

## **ANÁLISE DA CORRELAÇÃO ENTRE POPULAÇÃO E ÁREA URBANA (KM<sup>2</sup>) VISANDO A INFERÊNCIA POPULACIONAL POR MEIO DO USO DE IMAGENS ORBITAIS**

**Claudia Durand**

Arquiteta, Bolsista Fapesp do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE,  
Av dos Astronautas 1758, Jardim da Granja, 1227-010, São José dos Campos, SP  
Email: durand@dsr.inpe.br

**Madalena Niero Pereira**

Geógrafa, Msc Sensoriamento Remoto,  
Pesquisadora do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais- INPE,  
Av dos Astronautas 1758, Jardim da Granja, 1227-010, São José dos Campos, SP  
Email: madalena@dsr.inpe.br

**José Carlos Moreira**

Ciência da Computação, Especialista em Sensoriamento Remoto,  
Pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais- INPE,  
Av dos Astronautas 1758, Jardim da Granja, 1227-010, São José dos Campos, SP.  
Email: moreira@dpi.inpe.br

**Corina da Costa Freitas**

Matemática, Doutora em Estatística,  
Pesquisadora do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais- INPE,  
Av dos Astronautas 1758, Jardim da Granja, 1227-010, São José dos Campos, SP.  
Email: corina@dpi.inpe.br

### **RESUMO**

Este trabalho faz parte do campo de aplicação de imagens LANDSAT que inclui pesquisas demográficas e expansão urbana. Nele é modelado o crescimento da população urbana no período de 1985 a 2000 em cidades do Estado de São Paulo, usando classificação híbrida sobre imagens do satélite LANDSAT, com vistas na inferência populacional. Além de ser eficiente, em termos de custo e tempo, o modelo permite a visualização direta da distribuição da população, auxiliando na análise do processo de urbanização no período analisado. Tem como objetivo principal subsidiar a inferência populacional por meio da análise da correlação entre população e área, obtida no mapeamento das manchas urbanas geradas a partir de imagens dos satélites LANDSAT, relativas a passagens próximas aos anos dos censos e estimativas demográficas de 1985, 1991 e 2000. A partir da definição do modelo de correlação buscou-se

estimar a população para datas posteriores, 2005 e 2010, a fim de subsidiar estudos sobre o planejamento das cidades. Por apresentar uma abordagem multitemporal, estes estudos permitem uma análise histórica da evolução das cidades, caracterizando o ambiente urbano no que diz respeito à distribuição espacial da população, assim como diretrizes e tendências de crescimento e adensamento das cidades e a determinação de novos padrões de organização do ambiente urbano. Com o objetivo de dar continuidade a este estudo utilizaram-se dados orbitais de alta resolução espacial (imagens do satélite IRS, adquiridas em 2/10/2005, resolução espacial 5m). As áreas urbanas foram mapeadas por meio de interpretação híbrida, automática e manual, onde foi aplicado o mesmo modelo de correlação anteriormente utilizado. Observou-se que uma estimativa de população mais acurada pôde ser obtida a partir do aumento de precisão no mapeamento das manchas urbanas.

**Palavras-chave:** Inferência populacional, sensoriamento remoto, modelos de correlação.

---

#### **ANALYSIS OF THE CORRELATION BETWEEN POPULATION AND URBAN AREA AIMING AT THE POPULATION INFERENCE USING ORBITAL IMAGES**

This work integrates the broad field of remote sensing imagery applications for urban expansion and demographic investigations. The urban population growth in some cities of São Paulo State, Brazil, is modeled for the period ranging from 1985 to 2010 by means of hybrid classification processes upon basis of LANDSAT and IRS images. These procedures aim to extract the urban areas, and hence, subsidize population inferences through the correlation analysis between population and area. Besides being efficient in terms of costs and time, the model allows, through a multitemporal approach, a direct visualization of population distribution in space, providing thus support for the analysis of the urbanization process in the considered span of time.

**Keywords:** population inference; remote sensing; correlation models.

---

## INTRODUÇÃO

A escala e a rapidez do crescimento urbano atual são sem precedentes, principalmente em áreas com alto grau de urbanização dos países em desenvolvimento.

No caso das cidades brasileiras, novas rotinas de ocupação do espaço urbano estão sendo organizadas em novas bases territoriais, não mais na escala da cidade e do município, mas na das áreas metropolitanas e entre estas, sendo representadas por periferias descontínuas ao redor do tecido existente - pólos independentes -, seguindo o modelo das “edge-cities” norte-americanas e eixos de polarização periféricos e entre as cidades (REIS, 2006).

Este novo modelo de ocupação atual quase extingue o conceito de cidade como se conhecia há poucas décadas, e a expansão e o crescimento delas já não se dão de forma regular, concêntrica. O modo como estão ocorrendo mudanças no processo de urbanização no Brasil, com ênfase no Estado de São Paulo, a partir da década de 70, em especial nas áreas metropolitanas, reflete um novo comportamento socioeconômico. Principalmente nas duas últimas décadas vem ocorrendo um processo de dispersão do tecido urbano (urban sprawl), determinado pela mobilidade da população, evidenciando as novas formas de organização da vida cotidiana de parte significativa dos habitantes.

Procura-se encontrar novos modelos, porque o modelo baseado nos paradigmas tradicionais, onde cidade é cidade e campo é campo, aparentemente não serve mais. Todas estas questões abalaram o estilo de vida, as convicções, e trazem uma real preocupação com os recursos não renováveis, dos quais as cidades são altamente consumidoras (PORTAS, 2003). Hoje os planos diretores das cidades são feitos de modo que elas sejam, não mais áreas planejadas onde tudo estava previsto e localizado, mas lugares disponíveis para um jogo de interesses políticos e econômicos, que variarão no tempo e no espaço. Esta é uma postura bastante perigosa para a cidade, conseqüentemente para o ambiente natural, pois os elementos que compõem o território não devem ser encarados da mesma maneira quando se visa um planejamento sustentável do espaço.

A definição e a delimitação do espaço rural e urbano nos municípios brasileiros são problemas bastante discutidos há algum tempo. As mudanças nas áreas rurais, assim como todos os aspectos legais em constante alteração, trazem problemas para que se delimitem estes espaços. A falta de uma definição deste aspecto nas Constituições Federais abre espaço para que diversas leis ordinárias alternem entre defini-lo quanto à destinação ou a localização (CORRÊA, 2001).

A modernização das atividades rurais e a atração exercida pelas grandes cidades determinam o processo do êxodo rural. Ao mesmo tempo surgem atividades não rurais, como serviços, lazer, turismo, comércio etc, no ambiente rural. Este processo altera a dinâmica de emprego deste meio, pois as pessoas ali residentes exercem principalmente atividades urbanas ou pluriatividades (atividade agrícola complementada por atividade urbana), o que contribui para manter as pessoas no campo, reduzindo a migração e o êxodo rural (CORRÊA, 2001).

Portanto, a definição do espaço urbano e rural se torna cada vez mais confusa. As discussões acadêmicas - que defendem uma continuidade destes ambientes sem que este fato os homogenize, pois as características sociais, econômicas, culturais e geográficas são mantidas - não são aplicadas nas leis, sendo ignoradas pelos administradores públicos. As prefeituras, responsáveis por definir estes limites, se baseiam em conceitos e leis da década de 60, completamente ultrapassados de acordo com a realidade atual. Algumas vezes elas os alteram sem prévia comunicação ao IBGE, órgão responsável pelos censos, que acaba classificando as populações erroneamente.

Em estudos nos quais se buscam obter modelo(s) de inferência populacional, a definição e a localização da população urbana e rural são relevantes.

A urbanização acelerada é usualmente associada à concentração da população em determinadas áreas. Como resultado tem-se o aumento do interesse em estudos que são diretamente ligados ao mapeamento e monitoramento do crescimento urbano usando técnicas e produtos de sensoriamento orbital. Entretanto medidas e estimativas de população de forma precisa ainda não se encontram totalmente desenvolvidas.

Informações precisas e atuais sobre população são de grande interesse para áreas urbanas e suburbanas para propósitos de planejamento urbano, preservação de recursos naturais, análise de mercado, alocação de serviços e políticas públicas. Esta necessidade é levantada em Torres (2006) que enumera dez situações nas quais a aplicação do uso de dados sensoriamento remoto poderá fornecer informações sócio-demográficas em períodos intercensitários.

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

- ✓ método global ou generalizado: baseado em modelos matemáticos que se apóiam na relação da área urbana e a população, utilizando imagens orbitais de baixa ou média resolução espacial (LANDSAT);

- ✓ método semidetalhado: utiliza-se de imagens de média resolução espacial (LANDSAT 5 e 7, SPOT 3 e 4), gerando tipologias de ocupação baseadas na densidade demográfica em nível de bairros;
- ✓ método detalhado: observa-se a unidade residencial para o cálculo de inferência de população, utilizando imagens de alta e altíssima resolução espacial (IRS, SPOT 5, IKONOS, QUICKBIRD).

Os censos convencionais de população são extremamente caros e conduzidos de forma geral a cada dez anos, conseqüentemente informações precisas sobre população não são disponíveis entre dois censos consecutivos. Nos períodos intercensitários são utilizados modelos para estimar população que combinam uma variedade de dados, mas a sua implementação é complexa e cara.

No período intercensitário, o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) realiza a contagem populacional que envolve uma grande soma de recursos financeiros. Ela se traduz em um tipo de censo em que todos os domicílios são observados, mas não ocorre o levantamento das condições sócio-econômicas da população, como no censo decenal. Esta contagem intercensitária é importante, pois a quantidade de recurso que cada um deles receberá do Fundo de Participação dos Municípios, verba distribuída pela União para as prefeituras, é determinada pela população do município. Assim sendo, a não atualização dos dados demográficos acaba por prejudicar os municípios que apresentam grande crescimento da população.

As imagens orbitais de sensoriamento remoto proporcionam uma oportunidade alternativa ou complementar de estimativa de população em áreas urbanas e suburbanas, na medida em que permitem a espacialização das áreas de expansão demográfica recente. As imagens dos satélites LANDSAT, SPOT e do DMS têm sido usadas para estimar tamanho e densidade de população. Devido à visão sinótica e características multiespectrais, as imagens de satélite permitem medidas de população e a identificação de sua concentração espacial para grandes regiões administrativas em nível de metrópole. Segundo Zelinsky (1969), cada região habitada possui uma personalidade geográfica que é determinada por meio das características variáveis da população, suas causas, conseqüências e, acima de tudo, suas interações com outros elementos culturais e físicos.

A possibilidade de quantificação e espacialização do crescimento da população permite a verificação de áreas de crescimento elevado que normalmente correspondem a regiões de concentração de pobreza, nas quais as taxas de fecundidade

são elevadas, superando em muito as médias nacionais. Desta forma, a atualização de dados populacionais por meio do acompanhamento multitemporal do crescimento da população irá proporcionar informações relevantes para o estabelecimento de políticas públicas no que se relaciona à instalação de infra-estrutura e serviços em áreas carentes. Além disso, poderão ser mapeadas as áreas bolsões de pobreza, em que deverão ser ampliadas as informações quanto ao planejamento familiar. Estes dados, atualizados periodicamente e espacializados, associados a uma política educacional e de melhor distribuição de renda, principal responsável pelas desigualdades sociais, poderão contribuir para a redução das disparidades sociais, considerando-se que desenvolvimento socioeconômico e crescimento populacional planejado encontram-se de certa forma relacionados.

O sensoriamento remoto permite o constante monitoramento da superfície terrestre, possibilitando assim que se fiscalize o cumprimento das leis, para que o planejamento não fique representado por um acúmulo de papéis sem função prática.

Os dados de sensoriamento remoto, inseridos em Sistemas de Informação Geográfica, são uma ferramenta de grande importância no diagnóstico do ambiente urbano, principalmente pelo fato de que integram e espacializam os mais variados tipos de dados, possibilitando análises com diversos enfoques, por meio de bancos de dados georreferenciados que podem ser constantemente atualizados.

A evolução tecnológica associada aos produtos de sensoriamento remoto, tanto em termos de resolução espectral como espacial, sendo esta última de fundamental importância para delimitação da mancha urbana, tem aumentado a precisão das informações obtidas sobre o fenômeno urbano, podendo, em futuro próximo, reduzir levantamentos de campo que exigem grande dispêndio de tempo e dinheiro para sua realização.

Para estudar e monitorar o crescimento espacial e demográfico, não só das áreas urbanas, mas também daquelas ocupadas e modificadas pela presença do homem, há atualmente a disponibilidade de eficientes tecnologias e dados, como as imagens orbitais de alta e altíssima resolução espacial, que nos permitem observar detalhes, sem perder com isto a visão sinótica que dá subsídio à compreensão dos processos sócio-econômico-ambientais.

Trabalhos nesta área, que envolvem o uso de imagens de satélites, vêm sendo desenvolvidos desde o lançamento do primeiro satélite da série LANDSAT. Murai (1974) e Foresti (1978) desenvolveram estudos de estimativa de população usando imagens do sensor MSS do LANDSAT (resolução espacial de 80 metros). No trabalho

desenvolvido por Foresti (1978) foi realizada a correlação entre área urbana obtida a partir da análise visual de imagens MSS e população para 150 (cento e cinquenta) cidades brasileiras, com o objetivo de realizar inferência de população usando modelos de regressão linear.

Com o lançamento dos satélites da série SPOT a partir de 1986 houve a melhoria da resolução espacial dos dados (20 metros), tornando possível o mapeamento das áreas urbanizadas com maior precisão. Lo (1995) desenvolveu métodos para levantamento de população e de unidades residenciais usando imagens SPOT e Sistema Geográfico de Informações (GIS), tendo como área teste parte da região metropolitana de Hong Kong, caracterizada por alta densidade de população e usos do solo misto associado a edifícios multifuncionais quanto à ocupação (múltiplos usos do solo). Concluiu que estimativa precisa de população e unidades residenciais podem ser obtidas em macro-escala para a área de estudo usando os modelos testados.

Kampel (2003) desenvolveu estudos para avaliar o uso de mosaicos de imagens noturnas de luzes DMSP/OLS para detectar a presença humana na Amazônia Legal. Analisou a correlação entre população residente e luzes do DMSP e obteve, excluindo os municípios atípicos (conurbados, áreas de mineração/garimpos) uma correlação de 0,79. Estas técnicas são interessantes quando aplicadas em nível subnacional ou para todo o País.

Tais trabalhos buscam uma técnica apropriada para estudos de inferência populacional com alto grau de precisão e a baixo custo, inclusive em períodos intercensitários, como uma alternativa aos levantamentos de campo, já que estes últimos dispendem muito tempo e um alto custo na obtenção dos dados.

As imagens de média resolução, 20-30 metros, constituem uma ferramenta importante para estudos populacionais, apresentando uma relação custo/benefício satisfatória na obtenção de informações atualizadas, em curtos intervalos de tempo para um grande número de aglomerações urbanas, e no processamento.

Conforme verificado por Rindfuss and Stern (1998), o uso de imagens de alta resolução pode trazer uma maior precisão no processo de estimativa populacional.

Ainda que a relação custo/benefício na utilização destas imagens seja modificada pela grande quantidade de recursos financeiros dispendidos na obtenção dos dados e recursos humanos envolvidos no processamento e análise dos dados, a precisão na inferência populacional se aproxima daquela obtida por levantamentos de campo.

A maior disponibilidade de imagens de alta e altíssima resolução espacial, inclusive quanto aos custos que têm sido reduzidos por conta da maior oferta, proporciona um interesse crescente pela utilização destes tipos de imagens para estudos de população. Estes dados possibilitam a utilização do método detalhado de inferência populacional que permitem uma maior precisão dos resultados. Estudos desenvolvidos por Gonçalves et al. (2006) exemplificam a utilização destes dados em áreas urbanas. Em Giada et al. (2003) imagens de alta resolução são utilizadas na estimativa do número de refugiados a partir da contagem de tendas em campos de refugiados na Tanzânia.

O objetivo deste trabalho é o uso de imagens de média resolução espacial – LANDSAT 30 metros - na inferência populacional para a realidade brasileira, em nível regional e nacional, constituindo-se em um exemplo da utilização de dados de sensoria-mento remoto nas Ciências Sociais.

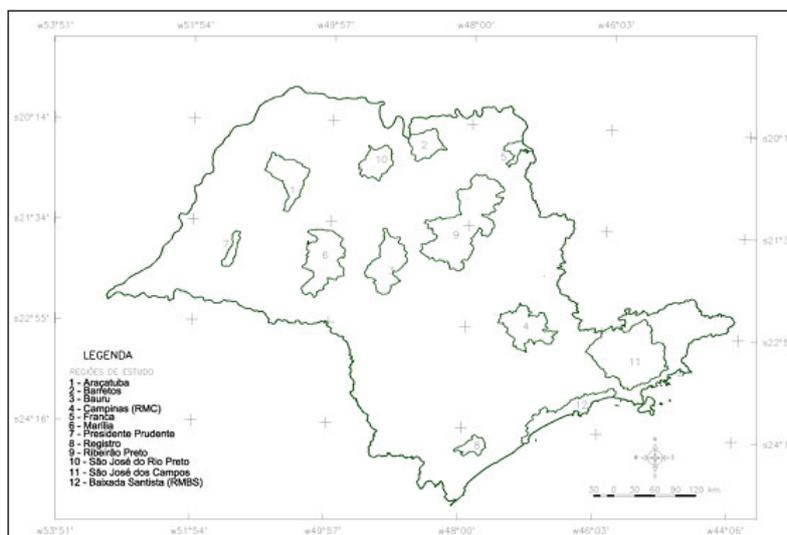
### **Área de estudo**

A área de estudo foi definida tendo como base as regiões-teste delimitadas para o Projeto Temático “Urbanização Dispersa e Mudanças no Tecido Urbano. Estudo de Caso: Estado de São Paulo”, em desenvolvimento no Laboratório de Estudos sobre Urbanização, Arquitetura e Preservação (LAP) da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU) da Universidade de São Paulo (USP), com participação da Divisão de Sensoriamento Remoto (DSR) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (PEREIRA et al., 2005).

Esta área compreende o Estado de São Paulo (Longitude 43°03’41”O a 53°59’7”O e Latitude 19°18’06”S a 25°12’55”S, em Projeção Cartográfica Policônica Datum SAD-69), onde foram selecionadas regiões de estudo mais intensamente urbanizadas (índices de urbanização superior a 90% e altos níveis de industrialização) e suas áreas adjacentes, portanto de interesse para a análise mais introdutória e genérica de núcleos de urbanização dispersa.

Quanto aos municípios que compunham originalmente as regiões de estudo do Projeto Temático, foram feitas algumas alterações em função da adequação para este trabalho na obtenção e forma de processar os dados. Foram mantidos somente os municípios de maior importância nas regiões de estudo, os quais tiveram suas áreas urbanas remapeadas conforme os critérios de inferência populacional.

As regiões de estudo que foram analisadas neste trabalho compreendidas na área de estudo do Estado de São Paulo são mostradas na Figura 1.



**Figura 1:** Área de estudo: Estado de São Paulo - Localização das regiões de estudo.

A Região Metropolitana da Baixada Santista foi analisada só a título de ilustração, já que devido as suas características de intensa verticalização e vocação turística (predomínio de população não-residente), o modelo de correlação para análise desta região não pode ser o mesmo utilizado para as demais regiões que compõem a área de estudo.

## METODOLOGIA

Neste trabalho foi utilizado o método global ou generalizado para inferir a população, o qual se baseia na relação entre área urbana e população por meio de imagens de baixa ou média resolução espacial.

Na etapa de mapeamento das áreas urbanizadas a serem consideradas foram testadas classificações automáticas e híbridas (automáticas, seguidas de edição vetorial).

Todos os procedimentos para o mapeamento das manchas urbanas, assim como os cálculos de áreas, foram realizados no ambiente SPRING (INPE, 2004).

### **Levantamento das manchas urbanas**

Este trabalho utilizou, em um primeiro momento, o Banco de Dados gerado para atender às necessidades do Projeto Temático. As manchas urbanas contínuas e dispersas mapeadas e utilizadas foram obtidas por meio de imagens LANDSAT dos sensores TM e ETM, classificadas automaticamente e editadas por meio de interpretação visual na tela do computador, utilizando-se a opção “Edição Vetorial” do SPRING. Mapearam-se áreas urbanizadas consolidadas e em consolidação para os anos de 1985, 1991 e 2000.

O processo de mapeamento das áreas urbanizadas baseou-se em trabalhos desenvolvidos por Moreira et al. (2002) e Mello et al. (2002) para identificação de desflorestamento na Amazônia Legal. O método consiste na classificação automática das imagens e posterior edição baseada em parâmetros de fotointerpretação.

A classificação automática dos dados apresenta vantagens em relação à classificação manual quanto ao grau de objetividade na separação dos dados, à rapidez na análise de grande volume de informações e à melhor definição dos contornos das classes.

### **Levantamento de dados populacionais**

A seguir foi realizado o levantamento dos dados de população a serem correlacionados com as áreas urbanas obtidas.

Os dados de população utilizados para os anos de 1991 e 2000, assim como para os anos de 2005 e 2010, foram obtidos por meio da consulta aos dados censitários e estimativas populacionais, respectivamente, no site do IBGE (IBGE, 2005).

Para o ano de 1985, intercensitário, os dados foram obtidos a partir da publicação Anuário Estatístico Populacional do IBGE, apresentados na Tabela População Residente Estimada, segundo as unidades da Federação e Municípios.

Considerando que o mapeamento inicial das manchas urbanas foi feito com o objetivo de identificar todos os núcleos urbanos, inclusive os dispersos, priorizando a utilização do espaço independente de sua localização, foram testados os dois tipos de dados fornecidos pelo IBGE (população urbana e total), que foram correlacionados com as áreas mapeadas como núcleos urbanos.

Fez-se a opção pela utilização dos dados do IBGE referentes à população total em detrimento daqueles relativos à população urbana, além dos motivos descritos acima, devido aos seguintes fatores:

- ✓ as correlações entre população e área foram testadas com os dois tipos de dados do IBGE e as diferenças obtidas não foram significativas;
- ✓ disponibilidade dos dados para os anos de 1985, 2005 e 2010 somente relativos à população total, por se tratar de estimativas.

Portanto, na tentativa de manter um padrão de opção em relação a estes dados, optou-se pela utilização dos dados do IBGE referentes à população total para todas as datas observadas.

### **Modelos de inferência populacional**

Esta etapa do trabalho baseou-se em estudos anteriores de estimativa populacional desenvolvidos por Foresti (1978) e Qiu et al. (2003).

Foresti (1978) buscou determinar modelos de correlação entre população e área de municípios do Estado de São Paulo, para as datas de 1970 e 1973, por meio de fotografias aéreas e imagens LANDSAT. Foram mapeadas as áreas urbanas a partir de fotografias aéreas (interpretação visual) que foram comparadas àquelas obtidas nas imagens LANDSAT (interpretação automática) a fim de validar a utilização das imagens para criar modelos de inferência populacional. Ainda que a baixa resolução espacial das imagens LANDSAT utilizadas (80 metros) não possibilite um mapeamento tão preciso das manchas urbanas quando comparado àquele levantado por meio das fotografias aéreas, foi obtido um coeficiente de correlação de 0,96 entre as áreas obtidas por meio dos dois tipos de dados. Quando estas áreas foram utilizadas para a inferência populacional, foi obtida uma diferença de 0,03 entre os coeficientes de correlação, sendo de 0,95 para as fotografias aéreas e 0,92 para as imagens LANDSAT.

Esta pequena diferença, segundo a autora, ressalta as vantagens trazidas pelo uso de dados orbitais, como: custo, repetitividade, extensão da área coberta pelas cenas e possibilidade de processamento automático (FORESTI, 1978).

Problemas verificados por Foresti (1978), como refletância semelhante entre áreas urbanas, áreas de solo exposto (áreas terraplenadas e preparadas para plantio)

e vegetação rala (com alta porcentagem de solo exposto) nas imediações dos núcleos urbanos; relevo acidentado em algumas cidades; dificuldades de delimitação da faixa de transição rural-urbana devem ser bastante reduzidas com o uso de imagens de satélite que apresentam melhores resoluções espaciais, espectrais (maior número de canais) e radiométrica (bandas mais estreitas) para a delimitação das áreas urbanas.

Qiu et al (2003) realizaram a estimativa do crescimento da população de 1990 a 2000 no norte de Dallas (USA), usando um modelo convencional baseado nas mudanças de uso da terra/solo e medidas do desenvolvimento de rodovias a partir de um GIS: os dados estimados apresentaram elevada precisão.

Os métodos são adequados para a análise de regiões de grande extensão territorial.

No processo de análise da relação entre população e área foi utilizado o coeficiente de correlação linear. Os coeficientes de correlação foram calculados para as regiões de estudo que continham mais de um município e para toda a área de estudo. Foram geradas regressões lineares entre área e população com a finalidade de estabelecer modelos para estimativas populacionais, para cada região de estudo e para toda a área de estudo, no período observado.

Para a inferência populacional utilizou-se o modelo de correlação população x área para o total dos municípios analisados no ano de 2000, devido à não significância da diferença encontrada nas correlações obtidas para as regiões de estudo em relação àquela obtida para a área total. Outro aspecto diz respeito à necessidade de criar modelos de inferência mais gerais em termos de aplicação. Esta data foi determinada porque, sendo ela a última observada, no caso de estar ocorrendo alguma mudança na tendência do tipo de ocupação urbana, é a que melhor representa estas alterações.

O modelo de correlação de 2000 foi testado para inferir população nas datas anteriores (1991 e 1985), comparando-se assim os resultados obtidos aos dados oficiais do IBGE, a fim de determinar os erros de inferência populacional para cada município e validar o modelo.

Para a inferência populacional para os anos de 2005 e 2010 foram feitas projeções de áreas urbanizadas com base na taxa de crescimento observada para cada município e, posteriormente, por meio do mesmo modelo utilizado para as demais datas, foi feita a estimativa populacional que pôde ser comparada às estimativas realizadas pelo IBGE. Esta etapa corresponde a uma primeira tentativa de projeção da área urbanizada. Os resultados preliminares obtidos aqui deverão ser aprofundados em estudos futuros.

A Tabela 1 apresenta todos os municípios analisados, com suas respectivas áreas urbanas mapeadas e dados populacionais do IBGE, para o período analisado.

**Tabela 1:** Áreas urbanas mapeadas e população total do IBGE de todos os municípios estudados

Região	Município	1985		1991		2000	
		Pop. Total	Área	Pop. Total	Área	Pop. Total	Área
		IBGE (hab)	Urbana (km <sup>2</sup> )	IBGE (hab)	Urbana (km <sup>2</sup> )	IBGE (hab)	Urbana (km <sup>2</sup> )
	Araçatuba	142.017	35,39	159.557	41,54	176.183	49,95
	Barretos	80.202	19,56	95.414	25,06	103.913	29,85
	Arealva	6.948	0,83	6.892	1,39	7.244	1,78
	Avaí	5.494	0,72	4.644	0,81	4.596	1,01
	Bauru	220.105	58,97	261.112	68,72	316.064	82,37
	Iacanga	6.464	1,31	7.567	1,32	8.282	2,21
	Piratinga	9.768	1,08	9.656	1,14	10.584	2,14
	Reginópolis	4.730	0,58	4.774	0,58	4.742	1,01
	Americana	156.030	38,66	153.840	43,92	182.593	48,55
	Campinas	841.016	184,81	847.595	206,92	969.396	236,49
	Cosmópolis	29.064	8,35	36.684	9,62	44.355	11,22
	Nova Odessa	27.373	10,55	34.063	12,34	4.2071	14,22
	Paulínia	25.950	12,96	36.706	14,68	51.326	22,47
	Pedreira	26.735	7,75	27.972	8,65	35.219	10,19
	Santa Bárbara d'Oeste	95.818	29,31	145.266	32,73	170.078	37,16
	Sumaré	149.998	53,47	226.870	63,84	349.246	73,81
	Valinhos	61.181	30,52	67.886	35,21	82.973	44,67
	Vinhedo	27.068	13,12	33.612	20,14	47.215	26,96
	Franca	182.820	35,63	233.098	41,02	287.737	59,58
	Marília	136.187	24,4	161.149	32,08	197.342	48,03
	Pres.Prudente	155.883	34,58	165.484	42,33	189.186	55,16
	Registro	48.903	7,17	48.953	9	53.752	14,21
	Araraquara	145.042	25,93	166.731	30,4	190.468	43,43
	Ribeirão Preto	383.125	104,16	436.682	109,43	511.294	131,22
	S J Rio Preto	229.221	51,31	283.761	61,9	361.999	89,38
	Caçapava	64.213	16,16	66.058	19,25	76.130	22,91
	Jacareí	149.061	29,41	163.869	31,4	191.291	38,42

Pindamonhangaba	86.990	20,4	102.063	22,08	126.026	32,23	
São José dos Campos	372.578	83,91	442.370	95,18	539.313	104,75	
Taubaté	205.120	38,9	206.965	39,74	244.165	52,23	
Tremembé	22.176	7,68	27.572	7,68	34.823	8,45	

Em uma última etapa deste estudo, visando analisar a evolução da ocupação territorial nos municípios analisados ao longo do período observado, foi calculada a densidade populacional. Considerando os dados de população do IBGE, fez-se a razão do número de habitantes com a quantidade de pixels da imagem LANDSAT-TM (30m x 30m) abrangidos pela área urbanizada. Com isso, obteve-se um índice de habitantes por pixel em cada município por data analisada.

## RESULTADOS

Os resultados obtidos foram influenciados pela complexidade do meio urbano que, segundo Harvey (2002), é uma reunião complexa de vários tipos de cobertura do solo que inclui diversas superfícies impermeáveis (área construída ou superfícies artificiais), vegetação, água e solo exposto e pelos dados de sensoriamento remoto utilizados.

Nas imagens utilizadas, as áreas urbanizadas são confundidas com solo exposto presente em áreas de transição de uso e áreas preparadas para o cultivo localizadas na franja rural-urbana.

A complexidade e a diversidade de propriedades espectrais das coberturas do solo urbano também constituem uma limitação para uma separação precisa de várias das categorias de cobertura do solo urbano, principalmente quando utilizados métodos tradicionais de classificação automática na análise de dados orbitais de alta resolução espacial, como no caso das imagens do IRS, nos quais um único objeto é composto por vários pixels com respostas espectrais diversas.

Outro problema observado relaciona-se ao reduzido número de bandas espectrais dos dados analisados, não suficientes para estudos urbanos.

## Correlações entre população e área urbanizada

A Tabela 2 apresenta os índices de correlação entre população e área obtidos para cada região de estudo no período analisado, assim como aquele obtido para o total dos municípios.

**Tabela 2:** Índices de correlação para as regiões de estudo e o total dos municípios

	Índices de Correlação População x Área					
	1985		1991		2000	
	r <sup>2</sup>	equação	r <sup>2</sup>	equação	r <sup>2</sup>	equação
Bauru	0,9997	y = 3675,6 x	0,9998	y = 3759,4 x	1	y = 3826,8 x
Campinas	0,9787	y = 4673,3 x	0,9819	y = 4200,4 x	0,9747	y = 4244,5 x
São José dos Campos	0,9901	y = 4580,9 x	0,9923	y = 4717,4 x	0,9902	y = 5019,8 x
Todos os municípios	0,9564	y = 4339,2 x	0,961	y = 4141,3 x	0,965	y = 4203,9 x

Na análise da Tabela 2 pode-se observar, em todas as datas analisadas, que a correlação entre população e área para todos os municípios analisados é inferior àquela observada quando se analisam as regiões separadamente, o que é um resultado esperado, pois há uma certa homogeneidade por região quanto à ocupação urbana (forma, uso e densidade), características geográficas e econômicas.

Em função de esta diferença não ser estatisticamente significativa e pelo fato de o modelo a ser gerado ter como objetivo uma abrangência geral em termos nacionais, optou-se por utilizar o modelo de correlação obtido para todos os municípios. Além disto, não foi possível a obtenção de índices de correlação para todas as regiões estudadas, já que algumas delas são compostas por um único município.

Alguns fatores foram considerados como possíveis causas de valores de correlação mais baixos:

- ✓ Dificuldade na delimitação das áreas urbanas em que outros usos do solo foram mapeados como áreas urbanizadas;
- ✓ Dificuldade na delimitação das áreas urbanizadas devido ao relevo de morros;

- ✓ Diferenças de densidade populacional, tendo como caso extremo as áreas de intensa verticalização;
- ✓ Variação das características das cidades em termos de atividade dominante, como por exemplo no caso de cidades turísticas, onde o número de domicílios é alto, mas a taxa de ocupação é baixa.

As regiões de Campinas e São José dos Campos, por apresentarem áreas mais industrializadas, grandes centros comerciais (shoppings e galpões) e maior índice de verticalização, obtiveram índices de correlação mais baixos, mesmo considerando-se que estes dois fatores determinam erros conflitantes (inclusão e omissão), que, em uma análise em toda a cidade, podem ser compensados. No caso do município de São José dos Campos, outro fator que contribuiu para uma redução do índice de correlação foi o relevo de morros da região norte, que trouxe uma dificuldade no mapeamento das áreas urbanizadas. Este fato pôde ser parcialmente compensado devido ao conhecimento da área pelos fotointérpretes.

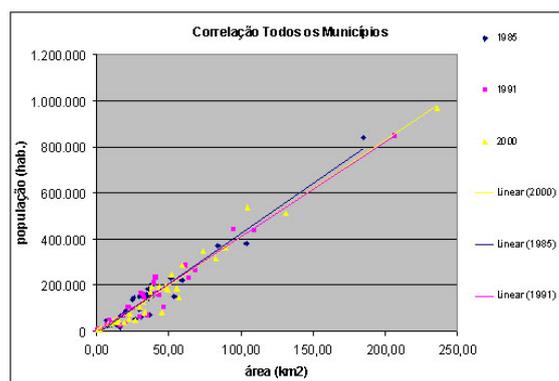
Municípios turísticos, como aqueles que compõem a Região Metropolitana da Baixada Santista (RMBS), apresentam baixos índices de correlação. Isto se deve à grande interferência da verticalização e da população flutuante. A título de ilustração, estabeleceram-se os índices de correlação para a RMBS, por esta fazer parte da área de estudo original do Projeto Temático e ser representativa de um caso de cidade turística.

Os baixos índices de correlação obtidos para a RMBS (Tabela 3) demonstram a grande interferência da verticalização e da população flutuante, que ocorrem em menor escala em alguns dos municípios analisados. Seria necessário estabelecer um modelo mais específico de acordo com a dinâmica deste tipo de cidade, o que não foi possível neste estudo, portanto os municípios desta região não foram considerados.

**Tabela 3:** Índices de correlação de população e área para a Região Metropolitana da Baixada Santista

<b>Índices de correlação – População Total IBGE X Área</b>		
<b>1985</b>	<b>1991</b>	<b>2000</b>
0,3537	0,3168	0,2623

O diagrama de dispersão da Figura 2, obtido para todos os municípios analisados demonstra a forte correlação linear positiva entre área urbanizada e população, no período observado, por meio da concentração dos pontos em torno das linhas de tendência, representativas das equações de ajuste. Em consequência disto, há uma tendência em aumentar a precisão das estimativas populacionais.

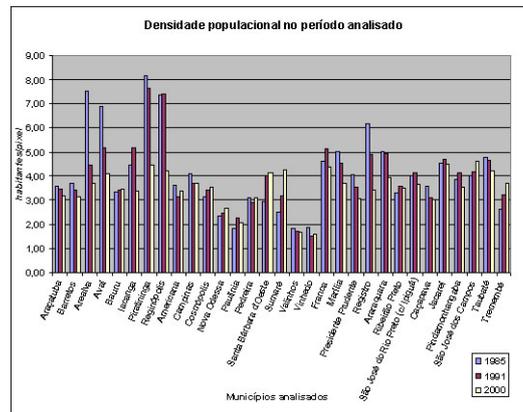


**Figura 2:** Correlação entre população e área para todos os municípios analisados

Além dos altos índices de correlação demonstrado no diagrama de dispersão da Figura 2, pode-se observar a similaridade da inclinação das retas de regressão linear para os anos de 1985, 1991 e 2000.

### Densidade populacional

Baseando-se nos dados de população e área urbanizada, foi analisada a relação de densidade populacional, tendo como unidade de área o pixel da imagem LANDSAT/TM (30 metros), para todos os municípios da área de estudo no período analisado, como se observa na Figura 3.



**Figura 3:** Densidade populacional dos municípios analisados

As maiores densidades populacionais são observadas no ano de 1985. Para 68% dos municípios houve um decréscimo ou estabilidade da densidade populacional, no período de 85 a 2000. Alguns municípios, concentrados na região de Campinas, apresentaram um ligeiro aumento da densidade neste período. Para a maioria deles, os valores iniciais (1985) eram bastante baixos (menores ou iguais a 2 habitantes por pixel). Na média geral obtida para todas as cidades, a densidade decresceu no período analisado (Tabela 4).

**Tabela 4:** Densidades médias dos municípios analisados

Densidade em habitantes por pixel		
1985	1991	2000
3,83	3,79	3,39

A redução da densidade no período analisado pode refletir o padrão de ocupação da urbanização dispersa, representado por condomínios fechados de grande extensão territorial e pequeno número de moradores. Mesmo no caso de cidades onde o intenso processo de verticalização (grande concentração de moradores em pequenas áreas) resultaria em uma elevação da densidade populacional, esta foi compensada pelo acréscimo de área urbanizada proveniente do fenômeno da urbanização dispersa.

Para se ter uma visão mais real do crescimento/adensamento que ocorre em nível intra-urbano seria necessária uma análise por setores censitários ou zonas homogêneas, já que o padrão de ocupação é diversificado, variando principalmente de acordo com as características sócio-econômicas da população.

Diversos trabalhos em sensoriamento remoto, como Luiz (2005), 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 em estimativas. 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 possibilita a obtenção de uma amostragem estratificada, necessária devido à grande heterogeneidade das áreas residenciais.

A estratificação da área de estudo em zonas residenciais unifamiliares homogêneas, além de servir de base no processo de seleção das amostras representativas, permite o levantamento dos diferentes tipos de uso residencial unifamiliar associados ao padrão construtivo, que, por sua vez, se encontram associados às diferentes condições sócio-econômicas dos seus moradores, determinando diferentes padrões de textura nas imagens.

Lin et al. (2006) testaram e compararam 3 métodos para determinar a densidade populacional por meio de texturas em imagens IKONOS, quando obtiveram vantagens em relação aos métodos convencionais, como utilização do pixel ou do setor censitário como unidade espacial. Além do fato de a textura ser uma variável contínua, assim como a densidade populacional, o que reduz os erros na inferência populacional, ela considera não só as características espectrais do dado de sensoriamento remoto, como também a configuração espacial dos pixels (como eles se apresentam no arranjo real do terreno quanto à quantidade de vegetação, ao tamanho e às distâncias das unidades domiciliares etc), fatores que têm influência direta da determinação da densidade populacional.

Os valores de densidade populacional neste estudo foram obtidos para toda a cidade, ou seja, englobam áreas ocupadas por usos de solo não residenciais e áreas de ocupação vertical (multifamiliar). Estudos futuros incluirão uma etapa de separação de áreas estritamente residenciais dos demais usos, além da estratificação destas áreas em zonas residenciais homogêneas, visando à obtenção de valores de densidade populacional menos gerais e mais representativos da realidade.

### **Inferência populacional**

A partir do modelo obtido por meio da correlação população e área para o ano de 2000, foram realizadas as inferências populacionais para 1985, 1991, 2005 e 2010.

Como se observa na Tabela 5, as estimativas populacionais obtidas para os anos de 1985 e 1991 foram comparadas, a título de verificação do modelo utilizado, com os dados oficiais de população total do IBGE para as respectivas datas. Para o ano de 2005, a estimativa a partir do modelo de inferência obtido para 2000 foi comparada à projeção de população do IBGE. Para o ano de 2010 não houve possibilidade de comparação com outro dado estimado, pois não há disponibilidade deste dado junto ao IBGE.

**Tabela 5:** Estimativas populacionais a partir da correlação obtida para o ano de 2000

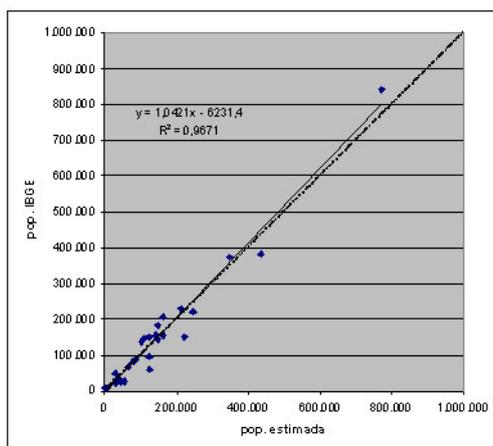
	Município	1985			1991			2005			2010
		Pop. IBGE (estimativa)	Pop. Estimada	diferença (%)	Pop. IBGE	Pop. Estimada	diferença (%)	Pop. Est. IBGE	Pop. Estimada	diferença (%)	Pop. Estimada
Araçatuba	Araçatuba	142.017	147.541	3,89%	159.557	173.180	8,54%	179.717	233.589	29,98%	262.022
Barretos	Barretos	80.202	81.546	1,68%	95.414	104.475	9,50%	109.238	143.274	31,16%	164.953
Arealva	6.948	3.460	-50,20%	6.892	5.795	-15,92%	7.465	9.570	28,19%	12.341	
Avai	5.494	3.002	-45,36%	4.644	3.377	-27,28%	4.566	4.714	3,23%	5.276	
Bauru	220.105	245.846	11,69%	261.112	286.494	9,72%	350.492	383.867	9,52%	429.101	
Iacanga	6.464	5.461	-15,51%	7.567	5.503	-27,28%	8.730	10.968	25,64%	13.057	
Piratininga	9.768	4.503	-53,91%	9.656	4.753	-50,78%	11.165	11.206	0,37%	14.075	
Reginópolis	4.730	2.418	-48,88%	4.774	2.418	-49,35%	4.722	5.066	7,28%	6.095	
Americana	156.030	161.174	3,30%	153.840	183.102	19,02%	200.607	218.372	8,86%	235.599	
Campinas	841.016	770.473	-8,39%	847.595	862.649	1,78%	1.045.7	1.070.386	2,36%	1.162.081	
Cosmópolis	29.064	34.811	19,77%	36.684	40.106	9,33%	49.585	51.617	4,10%	56.959	
Nova Odessa	27.373	43.983	60,68%	34.063	51.445	51,03%	47.088	65.486	39,07%	72.337	
Paulínia	25.950	54.030	108,21%	36.706	61.201	66,73%	60.486	112.538	86,06%	135.197	
Pedreira	26.735	32.310	20,85%	27.972	36.062	28,92%	39.759	46.540	17,06%	50.986	
Santa Bárbara d'Oeste	95.818	122.193	27,53%	145.266	136.451	-6,07%	185.623	167.672	-9,67%	181.474	
Sumaré	149.998	222.916	48,61%	226.870	266.149	17,31%	231.627	342.622	47,92%	381.491	
Vinhedo	27.068	54.697	102,07%	33.612	83.964	149,80%	55.737	142.894	156,37%	181.667	
Franca	Franca	182.820	148.541	-18,75%	233.098	171.012	-26,63%	321.969	294.822	-8,43%	349.936
Marília	Marília	136.187	101.724	-25,31%	161.149	133.742	-17,01%	220.017	250.949	14,06%	314.504
Presidente Prudente	Presidente Prudente	155.883	144.164	-7,52%	165.484	176.474	6,64%	204.036	268.693	31,69%	313.947
Registro	Registro	48.903	29.892	-38,88%	48.953	37.521	-23,35%	56.759	74.413	31,10%	93.471
Araraquara	145.042	108.102	-25,47%	166.731	126.738	-23,99%	197.039	215.023	9,13%	255.356	
Ribeirão Preto	383.125	434.243	13,34%	436.682	456.214	4,47%	551.312	590.833	7,17%	638.114	
SJRP	S. José do Rio Preto	229.221	213.911	-6,68%	283.761	258.061	-9,06%	406.826	448.351	10,21%	539.466
Caçapava	64.213	67.371	4,92%	66.058	80.253	21,49%	82.440	107.296	30,15%	120.535	
Jacareí	149.061	122.610	-17,74%	163.869	130.907	-20,12%	208.471	175.096	-16,01%	191.410	
Pindamonhangaba	86.990	85.048	-2,23%	102.063	92.052	-9,81%	141.039	156.496	10,96%	182.269	
S. José do Campos	372.578	349.821	-6,11%	442.370	396.805	-10,30%	600.049	470.218	-21,64%	506.306	
Taubaté	205.120	162.174	-20,94%	206.965	165.676	-19,95%	267.471	240.220	-10,19%	265.012	
Tremembé	22.176	32.018	44,38%	27.572	32.018	16,12%	39.366	36.368	-7,62%	37.545	
Diferenças médias			6,03%			6,44%			22,48%		

Algumas cidades apresentaram uma diferença significativa entre a população real (IBGE) e aquela estimada por meio do modelo de inferência, como os municípios de Valinhos e Vinhedo, por exemplo. Em relação a eles pode-se acrescentar, além dos fatores causadores de erros na delimitação das áreas urbanizadas, já comentados anteriormente, que estes municípios apresentam um núcleo denso, mas uma ocorrência muito grande de urbanização dispersa. Eles apresentaram, portanto uma superestimativa populacional para o ano de 2000, quando comparada à população obtida no censo demográfico. Estes núcleos dispersos que foram considerados urbanos, em uma análise mais detalhada (por meio da utilização de produtos de alta resolução espacial, mapeamentos usados como referência terrestre, dados sócio-econômicos etc), podem ser reclassificados como pertencentes a outros usos do solo (lazer, turismo, rural etc).

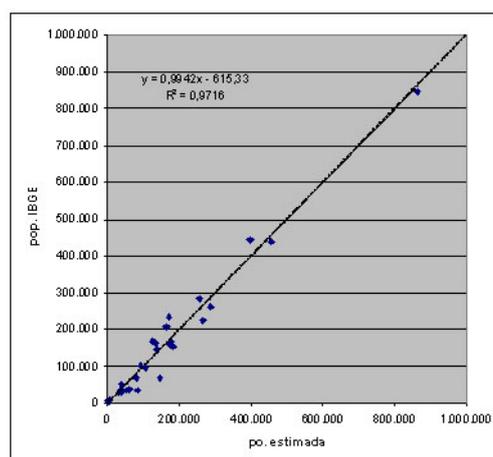
Em média, para todos os municípios observados, os erros para a estimativa populacional foram de inclusão em todas as datas. Para os anos de 1985 e 1991, os erros médios obtidos foram relativamente baixos (aproximadamente 6%). Para o ano de 2005, os erros médios se mostraram mais elevados, o que pode ser explicado em função das novas formas de expansão do tecido urbano, conforme Reis (2006), e do processo de estimativa da área urbanizada. Isto evidencia a necessidade de estudos mais detalhados por meio de um refinamento na análise e mapeamento das áreas urbanizadas, em séries temporais mais fragmentadas, e aprimoramento do método de estimativa de área urbanizada.

### **Análise qualitativa e validação do modelo de inferência populacional**

Foram realizadas análises estatísticas de regressão dos dados para as datas observadas. À linha de tendência obtida da correlação foi sobreposta uma reta - diagonal do gráfico – que representa a correlação perfeita entre os dados de referência e aqueles obtidos. Como se observa nas Figuras 4 e 5, para os anos de 1985 e 1991, a reta obtida da correlação é bastante próxima à ideal, tanto em inclinação quanto em posição (origem) no gráfico, o que permite concluir que o modelo adotado para as estimativas nestas datas foi satisfatório.

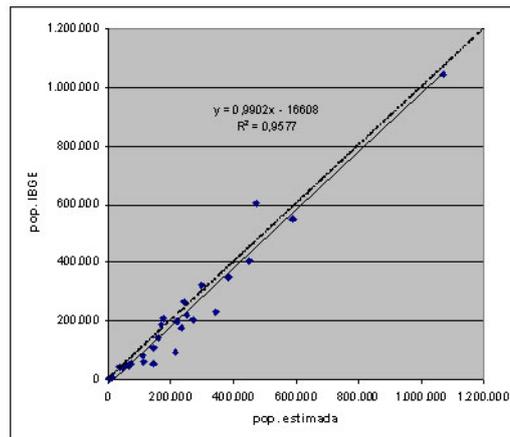


**Figura 4:** Correlação população inferida e população IBGE para 1985.



**Figura 5:** Correlação população inferida e população IBGE para 1991.

A Figura 6 que representa a correlação dos dados obtidos para 2005 em comparação à estimativa populacional do IBGE, apresenta um pequeno deslocamento entre as retas, mas mantém a similaridade quanto à inclinação destas.



**Figura 6:** Correlação população inferida e população IBGE para 2005.

### Mapeamento das áreas urbanizadas utilizando imagens de alta resolução espacial

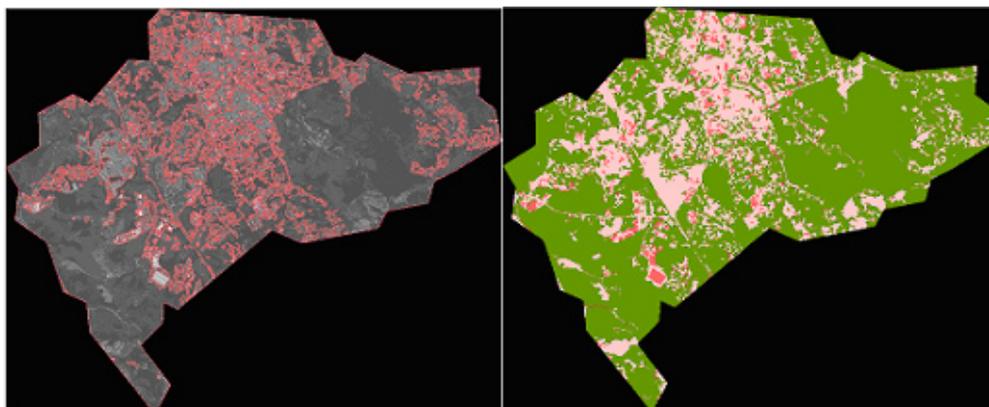
Por meio destes dados obteve-se uma maior separabilidade das áreas urbanizadas em relação às aquelas obtidas com a utilização das imagens LANDSAT, além da possibilidade de separação de grandes coberturas com uso comercial e industrial e áreas verdes intra-urbanas.

A Figura 7 exemplifica uma imagem segmentada, onde se pode observar que a área urbanizada não se apresenta como um polígono contínuo, como ocorre nas segmentações realizadas nas imagens LANDSAT, mas há a vantagem da separabilidade das áreas verdes intra-urbanas, vazios intra-urbanos, grandes construções de uso não-residencial.



**Figura 7:** Detalhe da imagem IRS segmentada – município de Vinhedo.

Na Figura 8 pode-se observar a imagem do IRS do município de Vinhedo com a sobreposição da segmentação e a classificação automática geradas no SPRING, utilizando-se o classificador Iseseg com limiar de aceitação de 95%, para o município de Vinhedo.

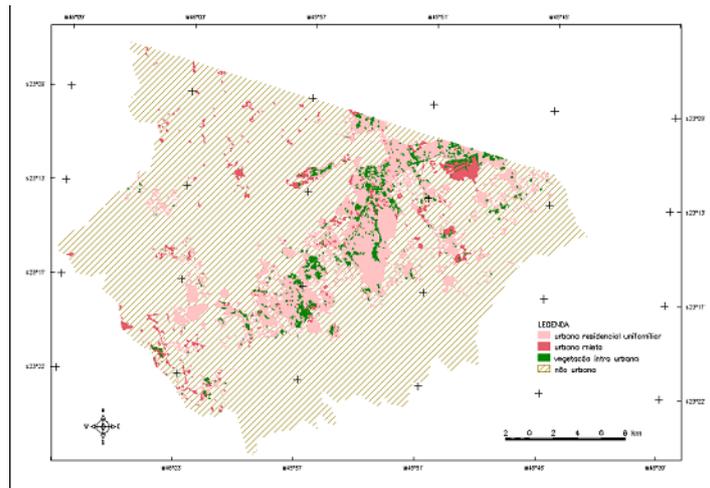


**Figura 8:** Segmentação e classificação de imagem do IRS – município de Vinhedo.

As áreas urbanizadas na Figura 8 aparecem em duas classes, rosa e vermelho, sendo esta última representada pelas grandes coberturas com alta reflectância (galpões comerciais e industriais) além de áreas de transição de uso com solo exposto (agrícolas e loteamentos em implantação).

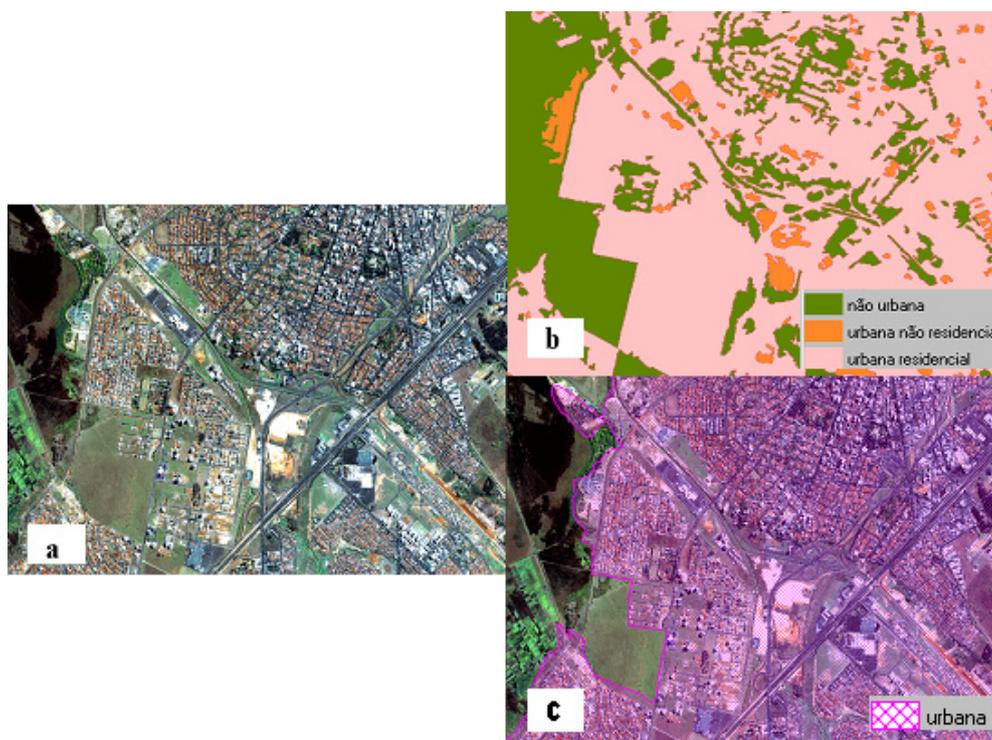
A eliminação destas áreas que se apresentam com características que geralmente definem áreas de uso não-residencial possibilitou um incremento na precisão do mapeamento, o que traz uma melhora na inferência populacional.

Com relação à análise do município de São José dos Campos (Figura 9), esta melhora foi verificada a partir da comparação qualitativa da classificação realizada com produtos de sensoriamento remoto existentes (fotografias aéreas, imagens IKONOS) e do conhecimento prévio da área de estudo.



**Figura 9:** Classificação de imagem do IRS – município de São José dos Campos.

A Figura 10 exemplifica em uma comparação qualitativa em relação a imagens digitais do satélite IKONOS 2 (composição colorida obtida da fusão de dados nos modos multiespectral, com 4 metros de resolução espacial; e pancromático, com 1 metro de resolução espacial; adquiridas em 10/09/2000 e 13/10/2000, respectivamente) do município de São José dos Campos, o ganho na precisão do mapeamento das áreas urbanizadas realizado a partir de dados do IRS em correspondência àquele obtido a partir dos dados LANDSAT.



**Figura 10:** Imagem IKONOS 2 (a) como referência terrestre e detalhe das classificações da área urbanizada por meio de imagens do IRS (b) e LANDSAT 2000 (c) - município de São José dos Campos.

Em uma análise da classificação pode-se observar que a classe urbana não-residencial englobou, além dos usos não-residenciais urbanos, como indústrias, galpões comerciais e instituições, o uso residencial multifamiliar. A partir de uma edição vetorial, este uso pode ser identificado e constituir uma nova classe.

Este trabalho segue em desenvolvimento a fim de quantificar as áreas urbanizadas por meio da classificação dos dados do IRS, com o objetivo final de inferência de população, em que deve ser analisado um número maior de municípios, melhorando a confiabilidade dos métodos utilizados. Além disso, pretende-se explorar os dados multiespectrais disponíveis neste satélite.

## CONCLUSÕES

A forte correlação entre população e área nos municípios analisados permitiu a determinação de um modelo para a estimativa populacional. Isto justifica o uso de imagens de satélite para o monitoramento dos padrões de distribuição da população urbana.

Ainda que ocorra esta correlação, a utilização de modelos de inferência de população adequados para os vários tipos de cidades, com diferentes funções urbanas predominantes (industrial, comercial, turística etc), pode aumentar a correlação entre população e área, assim como análises intra-urbanas, em nível de bairros ou zonas residenciais homogêneas, contribuiria para uma visão mais real das cidades estudadas.

A estratificação prévia das cidades em Zonas Residenciais Homogêneas pode reduzir significativamente o erro de inclusão, pois seriam eliminadas áreas predominantemente comerciais e aquelas com características industriais.

A utilização de dados de maior resolução espacial para obter as áreas urbanizadas traz um aumento da precisão da estimativa, pois, além de reduzir os erros do mapeamento, separando-se os outros usos urbanos não-residenciais daqueles residenciais, é possível a delimitação das zonas homogêneas residenciais quanto ao padrão de ocupação (principalmente quanto à densidade domiciliar).

A quantificação da variável densidade populacional em um período pode ser importante para que se determine uma tendência no padrão de ocupação das cidades, como intensa verticalização, urbanização dispersa, presença de áreas industriais etc. Esta análise temporal da densidade populacional para as regiões de estudo pode contribuir para um ajuste dos modelos de inferência populacional.

Com a utilização de dados de maior resolução espacial e, portanto, a possibilidade de classificações intra-urbanas a partir de texturas e padrões de ocupação, a variável densidade populacional torna-se fundamental para o aumento da precisão na estimativa populacional, pois permite a determinação de modelos de inferência específicos para cada área da cidade.

Com o futuro lançamento do satélite CBERS-2B, com resolução espacial de 2,5 metros, estudos de estimativas populacionais utilizando estes dados deverão ser intensificados, já que haverá a possibilidade de obtenção de dados de alta resolução espacial de forma sistemática e com um menor custo. Estas pesquisas ampliarão a aplicação destes produtos em estudos na área de Ciências Sociais, caracterizados pela socialização do pixel, conforme definido por Geoghegan et al. (1998).

A relação entre população e área urbanizada é marcante e pode ser utilizada como base para estimativas populacionais, entretanto outras variáveis devem ser incorporadas ao modelo para que se estabeleçam modelos de inferência mais precisos, como uso do solo urbano e atividade econômica predominante do município, distâncias aos centros, zonas homogêneas intra-urbanas, entre outras.

## REFERÊNCIAS

- CORRÊA, R.L.A. A Rede urbana brasileira e a sua dinâmica: algumas reflexões e questões. In: *Urbanização e Cidades: Perspectivas Geográficas*, org. Maria Encarnação Beltrão Spósito. Presidente Prudente, UNESP, 2001.
- 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).
- Geoghegan, J., Pritchard Jr., L., Ogneva-Himmelberger, Y, Chowdhury, R.R., Sander-son, S., Turner II, B.L. "Socializing the Pixel" and "Pixelizing the Social" in Land-Use and Land-Cover Change. In: *People and Pixel: Linking Remote Sensing and Social Science*. Washington, D.C., National Academy Press, 1998. p.244.
- GIADA, S., DE GROEVE, T., EHRLICH, D. Information Extraction from Very High Reso-lution Satellite Imagery over Lukole Refugee Camp, Tanzania. *International Journal of Remote Sensing*. v. 24, n.22, pp. 4251-4266, November, 2003.
- GONÇALVES, C. D. A. B.; SOUZA, Í. M.; PEREIRA, M. N.; FREITAS, C. C.. Análise do am-biente residencial urbano visando a inferência de população utilizando dados de sensoria-mento remoto orbital de alta resolução (Urban environment analysis for population estima-tion using high resolution satellite images). *Geografia*, v. 31, n. 2, pp. 371- 402, ago. 2006.
- HARVEY, J. T. Estimating census district population from satellite imagery: some ap-proaches and limitations. *International Journal of Remote Sensing*. v. 23, n.10, pp. 2071-2095, May 2002.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Censos Demográficos – Resulta-dos do Universo. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2000/>>. Acesso em: 26 abr. 2005.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE-DPI). Manual do SPRING 4.1. São José dos Campos, dezembro 2004. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/spring/>>. Acesso em dez. 2004.
- 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, 1999, pp. 611-622.
- KAMPEL, S.A. Geoinformação para estudos demográficos: representação espacial dos dados de população na Amazônia Brasileira. 2003. 157 p. Tese de Doutorado. USP/Es-cola Politécnica, Departamento de Engenharia de Transportes, São Paulo. 2003.
- LIN, X., CLARKE, K., HEROLD, M. Population Density and Image Texture: A Compari-son Study. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. v.72, n.2, February, 2006, pp. 187-196.
- LIU, X., CLARKE, K. Estimation of residential population using high-resolution satellite imagery. In: *INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF URBAN AR-EAS*, 3, 2002, Istanbul, Turkey. Proceedings... Istanbul, Turkey, 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, pp. 17-34. Jan. 1995.

- LUIZ, A. J. B. Estatísticas agrícolas por amostragem auxiliadas pelo sensoriamento remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12. (SBSR), 16-21 abr. 2005, Goiânia. Anais... São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, pp. 181-188. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8.
- LUIZ, A. J. B. Estatísticas agrícolas por amostragem auxiliadas pelo sensoriamento remoto. dez. 2003. (INPE--TDI/). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2003.
- MELLO, E.M.K.; Moreira, J.C.; Souza, I.M.; J.C.; Santos, J.R.; Shimabukuro, Y.E.; Duarte, V.; Barbosa, C.C.; Souza, R.C.M.; Paiva, J.A.C. Prodes digital - experiência brasileira no mapeamento automatizado do desflorestamento da Amazônia. Comissão Técnica: Sistemas de Informações Geográficas - X Simpósio Latino-americano de Percepción Remota, Y Sistemas de Información Espacial, X Latin American Symposium on Remote Sensing - Bolívia, 10 - 15 de nov de 2002.
- MOREIRA, J.C., Mello, E. M. K., Barbosa C.C., Souza R. C. M. de., Paiva J.A.C., Souza I. M., Santos J. R. dos., Shimabukuro Y. E., Duarte V., Mapeamento automatizado do desflorestamento da Amazônia, Anais..., categoria Meio Ambiente, publicação no.1549, GISBRASIL 2002 - Curitiba-PR, 22-26 abril 2002. 1 CD-ROM.
- 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, 1974.
- Pereira, M.N.; Kurkdjian, M.L.N.O.; Foresti, C. Cobertura e uso da terra através de sensoriamento remoto. São José dos Campos: INPE, nov, 1989. (INPE-5032-MD/042).
- PEREIRA, M.N., Gonçalves, C.D.A.B., Souza, I.M., Garcia, S., Portela, A.G., Almeida, C.M. Uso de imagens de satélite como subsídio ao estudo processo de urbanização, jun. 2005, (INPE-12912-RPI/251), São José dos Campos, vide em [www.inpe.br](http://www.inpe.br).
- PORTAS, N. Tendências do urbanismo na Europa - Planos Territorial e Local. Palestra dada na cidade do Porto, Portugal, 2003. (Secretaria de Planejamento da Prefeitura de Vila Nova de Gaia, Portugal)
- QIU, F., Woller, K.L., Briggs, R.. Modeling Urban Population Growth from Remotely Sensed Imagery and TIGER GIS Road Data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. v.69, n.9, September, 2003, pp. 1031-1042.
- REIS, G. N.. Notas sobre urbanização dispersa e novas formas de tecido urbano. São Paulo: Via das Artes, 2006. p.201.
- Rindfuss, R.R, Stern, P.C. Linking Remote Sensing and Social Science: The Need and The Challenges. In: People and Pixel: Linking Remote Sensing and Social Science. Washington, D.C., National Academy Press, 1998. p.244.
- TORRES, H. G., Demografia Urbana e Políticas Sociais. Revista Brasileira de Estudos Populacionais. v. 23, n.1, p. 27-42, jan/jun 2006.
- Veronese, V. F. Utilização de segmentação e edições pós-classificatórias na solução de confusões de classificação. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11., 2003, Belo Horizonte. Anais... São José dos Campos: INPE, 2003. pp. 2151-2153. 1 CD-ROM.
- ZELINSKY, W. Introdução à Geografia da População. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1969. p.195.