recuos laterais e de fundos identificáveis na imagem; predomínio de cobertura cerâmica.

**Figura 4 – Classe Alta 2 – exemplo obtido nas imagens IKONOS**

**Alta 2**-Área urbana consolidada com dimensões de chá-cara; distante do centro (apresenta-se em um único local da cidade); quadras, lotes e arruamento com características específicas; intensa arborização urbana e áreas arborizadas intralotes (baixas taxas de ocupação); lotes de 38x80m ou maiores; um domicílio por lote com construções secundárias, incluindo piscinas; coberturas predominantemente cerâmicas.

**Figura 5 – Classe Média 1 – exemplo obtido nas imagens IKONOS**

**Média 1**-Localização específica em uma região da cidade; lotes e quadras padronizados; arborização urbana de pequeno porte; predominância de lotes inteiros (10x25m); taxa de ocupação alta, sendo os lotes quase totalmente construídos, mas com predomínio de uma única unidade por lote; predominância de telhados cerâmicos (ocupação nova).

**Figura 6 – Classe Média 2 – exemplo obtido nas imagens IKONOS**

**Média 2**-Classe presente em apenas dois locais da cidade, ambos próximos ao centro; as duas áreas classificadas apresentam características bastante diversas quanto à organização espacial devido ao tempo de ocupação: uma delas possui arruamento, quadras e lotes organizados e regulares, enquanto a outra apresenta lotes de dimensões e orientações diversas (ausência de padrão), característica que se repete na organização das quadras, conforme exemplificado; arborização urbana de médio e grande porte; vegetação intralote presente na área de ocupação mais antiga e praticamente ausente na de ocupação mais recente; densidade de ocupação alta, apresentando mais de uma unidade residencial por lote; predomínio de telhados cerâmicos e escurecidos pela ação do tempo.

**Figura 7 – Classe Média 3 – exemplo obtido nas imagens IKONOS**



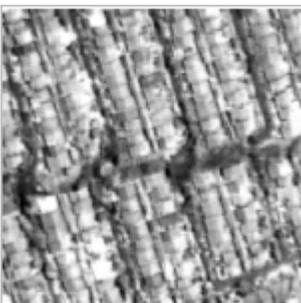
**Média 3**-Classe presente em diversas regiões da cidade; algumas áreas apresentam lotes, quadras e arruamentos padronizados e regulares (bairros planejadas), outras áreas apresentam lotes irregulares (dimensões, orientação e disposição na quadra), indicando (crescimento espontâneo); presença de arborização urbana de médio a grande porte; predomínio de lotes inteiros (10x25 e 12x26m) nas áreas planejadas e porcentagens equivalentes de lotes inteiros e meios lotes em outras áreas; alta taxa de ocupação (ausência de recuos laterais e fundos); coabitação (anexos); predominância de coberturas cerâmicas escurecidas pela ação do tempo.

**Figura 8 – Classe Média 4 – exemplo obtido nas imagens IKONOS**



**Média 4**-Área tipo conjunto residencial classe média-alta. Presente em um único local da cidade, sendo dentro de área especial (residências para os oficiais do Ministério da Aeronáutica); arruamento característico; ausência de lotes definidos; arborização nas ruas e quadras de grande porte; uniformidade da altura das residências e dos materiais utilizados na cobertura (construções geminadas se estendendo por toda a quadra).

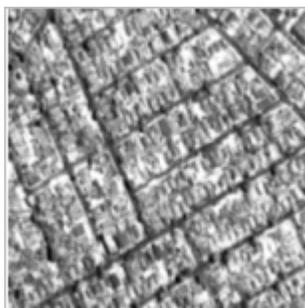
**Figura 9 – Classe Média 5 – exemplo obtido nas imagens IKONOS**



**Média 5**-Área urbana consolidada, tipo conjunto residencial classe média. Todas as áreas classificadas se localizam afastadas do centro; arruamento, quadras, lotes (maioria 10x25) e construções originalmente padronizados; arborização urbana de grande porte; densidade de ocupação alta, mas apresentando apenas um domicílio por lote; ampliações e construções auxiliares, excluindo recuos laterais e de fundos; Predomínio de cobertura cerâmica (telhados escuros pela ação do tempo).

**Figura 10 – Classe Média 6 – exemplo obtido nas imagens IKONOS**

**Média 6**-Área urbana consolidada, tipo conjunto residencial classe média-baixa. Afastados do centro; quadras, lotes e residências padronizados; presença de arborização urbana de médio a grande porte; meios lotes (5x25m), casas geminadas; recuos laterais bem definidos; coberturas cerâmicas.

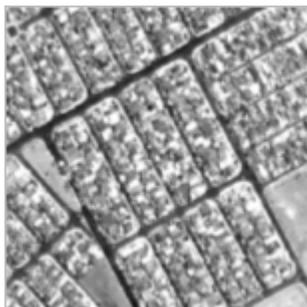
**Figura 11 – Classe Baixa 1 – exemplo obtido nas imagens IKONOS**

**Baixa 1**-Apresenta-se em diversas regiões na área urbana; lotes e quadras padronizados; em algumas áreas (de ocupação mais antiga) há arborização urbana; nas mais recentes, há áreas criadas para tal; não há vegetação intralote; presença em porcentagens equivalentes de lotes inteiros (10x25m) e meios lotes (5x25m); alta taxa de ocupação e ausência de recuos (laterais, frente e fundos) devido à presença de outras unidades domiciliares em um mesmo lote; coberturas predominantemente cerâmicas.

**Figura 12 – Classe Baixa 2 – exemplo obtido nas imagens IKONOS**

**Baixa 2**-Presença nas áreas periféricas da área urbana; quadras e lotes padronizados; inexistência de arborização urbana e vegetação intralote; predominância de meio lote (5x25m); alta densidade (presença de mais de um domicílio por lote); predomínio de coberturas de cimento-amianto e laje; algumas áreas se apresentam em regiões de relevo acentuado.

**Figura 13 – Classe Baixa 3 – exemplo obtido nas imagens IKONOS**



**Baixa 3-** Apresenta-se em um único local, afastado do centro; lotes e quadras padronizados; escassa arborização urbana, áreas destinadas a áreas verdes urbanas com cobertura de solo exposto, vegetação intralote inexistente; predominância de meio lote (7x20m); alta taxa de ocupação (mais de uma unidade domiciliar por lote); predomínio de coberturas de cimento-amianto e laje.

**Figura 14 – Classe Baixa 4 – exemplo obtido nas imagens IKONOS**



**Baixa 4-** Área urbana consolidada, tipo conjunto residencial. Apresenta-se somente em dois locais da cidade (áreas periféricas); ausência de arborização urbana e intralote; lotes inteiros (10x16m); quadras, lotes e residências padronizados (diversas ampliações e variações do tipo de cobertura das unidades devido ao tempo de ocupação); alta densidade, coabitação e ausência dos recuos obrigatórios; coberturas escuras pela ação do tempo, presença de coberturas com laje, telha cerâmica e de cimento-amianto em proporções iguais.

**Figura 15 – Classe Favela – exemplo obtido nas imagens IKONOS**



**Favela-**Ausência de lotes e arruamento definidos; ausência de recuos entre unidades residenciais; predominância de coberturas de cimento-amianto; presentes em diversas localizações e em algumas áreas da cidade apresentam intensa arborização urbana.

**Figura 16 – Classe Expansão 1 – exemplo obtido nas imagens IKONOS**

**Expansão 1**-Área urbana não-consolidada, com características de ocupação tipo classe média alta. Lotes (12x30 ou maiores) e quadras padronizados; vegetação urbana de pequeno porte ou inexistente (loteamentos novos); um domicílio por lote com construções secundárias, incluindo piscinas; coberturas bastante variadas (grande diferença na resposta espectral); classe presente em uma única localização da cidade (distante do centro e com relevo pouco acidentado).

**Figura 17 – Classe Expansão 2 – exemplo obtido nas imagens IKONOS.**

**Expansão 2**-Área urbana não-consolidada, com características de ocupação tipo classe baixa. Classe presente em regiões periféricas, com acesso restrito e/ou precário; arruamento e lotes bem definidos (predomínio de lotes com 5x25m); ausência de arborização urbana; por ser área de expansão ainda apresenta baixa densidade, mas a tendência é de ocupação como na área classificada como *baixa 3*; predominam coberturas cimento-amianto/laje aparente.

**Figura 18 – Classe Expansão 3 – exemplo obtido nas imagens IKONOS**

**Expansão 3**-Área urbana não consolidada, com características de ocupação mistas, tipo chácaras de recreação e classe baixa. Classe presente em regiões periféricas da cidade, com acesso restrito e/ou precário; em algumas áreas o arruamento foi planejado, mas o mesmo não ocorreu com os lotes, que apresentam dimensões variadas (a partir de meios lotes, com 5x25m, até lotes com dimensões de chácaras); presença de arborização urbana em alguns locais; por ser área de expansão e de ocupação diversificada, apresenta baixa densidade; coberturas diversificadas (cerâmica, cimento-amianto e laje aparente).

### *Determinação da base de dados amostrais*

Às ZRUFs foram superpostos os setores censitários para dar início ao processo de seleção de amostras, tendo como unidade amostral os setores censitários do IBGE representativos das diferentes zonas homogêneas. A determinação desses setores, homogêneos quanto às ZRUFs, foi feita automaticamente, a partir de um programa elaborado em LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico), disponível no SPRING. Obteve-se assim os setores censitários que pertenciam à uma única ZRUF.

Como o mapeamento das zonas homogêneas foi realizado na escala 1:10.000, alguns edifícios de apartamentos foram incluídos na área residencial unifamiliar. Para contornar o problema, foram identificados e excluídos da base amostral os setores censitários que apresentavam um número de domicílios do tipo apartamento maior que 12 (apartamentos).

Através desse processo foram obtidos 328 setores censitários homogêneos quanto às classes sócio-econômicas das ZRUFs, que podem ser vistos na figura 19. Esses setores censitários foram utilizados como possíveis amostras para o cálculo da população nas imagens IKONOS 2, pois apresentam dados de população (IBGE, 2000) que serviram de referência terrestre para o cálculo da precisão da população inferida através das imagens.

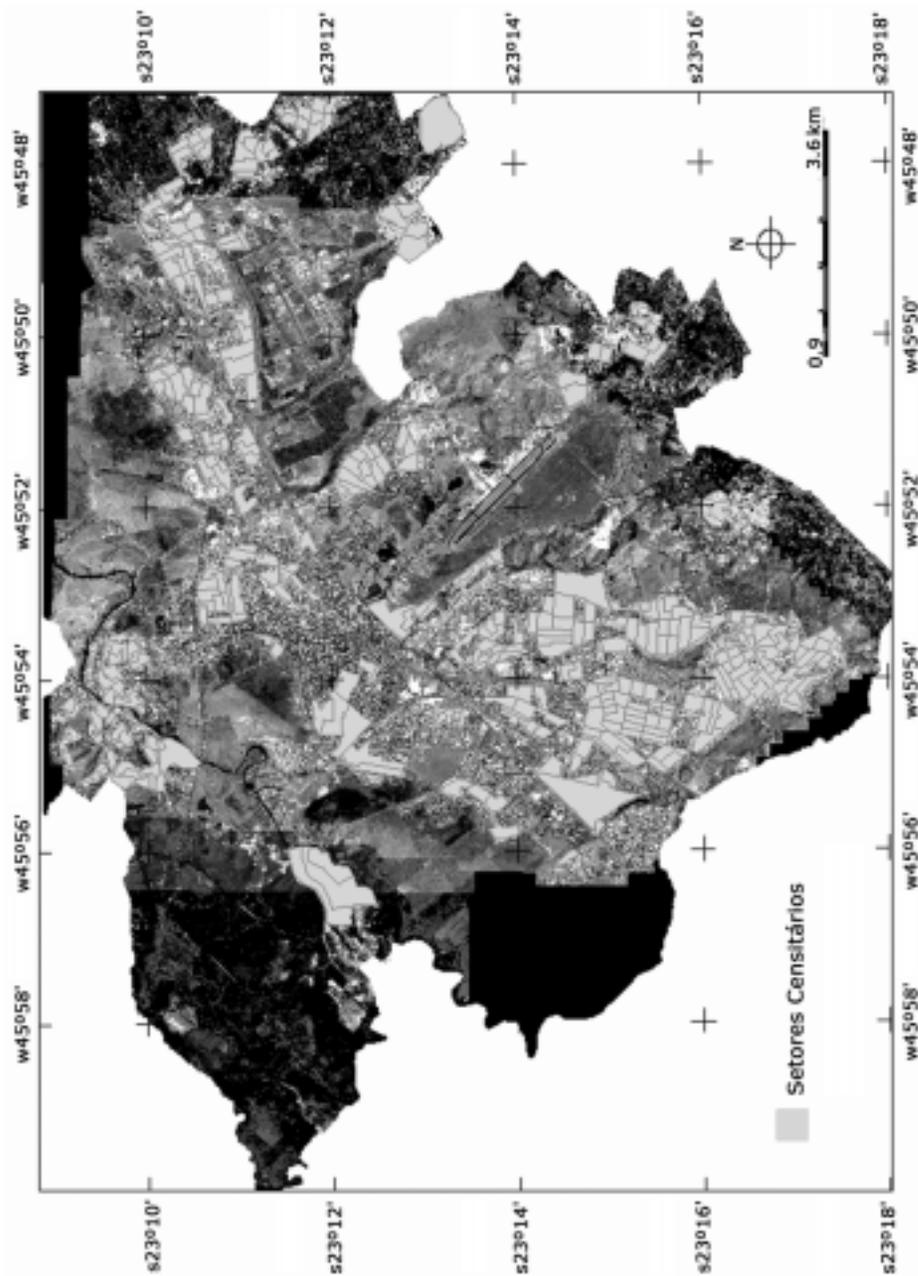
### *Seleção das amostras*

Como próximo passo, foi feita a seleção de amostras nas áreas correspondentes às diferentes ZRUFs para a inferência da população. Na seleção das amostras representativas dessas ZRUFs, foi utilizado, dentro da opção *Ferramenta*, o item *Seleção de Pontos Amostrais* dentro do SPRING e assim definidos, a partir dos centros de massas dos polígonos formados pelas ZRUFs, os setores censitários do IBGE que serviriam de amostra para a contagem das unidades residenciais e posterior inferência da população. Este método de seleção das amostras foi utilizado para que não houvesse uma amostragem tendenciosa, além do fato de ser um procedimento simples e rápido disponível no SPRING.

Com o objetivo de direcionar melhor a seleção das amostras representativas das classes sócio-econômicas, além de testar a coerência interna das ZRUFs obtidas, associaram-se aos setores censitários dados sócio-econômicos do Censo Demográfico 2000 (IBGE), a partir do modelo cadastral dos dados. Inicialmente, foi gerada a partir do software ACCESS uma tabela com determinados atributos dos setores censitários contidos em IBGE (Censo 2000), tais como: *número médio de moradores por domicílios*; *renda média do responsável*; *média de anos de estudo do responsável* e *número médio de banheiros por domicílio*. A seguir, a tabela foi inserida no SPRING, o que permitiu a análise espacial dos setores censitários.

Através dessas análises identificou-se que, determinados polígonos pertencentes à uma mesma zona homogênea, embora apresentassem texturas fotográficas semelhantes, possuíam características sócio-econômicas diversas em função da localização geográfica do bairro, da proximidade ao centro e proximidade de rodovias. Este aspecto foi então considerado no processo de seleção das amostras representativas das ZRUFs.

Figura 19 – Setores Censitários classificados para análise



Não foram selecionados os setores equivalentes a todos os centros de massa das ZRUFs, já que se pôde observar que, em alguns casos, além do padrão de ocupação se repetir, houve grande semelhança quanto às variáveis sócio-econômicas analisadas. No caso de ZRUFs muito dispersas na zona urbanizada, houve uma seleção de um número maior de amostras em função de esta distribuição espacial refletir nas características sócio-econômicas.

No caso da ZRUF *classe alta*, foi selecionado um número maior de amostras em virtude do setor censitário selecionado inicialmente ter, como dois de seus limites, corredores de circulação (avenidas), apresentando, portanto mudança de uso de muitas residências em comércio e serviços.

Foram então selecionados, como amostras para a contagem das unidades domiciliares, 24 setores censitários do IBGE, considerando que esses setores são representativos do universo amostral obtido a partir das ZRUFs.

### *Determinação das chaves de interpretação para a identificação das unidades domiciliares*

Para a contagem dos domicílios, foram criadas chaves de interpretação, a fim de se reduzir a subjetividade e definir critérios que possam ser reproduzidos em áreas de ocupação semelhante. Essas chaves se basearam nos seguintes critérios:

- Localização do setor no ambiente urbano como um todo (conforme classificação das zonas homogêneas), permitindo melhor observação do padrão de adensamento da ocupação por lote e/ou quadra;
- Localização das quadras no setor, em relação às vias locais e avenidas para facilitar a identificação de outros tipos de uso (não-residenciais);
- Organização e localização dos lotes nas quadras. Ex.: localização do lote na esquina indica a presença de comércio;
- Presença/ausência de jardins e gramados (determinante dos usos não-residenciais);
- Recuos (principalmente frontal para determinação de outros usos não-residenciais);
- Muros e coberturas diferenciadas no recuo frontal da unidade residencial (elementos identificadores de residências geminadas);
- Sombra e/ou visão da fachada lateral (fundamental na identificação de uma construção, onde a resposta espectral de solo exposto é semelhante à das coberturas);
- Acesso às unidades (acesso independente a edículas e construções anexas ou caminhos abertos no caso das zonas onde o tipo de ocupação é *padrão chácara*).

### *Identificação das unidades domiciliares*

Como próximo passo, nos 24 setores censitários do IBGE que foram selecionados como amostras, foi realizada a identificação das unidades residenciais.

No caso da contagem de domicílios realizada pelo censo demográfico (IBGE), tem-se como dado primário as unidades visitadas. As unidades visitadas são subdivididas em:

- domiciliadas (residências); e
- não-domiciliadas (estabelecimentos comerciais e de serviços).

As unidades domiciliadas são ainda subdivididas em: *domicílios ocupados, fechados, ocasionais e vagos*.

Quanto ao número de domicílios, os dados do Censo Demográfico consideram somente os *domicílios ocupados*. Na identificação realizada nas imagens IKONOS 2, foram levantadas *unidades domiciliadas*, pelo fato de as diferentes categorias resultantes da subdivisão dessa unidade não poderem ser identificadas através das imagens, o que constituiu uma fonte de erro na estimativa da população.

A identificação das unidades residenciais foi feita no software ENVI (The Environment for Visualizing Images), versão 3.5, que permitiu que os dados fossem mais bem visualizados em função da plataforma utilizada. Além disso, esse software permite que, durante o processo de identificação das unidades, as mesmas sejam numeradas individualmente na tela (utilizando-se a opção "*overlay-annotation*"), com a finalidade de se criar um registro espacial de uma individualização das unidades em uma primeira contagem. Esta numeração foi realizada, pois devido ao caráter subjetivo da interpretação, uma nova contagem poderia apresentar resultados muito diferentes em função do que seria considerado como uma unidade domiciliar. Com isto, tentou-se minorar o fator subjetividade. A numeração individual das unidades é válida para que se possam realizar processos de refinamento na identificação dos domicílios, pelo mesmo intérprete.

Foi realizada a identificação do número de unidades residenciais de cada um dos 24 setores censitários do IBGE que compunham o conjunto de amostras para a posterior inferência da população nos mesmos.

### *Cálculo de inferência de população*

A estimativa da população de cada setor foi obtida a partir da multiplicação do número de domicílios levantados nas imagens, pelo número médio de pessoas residentes por domicílio, obtido do Censo Demográfico 2000 (IBGE). O número médio de pessoas residentes de cada setor resultou da divisão do número total de população pelo total de domicílios do setor, definidos pelo IBGE, em função da disponibilidade desses dados para o período estudado. Nos períodos intercensitários, entretanto, este dado poderá ser obtido através de amostragem em campo.

A população total do setor foi calculada a partir da seguinte equação:

$$P_{si} = D \times M \quad \text{onde:}$$

$P_{si}$  = população total do setor  $i$ .

$D_{si}$  = número total de domicílios do setor  $i$ .

$M_{si}$  = número médio de moradores por domicílio do setor  $i$ .

### *Análise da precisão da estimativa da população*

Após a estimativa da população do setor censitário ter sido realizada, foi calculada a correlação existente entre os dados de população do Censo Demográfico IBGE (2000) e os dados de população obtidos através das imagens IKONOS 2, assim como a precisão das informações adquiridas.

Foram calculados os erros de omissão e inclusão, associados à estimativa realizada da seguinte forma:

$$\text{Erro de Estimativa} = \frac{\text{População IBGE} - \text{População IKONOS 2}}{\text{População IBGE}}$$

Calculou-se também, a média dos erros obtidos, considerando-se os erros de omissão e inclusão, e a média dos erros em módulo com o objetivo de se quantificar os erros em termos absolutos.

Sobre os resultados obtidos na inferência da população foi aplicado o teste "t" de "Student". Para este teste utilizou-se como matriz de dados a população constante do Censo Demográfico 2000 (IBGE 2000) e a estimada aqui encontrada. Finalmente, foi analisada a inferência da população obtida e determinado o intervalo médio dos erros de inferência.

## RESULTADOS

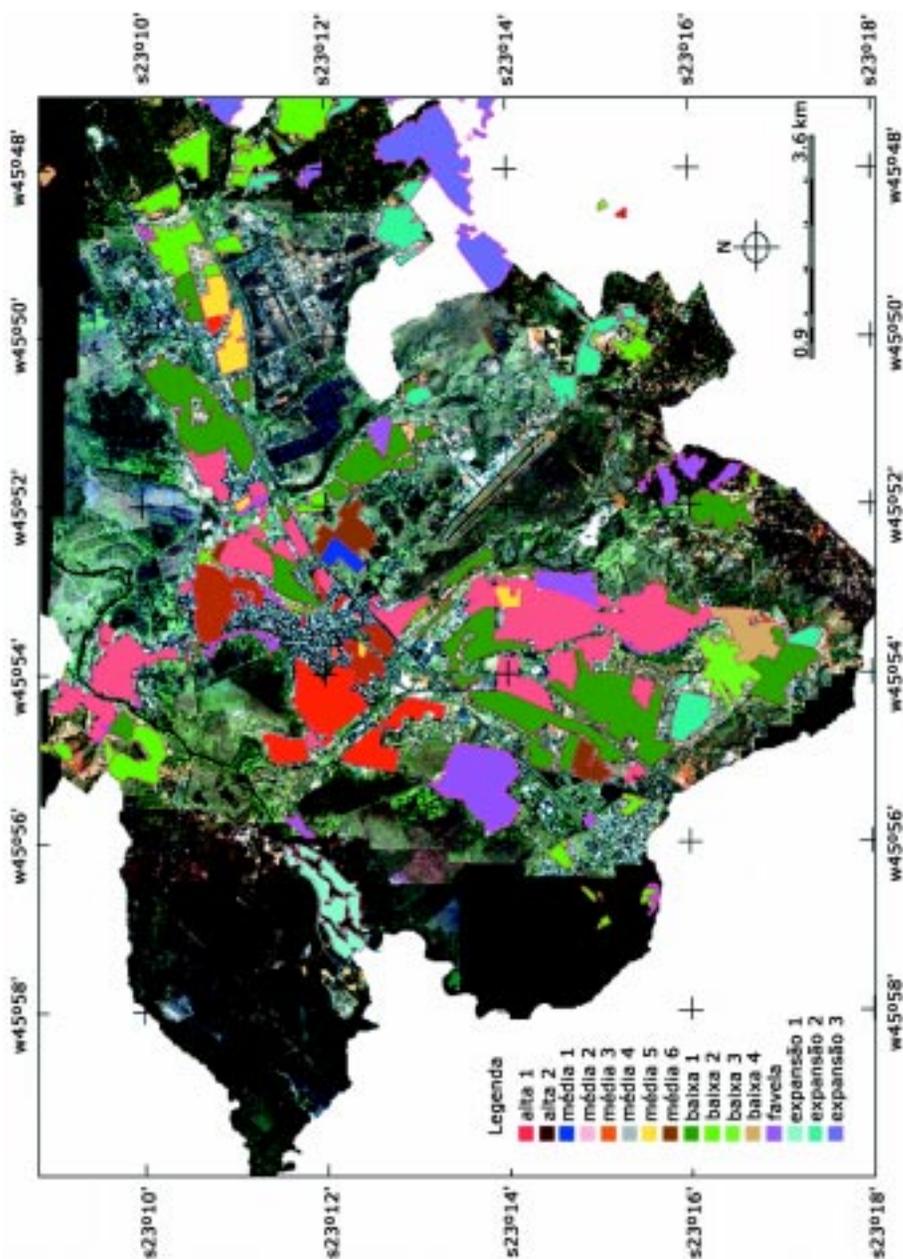
A visão sinótica proporcionada pelas imagens IKONOS 2 da área de estudo, assim como as chaves de interpretação utilizadas permitiram a obtenção de 16 (dezesesseis) ZRUFs, mostradas na figura 20. Houve maior dificuldade quanto à delimitação das áreas residenciais unifamiliares junto ao Centro, principalmente onde este está composto por edificações padrão residência (área transição centro/ZRUF), mas que são utilizadas por uso comercial ou serviços.

Pela análise da figura 20 verifica-se que a ZRUF relativa à classe *média* foi a que apresentou maior subdivisão interna. Isto se explica pelo fato desta classe apresentar grande variação temporal da ocupação, distribuição espacial dispersa e conjuntos residenciais que se diferenciam em termos sócio-econômicos.

A análise das ZRUFs, com relação às variáveis *média de anos de estudo do responsável, renda média do responsável, número médio de banheiros por domicílios e número médio de moradores por domicílios*, mostrou que embora elas se diferenciem em termos texturais, apresentam problemas de separabilidade em termos sócio-econômicos.

A tabela 1 apresenta o comportamento dessas variáveis analisadas para os setores censitários das ZRUFs que serviram como base amostral.

**Figura 20 - Zonas Residenciais Unifamiliares Homogêneas (ZRUFs) obtidas na interpretação visual das imagens IKONOS 2**

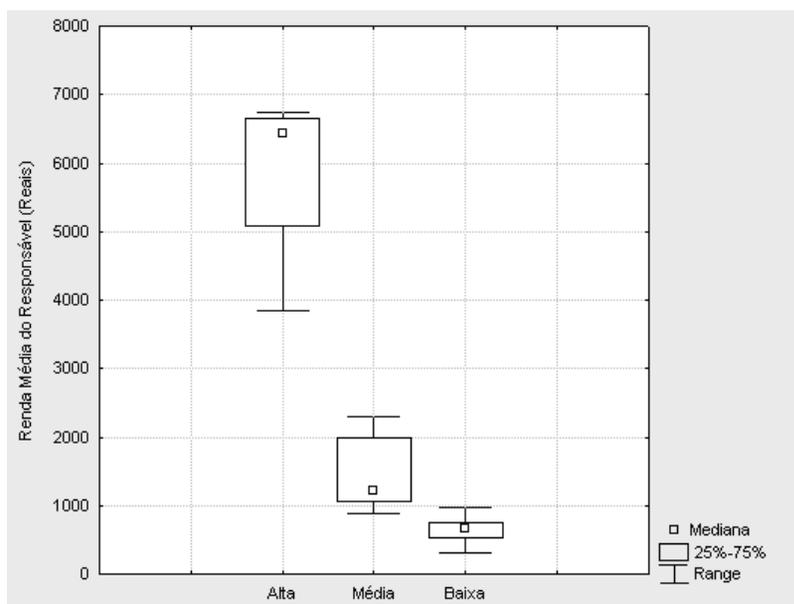


**Tabela 1 – Comportamento das variáveis analisadas para os setores censitários que compõem a base amostral**

	Classe Alta (altas 1 expansão 1e 2, - ZRUFs)		Classe Média (médias 1, 2, 3, 4, 5 e 6 ZRUFs)		Classe Baixa (baixas 1, 2, 3 e 4, favela expansão 2 e 3 - ZRUFs)	
	min	max	min	max	min	max
<b>Número Médio de Moradores por domicílio</b>	3,43	4,31	2,90	4,24	3,17	4,88
<b>Renda Média do Responsável</b>	2.883,15	6.750,80	940,38	2.537,32	137,20	923,16
<b>Média de anos de Estudo do Responsável</b>	10,10	12,30	4,82	11,17	0,13	9,91
<b>Número Médio de Banheiros por Domicílio</b>	2,41	4,12	1,10	2,25	1,01	1,63

Pela análise da tabela 1, verifica-se que as classes se diferenciam mais quanto à *renda média do responsável*. Esse aspecto pode ser mais bem visualizado na figura 21, onde as classes não apresentam nenhuma área de intersecção. Isso comprova a grande correlação entre *média de salários* e padrão de ocupação, como tipo e tamanho da construção, tamanho do lote, observado nos dados de sensoriamento remoto.

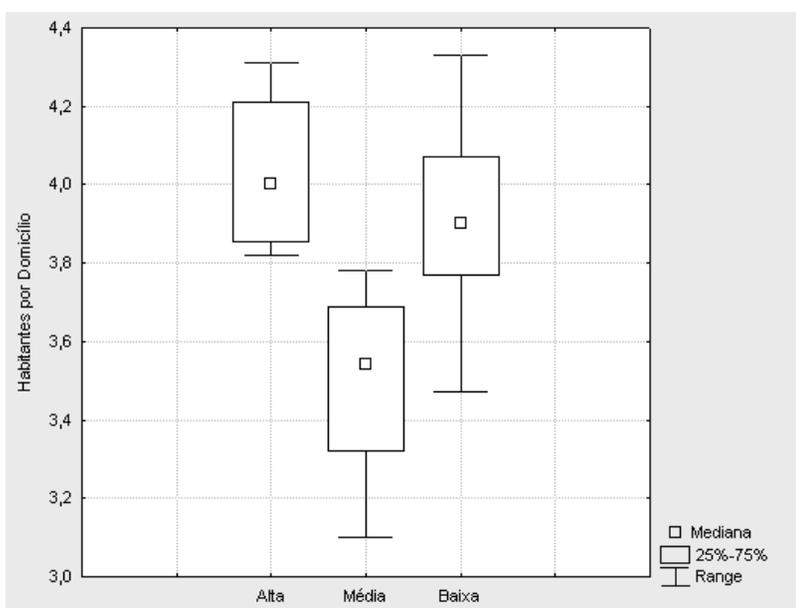
**Figura 21 – Distribuição da variável *renda média do responsável*, por classe sócio-econômica**



As variáveis *média de anos de estudo do responsável* e *número médio de banheiros por domicílio*, embora altamente correlacionadas com a *renda média do responsável*, apresentaram menor poder de discriminação das classes analisadas.

A maior superposição entre as classes ocorreu quanto à variável *número médio de moradores por domicílio*, conforme é mostrado na figura 22.

**Figura 22 – Distribuição da variável número médio de moradores por domicílio, por classe sócio-econômica**

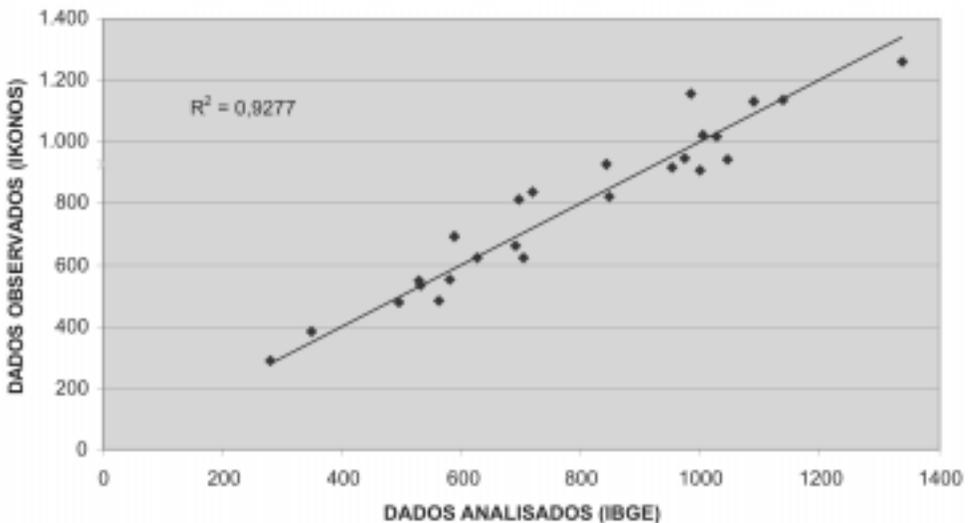


Esta variação é explicada em parte pelo fato de que, embora as classes *baixas* apresentem número semelhante de moradores por domicílio ao das classes *altas*, sabe-se que a área ocupada por uma unidade residencial é bastante superior para esta última classe. Essa diferença na densidade populacional não foi analisada quantitativamente no presente trabalho, mas pôde ser verificada qualitativamente através das imagens IKONOS 2.

Esta reduzida diferenciação das classes em termos da *média do número de moradores por domicílio* irá facilitar a inferência da população nos períodos intercensitários, pois diminuirá o número de amostras a serem coletadas em campo para determinação do número médio de moradores por domicílio nesses períodos.

A correlação obtida entre a população real (IBGE) e a população inferida através das imagens IKONOS 2 foi de aproximadamente 93% (Figura 23).

**Figura 23 – Correlação linear entre a população inferida e a população real (IBGE)**



Embora exista alta correlação entre os dados, verifica-se variação quanto aos erros de estimativa, quando se analisa os setores individualmente, conforme demonstrado na tabela 2.

A tabela 2 apresenta os resultados da estimativa da população, considerando-se as amostras (24 setores censitários) relativas às diferentes ZRUFs.

**Tabela 2 – Estimativa da população dos diferentes setores censitários amostrais**

ZRUF	Setores censitários	Loteamentos	Nº Domicílios IBGE	Nº Domicílios IKONOS	População Total (IBGE)	População Total (IKONOS)	% de erro
Alta 1	126/05	Esplanada II	182	212	696	810	16,36%
Alta 1	245/05	Jd. das Colinas	205	225	843	925	9,70%
Alta 2	469/05	Quinta das Flores	81	89	349	384	9,91%
Média 1	237/05	Jd. das Indústrias	163	156	580	555	-4,25%
Média 2	012/05	Vila Maria	202	201	627	623	-0,62%
Média 2	165/05	Jd. Maringá	84	87	279	289	3,53%
Média 3	641/05	Santana	151	146	496	479	-3,45%
Média 3	411/05	Bosque I	224	218	847	824	-2,71%
Média 3	452/05	Bosque II	195	187	691	662	-4,20%
Média 3	041/05	Monte Castelo	278	276	1.027	1.018	-0,83%
Média 5	264/05	Vista Verde	308	319	1.090	1.129	3,60%
Média 6	434/05	Cj. 31 de Março	142	142	533	533	0,00%
Baixa 1	254/05	Tesouro	309	308	1.139	1.137	-0,22%
Baixa 1	349/05	Jd. Granja	288	262	1.000	909	-9,09%
Baixa 1	534/05	Morumbi	145	125	563	485	-13,85%
Baixa 1	559/05	Colonial	183	162	704	624	-11,41%
Baixa 2	071/10	Novo Horizonte	238	229	953	916	-3,88%
Baixa 2	300/05	Telespark	267	240	1.046	941	-10,06%
Baixa 3	578/05	Campo Alemães	309	291	1.339	1.260	-5,90%
Baixa 4	562/05	Cj. D. Pedro	235	229	973	948	-2,56%
Favela	065/05	Favela Banhado	174	203	719	838	16,61%
Expansão 1	645/05	Urbanova	280	329	984	1.155	17,36%
Expansão 2	345/05	C. de São José	252	257	1.004	1.023	1,88%
Expansão 3	507/05	Ch. Pousada Vale	134	139	530	550	3,86%

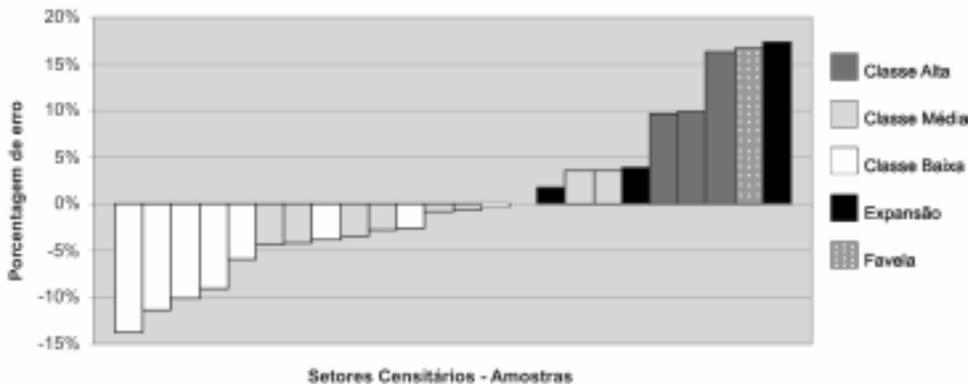
(-) erros omissão

(+) erros inclusão

De acordo com a tabela 2, foram obtidos erros de inclusão (valores positivos) e erros de omissão (valores negativos) para os setores censitários amostrados. A variação desses erros correspondeu a -13,85%, erros de omissão encontrados na classe *baixa1*, a 17,36%, erros de inclusão ocorridos na classe *expansão 1* (*expansão classe alta*).

A figura 24 mostra a variação dos resultados obtidos. Pode-se observar a concentração dos altos valores dos erros de inclusão da classe alta, assim como, no caso da classe baixa, a concentração de altos valores dos erros de omissão. A classe média é aquela em que os erros se encontram mais distribuídos, alternando entre erros mais baixos de inclusão e omissão.

**Figura 24 – Variação de erros na estimativa da população associada aos setores censitários amostrados**



Pela análise da tabela 3 verifica-se que, com relação à área urbana consolidada, a classe *alta* foi a que apresentou o maior erro médio na identificação das unidades domiciliares, refletindo na estimativa da população urbana, correspondendo a 11,99%. Para esta classe os erros obtidos foram de inclusão.

**Tabela 3 – Erros médios obtidos na inferência de população**

	% de erro	% de erro em módulo
Classe Alta	11,99%	11,99%
Classe Média	-0,99%	2,58%
Classe Baixa	-7,12%	7,12%
Áreas Consolidadas	-0,63%	6,32%
Áreas Não Consolidadas	7,70%	7,70%
<b>Todos os setores classificados</b>	<b>0,41%</b>	<b>6,49%</b>

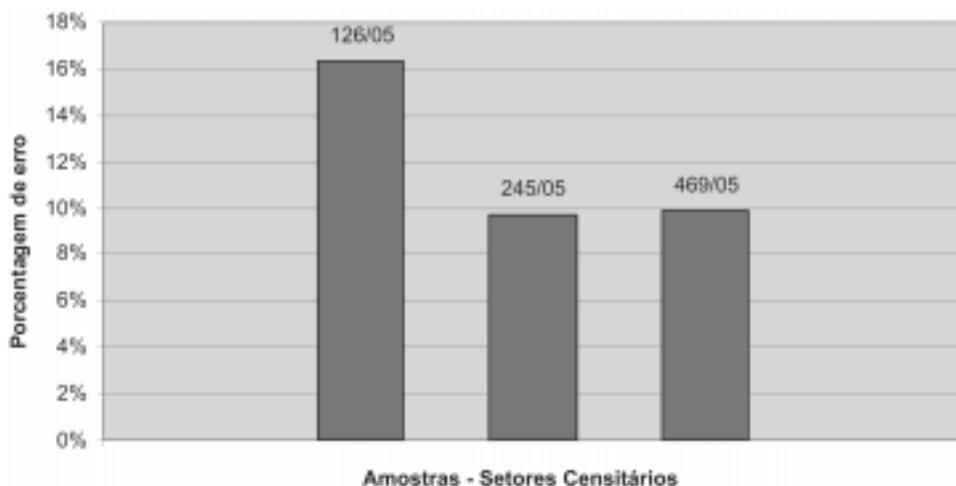
No caso da classe *alta*, os erros de inclusão na identificação das unidades residenciais obtidos podem ser explicados por:

- existência de residências desocupadas ou em construção (fase de acabamento);
- domicílios ocupando mais de um lote;
- presença de imóveis comerciais e de serviços sem alteração da área construída;
- sombra provocada pela arborização das ruas, o que impede a identificação de estacionamentos no recuo frontal das unidades onde ocorre o uso comercial;

- presença de arborização intralote encobrendo telhados;
- presença de construções anexas de grande dimensão e distantes do domicílio principal (no caso da classe *alta 2*).

Os setores censitários considerados como *classe alta* e com ocupação recente apresentaram grande variedade de padrões, formas e cores de coberturas, devido à presença de grande variedade de materiais e cores de telhas no mercado construtivo, constituindo-se em uma característica que facilita a identificação das unidades domiciliares. Já naqueles setores com ocupação mais antiga, observou-se uma maior homogeneidade quanto a esse item, predominando a utilização de telhas cerâmicas, fator que dificulta a identificação das unidades domiciliares. A figura 25 mostra a distribuição dos erros para esta classe.

**Figura 25 – Variação de erros na estimativa da população associada à Classe Alta**

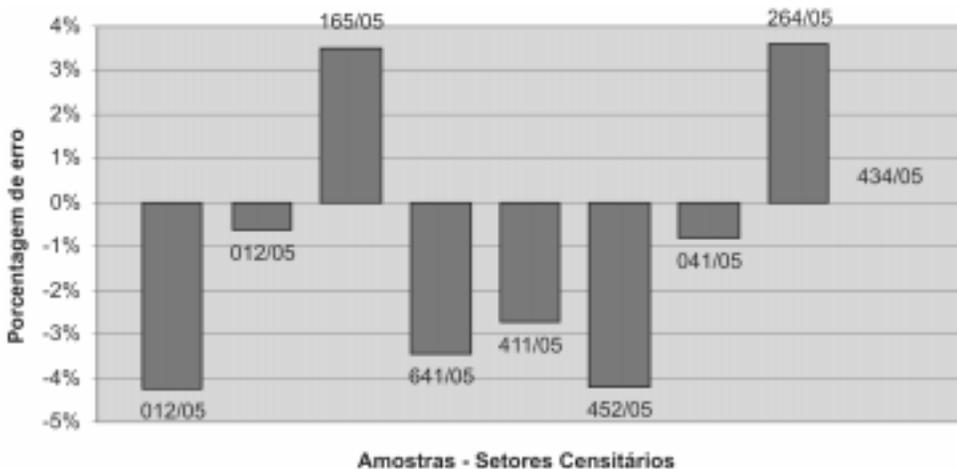


Na identificação das unidades residenciais, um dos problemas enfrentados foi a consideração de edículas como outra unidade domiciliar (coabitação), sendo presente nas classes *médias, baixas e expansão baixa*. Este problema pode ser minorado conhecendo-se as características das zonas homogêneas.

Sabe-se que a maior parte das cidades brasileiras atuais apresenta este padrão de ocupação, mas é difícil de determinar o limite social que inclui ou exclui a edícula ocupada por outra família. A coabitação, conforme verificado por Souza (2002), pode ser associada às características sócio-econômicas da população do bairro, pois essas edículas são alugadas para aumento da renda do proprietário ou ocupadas por membros da família, normalmente filhos, que se casam. Isto foi verificado por Kurkdjian (1986, p.95), em que a autora descreve: "a ocorrência de mais de uma residência em um único lote é típica de populações mais carentes que, frente ao alto valor do solo urbano, criam mecanismos familiares, de sobrevivência".

A classe *média* foi a que apresentou o menor erro médio de identificação das unidades domiciliares, sendo este de -0,99% (Tabela 3). Para esta classe, embora tenham ocorrido erros de inclusão, houve a dominância de erros de omissão, conforme pode ser visto na figura 26.

**Figura 26 – Variação de erros na estimativa da população associada à Classe Média**



Isto pode ser explicado pelo fato de esta classe conter amostras correspondentes a conjunto residenciais em que há homogeneidade das construções, principalmente quanto à cobertura da construção principal. Os erros associados à determinação das unidades domiciliares desta classe baseiam-se principalmente nos seguintes aspectos:

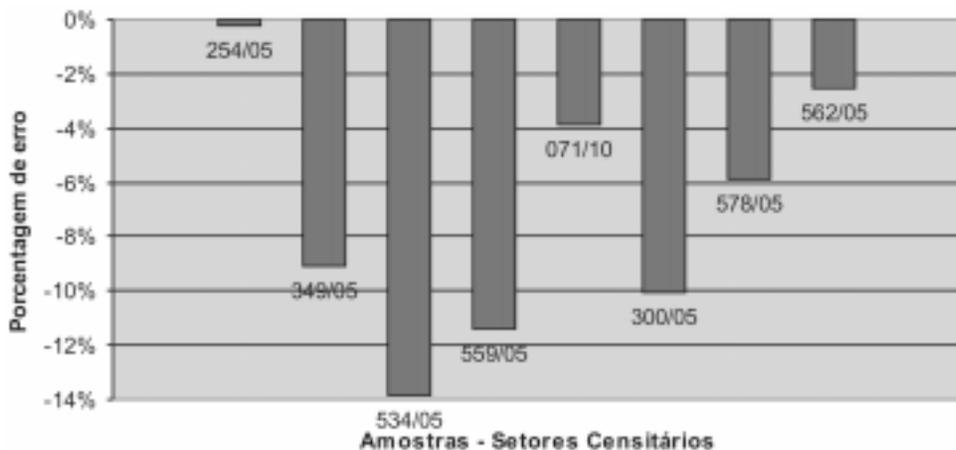
- ausência de lotes-padrão e desorganização quanto ao arruamento, que se encontram em loteamentos de crescimento espontâneos, formando vilas no centro das quadras;
- unidades com mudança de uso como comércio e serviços, principalmente nos corredores centrais, mas também entremeados nos bairros;
- ausência de estacionamentos nos recuos frontais das unidades domiciliares, a serem usados pelo estabelecimento comercial;
- alta densidade de construções;
- grande diversidade de material dos telhados;
- idade dos telhados em que o tempo provoca o escurecimento das coberturas cerâmicas, fazendo com que esses sejam confundidos com outros alvos, como a vegetação;
- mais de um domicílio por lote através de ocupação de edículas (coabitação);
- presença de casas geminadas.

Nos setores de *classe baixa* ocorreram duas situações distintas: naqueles já consolidados, o padrão das construções é melhor e há uma maior homogeneidade de materiais, predominando telhados cerâmicos. Nos bairros de ocupação recente ou em expansão ocorreu a predominância de telhados de cimento-amianto e lajes aparentes.

Na identificação das unidades domiciliares da *classe baixa* houve somente a ocorrência de erros de omissão (Figura 27), principalmente devido aos seguintes fatores:

- dominância de meio lote (125 m<sup>2</sup>);
- presença de meio lote com construção vertical;
- alta densidade das construções: coberturas muito próximas, principalmente de cimento amianto, que apresenta baixa reflectância espectral, dificultando a separação entre os telhados associados aos domicílios, apesar da organização e alinhamento dos lotes;

**Figura 27 – Variação de erros de estimativa da população associada à Classe Baixa**

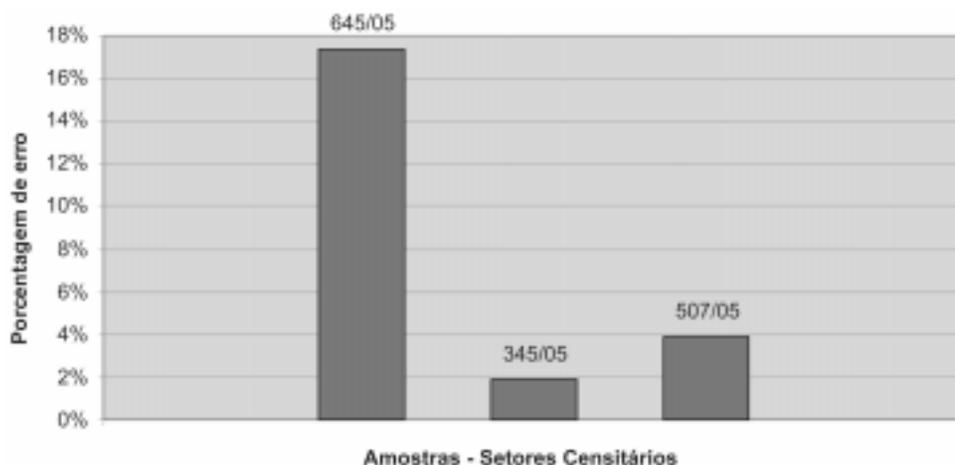


Quanto à classe *favela*, esta apresentou erro de inclusão na identificação das unidades domiciliares de 16,61%. A identificação das unidades residenciais para esta classe foi dificultada pelos seguintes fatores:

- ausência de arruamento definido;
- inexistência de padrão dos lotes, tanto em dimensão quanto em orientação;
- predominância de telhados de cimento-amianto, que se confundem na imagem com a vegetação;
- várias construções por lote, gerando problemas quanto à classificação destas como domicílio, comércio ou construções anexas.

Com relação à área urbana não-consolidada, que engloba as áreas em expansão, houve apenas a ocorrência de erros inclusão na identificação das unidades domiciliares (Figura 28).

**Figura 28 - Variação de erros de estimativa da população associada a áreas não consolidadas (*expansão*)**



Verifica-se pela análise da tabela 2 que a classe *expansão classe alta (expansão 1)* foi a que apresentou o maior erro de estimativa de unidades domiciliares (17,36%). Isto se explica pelo fato de esta classe apresentar grande quantidade de domicílios desocupados que se encontram em construção ou em fase de acabamento. Esses domicílios, em sua maioria, não puderam ser considerados como desocupados em função dos dados utilizados como referência terrestre (IBGE, 2000), com exceção daqueles em que foi identificada a presença de solo exposto junto às construções, de tonalidade branca na imagem, funcionando como chave de interpretação, dentro da ZRUF.

A classe *expansão classe baixa (expansão 2)* apresentou o menor erro de identificação das unidades domiciliares para a categoria áreas em expansão (1,88%). Nesta classe as construções são ocupadas mesmo antes de seu término, em função do problema de falta de moradia enfrentado por esta faixa de população, o que não ocorre com a classe *expansão alta (expansão 1)* analisada. Os erros desta classe foram:

- confusão entre telhados de cimento amianto;
- solo com cobertura de gramíneas e áreas pavimentadas;
- confusão de telhados de laje aparente e solo exposto em áreas onde o elemento sombra não ocorreu, devido ao ângulo de obtenção da imagem.

Com relação à *classe expansão a partir de chácaras ou de pequenas propriedades rurais (expansão 3)* com erro de inclusão (3,86%), estes se associam aos seguintes fatores:

- presença de chácaras de recreação que não puderam ser diferenciadas nas imagens em função da pequena dimensão das construções;
- falta de limite dos lotes em função de se originarem da subdivisão de terrenos maiores;
- existência de construções isoladas que, embora apresente acessos bem definidos, podem exercer o papel de construções anexas a uma unidade principal.

O erro total de inferência obtido foi de inclusão (Tabela 3), sendo este de 0,41%, aproximadamente, que correspondeu a um total de 110 habitantes. Quando se considera somente a área consolidada urbana, este erro total passa a ser de omissão, correspondendo a -0,63%, aproximadamente.

Para as classes não-consolidadas tem-se um erro médio de 7,70%, pois para estas classes o número de domicílios desocupados é elevado, principalmente na classe *expansão*<sup>1</sup>. Observa-se, entretanto, que para as classes analisadas individualmente os erros obtidos são bem superiores. Isto ocorreu, pois na estimativa da população realizada para a área de estudo, os erros de omissão foram compensados pelos erros de inclusão. O mesmo foi observado por Lindgren (1971) em estudo desenvolvido para a área metropolitana de Boston.

Comparando-se os erros obtidos, verifica-se que, no caso da ocorrência de erros de omissão e inclusão na classe, o erro médio em módulo será maior, pois a subestimativa dos dados não é compensada pela superestimativa dos mesmos.

## CONCLUSÕES

Os resultados deste trabalho se assemelham àqueles encontrados por Liu e Clarke (2002) ao realizarem estudos de estimativa de população utilizando-se imagens IKONOS 2. Embora tenham obtido uma precisão de estimativa de 92% em relação aos dados oficiais, ocorreram significativos erros de omissão e inclusão para as áreas de alta densidade populacional e para as mais baixas densidades.

Considerando-se todos setores analisados, pode-se enumerar como fontes de erro de inclusão na identificação do número de unidades residenciais, os seguintes aspectos:

- mudança de uso de unidades residenciais que se tornaram comerciais, que ocorre em bairro antigo, de classe alta (*alta 1*), onde inicialmente foram edificadas residências com grande área construída e que, devido a vários fatores (entre eles a falta de segurança e a queda do poder aquisitivo), ocorreu uma mudança de uso;
- ângulo de inclinação de obtenção da imagem gera respostas espectrais diversas para a mesma cobertura de um único domicílio (parte do telhado iluminado e parte com sombra), induzindo à interpretação de presença de residências geminadas;
- coberturas cerâmicas, quando têm padrão mais claro, saturam a imagem, induzindo à interpretação da existência de mais de uma unidade residencial;

Com relação aos erros de omissão pode-se enumerar como fontes de erros as seguintes características da área de estudo:

- presença de meio lote com construção vertical: tem aparência de sobrado, mas contém mais de um domicílio; presente nas classes *baixa 1*, *baixa 2* e *baixa 3*;
- edificação que pode ser identificada com uso comercial, mas que possui unidade residencial no primeiro pavimento; presente nas classes *média 2*, *3* e *4* e *baixa 1*, *2*, *3* e *4* (em algumas amostras, foram considerados esses domicílios, o que poderia eventualmente gerar um erro de inclusão);
- coberturas de cimento amianto possuem resposta espectral semelhante à da vegetação e eventualmente à de lotes sem construção;
- coberturas cerâmicas, conforme o grau de conservação e idade, apresentam resposta espectral semelhante à de terrenos desocupados.

Através do número de amostras observado (24 setores censitários), considerando-se o erro médio de inferência populacional de +0,41%, o desvio padrão de 8,58, podemos afirmar, com 99% de confiança, que o erro médio de inferência da população (em porcentagem) esteja no intervalo de  $0,41 \pm 4,51$ . Supondo-se um nível de confiança menor, de 95%, obtém-se um intervalo menor de erros médio de inferência populacional entre  $0,41 \pm 3,43$ .

A análise dos resultados da estimativa populacional através do teste "t" de Student permitiu verificar, com um grau de confiança de 99%, que o conjunto de dados populacionais referentes às classes sócio-econômicas inferidos são semelhantes aos dados populacionais do Censo Demográfico usados como referência terrestre.

Os resultados obtidos mostram a viabilidade do uso de imagens orbitais de alta resolução espacial na estimativa de dados populacionais a partir do método detalhado (identificação das unidades domiciliares), em períodos intercensitários, bem como o uso destes dados como ferramenta auxiliar na delimitação e definição dos setores censitários para a realização dos censos demográficos decenais, aumentando, com isto, a precisão dos dados levantados pelos recenseadores.

Mais pesquisas devem ser realizadas antes que as estimativas de população com imagens de alta resolução possam ser usadas para fins práticos.

## REFERÊNCIAS

- ADENIYI, P. An aerial photographic method for estimating urban population. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v.49, n.4, p. 545-560, 1983.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE EMPRESAS DE PESQUISA (ANEP). **Critério de classificação econômica Brasil** – CCEB. Disponível em: <<http://www.anep.org.br/pesquisaemfoco/dez2002/cceb.htm>>. Acesso em 20 ago. 2003.
- BINAGHI, E.; GALLO, I.; PEPE, M.; BRIVIO, P.A.; MUSAZZI, S.; BASSINI, A. Neural classification of high resolution remote sensing imagery for power transmission lines surveillance. In: INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM, 1, 2002, Toronto, Canada. **Proceedings...** Toronto, Canada, 24-28 June, 2002.
- CHEN, K. An approach to linking remotely sensed data and areal census data. **International Journal of Remote Sensing**. v.23, n.1, p. 37-48, 2002.
- PREFEITURA MUNICIPAL. São José dos Campos. **Banco de Dados Geográficos** – SPRING 3.6.03. Tutorial. 1 CD-ROM. Cidade viva. São José dos Campos, 2003.
- COCHRAN, W.G. **Técnica de amostragem**. 2 ed. Rio de Janeiro: Fundo de Cultura, 1965, 555 p.
- DEÁK, C. Uma interpretação histórica da teoria de renda. **Revista de Desenvolvimento Urbano e Regional**. v. 2, n.1, p. 41-57. Sinopses 18, p. 26-30, 1999.
- DUREAU, F.; BARBARY, O.; LORTE, M.B. **Sondages areolaires sur image satellite pour des enquetes socio-demographiques em milieu urbain**. Bordeaux: ORSTOM, 1989.
- DUREAU, F. **El metodo de muestreo de areas com base em imagenes de satellite: una solución para la observación de las poblaciones urbanas**. Bogotá: CEDE – ORSTOM. Dec. 1989 (CEDE/086).

FIDALGO, E. C. C. **Exatidão no processo de mapeamento temático da vegetação de uma área de mata atlântica no Estado de São Paulo, a partir de imagens TM-Landsat.** São José dos Campos: INPE, 1995. (INPE-5944-TDI/570).

FORESTI, C. **Estimativas populacionais e de crescimento de áreas urbanas no Estado de São Paulo, com utilização de imagens Landsat.** São José dos Campos: INPE, 1978. (INPE-1298-TPT/095).

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Base de informações por setor censitário: Censo Demográfico 2000.** CD-ROM: São José dos Campos. 1 CD-ROM. Rio de Janeiro, 2000.

HARVEY, J. T. Estimating census district population from satellite imagery: some approaches and limitations. **International Journal of Remote Sensing.** v. 23, n.10, p. 2071-2095, 2002.

HSU, S. Y. Population estimation. **Environmental Engineering.** v. 37, p. 449-454, 1971.

IKHUORIA, I. A. Na aerial frame technique for population estimation: problems, accuracy and potentials. **Geografia.** v.21, n.1, p. 131-152, 1996.

JENSEN, J.R.; COWEN, D.C. Remote sensing of urban/suburban infrastructure and socio-economic attributes. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.** v. 65, n.5, p. 611-622, 1999.

KRAUS, P.S.; SENGER, L. Estimation population photographically determined residential land use types. **Remote Sensing of Environment.** v.3, n.1, p. 35-42, 1974.

KURKDJIAN, M. L. N. O. **Um método para a identificação e análise de setores residenciais urbanos homogêneos, através de dados de sensoriamento remoto, com vistas ao planejamento urbano.** São Paulo. 158 p., Tese (Doutorado) – USP-FAU, 1986. (INPE 6358-TAE/026).

LINDGREN, D. T. Dwelling unit estimation with color-IR photos. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.** v. 37, n.4, p. 373-377, 1971.

LIU, X. H.; CLARKE, K. Estimation of residential population using high-resolution satellite imagery. . In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF URBAN AREAS, 3., 2002, Istanbul, Turkey. **Proceedings...** Istanbul, Turkey, p. 11-13, June, 2002.

LO, C.P. Automated population and dwelling unit estimation from high-resolution satellite images: a GIS approach. **International Journal of Remote Sensing.** v. 16, n. 1, p. 17-34, 1995.

LUIZ, A J. B. **Estatísticas agrícolas por amostragem auxiliada pelo sensoriamento remoto.** São José dos Campos. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2003. (no prelo).

MANSO, A.P.; BARROS, M.S.S.; OLIVEIRA, M.L.N. **Determinação de zonas homogêneas através de sensoriamento remoto.** São José dos Campos: INPE, 1979. (INPE-1470-RPE/021).

MANSO, A.P.; BARROS, M.S.S.; OLIVEIRA, M.L.N. **Determinação da população urbana através de sensoriamento remoto.** São José dos Campos: INPE, 1981. (INPE-8421-PRE/421).

MURAI, S. Estimate of population density in Tokyo District from ERTS-1 data. INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 9., 1974, Ann Arbor, Michigan. **Proceedings...** Ann Arbor: University of Michigan, p. 13-22, 1974.

OLIVEIRA, M.L.N.; MANSO, A.P.; BARROS, M.S.S. **Setorização urbana através de sensoriamento remoto**. São José dos Campos: INPE, 1978. (INPE-8421-PRE/421).

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE. **Meio Ambiente – Câmaras Ambientais**. Disponível em <<http://www.ambiente.sp.gov.br/index.htm>>. Acesso em: 12 maio 2003.

SOUZA, I.M.; PEREIRA, M. N.; KURKDJIAN, M. L. N. O. **Avaliação de dados de sensoriamento remoto de alta resolução espacial para estimativa de população urbana**. São José dos Campos: INPE, 2002. (INPE-8985-PRE/4663/B).

SOUZA, I.M.; PEREIRA, M. N.; KURKDJIAN, M. L. N. O. **Estimativa de unidades residenciais a partir da utilização de imagens orbitais de alta resolução espacial para cálculo de população urbana**. São José dos Campos: INPE, 2003. (INPE-9424-PRE/5080).

SPACE IMAGING. Metadata.txt. - **Arquivo de informação digital do produto IKONOS 2 pancromático Space Imaging**. Thornton, Colorado, USA. November, 10, 2000. CD-ROM: 11524 characters Word.

STEHMAN, S. V. Comparison of systematic and random sampling for estimating the accuracy of maps generated from remotely sensed data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v.58, n.9, p. 1343-1350, 1992.

WORLD RESOURCES INSTITUTE. **A guide to the global environment: the urban environment**. 2003. Disponível em: <<http://www.wri.org/wr-9697>>. Acesso em: 5 jul. 2003.

Recebido em abril de 2004

Aceito em novembro de 2005