

O USO DE IMAGENS DE SATÉLITE DE MÉDIA RESOLUÇÃO NA AVALIAÇÃO DA EXPANSÃO URBANA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO TIBAGI – PR

Use of Satellite Images of Moderate Spatial-Resolution in the Evaluation of the Urban Expansion in Tibagi River Basin – PR

José Hilário Delconte Ferreira^{1,2}
Márcia Aparecida de Oliveira²
Rebeca Janina Delconte Ferreira²
Guilherme Pedro Viero²
Paulo Sérgio Pereira³
Edvard Elias de Souza Filho⁴

¹**Universidade Estadual de Maringá – UEM**
PEA – Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais
Av. Colombo, 5790 - PEA - Bloco G90 CEP 87.020-900 – Maringá - PR – Brasil
jferreira@utfpr.edu.br

²**Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR**
Campus Campo Mourão - COAMB
Br 369 Km 0,5 CEP 87301-003 Campo Mourão - PR – Brasil
jferreira@utfpr.edu.br
marcia.o.a@gmail.com
redelferrer@gmail.com
gpviero@gmail.com
pssfaculdade@gmail.com

³**Companhia Paranaense de Energia – COPEL**
DAGT- Departamento de Meio Ambiente da DGT
VEAM - Divisão de Estudos Ambientais
paulo.pereira@copel.com

⁴**Universidade Estadual de Maringá - UEM**
Departamento de Geografia - GEMA
Centro de Ciências Humanas Letras e Artes, Departamento de Geografia.
Avenida Colombo 5790 Zona 07 87020-900 - Maringá, PR - Brasil
edvardmarilia@wnet.com.br

RESUMO

Este trabalho buscou avaliar a relação da expansão urbana com o crescimento da sua população em 30 municípios da bacia do rio Tibagi, no estado do Paraná, entre os anos de 1986 e 2007. A expansão urbana foi levantada através de imagens do satélite Landsat, utilizando-se dos softwares SPRING e ENVI, bem como dados de população do IBGE. O ENVI foi utilizado para georreferenciar e aplicar o filtro *Vegetation Supression*, enquanto o SPRING foi utilizado para relacionar a classe urbana com cada um dos municípios da bacia. Para a relação entre o uso do solo e a população, quando considerada a distribuição espacial, o coeficiente de correlação de Pearson mostrou-se estatisticamente significativo em todo o período de estudo. Considerando-se a distribuição temporal, o coeficiente de correlação de Pearson mostrou-se estatisticamente significativo em 63% dos casos, apesar de ser em 90% dos casos superior a 0,70.

Palavras chaves: Expansão urbana; População urbana; Imagens Landsat; Bacia do Tibagi.

ABSTRACT

This study sought to evaluate the relation of the urban expansion with the increase of its population in 30 cities of Tibagi river basin, in the state of Paraná, between the years of 1986 and 2007. The urban expansion was accomplished out by Landsat satellite images using SPRING and ENVI software and also population data of IBGE. ENVI was used to georeference and apply Vegetation Suppression filter while SPRING was applied to relate the urban class to each one of the cities of the basin. To the relation between the use of soil and the population, Pearson correlation coefficient was statistically significant in all the studied period. Considering the temporal distribution, Pearson correlation coefficient was statistically significant in 63% of the cases; however it was higher than 0.70 in 90% of the cases.

Keywords: Urban expansion; Urban population; Landsat images; Tibagi basin.

1. INTRODUÇÃO

O Homem, no decorrer da construção histórica de sua sociedade, altera e ocupa os espaços naturais com ambientes construídos ou transformados pela sua ação. Ele transforma os espaços, em um primeiro momento através da derrubada das matas, implantação de pastagens e cultivos, e posteriormente com a construção de estradas, portos, aeroportos, represas, da retificação e canalização de cursos d'água, implantação de indústrias e áreas urbanas. As imagens obtidas por sensores remotos contribuem para a identificação desses diferentes usos do espaço terrestre, e o aspecto multitemporal dessas imagens permite acompanhar as transformações do espaço ao longo do tempo (FLORENZANO, 2002).

As imagens de sensores remotos podem ser analisadas através do Geoprocessamento, área do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de informações geográficas. Esta tecnologia tem influenciado de maneira crescente as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional, Ecologia e Ambiente. Nos países de grande dimensão e com carência de informações adequadas para tomada de decisões sobre problemas urbanos e ambientais, o Geoprocessamento apresenta um enorme potencial, principalmente se baseado em tecnologias de custo relativamente baixo, em que o conhecimento é adquirido localmente (ASSAD e SANO, 1998).

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são as ferramentas por excelência do Geoprocessamento e permitem avaliar o ambiente através de dados de diferentes fontes, como imagens de satélite, e análises de água de pontos georreferenciados (com coordenadas geográficas), de modo a agrupar os dados em cartas temáticas ou modelos matemáticos que podem ser analisados através da geoestatística (SILVA, 2001).

Para Guerra *et al* (1999) o desenvolvimento dos SIG, a partir da década de 80, permitiu trabalhar com um grande volume de dados do meio físico, uso do solo, sistemas agropastoris e rede viária, entre outros, facilitando o estabelecimento de estratégias para a tomada de decisões. Guerra ainda ressalta que o

Geoprocessamento não substitui o levantamento de campo, nem tampouco os conhecimentos do pesquisador, necessários para, por exemplo, a revisão e correção de imperfeições na geometria das feições mapeadas.

A tecnologia dos SIG tem tido crescente utilização no planejamento ambiental e é definida como um instrumento capaz de equacionar os problemas encontrados no gerenciamento de um sistema de informações resultantes, principalmente, do crescimento acelerado da economia, da dinâmica social e do desenvolvimento de novas formas de manejo do meio ambiente. O SIG amplia as prioridades do planejador ambiental para traçar caminhos e eleger prioridades factíveis com a visão holística e sistêmica do meio, própria do desenvolvimento ecologicamente equilibrado (MOTA, 1999).

Segundo Barros *et al*, (2003) e Sabo e Galo (2003), o crescimento demográfico desordenado gera uma cidade complexa, onde o meio natural é degradado sem muito controle, afetando principalmente a parcela menos favorecida da população; dessa forma, torna-se necessária uma atuação mais eficaz do governo, e também da iniciativa privada, junto ao planejamento de recuperação ambiental que leve a uma melhoria de condições de vida da população, principalmente da mais carente. A diversidade de materiais na cobertura do solo de uma área urbana dificulta sua classificação através de classificadores automáticos ou supervisionados em uso e ocupação do solo, a partir de imagens de satélites. Muitas vezes é preciso utilizar outros atributos de natureza não-espectral ou que considerem a variabilidade espacial interna observada nos padrões.

As categorias de uso do solo devem ser relacionadas a uma variável urbana, freqüentemente a população humana. Esta aproximação foi extensamente utilizada na análise aerofotogramétrica (ADENIYI 1983, LO 1989). A aplicação mais simples envolve a comparação da população, originalmente levantada através de censo demográfico, com a ocupação do espaço por áreas residenciais (LANGFORD *et al*. 1990). Isto pode conduzir a uma avaliação da densidade demográfica (MONMONIER e SCHNELL 1984). Assumindo-se que há uma relação íntima entre categorias de áreas residenciais e densidade

demográfica, pode-se utilizar a área ocupada pelas categorias residenciais para calcular a população na ausência de um censo formal (LO 1995). Para Liu e Clarke (2002), existem basicamente três maneiras de se levantar dados demográficos, sendo os censos demográficos, os registros em cartórios ou através de dados de sensoriamento remoto.

Segundo Welch (1982) o mais importante na utilização de dados de sensores remotos na avaliação urbana é a resolução espacial dos dados. Com advento dos satélites de média resolução (SPOT, as séries IRS e Landsat) o desenvolvimento da utilização de dados de sensores remotos para avaliar o desenvolvimento urbano foi estimulado, com trabalhos com resolução entre 10 e 30 metros. (CORBLEY 1996, RIDLEY *et al.* 1997).

Lo (1995), utilizou imagens 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.

As imagens adquiridas pelos sensores dos satélites de alta resolução espacial (até 5 m), entre outras coisas oferecem potencial considerável para a derivação de informação do uso do solo urbano. É sugerido que a classificação inicial é de precisão suficiente para permitir deduzir as relações de uso do solo urbano, permitindo que muitas características de interesse em áreas urbanas sejam identificadas (BARR e BARNESLEY 2000)

Porém o uso de imagens de resolução espacial alta ou muito alta traz consigo alguns problemas. Podemos citar que a maioria das imagens de resolução mais altas é registrada apenas em modo pancromático, a quantidade de informações correspondente cria dificuldades para o armazenamento das imagens, troca de dados, tempo de processamento e custo da aquisição das cenas (JONES *et al.* 1991, ACKERMAN 1995).

Liu e Clarke (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.

A correlação entre densidade de população levantada através de censo demográfico e imagens Ikonos foi explorado por Liu, Clarke e Herold (2006) que utilizaram-se da regressão linear para explorar a correlação entre a imagem e a densidade populacional. Afirmam, ainda, que embora claramente exista correlação, seu grau varia dependendo do método utilizado para classificar a imagem. Sugerindo que a correlação entre imagem de satélite e densidade

populacional não é bastante forte para prever a população residencial. Porém, provê uma base para refinar a distribuição de população levantada através de censo demográfico. Concluindo então que Imagens de satélite de alta-resolução têm o potencial para apoiar programas de interpolação inteligente para calcular a distribuição de população humana em áreas onde informações detalhadas não estejam disponíveis

Nesse sentido, a utilização das imagens de satélite para a estimação da população urbana é recomendada como uma tecnologia auxiliar na obtenção de informações demográficas, não substituindo os censos demográficos e as contagens populacionais, mas auxiliando na estimação populacional nesse período inter-censitário e podendo ser calibrado pelos dados de cada contagem/censo demográfico (REIS, 2005).

Desse modo vemos que o uso das imagens de satélite para a análise urbana, mesmo as de média resolução espacial, pode ser de grande utilidade para este tipo de análise, principalmente devido à evolução dos métodos de análise das imagens, que proporciona um melhor aproveitamento dos dados disponíveis nas bandas. O uso de imagens de média resolução espacial para análises de áreas urbanas pode apresentar erros de classificação, pois elementos de tamanho inferior ao pixel da imagem (resolução espacial) não são identificados. Esses elementos são de grande importância para a identificação das diversas zonas de uso dentro de uma mancha urbana (BARROS *et al.*, 2007).

Para Reis (2005), as imagens de satélite de média resolução espacial podem ser utilizadas para a estimação de populações, apesar de as dificuldades, neste caso, serem maiores que em outros usos consagrados de dados dos sensores remotos orbitais, por trabalhar-se com variáveis quantitativas e não qualitativas.

Nesse contexto, este artigo visa avaliar a relação entre o crescimento da área urbana, levantada através de imagens orbitais e o aumento da população urbana nos municípios da bacia do rio Tibagi, no estado do Paraná.

2. MATERIAL E MÉTODO

2.1 Área de Estudo

A área de estudo é a Bacia Hidrográfica do rio Tibagi, no estado do Paraná (Fig. 1), afluente da margem esquerda do rio Paranapanema. Faz parte da Sub-Bacia 64 da Agência Nacional de Águas (ANA). A divisão política/administrativa da bacia hidrográfica do Tibagi é composta por 49 municípios, cuja área está parcial ou totalmente inserida nos limites da bacia (Apucarana, Arapongas, Assaí, Bela Vista do Paraíso, Califórnia, Cambé, Carambéi, Castro, Congoinhas, Cornélio Procópio, Curiúva, Fernandes Pinheiro, Guamiranga, Ibiporã, Imbau, Ibituva, Ipiranga, Irati, Ivaí, Jataizinho, Leópolis, Londrina, Marilândia do Sul,

Mauá da Serra, Nova América da Colina, Nova Fátima, Nova Santa Bárbara, Ortigueira, Palmeira, Piraí do Sul, Ponta Grossa, Porto Amazonas, Primeiro de Maio, Rancho Alegre, Reserva, Rolândia, Santa Cecília do Pavão, Santo Antônio do Paraíso, São Jerônimo da Serra, São Sebastião da Amoreira, Sapopema, Sertaneja, Sertanópolis, Tamarana, Teixeira Soares, Telêmaco Borba, Tibagi, Uraí e Ventania).



Fig 1 - Localização da bacia do Tibagi no Estado do Paraná.

2.2 Material

2.2.1 Dados Orbitais e Cartográficos

Os dados de sensores remotos (SR) utilizados foram as cenas Landsat 221-76, 221-77, 222-77 e 222-78. Os dados cartográficos foram as cartas topográficas na escala de 1:250.000 SF-22-Y-B, SF-22-Y-D, SF-22-V-B, SF-22-Z-A, SF-22-Z-C, SF-22-X-A e SF-22-X-C. Os materiais orbital e cartográfico foram adquiridos pela FUNTEF (Fundação de Apoio à Educação, Pesquisa e Desenvolvimento Científico e Tecnológico da UTFPR) através de convênio de Pesquisa & Desenvolvimento com a COPEL Geração LTDA.

2.2.2 Programas (softwares)

Foram utilizados os softwares ENVI versão 4.3, SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) versão 4.3.3 e Statistica versão 7.1.

2.2.3. Dados Demográficos

Os dados demográficos foram obtidos junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2008a). Os dados dos anos de 1991 e 2000 são resultado de censo demográfico, enquanto para os anos de 1996 e 2007, são resultado de contagem da população e para o ano de 1986 é resultado de estimativa, do IBGE, através de metodologia própria.

2.3. Método

2.3.1. *Vegetation Suppressing Tool* for ENVI 4.3

As imagens foram georreferenciadas utilizando-se como base as imagens GeoCover Cerca, ano base 2000 (NASA, 2008). Após o georreferenciamento das imagens foi utilizada, no ENVI, a rotina *Vegetation Suppressing Tool* (MICROIMAGES, 2008) que, cruzando as informações das bandas do vermelho e do infravermelho próximo, suprime a assinatura espectral correspondente à vegetação na imagem. Essa ferramenta é a implementação do método desenvolvido por Crippen e Blom (2001).

2.3.2. Georreferenciamento e classificação das Imagens de Satélite

Para a classificação foram testados dois métodos no ENVI, o método da Distância Mínima e o de Máxima Verossimilhança. Testou-se também, no SPRING, o método da classificação de imagens segmentadas ISOSEG. Entretanto, em função dos resultados da matriz de confusão (ou matriz de erro), optou-se por realizar a classificação manual das manchas urbanas.

2.3.3. Álgebra de Mapas

Para a álgebra de mapas, que é a utilização de operações aritméticas e booleanas, similares às utilizadas na matemática, a fim de realizar, com maior rapidez, cruzamentos de informações em planos de informação diferentes, foi utilizada, no SPRING, a linguagem LEGAL (CAMARA, 1996).

2.3.4. Análise Comparativa dos dados de SR e Estatísticos

Para comparar os dados de área da mancha urbana e de população foi, por meio do software Statistica 7.1, utilizado o coeficiente de correlação de Pearson, que mostra a intensidade da associação entre duas variáveis quantitativas (CALLEGARI-JACQUES, 2003), obtido através da fórmula:

$$r = \frac{cov_{xy}}{s_x s_y} \quad \text{onde}$$

$$cov_{xy} = \sum (x - \bar{x})(y - \bar{y}) / (n - 1) \quad (1)$$

3. DESENVOLVIMENTO

O estudo foi realizado na bacia do Tibagi, anos de 1986, 1991, 1996, 2001 e 2007. As imagens foram classificadas, no software ENVI, através de Classificação Supervisionada, método de Máxima

Verossimilhança (MAXVER), visando distinguir as áreas urbanas das outras áreas identificáveis nas cenas. Após a classificação inicial, foi realizado o tratamento Pós Classificação, através do aplicativo ClassEdit, utilizando a interpretação visual, tendo como fundo/base para o ajuste as cenas Landsat com a assinatura espectral de vegetação suprimida.

As cenas Landsat foram tratadas, no ENVI 4.3, utilizando a rotina *Vegetation Suppressing Tool* (MICROIMAGES, 2008), que remove a assinatura espectral da vegetação de imagens multiespectrais de média resolução, usando a informação das bandas vermelha e infravermelha próxima (Landsat TM 3 e TM 4). O resultado da supressão ressalta as características das cenas que não estão relacionadas à vegetação (Fig. 2), diferenciando-as da visualização falsa-cor (Fig. 3), com a banda 5 visualizada pelo canal vermelho (R), a banda 4 pelo canal verde (G) e a banda 3 pelo canal azul (B). O realce de elementos não vegetacionais facilita a identificação das áreas urbanas, entre outras aplicações.

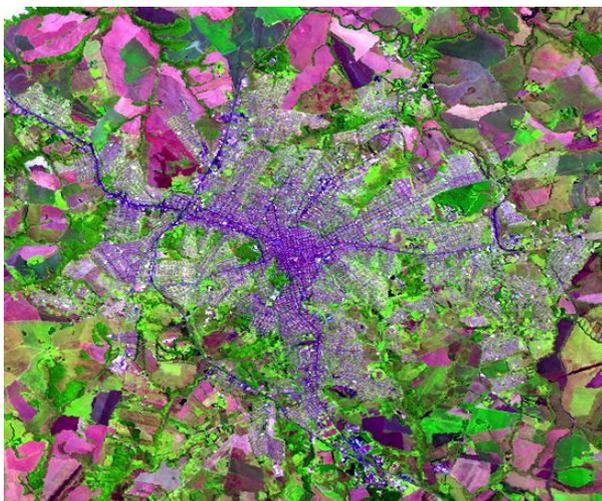


Fig. 2 - Parte de cena LandSat com vista da cidade de Ponta Grossa - PR, bandas 543 - RGB com realce, mas sem aplicação da rotina *Vegetation Suppressing Tool*.



Fig. 3 - Parte de cena LandSat com vista da cidade de Ponta Grossa - PR, bandas 543 - RGB, com realce e aplicação da rotina *Vegetation Suppressing Tool*.

aplicação da rotina *Vegetation Suppressing Tool*.

Após a classificação, as cenas foram exportadas no formato geotiff e, posteriormente, importadas para um Banco de Dados Geográficos (BDG) no SPRING. As cenas foram importadas para Planos de Informação (PI's) inseridos em categorias temáticas (uma para cada ano de estudo). Os PI's, com as áreas urbanas, ainda não apresentavam divisão por municípios; isso foi feito utilizando-se a Linguagem Espacial para o Geoprocessamento Algébrico (LEGAL) que, através de declarações e instanciações, permite realizar operações de álgebra de mapas (CAMARA, 1996).

A operação de álgebra de mapas realizada foi a espacialização, cruzando-se os PI's de áreas urbanas com um PI contendo os limites dos municípios do estado do Paraná atualizados para o ano de 2005 (IBGE 2008b), gerando cinco novos planos de informação. Foram criados e executados cinco programas em LEGAL, um para cada ano de estudo. As diferenças entre os programas foram apenas na **Declaração** e **Instanciação** do programa (Quadro 1), onde são definidas as categorias de uso do solo (Uso_1986, Uso_1990, Uso_1996, Uso_2001 e Uso_2007), o nome dos PI's de uso (1986, 1991, 1996, 2001 e 2007) e o PI a ser criado (u1986, u1991, u1996, u2001 e u2007).

```
{
Tematico Us ("Uso_1986"), Ur ("URB"), U ("Urbano");
Us=Recupere (Nome = "1986");
U=Recupere (Nome = "urb");
Ur = Novo (Nome="u1985", ResX= 28.5, ResY= 28.5,
Escala= 57000);
```

Quadro 1 - Declaração e Instanciação do Código em linguagem de programação Legal utilizado pra o ano de 1986.

A **Operação** no programa em Legal, onde foi reclassificado o uso urbano de acordo com cada município, foi idêntico para todos os anos (Quadro 2).

```
Ur = Atribua (CategoriaFim = "URB")
{"T-01": (Us.Classe=="urbano"&&U=="T-01"),
"T-02": (Us.Classe=="urbano"&&U==" T-02"),
...
"T-30 ": (Us.Classe=="urbano"&&U==" T-30 ");
}
```

Onde T-** é o nome de cada município (classe temática) tanto da categoria com os limites municipais, quanto da categoria Uso do solo que vai receber os dados fatiados, repetindo-se a terceira linha para todos os municípios.

Quadro 2 - Parte da operação do Código em linguagem de programação Legal utilizado para todos os anos.

Após a execução dos programas em LEGAL,

foi gerado um relatório de medida de classes para cada um dos PI's resultando em uma matriz com a área (em quilômetros quadrados) das cidades de todos os municípios inseridos na bacia do Tibagi (49 municípios). Como no período de estudo (1986-2007) ocorreram desmembramentos e criações de municípios, não foram considerados, na comparação com o incremento populacional, todos aqueles que sofreram alteração de área entre os anos de 1985 e 2007, resultando em 30 municípios.

4. RESULTADOS

Após o levantamento da área das cidades para cada ano, dentro do período de estudo (tabela 1), os valores foram tabulados junto com os respectivos valores de população urbana de cada ano. Os dados foram utilizados para a realização de um teste de correlação linear simples, para verificar a relação entre a variação do tamanho da mancha urbana, levantada através das imagens Landsat, e a variação da população urbana.

TABELA 1 CÓDIGO DOS MUNICÍPIOS ESTUDADOS, E A EVOLUÇÃO TEMPORAL DA ÁREA URBANA (km²) (1986-2007)

Cód	1986	1991	1996	2001	2007
T-01	8,3	15,6	22,4	27,7	33,1
T-02	10,8	12,5	15,1	22,7	26,6
T-03	1,7	1,9	4,1	4,0	3,8
T-04	1,9	2,1	2,1	2,8	2,7
T-05	0,7	0,8	1,0	1,5	1,4
T-06	10,9	16,5	17,6	24,5	28,7
T-07	0,1	0,2	0,4	0,5	0,9
T-08	6,8	6,9	7,1	8,8	10,0
T-09	1,0	1,1	1,1	1,6	1,9
T-10	4,2	5,2	6,5	9,0	14,0
T-11	1,3	1,5	2,1	2,3	2,0
T-12	9,1	10,2	15,6	15,2	15,9
T-13	1,2	1,5	1,9	2,4	2,4
T-14	2,0	2,4	2,6	3,1	3,1
T-15	0,8	1,0	0,9	0,7	0,8
T-16	0,7	0,8	0,9	1,1	1,0
T-17	1,9	1,8	2,5	4,2	4,3
T-18	4,6	4,8	6,2	6,4	6,7
T-19	2,6	3,7	4,1	4,1	4,3
T-20	1,1	1,1	1,0	1,1	0,9
T-21	1,6	2,1	2,0	2,2	2,6
T-22	0,3	0,5	0,7	0,8	0,9
T-23	2,4	2,5	2,6	3,8	3,9
T-24	6,5	7,8	9,3	12,5	15,8

T-25	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4
T-26	0,7	0,8	0,8	0,8	1,1
T-27	0,6	1,0	1,0	1,1	1,4
T-28	0,7	1,0	1,0	1,1	1,2
T-29	0,9	1,0	1,2	1,3	1,2
T-30	1,9	2,8	2,8	3,2	3,2

No primeiro teste foi considerada a variação espacial, tendo como amostra os dados de população e mancha urbana das cidades individualmente e, como caso, cada um dos anos de estudo (Tabela 2). No segundo foi considerada a variação temporal, as amostras eram os anos e os casos cada uma das cidades (Tabela 3).

TABELA 2 COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE A ÁREA DA MANCHA URBANA E A POPULAÇÃO URBANA PARA CADA ANO DE ESTUDO. OS VALORES EM VERMELHO TEM SIGNIFICÂNCIA ATÉ 0.05.

Ano	Pop/Urb
1986	0,893
1991	0,968
1996	0,958
2000	0,984
2007	0,989

TABELA 3 COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE A ÁREA DA MANCHA URBANA E A POPULAÇÃO URBANA PARA CADA UM DOS MUNICÍPIOS NO PERÍODO DE ESTUDO. OS VALORES EM VERMELHO TEM SIGNIFICÂNCIA ATÉ 0.05.

Cód	Municípios	Índice de Correlação
T-01	Apucarana	0,991
T-02	Arapongas	0,985
T-03	Assai	0,803
T-04	Bela Vista do Paraíso	0,776
T-05	Califórnia	0,983
T-06	Cambe	0,977
T-07	Congoinhas	0,712
T-08	Cornélio Procópio	0,687
T-09	Curiúva	0,960
T-10	Ibiporã	0,890
T-11	Ipiranga	0,851
T-12	Irati	0,844
T-13	Ivaí	0,942
T-14	Jataizinho	0,914
T-15	Leópolis	-0,030
T-16	Nova Fátima	0,895
T-17	Ortigueira	0,885
T-18	Palmeira	0,932
T-19	Piraí do Sul	0,891
T-20	Porto Amazonas	-0,405
T-21	Primeiro de Maio	0,828

T-22	Rancho Alegre	0,813
T-23	Reserva	0,894
T-24	Rolândia	0,978
T-25	Santo Antônio do Paraíso	0,909
T-26	São Jerônimo da Serra	0,705
T-27	São Sebastião da Amoreira	0,951
T-28	Sapopema	0,882
T-29	Sertaneja	0,883
T-30	Sertanópolis	0,952

No primeiro teste, no qual foi considerada a distribuição espacial para cada um dos anos de estudo, foram encontrados valores de correlação de Pearson entre 0,893 e 0,989, todos com nível de significância até 0,05, o que denota haver correlação significativa entre a população e a mancha urbana levantada através de imagens orbitais Landsat. No segundo teste, onde as cidades foram individualizadas, 24 das 30 apresentaram coeficiente de correlação superior a 0,8 e duas apresentaram coeficiente de correlação negativo.

Para verificar o adensamento populacional, foi calculada a relação área urbana *per capita* e comparada à evolução da população urbana no período (Tabela 4).

TABELA 4 - POPULAÇÃO URBANA NOS MUNICÍPIOS DA ÁREA DE ESTUDO.

Cód.	1986	1991	1996	2001	2007
T-01	80797	86079	93595	100249	108498
T-02	51410	60025	69630	81790	93717
T-03	12072	12964	14239	13517	13043
T-04	11374	13070	13302	13860	13747
T-05	3771	4525	4571	5664	5641
T-06	54046	66817	74380	81942	89365
T-07	1770	4044	4220	4704	4811
T-08	29420	40036	40018	42683	43865
T-09	3384	3989	5713	7026	9202
T-10	22850	30728	34449	39141	42454
T-11	6529	7874	11218	14781	16868
T-12	28990	31278	33788	39306	42196
T-13	2238	2958	3451	3708	4432
T-14	5934	8390	10425	10317	10517
T-15	1003	2248	2229	2395	2414
T-16	5516	5979	6544	6591	6291
T-17	7084	5412	6227	8363	8807
T-18	13517	14878	15913	17268	18480
T-19	10567	12314	13002	14624	16087
T-20	2013	2393	2288	2728	2808
T-21	8698	9773	9428	9728	9762
T-22	1488	3264	3261	3491	3549
T-23	5465	7192	8407	9611	10785
T-24	28584	35276	38896	44650	50185
T-25	677	1206	1642	1718	1765
T-26	2627	4892	5031	5331	5871
T-27	1638	4516	4083	6671	7510
T-28	2229	2861	2353	3183	3399
T-29	2340	4880	4265	5476	5068
T-30	8069	9998	11484	12609	13510

Foi verificado se houve aumento ou diminuição

do valor (*per capita* ou população) em relação ao ano anterior. Depois comparou-se o crescimento (positivo ou negativo) entre a mancha urbana e a densidade populacional urbana, compondo um quadro onde a relação diretamente proporcional (aumento ou diminuição no mesmo período) foi marcada com um sinal de + e a inversamente proporcional (um aumenta quando o outro diminui ou vice versa) foi mantida em branco (Tabela 5). Verificou-se que, dos 30 municípios, 12 tem, em metade dos anos estudados, uma relação inversa entre a população urbana *per capita* e a mancha urbana, 7 apresentam essa relação inversa em 3 intervalos e 2 apresentam essa relação para todo o período.

TABELA 5 DENSIDADE DEMOGRÁFICA URBANA (KM²) DOS MUNICÍPIOS DA ÁREA DE ESTUDO

Cód.	1986	1991	1996	2001	2007
T-01	9775	5519	4179	3613	3276
T-02	4780	4810	4599	3603	3527
T-03	7208	6930	3484	3421	3388
T-04	5976	6353	6444	4988	5038
T-05	5660	5325	4767	3680	3944
T-06	4939	4048	4222	3351	3109
T-07	14541	20939	10834	10014	5445
T-08	4339	5769	5667	4866	4388
T-09	3374	3723	5123	4450	4800
T-10	5378	5906	5301	4347	3033
T-11	4996	5410	5273	6435	8261
T-12	3173	3063	2164	2591	2647
T-13	1893	1997	1840	1539	1829
T-14	2993	3512	3967	3377	3403
T-15	1201	2348	2391	3351	2952
T-16	7552	7469	6901	6157	6090
T-17	3802	2947	2470	1994	2043
T-18	2907	3114	2570	2701	2757
T-19	4072	3364	3203	3538	3734
T-20	1901	2111	2383	2535	3299
T-21	5354	4763	4760	4354	3779
T-22	4920	7172	4477	4560	3853
T-23	2274	2926	3205	2515	2742
T-24	4419	4521	4176	3566	3174
T-25	3771	5987	5041	4083	4115
T-26	3606	6267	6133	6367	5257
T-27	2766	4454	4097	6134	5510
T-28	3097	2780	2409	2973	2875
T-29	2680	4653	3623	4294	4179
T-30	4155	3591	4049	3942	4176

O teste de correlação linear simples entre a variação no tamanho da mancha urbana e a densidade demográfica urbana (Tabela 6) apontou 8 municípios com índice de correlação significativo, sendo que, desses 5 apresentavam correlação negativa (inversa), e 15 municípios com índice de correlação igual ou superior a 0,8.

TABELA 6 RELAÇÃO ENTRE A DENSIDADE

DEMOGRÁFICA E A POPULAÇÃO URBANA NOS MUNICÍPIOS DA ÁREA DE ESTUDO E ÍNDICE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON PARA ESSES DADOS. O SINAL DE + MOSTRA UMA RELAÇÃO DIRETA E A AUSÊNCIA DE SINAL RELAÇÃO INVERSAMENTE PROPORCIONAL. OS VALORES EM VERMELHO TEM SIGNIFICÂNCIA ATÉ 0.05.

Cód	1991	1996	2000	2007	Índice de Correlação
T-01					-0,86
T-02	+				-0,93
T-03			+	+	-0,80
T-04	+	+			-0,66
T-05					-0,93
T-06		+			-0,9
T-07	+				-0,59
T-08	+	+			-0,05
T-09	+	+		+	0,80
T-10	+				-0,87
T-11	+		+	+	0,60
T-12			+	+	-0,80
T-13	+			+	-0,63
T-14	+	+	+	+	0,41
T-15	+		+		0,89
T-16				+	-0,95
T-17	+			+	-0,52
T-18	+		+	+	-0,01
T-19			+	+	-0,60
T-20	+		+	+	0,93
T-21		+			-0,96
T-22	+	+	+		0,13
T-23	+	+		+	0,62
T-24	+				-0,23
T-25	+			+	0,21
T-26	+		+		0,84
T-27	+	+	+		0,87
T-28		+	+		-0,38
T-29	+	+	+	+	0,88
T-30		+		+	-0,02

5 CONCLUSÕES

Estudos sobre a expansão urbana, não só em área, como também em número de habitantes, são importantes considerando, principalmente, os impactos gerados sobre o meio natural das atividades antrópicas. Em função da extensão territorial e populacional, é dispendioso, tanto do ponto de vista de recursos humanos, quanto de recursos financeiros, o levantamento de tais informações através de amostragem direta.

As imagens de Landsat TM, de média resolução espacial (30 metros), são de custo acessível para tais levantamentos e abrange dados desde 1984. As imagens CBERS, também de média resolução espacial (20 metros) são disponibilizadas gratuitamente pelo INPE, mas têm dados apenas a partir de 2003, não sendo acessíveis para levantamentos de períodos anteriores. Para as imagens Landsat, a utilização da

rotina *Vegetation Suppressing Tool*, no ENVI, melhorou a interpretação visual das manchas urbanas, apesar de o melhor resultado de classificação para a mancha urbana ainda ser a classificação manual ou assistida, pois os métodos de classificação automatizada testados apresentaram uma grande confusão, principalmente com o solo desnudo.

A comparação da mancha urbana com os dados censitários do IBGE mostrou resultados significativos quando foram analisados todos os 30 municípios. Mas, quando isolados e analisados individualmente, considerando a evolução temporal, verificou-se que apenas 18 dos 30 (63%) tiveram correlação considerada significativa. Sendo assim, essa metodologia não é recomendada para estudos em lote, e sim para estudos e levantamentos direcionados, enfocando uma mancha urbana específica, onde possam ser identificadas as áreas não residenciais.

Os dados da evolução da densidade demográfica urbana, quando comparados com a evolução da mancha urbana, denotam que o crescimento urbano, percebido através de sensores orbitais de média resolução espacial, não está relacionado apenas ao crescimento populacional, mas também a outros fatores. Há a necessidade de se realizar mais estudos para verificar, mas provavelmente esse crescimento está em grande parte relacionado ao aumento de áreas industriais, sendo reduzidas as áreas residenciais, com conseqüente adensamento demográfico.

Ressalta-se ainda que este estudo não contraria a utilização do sensoriamento remoto para a estimação de populações, mas sim reforça a necessidade de tais trabalhos serem feitos com critério e com levantamentos de campo para reforçar as características residenciais das áreas levantadas, destacando-as das áreas não residenciais (comerciais, industriais, etc) e, diferenciando as áreas residenciais em relação ao adensamento populacional (principalmente à verticalização).

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à COPEL Geração e Transmissão S.A. (Companhia Paranaense de Energia), através do projeto de Pesquisa, do programa de P&D ANEEL, código 6491-036/2007, pelo apoio financeiro, e à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) pelo apoio administrativo e de infra-estrutura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACKERMAN, F., , **Sensor- and data-integration — The new challenge.**, In *Integrated sensor orientation: theory, algorithms and systems*, edited by I. Colomina, and J. Navarro (Heidelberg: Wichmann), pp. 2-10. 1995

ADENIYI, P. O, **An aerial photographic method for estimating urban population.** *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **49**, 545-560, 1983

- ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistemas de informações geográficas aplicações na agricultura**. Brasília: 2ª ed. revista e ampliada. Embrapa - Serviço de Produção de Informação – SPI, 1998.
- BARR, S. BARNESLEY, M. **Reducing structural clutter in land cover classifications of high spatial resolution remotely-sensed images for urban land use mapping**. *Computers & Geosciences* 26, 433 - 449, 2000
- BARROS, L.C. DUTRA, L.V. MACEDO, D.R. **Utilização de imagens espectrais de média resolução espacial na análise da expansão urbana do município de Betim (RMBH) por meio de modelo de mistura**. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, abril 2007, p. 5099-5166, 2007.
- BARROS, M.V F. SCOMPARIM, A. KISHI, C.S. CAVIGLIONE, J.H. ARANTES, M.R.L. NAKASHIMA, S.Y. REIS, T.E.S. **Identificação das ocupações irregulares nos fundos de vale da cidade de Londrina-PR por meio de imagem Landsat 7**. RA'E GA, Curitiba, Editora UFPR v. 7, p. 47-54, 2003.
- CALLEGARI-JACQUES, S.M. **Bioestatística: Princípios e Aplicações**. Porto Alegre: Artmed, 2003.
- CAMARA, G.SOUZA, R.C.M.. FREITAS, U.M. GARRIDO, J. **SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling**. *Computers & Graphics*, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996.
- CORBLEY, K. P. **One-meter satellites: practical applications by spatial data users — part three**. *Geo Info Systems*, 6, 39-43., 1996
- CRIPPEN, R.E, BLOM, R.G. **Unveiling the Lithology of Vegetated Terrains in Remotely Sensed Imagery**. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 67(8) 2001.
- FLORENZANO, T.G. **Imagens De Satélite Para Estudos Ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos 2002.
- GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro : Bertrand Brasil, 1999.
- IBGE, Malha digital: Municípios do Paraná 2005, escala 1:500000. Disponível em http://www.ibge.gov.br/servidor_arquivos_geo/ Acesso em 2008.
- IBGE, **População**. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/> Acesso em 2008.
- JONES, J. G., THOMAS, R. W., e EARWICKER, P. G., , **Multiresolution analysis of remotely imagery**. *International Journal of Remote Sensing*, 51, 311-316. 1991
- LANGFORD, M., UNWIN, D. J., AND MAGUIRE, D. J. **Generating improved population density maps in an integrated GIS**, In *Proceedings of EGIS'90*, EGIS Foundation (Amsterdam: EGIS Foundation), pp. 651-660., 1990
- LIU, X. H.; CLARKE, K. Estimation of residential population using high-resolution satellite imagery. . In: **International Symposium on Remote Sensing of Urban Areas**. Istanbul, Turkey, pp. 11-13, June, 2002.
- LIU, X.H, CLARKE, K. AND HEROLD, M. **Population Density and Image Texture: A Comparison Study**. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* . vol. 72, n.2, February, 187-196. 2006
- LO, C. P. **A raster approach to population estimation using high-altitude aerial and space photographs**. *Remote Sensing of Environment*, 27, 59-71., 1989
- 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.
- MICROIMAGES, **Script Vegetation Supression**. Disponível em <http://www.microimages.com/sml/devveg68.htm>. Acesso em 2008.
- MONMONIER, M., e SCHNELL, G. **Land use and land cover data and the mapping of population density**. *International Yearbook of Cartography*, 24, 115-121., 1984
- MOTA, S.. **Urbanização e meio ambiente**. Rio de Janeiro : Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES, 1999.
- NASA. **GEOCOVER-Circa 2000**: Mosaico de imagens Landsat Georreferenciadas. Disponível em <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>. Acesso em 2008.
- REIS, I.A. **Estimação da população dos setores censitários de Belo Horizonte usando imagens de satélite**. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, abril 2005, INPE, p. 2741-2748, 2005.
- RIDLEY, H. M., ATKINSON, P. M., APLIN, P., MULLER, J.-P., AND DOWMAN, I. **Evaluating the potential of forthcoming commercial U.S. high-resolution satellite sensor imagery at the Ordnance Survey**. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63, 997- 1005, 1997
- SABO, L.A. GALO, M.L.B.T. **Aplicação de uma rede neural artificial e sensoriamento remoto na classificação da área urbana de Presidente Prudente**. In: *Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas*, 3, , Curitiba.Anais, 2003.
- SILVA, J.X. **Geoprocessamento para Análise Ambiental**. Rio de Janeiro, D5 Produção Gráfica, 2001
- WELCH, R. **Spatial resolution requirements for urban studies**. *International Journal of Remote Sensing*, 3, 139-146, 1982